

## Prozesse der Instandhaltung

Konventionelle Kraftwerkseinrichtungen sind in der Regel fest in einem Bauwerk installiert, und es ist eine ständige Personalpräsenz gegeben. Somit sind regelmäßige kostengünstige Instandhaltungsarbeiten auch während des Betriebs möglich. Windenergieanlagen (WEA) werden dagegen unbemannt betrieben. Die Zustandsüberwachung ist deshalb auf Ferndiagnose und die Auswertung der regelmäßigen Service-Einsätze angewiesen. Da WEA im Falle von Störungen möglicherweise nicht zugänglich sind, können längere Ausfallzeiten bis zur Instandsetzung entstehen. Hinsichtlich der Verfügbarkeit der WEA kommt der Optimierung der Instandhaltungsprozesse also eine besondere Bedeutung zu. Grundsätzlich unterscheidet man verschiedene Instandhaltungsstrategien. Die vorbeugende und die zustandsorientierte Instandhaltung haben zum Ziel, die Grenzen des Abnutzungsvorrats nie ganz auszuschöpfen und unplanmäßige Betriebsunterbrechungen zu vermeiden. Die ausfallorientierte Instandhaltung nutzt dagegen den maximalen Abnutzungsvorrat aus und nimmt unvorhergesehene Betriebsunterbrechungen in Kauf. Instandsetzungsmaßnahmen setzen so erst bei Bauteilversagen ein. Graphisch sind die Zusammenhänge der Instandhaltungsstrategien in Abb. 4 dargestellt. Im Kraftwerksbereich wird heute für die wichtigen Komponenten zunehmend eine zustandsorientierte Instandhaltung angewandt; bei WEA wird dagegen in den meisten Fällen noch nach einer ausfallorientierten Instandhaltungsstrategie verfahren.

### Inspektion

„Inspektionen“ dienen der Überprüfung des Ist-Zustands von Anlagen beziehungsweise Komponenten. Bei Abweichungen vom Soll-Zustand über einen bestimmten Schwellwert hinaus werden Instandsetzungsmaßnahmen eingeleitet. Nur bei Kenntnis der wesentlichen Parameter, des aktuellen Zustands der Anlagenkomponenten, ihrer Reaktion auf bestimmte Anregungen und des langfristigen Verhaltens der gesamten Anlage können die Ausfallzeiten minimiert und die Effizienz maximiert werden.

In der Zeit zwischen den regelmäßigen Maßnahmen sollten möglichst sämtliche Betriebszustände und mögliche Abweichungen vom Soll-Zustand messtechnisch erfasst werden. Windkraftwerke wurden von Hersteller und Betriebsführer per Fernabfrage überwacht. Bei Fehlermeldungen wird häufig zunächst eine Inspektion durchgeführt. Automatisierte Zustandsüberwachungssysteme befinden sich noch im Entwicklungsstadium. Darüber hinaus sind WEA in zwei- oder vierjährigem Rhythmus durch unabhängige Sachverständige auf Betriebs- und Stand-sicherheit hin zu überprüfen.

In der klassischen Kraftwerksinstandhaltung hat die regelmäßige Inspektion einen hohen Stellenwert. Meist ist das Service-Personal durch den Eigentümer und Betreiber angestellt, so dass, anders als in der Windbranche, ein Informationsverlust zwischen verschiedenen Unternehmen vermieden wird. Durch die kontinuierliche Inspektion können Unregelmäßigkeiten im Betrieb und vorzeitiger Verschleiß ohne Zeitverlust an die Betriebsführung weitergeleitet werden. Im günstigsten Fall entsteht bis zur nächsten Revision eine vollständige Liste planbarer Instandsetzungsmaßnahmen. Unterstützung leistet hier eine leistungsfähige Betriebsführungs- und Leittechniksoftware.

### Optimierungspotential

Die kontinuierliche Zustandsdiagnose bedeutet für die Kraftwerkstechnik einen werthaltigen Vorteil. Durch die Konzentration der Instandsetzungsmaßnahmen auf den Zeitraum der Revision steigt zusätzlich auch die Verfügbarkeit.

