



Faktencheck zur Belastung und zu den Gefahren durch Mikroplastikabrieb von den Windkraftanlagen (WKA) im Altdorfer Wald (AW)

Autor: Prof. Dr. Andreas Klamt, Waldburg

(vorläufige Fassung vom 10. April 2024)

Kurzfassung

Erosionsschäden an den Rotorblättern von Windkraftanlagen sind ein Problem für die Energiewirtschaft; sie verursachen Kosten, verringern die Lebensdauer und mindern den wirtschaftlichen Ertrag von Windkraftanlagen.

Die Schäden treten vor allem an der Vorderkante im vorderen Drittel eines Rotorblatts überwiegend in der Lackschicht auf. Sie entstehen durch den Aufprall von Regentropfen, fester Partikel und sonstiger Witterungseinflüsse.

Experten quantifizieren den durch die Erosion entstehenden Partikelabrieb im „Worst Case- Szenario“ auf maximal 10 kg Lack pro WKA über die Lebensdauer von 20 Jahren gerechnet. Für den Altdorfer Wald bedeutet dies bei 40 WKA einen jährlichen Partikelabrieb von insgesamt max. 20 kg pro Jahr. Der Experten, als auch der Hersteller Vestas gehen davon aus, dass nur 10% der obigen Worst-Case Szenarios realistisch sind, also ein Gesamtbelastung von 2 kg Mikroplastik pro Jahr im Altdorfer Wald.

Die Partikelgröße des Abriebs ist nicht bekannt. Es muss davon ausgegangen werden, dass ein Teil der Partikel größere Entfernungen in der Luft zurücklegt, bevor er den Boden erreicht. Dadurch wird die Gesamtmenge in der näheren Umgebung der WKA weiter reduziert.

Der Anteil des Rotorblattabriebs macht etwa 0,15 % des Gesamtfinstaubes in Deutschland aus. Allein beim Mikroplastik, der nur einen Teil des Feinstaubes in der Luft ausmacht, ist der Altdorfer Wald ohne WKA bereits einem jährlichen Partikeleintrag von ca. 24,5 kg Mikroplastik ausgesetzt.

Mikro- und selbst Nanoplastikpartikel lassen sich mit heute existierenden Methoden zu 99,9% aus dem Trinkwasser filtern. Die WHO sieht derzeit keine Gefahren durch Mikroplastik im Trinkwasser.

Resümee der S4F Ravensburg

Die Folgen der Erosion an Rotorblättern müssen im Verhältnis zu anderen mit Feinstaub und Mikroplastik verbundenen Belastungsfaktoren beurteilt werden, die den Altdorfer Wald betreffen. Andere Emittenten haben einen deutlich größeren Einfluss auf die Belastung des Altdorfer Walds mit Feinstaub und Mikroplastik.

Der Einfluss des Partikelabriebs auf die Gesundheit ist nach jetzigem Wissen als sehr gering einzustufen.

Zusammenfassend gewichten wir die Bedeutung der Windkraftanlagen für den Klimaschutz und die damit verbundene Gesundheitsvorsorge in unserer Abwägung wesentlich höher als die Risiken, die durch den Abrieb von Mikroplastik verursacht werden.

Die Rechercheergebnisse im Detail

Wir gehen als Annahme für unsere Recherchen vom maximalen Ausbaugrad im Altdorfer Wald aus: Ca. 40 WKA mit ca. 80 m Rotorlänge, 20 Jahre Laufzeit. Verringert sich die Zahl der Anlagen, müssen auch die Wirkungen um den entsprechenden Faktor verringert werden.

1. Abrieb und Mikroplastik bei WKA

1.1 Zur potentiellen Menge an Abrieb von den Rotoren

Im Raum steht die Behauptung:

„Jährlich entstehen rund 3,5 Tonnen an Mikroplastik bei rund 39 WKA im AW“

Als Abrieb oder Erosion wird in der Windkraftbranche der Verschleiß der Blattoberfläche bezeichnet. Die Schäden treten vor allem im vorderen Drittel eines Rotorblatts auf, wo die bei der Rotordrehung erzielte Geschwindigkeit bis zu 400 km/h erreicht. Überraschenderweise ist der Aufprall fester Partikel weniger relevant für die Erosion als starker Regen und Hagel. [1,2,3]

