

Windparkoptimierung und Kostenreduktion durch Professionelle Betriebsführung

Axel Albers, Gerhard Janssen Gerdas, Dr. Knud Rehfeldt

Deutsche WindGuard Consulting GmbH, Windallee 15, D-26316 Varel, Germany

E.mail: g.gerdas@windguard.de, Tel: (++49) (0)4451/9515-11, Fax: : (++49) (0)4451/9515-29

Zusammenfassung: Die technische Betriebsführung von Windparks beinhaltet einige Elemente die eine Optimierung hinsichtlich der Steigerung des Energieertrags ermöglichen. Diese liegen im wesentlichen in der Leistungsfähigkeit der einzelnen Windenergieanlagen (WEA) und der technischen Verfügbarkeit des Windparks. Die Leistungsfähigkeit einer WEA ist durch verschiedene technische Parameter beeinflussbar, ob die Möglichkeit zur Optimierung gegeben ist hängt jedoch stark von den Anpassungen ab die der Hersteller bereits durchgeführt hat. Größere Möglichkeiten werden bei Windparks, die die gesetzten Ziele der Stromerzeugung nicht erreichen, durch Maßnahmen zur Optimierung der technischen Verfügbarkeit gesehen. Zentrale Bedeutung kommt hierbei der technische Betriebsführung zu.

Abschließend werden die Kosten technischer und betrieblicher Maßnahmen aufgeführt.

1 Einleitung

Die Entwicklung der Windenergie hat im vergangenen Jahrzehnt zu einer deutlichen Professionalisierung im Bereich der Herstellung von Windenergieanlagen (WEA), der Projektentwicklung, Finanzierung und des Vertriebs von Windparks geführt. Weniger weit ist hingegen die Professionalisierung der technische Betriebsführung vorangeschritten. Der Stand ist hier in weiten Teilen noch ungefähr wie zu Zeiten der WEA kleiner als 500 kW; der technische Betreiber reagiert im wesentlichen auf Störmeldungen der WEA und wertet Rechnungen für Wartungs- und Reparaturmaßnahmen aus.

Entgegen den Anfängen der Windenergienutzung gleichen moderne Windparks eher Kraftwerken, die Anforderungen an die technische Betriebsführung sind beträchtlich gestiegen. Der Grund hierfür liegt im wesentlichen an den gestiegenen technologischen Eigenschaften moderner WEA sowie an den geänderten wirtschaftlichen Rahmenbedingungen. Moderne WEA unterliegen aufgrund ihrer Größe und der gestiegenen Lasten einer höheren Ausnutzung des Materials und einer engeren technischen Auslegung. Desweiteren führt die Verschiebung zu Binnenlandstandorten zu einem engeren wirtschaftlichen Spielraum, der höhere Anforderungen an die Leistungsfähigkeit von Windparks stellt. Diese Gründe erfordern eine verbesserte Betreuung von WEA in der technischen Betriebsführung.

Generelle Aufgabe des technischen Betreibers ist der einwandfreie und optimale technische Betrieb eines Windparks über die gesamte Lebenszeit.

Eine sorgfältige und professionelle Durchführung der technische Betriebsführung ist die Grundlage zu Erreichung einer zwanzigjährigen oder darüber hinausgehenden Betriebszeit eines Windparks. Die Deutsche WindGuard GmbH hat sich dies zum Ziel gesetzt.

2 Parameter des Windparkbetriebs

Ziel des Betriebs eines Windparks, ist das Erreichen oder Überschreiten des Jahresenergieertrags, der die Grundlage der Wirtschaftlichkeitsberechnung des Windparks bildet oder generell die Maximierung des Energieertrags.

Die Überprüfung der Güte des Betriebs eines Windparks wird im allgemeinen anhand eines Ertragsvergleich mithilfe eines Ertrags- bzw. Windindex durchgeführt, siehe Abb. 1.