Bei WEA kann die Instandhaltung nicht durch den Einsatz von Personal verbessert werden, es bietet sich vielmehr die Verbesserung der messtechnischen Zustandserkennung an. Diese muss durch eine leistungsfähige Leittechnik erfolgen, und auch andere Wege der Erfassung, beispielsweise durch Mikrofone und Videokameras, werden in Zukunft unerlässlich sein. Detaillierte Beschreibung des Soll-Zustands der wichtigsten Komponenten, eine umfassende messtechnische Überwachung und intelligente Analysen müssen den Ist-Zustand der An-

lage zukünftig sicher diagnostizieren. Auch bei der Betriebsführung müssen intelligente Tools Einzug halten, die eine Automatisierung der Erkenntnisverarbeitung gewährleisten.

### Wartung von Windenergieanlagen

Der Begriff „Wartung“ beschreibt die Maßnahmen zur Verzögerung des Abbaus des vorhandenen Abnutzungsvorrates. Hierunter sind im Wesentlichen routinemäßige Arbeiten wie das Abschmieren von Lagern oder der Austausch von Verschleißteilen zu verstehen. Bei WEA wird grundsätzlich in Halbjahres- und Jahreswartung unterschieden. Darüber hinaus gibt es eine einmalige Monats- oder 500-h-Wartung nach Inbetriebnahme. Umfang und Intervalle der Wartungen sind im Wartungspflichtenheft niedergelegt. Abhängig vom Anlagentyp ist pro Wartung ein Stillstand von ein bis drei Tagen zu veranschlagen.

Die reinen Wartungsarbeiten machen dabei einen eher geringen, die Inspektionsarbeiten einen deutlich größeren Anteil aus (Kontrolle auf Beschädigungen, von Anzugsmomenten und Betriebsstoffständen). Da das Wartungspflichtenheft Bestandteil der Typenprüfung ist, wird es auch Bestandteil der Baugenehmigung. Damit ist die Durchführung der Wartung im festgelegten (Mindest-) Umfang verpflichtend. Eine Reduzierung von Arbeiten, die auf Grund von Erfahrungen mit anderen Arbeiten zeitlich zusammengelegt werden könnten, würde daher einen aufwändigen Nachtrag zur Typenprüfung erfordern.

Zunehmend werden die regelmäßigen „Wartungen“ um vorgeplante, kleinere Instandsetzungen und so genannte „Restarbeiten“ ergänzt, um die Stillstandzeiten zu reduzieren. Diese Tendenz wird durch die heute oft angebotenen „Full-Service-Pakete“ mit Verfügbarkeitsverpflichtung verstärkt.

Bei konventionellen Kraftwerken wird angestrebt, alle Instandhaltungsmaßnahmen zur „Revision“ zusammenzulegen. Dies liegt in der hohen Belastung eines Kraftwerks durch häufiges Abschalten begründet. Als Faustformel kann unterstellt werden, dass ein einmaliges Ab- und



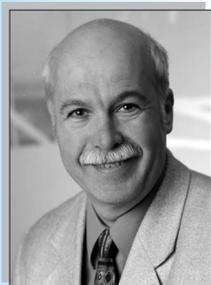
Dipl.-Geophys. Volker Schulz

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

Zuschalten bezüglich der Lebensdauer gleichbedeutend ist mit etwa 100 Stunden Regelbetrieb. Art und Umfang der Revision werden vom Betriebspersonal nach Zustand der Anlage festgelegt. Basis sind dabei immer die an den Hauptkomponenten (Kessel, Turbine etc.) durchzuführenden Wartungsarbeiten, deren zeitlichen Abstände in Betriebsstun-