Von der Erosion ist überwiegend die äußere Lackschicht der Rotorblätter betroffen. Als Lacke werden bei den Rotorblättern Epoxidharze, häufig Kunstharze genannt, und als ganz äußere Schicht Polyurethane (PUR) eingesetzt, die beide sehr gute elastische Eigenschaften besitzen und sehr UV-beständig sind. Sonstige Zusätze wie Weichmacher oder andere niedermolekulare Zusätze werden vermieden, da diese nach kurzer Zeit ausdiffundieren würden und die Eigenschaften der Lacke sich dadurch während der langen Lebenszeit der Rotorblätter verändern würden. Epoxidharze und PUR fallen sicher in die Klasse der Kunststoffe, die man gemeinhin als „Plastik“ bezeichnet.

Laut einer Studie des Umweltbundesamtes [4] beträgt die Lackschicht ca. 3 % des Gewichtes der Rotorblätter. Das Gesamtgewicht der drei Rotoren einer WKA kann bei einer Länge von ca. 80m auf etwa 80 t geschätzt werden, so dass jede Anlage ca. 2,4 t Lackmaterial hat. Ginge man davon aus, dass dieser Lack über die 20 Jahre Lebensdauer vollständig abgetragen würde, ergäbe das pro WKA eine Menge an 0,12 t pro Jahr, für alle 40 WKAs eine Plastikpartikelbelastung von 4,8 t pro Jahr. Es wird durch die Erosion jedoch nur in bestimmten Bereichen des Rotorblatts der Lack abgetragen, es gibt stärker und weniger belastete Bereiche (siehe Fotodokumentation von Schäden in [2]). D.h. die tatsächliche Gesamtmenge des Abtrags fällt wesentlich geringer aus, da schon durch den Abtrag an den am stärksten betroffenen Stellen (an der Vorderkante im äußeren Drittel des Rotorblatts) sich die Aerodynamik und damit die Ertragsleistung der WKA deutlich verschlechtert, sodass schon aus wirtschaftlichen Gründen Gegenmaßnahmen ergriffen werden.

Es gibt relativ wenig Literatur zur Erosion an Rotorblättern von WKAs. In Deutschland kann Jan Liersch als der Fachmann zur Erosion an Rotorblättern angesehen werden. Er lehrt an der TU Berlin Windkraftanlagen-Technik und betreibt in Zusammenarbeit zwischen seiner Firma KeyWindEnergy mit der TU-Berlin ein Testlabor zur Erosion an Rotorblättern. Die Grundprinzipien der Erosion und Fotos einiger extremer Beispiele sind in seiner online verfügbaren Präsentation [2] sehr anschaulich dargestellt. Liersch schätzt die maximale denkbare Erosion (absolute Worst-Case-Betrachtung) auf 1/300 der Gesamtlackmenge, d.h. ca. 10 kg Lack pro WKA [5], in der Lebensdauer von 20 Jahren, da nur ca. 1% des Umfangs an der vorderen Kante des Rotors und auch nur im äußeren Drittel eines Rotorblatts der starken Erosion ausgesetzt ist. Da er auch in diesem Bereich nicht von einer Totalerosion ausgeht, sondern 10% Erosion für realistischer hält, ist seine realistische Schätzung für den Lackabtrag eher 1 kg pro WKA in 20 Jahren [5], was bei 40 Rotoren dann 2 kg Mikroplastik pro

Jahr ergeben würde. Der Hersteller Vestas geht von 50 g Mikroplastik pro Jahr und WKA aus [6], was exakt mit der Schätzung von Liersch übereinstimmt. Die im Raum stehende Behauptung, es entstünden dann 3,5 t Mikroplastik durch die WKA im AW, wäre dann also um mehr als einen Faktor 1000 übertrieben.