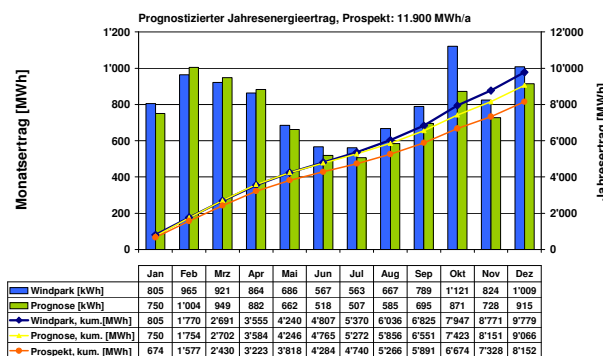


Abb. 1: Überprüfung des Ertrags eines Windparks.

Die Parameter für die Erreichung des prognostizierten Ertragsziels sind:

- Windbedingungen am Standort in Bezug zur Ertragsprognose
- Leistungsfähigkeit (Performance) der Windenergieanlagen
- Technische Verfügbarkeit des Windparks

Während die Windbedingungen nicht beeinflussbar ist die Optimierung von Performance und technische Betriebsführung eines Windparks gegebenenfalls möglich.

Die wesentlichen Parameter der Leistungsfähigkeit einer WEA sind Pitcheinstellwinkel, vorwiegend bei Stall-WEA, die Drehzahlführung, vorwiegend drehzahlvariable WEA aber auch bei Polumschaltungen

von Generatoren, die Azimutnachführung der Gondel sowie der Zustand der Rotorblätter. Analysemöglichkeiten bestehen hier im wesentlichen in der Vermessung der Leistungskennlinien, Auswertung von Betriebsdaten und Vermessung des Windparks mithilfe der Gondelanemometrie.

Die Parameter der Technischen Verfügbarkeit einer WEA sind die Störungsanfälligkeit der WEA, Reaktionszeiten des technischen Betriebsführers, Reaktionszeiten und Ersatzteilbeschaffung des Wartungsdienstes sowie Planung und Organisation von Wartungs- und Reparaturmaßnahmen. Weiterhin sind technische Zustandsverfolgung, d.h. Ausrüstung der WEA eines Windparks mit Schadensfrüherkennung und dokumentarische Zustandsverfolgung, d.h. Anlegen und Verfolgen einer Lebenslaufakte wichtige Parameter einer guten Betriebsführung.

Die vorrangigen Ziele der technischen Betriebsführung sind eine hohe technische Verfügbarkeit und Erhaltung eines guten Zustands der WEA im Hinblick auf eine lange Lebensdauer, den reibungslosen Betrieb und die Vermeidung langer Stillstandszeiten. Die technische Betriebsführung sollte die Bewertung und ggf. Verbesserung der Leistungsfähigkeit der WEA durchführen.

3 Aufgaben der optimierten Technischen Betriebsführung

Die technische Betriebsführung setzt sich aus folgenden Elementen zusammen:

- permanente Windparkbetreuung
- Organisation und Kontrolle von Reparatur und Wartung
- monatliche Berichterstattung
- periodische Inspektionen
- technische und dokumentarische Zustandsverfolgung
- Planung und Organisation langfristigen Komponentenaustausches

Ziel ist das Erreichen einer hohen Verfügbarkeit des Windparks, dies hat zentrale Bedeutung für den Ertrag eines Windparks.

3.1 Störungen und Verfügbarkeit

Der erste Schritt zur Bewertung der Verfügbarkeit ist die Analyse von Störungsmeldungen.

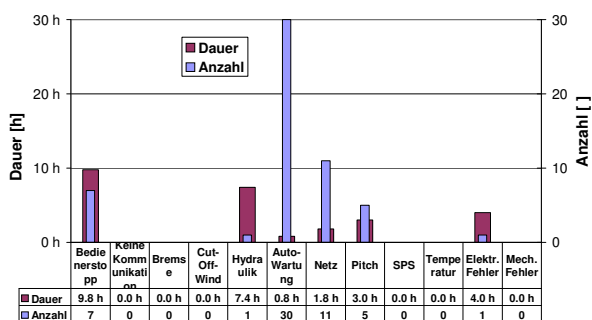


Abb.2: Klassierung der Störungsmeldung nach Störungsgruppen. Die Vielzahl der verschiedenen Meldungen wird auf relevante Gruppen reduziert. Die Dauer umfasst die gesamte Dauer der mit der Anzahl bezifferten Störungen.