dard werden, insbesondere bei der Offshore-Windenergienutzung. Sofern feste Wartungsintervalle einzuhalten sind, sollten möglichst alle Instandhaltungs-Maßnahmen strukturiert in dieses Intervall einfließen, um gesonderte Anfahrten auf ein Mindestmaß zu reduzieren. Außerdem kann eine gezielte anlagenspezifische Vorbereitung der Wartung, wie

mittels Datenfernübertragung (DFÜ) durch. Ist eine Wiederinbetriebnahme so nicht möglich, werden entsprechende Instandsetzungsmaßnahmen eingeleitet und der Eigentümer bzw. Betriebsführer informiert. Prozessführer ist auf Grund der vertraglichen Verfügbarkeitsgewährleistung in der Regel der Hersteller. Dem Betriebsführer kommt in dieser Phase im Wesentlichen



Dipl.-Ing. Axel Ringbandt,

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

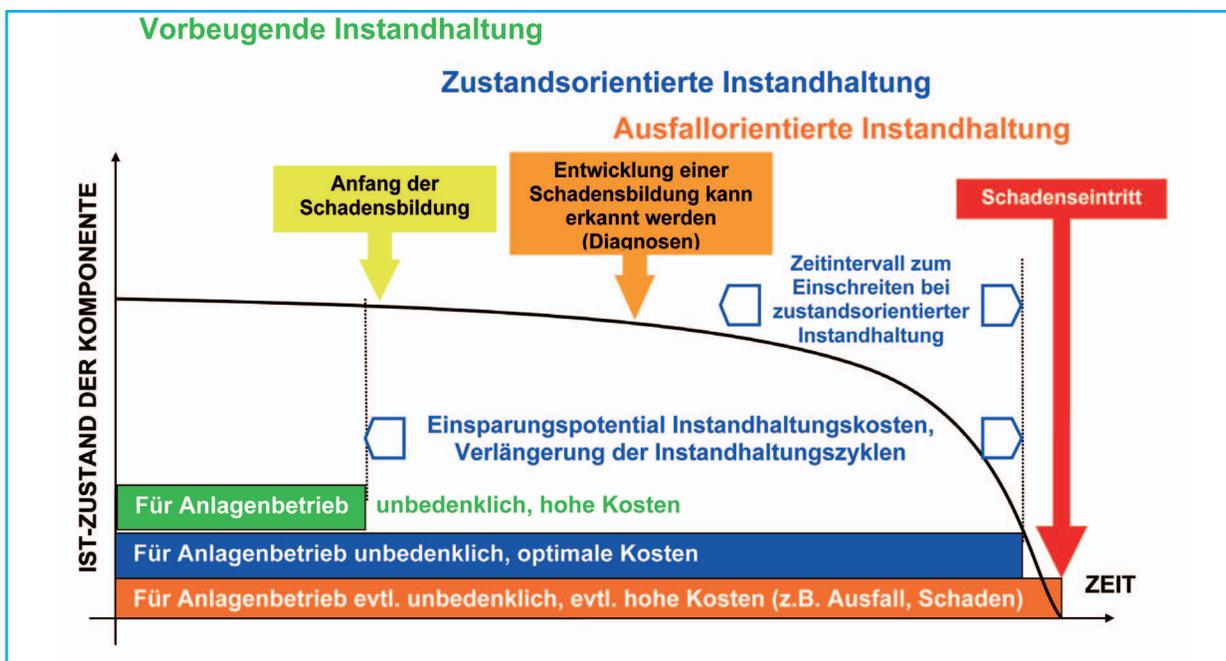


Abb. 4: Zusammenhänge der Instandhaltungstrategien

den vom Hersteller vorgegeben werden, sowie die gesetzlich vorgeschriebenen wiederkehrenden Prüfungen (Kesselprüfung, Druckbehälterprüfung etc.). Andere Maßnahmen werden dann zeitgleich durchgeführt (Tabelle 1). Der Termin der Revision wird in Abhängigkeit vom Energiebedarf mit der Netzleitstelle abgestimmt.