Wie ist diese Größenordnung einzuschätzen? Wenn man vom Worst-Case von 10 kg Partikelabrieb pro Jahr und WKA ausgeht, dann würden die ca. 40.000 WKAs dieser Größe, die deutschlandweit lt. Energiekonzept der Bundesregierung für eine nachhaltige Stromversorgung notwendig sein werden, bundesweit ca. 400 t Mikroplastik pro Jahr freisetzen. Im Jahr 2021 wurden in Deutschland rund 183.600 Tonnen Feinstaub in der Partikelgröße 10 Mikrometer (μm) und 84.000 Tonnen in der Partikelgröße 2,5 Mikrometer (μm) emittiert. [7,8] Der Anteil des Rotorblattabriebs von WKA macht also selbst im Worst-Case-Szenario nur etwa 0,15 % des Gesamtfeinstaubes in Deutschland aus. Die 400 t Abrieb aller benötigten Windräder, die für die Versorgung Deutschlands mit erneuerbaren Energien benötigt würden, wäre dann nur 20% der – wahrscheinlich toxisch viel gefährlicheren – Feinstaubmenge von über 2000 t die jährlich in Deutschland allein durch Feuerwerk verursacht wird. [9]

1.2 Zur räumlichen Verteilung der Partikel

Im Raum steht die Behauptung:

„Somit werden sehenden Auges die Waldböden verseucht.“

Leider ist über die Größenzusammensetzung der beim Abrieb von WKAs freigesetzten Partikel nahezu nichts bekannt (zu den verschiedenen Größenfraktionen und Definitionen siehe die Zusammenstellung am Schluss dieses Kapitels). Größere Partikel werden in der Nähe des WKA schnell zu Boden gehen oder direkt mit dem Regenwasser abgespült werden. Kleinere Partikel werden mit dem Wind davongetragen. Im Gegenzug findet sich in der Luft auch über Waldgebieten eine große Menge Feinstaub. Quellen sind insb. der motorisierte Verkehr (Verbrennung, Reifen- und Bremsenabrieb, aber auch Heizwerke und Verbrennungsanlagen aller Art, der Schüttgutumschlag, die Tierhaltung, bestimmte Industrieprozesse und natürliche Ursachen (Vulkanausbrüche, Waldbrände, Bodenerosion und Mikroorganismen). [10]

Beschränkt man sich bei der Betrachtung nur auf Mikroplastik (siehe Begriffsdefinitionen unten), dann lässt sich die Menge des Partikelabriebs hilfsweise mit der Gesamtmenge an Mikroplastik vergleichen, die in der Atmosphäre quasi überall vorhanden ist und zu Boden fällt – also auch im Altdorfer Wald. Eine Studie von Allen et al. (2019) hat diese Menge für verschiedene Standorte quantifiziert. [10] Als Untersuchungsflächen wurden Standorte in Berggebieten in Frankreich und China ausgewählt, also Flächen abseits der Hauptentstehungsgebiete von Mikroplastik. In der Studie wird die Menge an weiträumig transportiertem Mikroplastik für Frankreich auf 2.000 t/Jahr berechnet. Umgerechnet auf die kleinere Landesfläche von Deutschland wären dies ca. 1.200 t/Jahr an Mikroplastik-Niederschlag. Auf den Altdorfer Wald mit einer Fläche von 82 km² gegen demnach jährlich ca. 300 kg weiträumig verteilten Mikroplastiks nieder. Dazu kommen sicher noch erheblich größere Mengen durch den Verkehr und die lokalen industriellen Quellen in der Umgebung des Altdorfer Waldes.

Selbst wenn man also von dem absoluten Worst-Case-Szenario ausgeht, dass jede WKA 10 kg Mikroplastik pro Jahr generieren würde, und das dieses vollständig im AW niedergeht, dann wäre die zusätzlich Belastung des Bodens nur ein Bruchteil der Gesamtbelastung durch Feinstaub.

1.3 Zur Gefährlichkeit der freigesetzten Partikel

Dabei geht es um die Gefährdung in der Atemluft und fürs Trinkwasser. Im Raum steht die Behauptung:

“Das sind Partikel, welche durch ihre Faserstruktur nahe beim Asbest liegen und somit stark krebserregend sind. Aus Mikro wird Nano und macht auch vor dem Trinkwasser nicht Halt.“

