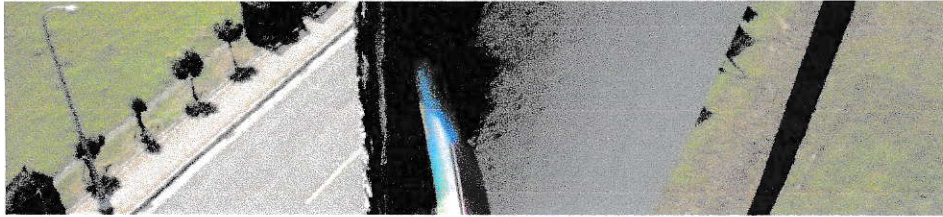


[/ Fachartikel](#) / [Leistungsminderung und Ertragsausfall ...](#)



[FACHARTIKEL](#) [EXPERTENWISSEN](#)

Leistungsminderung und Ertragsausfall durch Vorderkantenerosion an Rotorblättern

Dipl. Ing. Jan Liersch, Dipl. Ing. Bastian Sundermann



Dipl. Ing. Jan Liersch

Geschäftsführer der Key Wind Energy GmbH / Geschäftsstellenleiter der FGW e. V.

Key Wind Energy GmbH



Dipl. Ing. Bastian Sundermann

Geschäftsführer der WindKon GmbH

WindKon GmbH

Dipl.-Ing. Jan Liersch und Dipl.-Ing. Bastian Sundermann erklären, welche Faktoren zur Erosion der Rotorblattoberfläche führen und was Betreiber präventiv dagegen tun können.

Was ist Rotorblatterosion?

Neben Rotorunwucht und Steuerungsproblemen führt die Erosion der Rotorblattoberfläche zu schleichender Leistungsreduktion und damit zu verminderten Energieerträgen im Betrieb von Wind-energieanlagen (WEA). Über Jahre kaum bemerkt, können sich die Auswirkungen innerhalb kürzester Zeit beinahe schlagartig bemerkbar machen.

Die Gründe für die Erosionsschäden sind standort- und wetterspezifisch. Neben Windparks in ariden Gegenden sind besonders Offshore- oder Küstenstandorte betroffen. Doch was steckt genau hinter diesem Problem und wie kann man ihm schon frühzeitig beikommen? Für die Auswirkungen auf die Anlagenleistung sind die beiden folgenden Überlegungen wichtig:

- Wie wirken sich Niederschlag, Staubkörnchen oder auch Insekten auf die Oberfläche aus?
- Wie wirkt sich die veränderte Oberfläche auf die Aerodynamik und damit die Leistung aus?

Hierzu geben die zwei nächsten Abschnitte Auskunft.