### Optimierungspotential

Da Umfang und Zyklen der Wartungsarbeiten von WEA aufgrund der Typenprüfung fest an das Wartungspflichtenheft gebunden sind, wäre es sinnvoll, die Betriebsgenehmigungspraxis bei WEA mehr an die konventioneller Kraftwerke anzugleichen. Im Zuge der üblichen regelmäßigen Wartungsarbeiten sollten mehr als bisher zustandsorientierte Instandsetzungen durchgeführt.

Da die Ausfallkosten während der Stillstandszeiten von den aktuellen Windverhältnissen abhängen, sollten die Wartungsintervalle zukünftig mit größerer Flexibilität versehen sein. Wind-Prognosetools zur kurz- und mittelfristigen Steuerung der Instandhaltungs-Aktivitäten müssen Stan-

im Kraftwerksbereich üblich, die Stillstandszeiten reduzieren

### Instandsetzung

Die „Instandsetzung“ stellt den Sollzustand einer Anlage durch Austausch beziehungsweise Reparatur defekter Teile wieder her. Instandsetzungsmaßnahmen werden eingeleitet, wenn durch Ferndiagnose oder durch regelmäßige Inspektionen Schäden entdeckt wurde oder wenn der Betrieb durch eine Störung unterbrochen wurde.

Störungsbedingte Stillstände sind in der konventionellen Kraftwerkstechnik eher die Ausnahme, bei Windenergieanlagen liegen die Stillstandszeiten incl. Instandsetzungsdauer bei rund drei Prozent von 8.760 h/a.

Abgesehen von den bereits unter „Wartung“ genannten, geplanten Instandsetzungen wird in der Regel eine ausfallorientierte Instandhaltung angewandt. Notwendige Instandsetzungsarbeiten werden daher oft erst durch den Ausfall erkannt. WEA werden in der Regel durch den Hersteller und durch den Betriebsführer via Telefonleitung überwacht. Im Fehlerfall führt der Hersteller in der Regel zunächst eine Fehleranalyse

eine Kontroll- und Überwachungsfunktion zu. Die Planung der Instandsetzungsarbeiten erfolgt somit im Wesentlichen nach den Grundsätzen des Herstellers, der seine Planung über mehrere „Kraftwerke“ unterschiedlicher Betreiber optimiert. Die Forderung des einzelnen Eigentümers nach Maximierung seiner individuellen Energieerzeugung ist daher nur eine Zielgröße. Andere Zielgrößen sind:

- optimierte Tourenplanung (Kostenminimierung),
- Ersatzteilverfügbarkeit,
- Ertragsausfallzahlungen,
- Witterungsbedingungen,
- Verfügbarkeit von technischem Großgerät (z.B. Kräne),
- Verfügbarkeit von Serviceteams mit Spezialkenntnissen,
- vertraglich zugesicherte Verfügbarkeiten anderer Windkraftwerke.

Hinzu kommen die Witterungsverhältnisse und die Zugänglichkeit der WEA, z.B. im Winter.

Wie bereits im Abschnitt „Anlagentechnik“ (EE 3/2007) erwähnt, beginnt die Festlegung der Qualität der Kraftwerksinstandhaltung bereits mit der Auslegung und der Beauftragung des Baus. Viele windbranchenspezifische Faktoren, wie die logistisch notwendi-

Literatur:  
[1] Technische Richtlinien für Windenergieanlagen, Teil 7, Instandhaltung von Windparks

ge, erhebliche Zeitspanne zwischen Fehlerauftritt und Eintreffen des Serviceteams vor Ort oder wetterbedingte Verzögerungen, sind im Kraftwerk nicht relevant, weil dort Personal rund um die Uhr vor Ort verfügbar ist. Außerdem beschäftigen sich alle betroffenen Parteien interdisziplinär intensiv und offen mit der Frage nach dem Grund des Versagens einzelner Komponenten. Kapitale Schäden (z.B. Turbinenausfälle) mit langen Stillstandszeiten (vier bis sechs Wochen) sind daher sehr selten geworden. Darüber hinaus sind umfangreiche Ersatzteillager an den Standorten vorhanden. Der verbleibende Instandsetzungsbedarf wird in wesentlichen Teilen bei den beschriebenen Inspektionen und durch die im Leittechniksystem analysierten Messdaten erkannt und, falls möglich, bei einer anstehenden Revision abgearbeitet. Diese Instandsetzungsarbeiten werden vollständig vorbereitet, so dass im Bedarfsfall oder bei der nächsten Revision alle Arbeiten inklusive Auftrag, Freischaltungen, Freigaben etc. unmittelbar gestartet werden können.