Die besondere Gefährlichkeit von Asbest resultiert daraus, dass Asbest bis zu aller kleinsten Teilchen eine nadelförmige Kristallstruktur hat. Daher bestehen die Stäube von Asbest aus kleinsten Nadeln, die in der Lunge Verletzungen und Vernarbungen herbeiführen, welche dann wieder zu Krebs entarten können. Die Mikroplastikpartikel, die durch Erosion der Lacke von Rotorflügeln entstehen, haben keine nadelartige Struktur, da sie aus dem dreidimensional-vernetzten, nicht-kristallinen Material herausgebrochen werden. Es dürfte sich ein breites Spektrum an zufälligen Formen ergeben, wobei die Partikel im Mittel nahezu kugelförmig sein sollten. Ein Vergleich mit Asbest scheint daher vollkommen unrealistisch. Eine Faserstruktur wäre lediglich zu erwarten, wenn die glas- oder karbonfaserverstärkten Kunststoffe des Rotors der Erosion ausgesetzt wären, was aber unwahrscheinlich ist, da ein Rotor, der so weit erodiert ist, dass das Innere freigesetzt werden könnte, nicht mehr betriebsfähig wäre.

Das Argument „Aus Mikro wird Nano“ ist sicherlich wahr. Dies gilt für die Zerfallsprozesse aller natürlichen und künstlichen Produkte. Entsprechend werden sich aus Mikroplastikpartikeln auch Nanoplastikpartikel bilden, die – aufgrund der wasserabweisenden (hydrophoben) chemischen Zusammensetzung der Lacke – mit sehr geringer Wahrscheinlichkeit auch vom Boden ins Grundwasser übergehen können.

Dies ist dann aber immer noch eine Partikelbelastung, die im Gegensatz zu wasserlöslichen Grundwasserbelastungen wie Nitraten aus der Landwirtschaft zu einem großen Teil durch die Filter von Wasserwerken abgefangen werden. Die Bodensee-Wasserversorgung meldet dazu: „Im Rohwasser des Bodensees konnte das Labor der Bodensee-Wasserversorgung bislang nur geringste Mengen von Mikro-Plastikteilchen durch Auszählung nachweisen. Mikro-Plastikteilchen im Rohwasser werden in der Aufbereitung wirkungsvoll zurückgehalten: Mikrosiebe halten Partikel > 15 Mikrometer (μm) zurück, Sandschnellfilter halten Partikel > 1 Mikrometer (μm) zurück.“ [12] Das wird durch Forschungen der Schweizer Forschungsanstalt EAWAG bestätigt: Über einen Langsam-Sandfilter können sogar die noch kleineren Nanoplastik-Partikel zu 99,9% aus dem Rohwasser gefiltert werden. [13]

Aber natürlich wird es immer einen winzigen Anteil geben, der dann auch noch im Trinkwasser nachweisbar ist. Dazu muss gesagt werden, dass es derzeit keine medizinischen Studien gibt, die nachweisen, dass kleine Mengen von Mikroplastik aufgenommen mit dem Trinkwasser zu nachweisbaren Gesundheitsschäden führen. Hierzu hat die Weltgesundheitsorganisation 2019 bekannt gegeben: „Es existieren derzeit keine Hinweise darauf, dass Mikroplastik im Trinkwasser der Gesundheit schadet.“ [14]

Begriffsklärung:

Für den Begriff „Mikroplastik“ gibt es bislang keine allgemein anerkannte Definition. Folgende Begriffserklärungen können helfen, einen Überblick über die Thematik zu gewinnen [16, 17, 18, 19]:

1. Mikroplastik:

Kleine Partikel aus Kunststoff, d.h. zusammengesetzt aus Polymeren (organischen Makromolekülen) und Zusatzstoffen (z.B. Weichmachern) mit einer Partikelgröße von < 5 mm. Nach anderen Quellen fallen darunter auch Partikel aus biobasierten Kunststoffen und chemisch veränderte natürliche Polymere. [15,16]

2. Feinstaub:

Feinstaub bezeichnet Schwebstoffe in der Luft, die nicht sofort zu Boden sinken, sondern eine gewisse Zeit in der Atmosphäre verweilen. Dazu gehören auch Partikel aus Kunststoff. Feinstaub ist durch seine Größe klar definiert und unterliegt Grenzwerten. Es wird unterschieden zwischen PM10 (aerodynamischer Durchmesser kleiner als 10 Mikrometer μm) und PM 2,5- Fraktionen (Größenbereich 2,5 bis 10 Mikrometer μm). [17]

Quellenangaben:

- [1] Univ. Bremen (2016): Schutz gegen Erosion und Vereisungen an den Nasenkanten der Rotorblätter von Windenergieanlagen. <https://idw-online.de/de/news654829>.
- [2] Liersch Jan (2021): Erosion an der Blattvorderkante: Wieviel Geld kosten Erosionsschäden? Präsentation an den Windenergietagen Potsdam am 11. November 2021, https://windenergietage.de/2021/wp-content/uploads/sites/6/2021/11/29WT11_F17_1320_KWE_Erosion-am-Rotorblatt_Liersch.pdf.
- [4] UBA (2022): Entwicklung von Rückbau- und Recyclingstandards für Rotorblätter, Texte Nr. 92/2022, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_92-2022_entwicklung_von_rueckbau- und_recyclingstandards_fuer_rotorblaetter_0.pdf.
- [5] Jan Liersch, TU-Berlin und KeyWindEnergy GmbH, persönliche Mitteilung vom 15.03. 2024.
- [6] Yannick Kramm, Vestas Wind Systems A/S, persönliche Mitteilung am 25.03.2024
- [7] Statista https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1090854/uAtmospheric_transport_and_deposition_of_microplastics_in_a_remote_mountain_catchment. In: Nature Geosciencefrage/feinstaub-emissionen-in-deutschland (gesichtet 13.03.2024)
- [8] Umweltbundesamt (2023): Staub (PM10)-Emissionen nach Quellkategorien 1995-2021, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/2_abb_staub-pm10-emi-quellkat_2023.pdf, sowie Staub (PM2,5)-Emissionen nach Quellkategorien 2008-2021, <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland/emission-von-feinstaub-der-partikelgroesse-pm25#emissionsentwicklung>.
- [8] Umweltbundesamt (2023): Feinstaub-Belastung. Herkunft, <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/feinstaub-belastung#herkunft>. .
- [9] Wikipedia <https://de.wikipedia.org/wiki/Feinstaub> (gesichtet 13.03.2024)
- [10] Bayr. Landesamt für Umwelt (ohne Jahr): Feinstaub - eine Zusammenstellung von Informationen, <https://www.umweltpakt.bayern.de/luft/fachwissen/187/feinstaub-eine-zusammenstellung-informationen>
- [11] Allen, Steve et al. (2019). Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment. In: Nature Geoscience, 12, 339-344, <https://www.nature.com/articles/s41561-019-0335-5>.
- [12] Bodensee-Wasserversorgung (): Verbraucher fragen - wir antworten: Mikroplastik. <https://www.bodensee-wasserversorgung.de/trinkwasser/verbraucherfragen.html>.
- [13] Bryner Andri (2022): Die Wasseraufbereitung wäre zur Entfernung von Nanoplastik bereit. EAWAG aquatic research vom 31. Mai 2022, <https://www.eawag.ch/de/info/portal/aktuelles/news/die-wasseraufbereitung-waere-zur-entfernung-von-nanoplastik-bereit/>, sowie die zitierte Studie von Pulido-Reyes, G. et al. (2022) Nanoplastics removal during drinking water treatment: laboratory- and pilot-scale experiments and modeling, Journal of Hazardous Materials, 436, 129011, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389422008007?via%3Dihub>.
- [14] Microplastics in drinking-water. Geneva: World Health Organization; 2019. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO, <https://www.who.int/publications/i/item/9789241516198>.

- [15] Ziemann Saskia (2019): Was ist Mikro- und Nanoplastik? - Was wir bisher wissen und was noch nicht. BfR-Forum Mikroplastik, Berlin, Juni 2019, <https://mobil.bfr.bund.de/cm/343/was-ist-mikro-und-nanoplastik.pdf>.
- [16] Kraas Caroline, Bauske Bernhard (2020): Mikroplastik in der Umwelt. WWF-Hintergrundpapier, <https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF-Hintergrundpapier-Mikroplastik.pdf>
- [17] UBA (2018): „Was ist Feinstaub?“, <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/was-ist-feinstaub> und „Fragen und Antworten: Ultrafeine Partikel“, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschaedstoffe-im-ueberblick/feinstaub/fragen-antworten-ultrafeine-partikel>.