Hierzu gehört die Bewertung von Art und Dauer der aufgetretenen Störungen. Mittels einer klassierenden Bewertung werden die Ursachen der Störungen untersucht, ein Beispiel zeigt Abb. 2.

Der Betreiber kann anhand dieser Analyse Unregelmäßigkeiten im Betrieb einzelner WEA erkennen und dokumentieren. Darüber hinaus ist eine Klassierung nach Störungsdauer sinnvoll, um im Überblick, auch für lange Zeiträume, Stillstandereignisse besser zu erkennen und bewerten zu können. Abb. 3 zeigt eine entsprechende Auswertung für den Zeitraum eines Jahres.

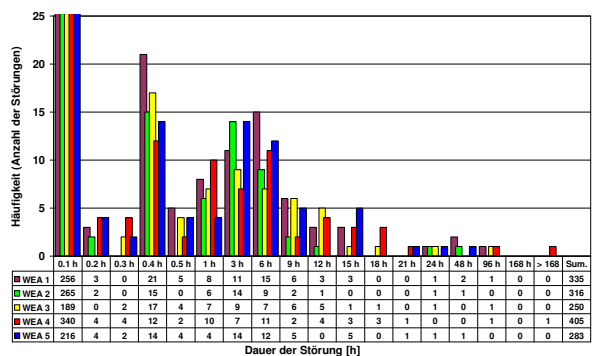


Abb. 3: Klassierung der Häufigkeiten von Störungen nach Störungsdauer über den Zeitraum eines Jahres. Die Klassen der x-Achse entsprechen einer Zeitdauer, von der vorigen Klasse bis zur aktuellen Klasse. Darunter sind für die einzelnen WEA die Häufigkeiten der jeweiligen Klasse aufgetragen. Beispiel: an WEA 1 traten im Jahr 15 mal Störungen mit einer Dauer von > 3h bis 6h auf.

Auf Basis der Dauer und Anzahl der Störungen wird die Bewertung der Verfügbarkeit jeder WEA durchgeführt; der so ermittelte Wert kann jedoch im Widerspruch zur Verfügbarkeit stehen, die die Betriebsdatenerfassung der WEA anzeigt. Der Betriebsführungsrechner einer WEA ermittelt eine Verfügbarkeit auf Basis einer implementierten Definition für verfügbarkeitsrelevante Störungen. Die Definition, welche Störungen und Stillstände für die Bewertung der Verfügbarkeit relevant sind sollte bereits im Kaufvertrag für die WEA festgelegt sein. Ist dies nicht der Fall, erfolgt die Definition durch den WEA-Hersteller; hierbei werden jedoch oftmals spezielle Stillstände, wie z.B. Netzfehler, Vereisung, Wartung und Reparatur nicht berücksichtigt.

Bei der Auswertung durch den technischen Betreiber hingegen sollte eine Berücksichtigung aller Stillstandszeiten erfolgen, d.h. zum Beispiel auch von Wartungs- und Reparaturzeiten. Für den Betreiber ist es wichtig, diese Ausfallzeiten zu kennen, da die absolute Verfügbarkeit maßgeblich für Ertragseinbußen ist und Aufschluss über mögliches Potential zur Optimierung geben kann. Unerheblich ist hierbei zunächst ob die Ursache eines Stillstandes auf ein Versagen der WEA oder auf externe Umstände (Netzfehler, Vereisung, Betreiberstop) zurückzuführen ist, eine weitere Differenzierung kann im zweiten Schritt erfolgen.

Die Unterschiede, die bei der Auswertung der Stillstandszeiten durch den WEA-Kontroller bzw. durch den technischen Betreiber entstehen können, ist in

Abb. 4 am Beispiel der Auswertung eines Monats dargestellt. In dem gezeigten Beispiel zeigt der Windpark-Betriebsführungsrechner eine Verfügbarkeit von 99,3 % an, während die Auswertung aller Stillstandszeiten in dem betreffenden Monat im Mittel eine Verfügbarkeit von 95,8 % für alle WEA des Windparks ergibt. Im gezeigten Beispiel ist die verringerte Verfügbarkeit auf Wartung an mehreren WEA des Windparks zurückzuführen, die laut Definition des Anlagenherstellers zu den verfügbaren Zuständen zählt.

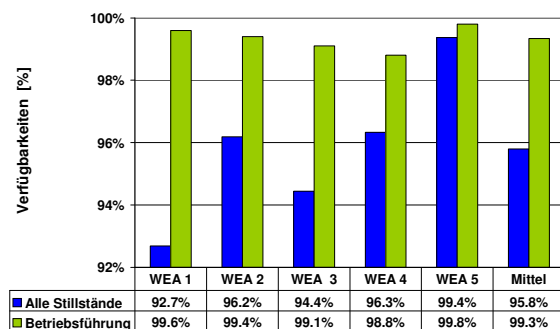


Abb. 4: Verfügbarkeit der einzelnen WEA eines Windparks. Unterschieden wird nach der gemeldeten Verfügbarkeit seitens des Windparkkontrollsystems und der Auswertung aller aufgetretenen Stillstände.

3.2 Schadenfrüherkennung

Die Erzielung einer hohen Verfügbarkeit ist Aufgabe des technischen Betreibers. Die im vorigen Abschnitt aufgeführten Maßnahmen der technischen Betriebsführung sollten dieses Ziel erreichbar machen, indem ungewollte Stillstände verringert oder gar vermieden werden. Eine Maßnahme, ungewollte Stillstände zu verkürzen oder zu vermeiden, bei gleichzeitiger Verringerung von Schäden mit größeren Folgen ist der Einsatz von Schadensfrüherkennungssystemen (Condition Monitoring).

Ziel des Einbaus und Betriebs von Condition Monitoring Systemen in WEA ist die frühzeitige Erkennung von möglichen Schäden in Anlagenkomponenten sowie die Verfolgung des Zustands wichtiger Komponenten und des Gesamtverhaltens der WEA zur Vermeidung langer Stillstandszeiten, Reduzierung von Ertragsausfällen und vorsorglichen Pflege der WEA.

Werden Schäden an Hauptkomponenten frühzeitig erkannt, können längere Stillstandszeiten vermieden werden, da die Ersatzbeschaffung vor dem Auftreten eines ernststen Schadensfalls durchgeführt werden kann. Die Reparatur wichtiger oder aufwendiger Komponenten kann zudem vorausschauend in Zeiten mit geringem Windangebot gelegt werden. Folgeschäden, durch nicht erkannte kleinere, nicht zur Störung führende Schäden, können durch den Einsatz einer geeigneten Schadenfrüherkennung vermieden werden.

Die Schadenfrüherkennung wird zukünftig für den Betrieb von Offshore-Windparks eine sehr wichtige Rolle spielen. Die frühe Erkennung eines schlechten Zu-

stands von Komponenten ist notwendig, um Reparaturen in witterungsmäßig günstige Zeiten vorzuverlegen.

4 Maßnahmen zur Optimierung

4.1 Performance Evaluierung und Performance Monitoring

Die Analyse der Ursache für unzureichende Energieerträge ist nicht einfach, der Einfluss der lokalen Windbedingungen muss vom Einfluss der WEA-Performance getrennt werden. Bei Einzelanlagen kann hier in der Regel eine Leistungskennlinienvermessung nach IEC-Standard durchgeführt werden, bei Windparks ist dies deutlich schwieriger. Detaillierte Methoden zur Analyse und kontinuierlichen Überwachung der Windpark-Leistungsfähigkeit, Performance Evaluierung und Performance Monitoring, müssen angewandt werden.