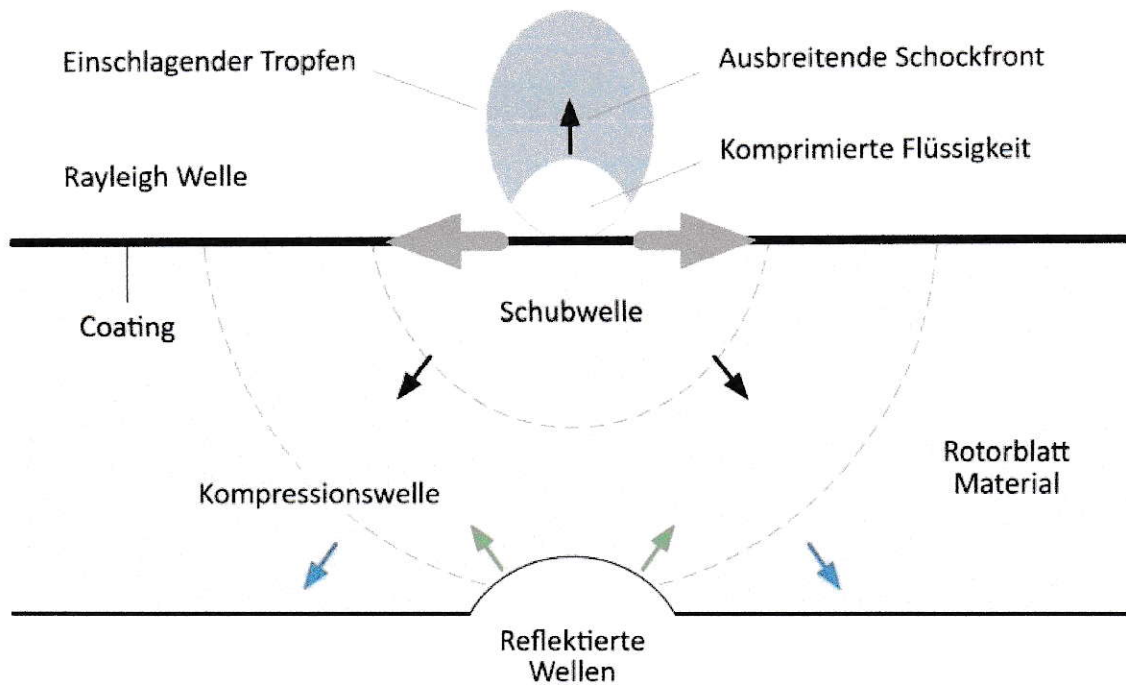


Abb. 2: Wirkung auseinanderspritzender Wassertropfen

Harter Aufprall

Die destruktive Wirkung ist im Wesentlichen abhängig von der Blattgeschwindigkeit, der Niederschlagsart, also Tröpfchen- oder Partikelgröße und insbesondere auch von der zeitlichen Verteilung am Standort. Denn die Einschläge ergänzen sich in ihrer zerstörerischen Wirkung: Nach der „Vorarbeit“ von Staubpartikeln, die Einschlagskrater oder Kratzer verursachen können, haben Wassertropfen leichteres Spiel. Die Jetwirkung wegspritzender Tropfen (s. Abb. 2) oder der reine Druckschlag aufs Material sorgen dann für den weiteren Verschleiß. Die Tropfen entwickeln starke Scherkräfte, „schieben also gewissermaßen den Lack zur Seite.“ Nach leichtem Aufräumen folgt erst Grübchenbildung, schließlich Abplatzen kleiner und größerer Bestandteile des Oberflächenmaterials.

Entscheidend für die Schädigungswirkung ist die Auftreffgeschwindigkeit, die wesentlich von der Rotorumfangsgeschwindigkeit im Betrieb bestimmt wird. Sie liegt bei vielen WEA in derselben Größenordnung, etwa bei 85 m/s. Aber auch die Größe der Tropfen spielt eine Rolle, die nach Niederschlagsart erheblich abweichen können, wie folgende Tabelle zeigt:

Niederschlagsart	Durchmesser in mm	Eigenschaften	Fallgeschwindigkeit in m/s
Hagel	5–25	in warmen Jahreszeiten, in mittleren Breiten, tritt selten auf	8–20
Regen	0,5–5	konvektiver Regen bei aufsteigenden Woklen	2–8
Sprühregen	0,1–0,5	stratiformer Regen aus Stratuswolken	1–5
Woklentropfchen	0,02–0,10		0,01–0,25

Niederschläge verschiedener Art, unterschieden nach Tröpfchengröße und Geschwindigkeit

Die unterschiedlichen Schädigungen lassen sich in ihrem Schadensbild deutlich unterscheiden, abhängig von Art und Dauer der Belastung. Der Ablauf der Schädigung folgt dabei etwa demselben Muster:

- fortschreitende Rauigkeit, erste Grübchenbildung,
- daraus folgend kleinere Risse in der Oberfläche,

- Einbruch der Leistungskennlinie durch Verschlechterung der Aerodynamik,
- Verlust der strukturellen Integrität des Blattes, Austausch nötig.
- Je nach Häufigkeit der visuellen Blattkontrolle fallen die Schäden früher oder später auf – oder erst durch Nachlassen der Leistung.