## Optimierungspotential

Grundsätzlich ist in der Windbranche die individuelle Instandsetzungsstrategie vertraglich eindeutig auf die spezifischen Betreiberbelange – insbesondere für den Zeitraum nach der Gewährleistung – festzulegen. Nur hierdurch können die Beteiligten ihre jeweiligen Prozesse optimieren. Die vermehrte Anwendung zustandsorientierter Strategien kann durch Zusammenlegen mehrerer Instandsetzungen und durch Vorplanungen Personalaufwand, Ausfallzeiten und Folgeschäden verringern. Hier kann der Aufbau einer Expertendatenbank präzise Analysen ermöglichen und erhebliche Kosten für unnötige Zweiteinsätze einsparen helfen. Vom Betreiber ist allerdings der Vorteil gegen den notwendigen Aufwand abzuwägen. Ähnlich ist auch die Frage eines eigenen Ersatzteillagerbestandes zu erörtern. Für Betreiber kleinerer Windparks verbietet sich eine Lagerhaltung schon aus Kostengründen, für größere Windparks sind die Vorteile dagegen offensichtlich, wenn neben den technischen Randbedingungen noch die Bedeutung der Witterungseinflüsse berücksichtigt werden. Verbesserungen im Sinne der DIN 31051 sind Änderungen von Konstruktion, Produktion und Betrieb mit dem Ziel einer optimierten In-

standhaltung. Für eine Verbesserung der Prozessabläufe in der Instandhaltung muss allerdings eine umfassende Dokumentation und Auswertung aller Maßnahmen erfolgen und der Verlust der Baugenehmigung muss ausgeschlossen sein.

## Verbesserungen

In der Windbranche waren in der Vergangenheit schon Verbesserungsmaßnahmen zur Behebung von Serienfehlern üblich. In jüngster Zeit werden darüber hinaus gezielte Untersuchungen durchgeführt, die die Verbesserung zwar fehlerfreier, aber nicht optimal arbeitender Komponenten beinhalten. Dadurch wird die Lebensdauer einzelner Komponenten erhöht. Viele dieser Maßnahmen werden vom Hersteller derzeit kostenlos oder zu moderaten Preisen durchgeführt, da eine Abgrenzung zu konstruktionsbedingte Ursachen schwierig ist, die Maßnahmen aber immer auch einen Mehrwert für den Dauerbetrieb (Wartungskostenreduzierung, gleichmäßigeren Lauf, geringere Strombezugskosten, Wirkungsgradsteigerung, etc.) beinhalten.

Verbesserungen im Sinn der DIN 31051 werden im Kraftwerksbereich schon deshalb intensiv betrieben, weil die Anzahl der Stillstände möglichst gering gehalten werden muss. Daher werden Erkenntnisse, die zu Verbesserungen führen, auch zwischen den Kraftwerken und sogar den verschiedenen Kraftwerksbetreibern diskutiert und abgestimmt. Dieser Dialog findet auch zwischen Betriebsmannschaft, Engineering-Abteilung, Hersteller und Kaufleuten statt. Bei Betreibern kerntechnischer Anlagen funktioniert dieser Dialog sogar weltweit. Besonders erfolgreich ist die intensive Zusammenarbeit zwischen den Herstellern und den Betreibern, da die Hersteller ein Interesse daran haben, die Erfahrung der Betreiber zu nutzen und optimierte Anlagen anbieten zu können.