Die Überprüfung der Leistungsfähigkeit eines Windparks kann mit unterschiedlichen Methoden erfolgen. Eine Leistungskennlinienvermessung nach IEC gibt sicherlich in größtem Maß Aufschluss über die Qualität der Leistungscharakteristik, ist jedoch in der Regel nur bei wenigen WEA in einem Windpark möglich. Gefordert werden u.a. ein Abstand zwischen Messmast und WEA von 2,5 bis 4 Rotordurchmessern sowie Messsektoren mit relativ hindernis- und turbulenzarmer Anströmung, eine Situation, die in Windparks zumeist nur für wenige WEA realisiert werden kann und zudem sehr kostenaufwendig ist. Eine Alternative bietet die Vermessung aller WEA eines Windparks mit den jeweiligen Gondelanemometern. Diese Methode wurde in der Vergangenheit mehrfach untersucht und für geeignet befunden. Die Verifikationsmessung erfolgt für jede WEA eines Windparks unter Verwendung der auf der Gondel der WEA montierten Anemometer entsprechend den Empfehlungen in Referenz [2] und Referenz [3] sowie in Anlehnung an den IEC-Standard [1], siehe Abb.5. Erforderlich für die Anwendung dieser Kennlinie ist die exakt gleiche Position aller Gondelanemometer auf den jeweils zu testenden WEA und die Verwendung im Windkanal kalibrierter Anemometer. Das Ergebnis einer solchen Vermessung sind Leistungskennlinien, die einen absoluten Vergleich mit der im Kaufvertrag vereinbarten Leistungskennlinie zulassen. Generell sollte die Leistungsfähigkeit eines Windparks zu Beginn des Betriebs, also nach Inbetriebnahme, geprüft werden und im weiteren Betriebszeitraum regelmäßig kontrolliert werden.

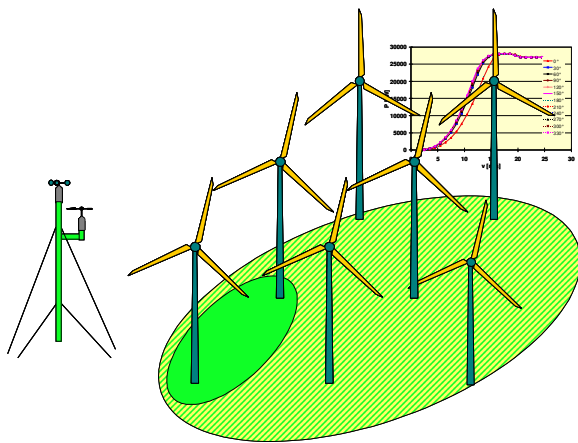


Abb. 5: Kombination der Gondelanemometervermessung mit einer Leistungskennlinienvermessung nach IEC ergibt eine maximale Genauigkeit der Leistungskennlinie für 1 bis 2 WEA sowie eine qualitativ gute relative und (durch IEC-Vermessung an mindestens einer WEA) auch gute absolute Gültigkeit der Ergebnisse.

4.2 Zustandsorientierte Instandhaltung

Seit der starken Zunahme an Versicherungsfällen im Bereich der Unterbrechungs- und Maschinenbruchabsicherung, sind bei den Versicherern so genannte Revisionsklauseln im Gespräch, die den Austausch der Lager sämtlicher Hauptkomponenten im 5-jährigen Turnus vorsehen. Eine Alternative wird bei einigen Versicherern die Zustandsorientierte Instandhaltung darstellen.

Die Zustandsorientierte Instandhaltung verlangt im wesentlichen schlüssige Konzepte für technischen Betrieb und Wartung. Bestandteil sind:

- Periodische Prüfung des Zustands der wesentlichen Komponenten einer WEA durch Sachverständige
- Qualifiziertes Wartungs- und Reparaturkonzept
- Qualifizierte technische Betriebsführung
- Periodische Zustandskontrolle Antriebsstranges und der Rotorblätter

4.3 Effizienz von Maßnahmen zur Optimierung des Energieertrags bei Windparks

Die Maßnahmen zur Optimierung der technischen Eigenschaften von WEA und zur Steigerung des Energieertrages sind anhand der Ergebnisse der Untersuchung realer Windparks bewertet worden. Da die Erfahrungen bisher weitestgehend singulär sind, sind die im folgenden in Abb. 6 dargestellten Effizienzen exemplarischer Natur.

Die Überprüfung und Einstellung der wichtigsten Betriebseinstellparameter kann mit relativ kurzen Amortisationszeiten durchgeführt werden, vorausgesetzt die betreffenden WEA bieten aussichtsreiche Möglichkeiten zur Korrektur, siehe gelbe Balken in Abb. 6. Die bei bisherigen Beispielen untersuchten möglichen Ertragssteigerungen sind ebenfalls in Abb. 6, in Form blauer Balken, dargestellt.

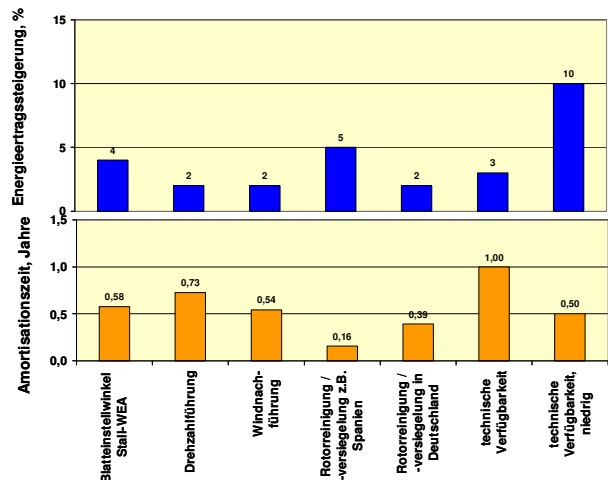


Abb.6: Effizienz der verschiedenen Maßnahmen zur Steigerung der Leistungsfähigkeit und der technischen Verfügbarkeit von Windparks.

Die wesentlichste Verbesserung der Ertragssituation lässt sich nach bisherigen Erfahrungen jedoch nicht aus der technischen Optimierung erzielen, die zudem bei nur wenigen WEA-Typen gravierend erfolgreich sein wird, sondern liegt im Bereich der technische Betriebsführung. Die möglichen Maßnahmen in diesem Bereich können z.T. sehr kostengünstig durchgeführt werden, so dass sich im Extremfall noch weitaus geringere Amortisationszeiten als in Abb. 6 gezeigt ergeben. Als Maßstab zur Bewertung der Qualität der technische Betriebsführung können die Kriterien der Zustandsorientierte Instandhaltung dienen.

5 Zusammenfassung

Eine verantwortungsbewusste technische Betriebsführung kann eine Steigerung des Energieertrags erreichen. Geeignete Maßnahmen sind die Maximierung der technischen Verfügbarkeit und die Bewertung sowie Verbesserung der Leistungsfähigkeit der WEA Vermeidung von Ertragsausfall und Folgeschäden durch.

In modernen Windparks sollten die Maßnahmen der zustandsorientierten Instandhaltung durchgeführt werden und technische Einrichtung eines Schadensfrüherkennungssystems eingesetzt werden.

6 Literatur

- [1] IEC 61400-12, WIND TURBINE GENERATOR SYSTEMS, Wind Turbine Power Performance Testing, 1998
- [2] A. Albers et al: Power Performance Verification, Proceedings of European Wind Energy Conference, Nice 1999.
- [3] A Albers: Möglichkeiten der Leistungsverifikation von Windparks, Seminar des Bundesverbandes Windenergie, Kassel 2001