Die passende Veranstaltung:

Ein durch Erosion belastetes Rotorblatt ist außerdem falsch eingestellt. Da der Auftrieb kleiner wird und der Widerstand gleichzeitig größer, geht die Leistung zurück. Ein Zustand wie in Abbildung 3 gezeigt führt zu einer Minderleistung von ca. 4–6 %. Das liegt aber auch zum Teil daran, dass das Blatt nicht mehr optimal angeströmt wird. Als erste Gegenmaßnahme bis zur Reparatur kann der Pitchwinkel nachjustiert werden. So können ggf. die Verluste halbiert werden.

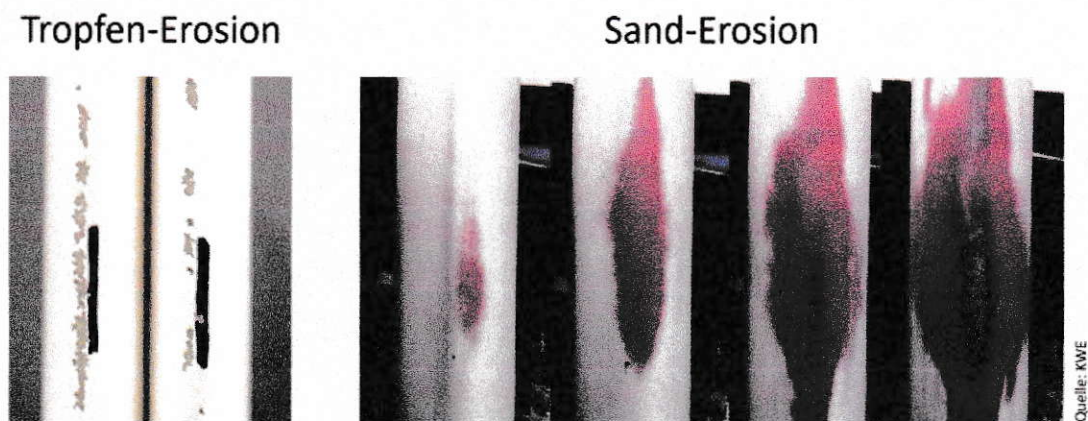
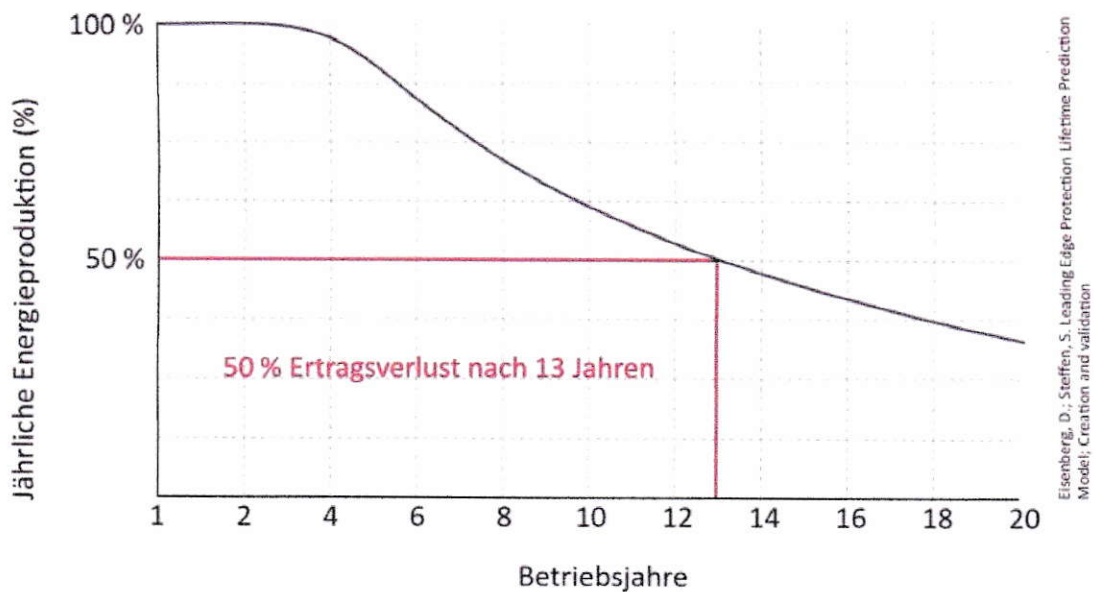