## Optimierungspotential

Bei Verbesserungen kann die Windbranche aus dem Kraftwerksbereich in der Methodik (Anwendung von Statistiktools und von Leittechnik) und in der Organisation (Zusammenarbeit aller Be-

teiligten) lernen. Bei Betriebsführern und Herstellern stecken diese Anwendungen erst in den Anfängen, wodurch das Erkennen von Ursachen immer noch erschwert ist. Voraussetzung für Verbesserungen ist allerdings, dass die Beteiligten sich über ihre Ziele und Aufgabenverteilungen vorab einigen. Die Hersteller müssen Verbesserungen als gemeinsame Chance verstehen und sich auf eine intensivere Zusammenarbeit einlassen. Die Eigentümer, Betreiber und Betriebsführer müssen sich darüber klar werden, dass eine professionelle Verbesserungsstrategie nicht unwesentliche Kosten verursacht, aber auch positive Auswirkung über die Lebensdauer hat. Kontinuierliche Verbesserungsprozesse bei Windenergieanlagen werden deshalb erst in jüngerer Zeit und dann auch nur von einigen Herstellern eingeführt.

## Fazit

Die hier angestellten Überlegungen sollen Anregungspunkte bieten, die Möglichkeiten, die seit langem bei der Instandhaltung von konventionellen Kraftwerken umgesetzt werden, auf die Instandhaltung von Windkraftwerken zu übertragen. Insbesondere sollten folgende Punkte mehr Beachtung finden:

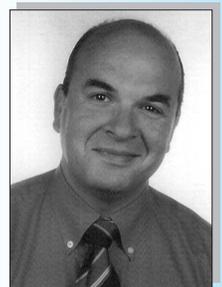
- Verstärkte Einführung zustandsorientierter Instandhaltungsstrategien,
- Nutzung automatisierter Zustandserkennungssysteme,
- Reduzierung der Instandhaltungsmaßnahmen durch Zusammenlegung von Einzelaufgaben,
- Einbeziehung von Wetterprognosen in die Einsatzplanung,
- Frühzeitige vertragliche Festlegung von Zuständigkeiten und Informationsbereitstellung,
- Dokumentation und Auswertung der Instandhaltungsmaßnahmen und Verbesserung von Konstruktion und Prozessabläufen in der Instandhaltung durch gemeinsame Anstrengung aller Beteiligten.

Die im Titel gestellte Frage, ob konventionelle Kraftwerke für die Instandhaltung von Windenergieanlagen Vorbild sein können, kann somit zwar nicht für alle, aber für viele Aspekte, bejaht werden. ■



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,  
Denistrafte 2,  
80335 München,  
Tel. 089/1254-1590,  
Fax 089/1254-1599,  
E-Mail: walter.sucrow@eon-energie.com

Tabelle 1: Beispielhafte Darstellung der Revisionsplanung

Komponente	Art der Arbeiten	Zeitraumen	Dauer ca.	Erläuterung	Revision (klein)	Revision (groß)
Gasturbine	Endoskopie	ca. 8500 äBthr.	1-2 Tage	Jede Stufe wird im Stillstand inspiziert	X	
	Offene Revision	ca. 17000 äBthr.	3 Wochen	Tausch der "Heißgasteile"/neue Beschichtung		X
Druckbehälter	Druckprüfung	jährlich	1 Tag	kein Stillstand; äußere Inspektion	X	
		alle 3 Jahr	2-3 Tage	innere und äußere Inspektion	(X)	X
Kessel	Kesselprüfung	alle 9 Jahr	1 Woche	innere und äußere Inspektion; Instandsetzung	(X)	X
		jährlich	1 Tag	kein Stillstand; äußere Inspektion	X	
		alle 3 Jahr	2-3 Tage	innere und äußere Inspektion	(X)	X
		alle 9 Jahr	1-2 Wochen	innere und äußere Inspektion; Instandsetzung	(X)	X

Erläuterung: äBthr=äquivalente Betriebsstunden (z.B. einmal starten= 80 äBthr.)