Abb. 3: Unterschiedliche Schadensmuster nach Tests mittels Wassertropfen und Sand bei unterschiedlicher Einwirkungszeit

Die Aerodynamik macht den Unterschied

Entscheidend für den Leistungsabfall sind Veränderungen der Blattoberfläche, die die Umströmung des Blattes negativ beeinflussen. Die geänderten Rauigkeiten verändern das Verhältnis Auftrieb zu Widerstand der Blätter und senken damit die Leistungsausbeute, insbesondere im Teillastbereich. Bei genug Wind und Vollast wird die Steuerung die Blätter einfach entsprechend weniger pitchen – hier fällt die schlechtere Performance nicht auf. Aber im Teillastbereich wird die Leistung sinken und die Nennwindgeschwindigkeit, oberhalb der die Anlagen Vollast liefern, wird steigen. Allerdings zeigen die ersten Jahre der Schädigung noch nicht viel Leistungsverlust. Dann geht es aber umso rapider abwärts mit der Leistungsfähigkeit und am Ende sehen die Blätter so aus wie in Abb. 1.



Eisenberg, D.; Steffen, S. Leading Edge Protection Lifetime Prediction Model; Creation and validation

Abb. 4: Einbruch des Ertrags, 50 % Verlust nach 13 Jahren

Vorsorge ist besser als Nachsorge?

Was tut man nun dagegen? Wichtig ist, das Erosionsmilieu am Standort zu erkennen und den Schädigungszustand der Blätter frühzeitig zu erfassen sowie alternative Oberflächensysteme zu prüfen.

Die Strategien kurz zusammengefasst:

- Rotorblattcheck (steht sowieso auf dem Wartungsprogramm)
- Stimmen die Energieerträge? Leistungskennlinien prüfen, u. a. auch mittels SCADA-Daten. Die Rotorblatt-Aerodynamik als Faktor in die Analyse einschließen (neben anderen Ursachen, s. o.)
- Prüfung des „Erosionsklimas“: Welche Partikel, Insekten, Niederschläge könnten eine Rolle spielen? Qualitativ durch Abschätzungen oder besser quantitativ durch Messungen vor Ort.
- Tests der Materialien für die Beschichtung in kontrollierter Umgebung. Vor Reparatur oder auch schon vor Anlageninstallation lässt sich die Erosionsbeständigkeit verschiedener Oberflächenbeschichtungen ins Verhältnis setzen.
- Besonders Erosionstests könnten eine Rolle spielen. In einem rotierenden Prüfstand werden Proben von Blattbeschichtungen auf Geschwindigkeit gebracht und durch Einbringung verschiedener Partikel oder Wasser getestet. Die Wirkung eines Erosionsklimas mehrerer Jahre kann dadurch innerhalb kurzer Zeit simuliert werden, technische Lösungen können auf Wirksamkeit geprüft und ggf. korrigiert werden.

Fazit

Das Erosionsmilieu am Standort kann durch die Auswertung der Wetterdaten (Regenmengen, Temperaturen und Staubbelastung o. ä.) abgeschätzt werden. Hieraus kann ggf. ein Standort klassifiziert werden.

Die passende Veranstaltung: