



Fachbereich WD 8

Mikroplastikemissionen aus Windkraftanlagen

Definition sowie Vorkommen von Mikroplastik und Relevanz von Windkraftanlagen als Emittenten

Mikroplastikemissionen aus Windkraftanlagen

Definition sowie Vorkommen von Mikroplastik und Relevanz von Windkraftanlagen als Emittenten

Aktenzeichen: WD 8 - 3000 - 065/25
Abschluss der Arbeit: 15. Oktober 2025
Fachbereich: WD 8: Gesundheit, Familie, Bildung und Forschung, Umwelt

Die Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages unterstützen die Mitglieder des Deutschen Bundestages bei ihrer mandatsbezogenen Tätigkeit. Ihre Arbeiten geben nicht die Auffassung des Deutschen Bundestages, eines seiner Organe oder der Bundestagsverwaltung wieder. Vielmehr liegen sie in der fachlichen Verantwortung der Verfasserinnen und Verfasser sowie der Fachbereichsleitung. Arbeiten der Wissenschaftlichen Dienste geben nur den zum Zeitpunkt der Erstellung des Textes aktuellen Stand wieder und stellen eine individuelle Auftragsarbeit für einen Abgeordneten des Bundestages dar. Die Arbeiten können der Geheimschutzordnung des Bundestages unterliegende, geschützte oder andere nicht zur Veröffentlichung geeignete Informationen enthalten. Eine beabsichtigte Weitergabe oder Veröffentlichung ist vorab dem jeweiligen Fachbereich anzugeben und nur mit Angabe der Quelle zulässig. Der Fachbereich berät über die dabei zu berücksichtigenden Fragen.

Inhaltsverzeichnis

1.	Definition von Mikroplastik und seine Quellen	4
2.	Herkunft von Mikroplastik und die fragliche Relevanz von Windkraftanlagen	6

1. Definition von Mikroplastik und seine Quellen

Der Begriff „Mikroplastik“ wurde 2004 mit einer Studie des Meeresbiologen Richard Thompson, die die Belastung der Meere mit Plastikteilchen beschrieb¹, in der wissenschaftlichen Literatur eingeführt. Seither wurde in einer zunehmenden Fülle an wissenschaftlichen Studien nachgewiesen, dass die gesamte Biosphäre global mit Mikroplastik kontaminiert ist: Boden, Luft, Wasser, Fauna, Flora, auch der Mensch, genauso Lebensmittel. Mikroplastik wurde – so eine Zusammenschaubisheriger Untersuchungen von 2024 – in 1.300 aquatischen und terrestrischen Arten detektiert und in verschiedenen Organen des Menschen vom Gehirn bis zur Leber entdeckt. Es wurde in Proben aus der Antarktis, der Arktis, am Mount Everest und im Marianengraben in 11.000 Metern Tiefe unter dem Meeresspiegel nachgewiesen.²

Mikroplastik in der Biosphäre stammt vor allem aus massenhaft hergestellten kunststoffhaltigen Konsumgütern wie Plastiktüten, Plastikverpackungen, Baumaterialien, Textilien oder Zigarettenkippen. Dass viele Konsumgüter als Makroplastik zur Mikroplastikbelastung beitragen, liegt auch daran, dass Kunststoffe nur in geringem Umfang recycelt werden. Die weltweit geschätzte Recyclingquote lag 2019 bei neun Prozent.³

Auch bei der bestimmungsgemäßen Verwendung von kunststoffhaltigen Produkten tritt vielfach Mikroplastik auf – etwa als Abrieb von Reifen von Fahr- und Flugzeugen und von Schuhsohlen, beim Gebrauch von Getränkeflaschen aus Plastik (üblicherweise aus Polyethylenterephthalat PET) oder dem Tragen und Waschen von Bekleidung aus synthetischen Fasern, die auf Kunststoffen basieren. Weiterhin entsteht Mikroplastik über den allmählichen Zerfall bzw. Abbau von Makroplastik, also größeren Kunststoffartikeln wie Terrassenmöbeln, Plastiktüten oder Kunststofffolien. Im Meer emittieren zudem Schiffe Mikroplastik vorwiegend aus ihren kunststoffbasierten Anstrichen. Auch Fischereinetze sind eine weitere nennenswerte Quelle von Mikroplastik im Meer.⁴

Generell gilt die allgegenwärtige Belastung verschiedener Umweltmedien mit Mikroplastik als ein Kennzeichen des Anthropozäns⁵, eines Erdzeitalters, in dem der Mensch in das planetare

1 Thompson, Richard et al. (2004). Lost at Sea: Where Is All the Plastic? In: *Science*, 304, 5672, 838, online abrufbar <https://doi.org/10.1126/science.1094559>. Dieser und alle weiteren Links wurden zuletzt abgerufen am 15. Oktober 2025.

2 Thompson, Richard et al. (2024), Twenty years of microplastic pollution research—what have we learned? In: *Science*, 386, 6720, online abrufbar <https://doi.org/10.1126/science.adl2746>; Yue, Li (2023), Potential Health Impact of Microplastics: A Review of Environmental Distribution, Human Exposure, and Toxic Effects, In: *Environment & Health*, 1, 4, online abrufbar <https://doi.org/10.1021/envhealth.3c00052>.

3 Yue, Li (2023), Potential Health Impact of Microplastics: A Review of Environmental Distribution, Human Exposure, and Toxic Effects, In: *Environment & Health*, 1, 4, online abrufbar <https://doi.org/10.1021/envhealth.3c00052>.

4 Osman, Ahmad et al. (2023), Microplastic sources, formation, toxicity and remediation: a review, In: *Environmental Chemistry Letters*, 21, S. 2129–2169, online abrufbar <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01593-3>.

5 Bundeszentrale für politische Bildung (2013). Anthropozän, 12. Oktober 2015, online abrufbar <https://www.bpb.de/themen/umwelt/anthropozaeen/>.

System in einer Weise eingreift, dass sich die Veränderungen auch zu viel späteren Zeitpunkten erdgeschichtlich nachweisen lassen werden.

Wissenschaftler rechnen aufgrund der weltweit steigenden Kunststoffproduktion mit einer weiteren Zunahme der Mikroplastikbelastung in der Umwelt. Die Mikroplastikemissionen liegen Hochrechnungen zufolge derzeit bei 10 bis 40 Millionen Tonnen pro Jahr und werden sich bis 2040 etwa verdoppeln.⁶

Als Mikroplastik werden in der wissenschaftlichen Literatur Teilchen aus Kunststoff bezeichnet, die einen Durchmesser von weniger als 5 Millimeter haben. Sie können folglich mit bloßem Auge noch sichtbar sein oder aber unsichtbar, sofern sie nur wenige Mikro- oder gar Nanometer groß sind.

Weiterhin wird zwischen primärem und sekundärem Mikroplastik unterschieden: **Primäres Mikroplastik** wird gezielt als solches hergestellt: Es dient dann etwa als Zusatz in Reinigungsmitteln, Kosmetika, Baustoffen, Kunstrasen oder Straßenbelägen. Dazu gehört aber auch der Abrieb kunststoffhaltiger oder kunststoffbasierter Erzeugnisse und Produkte wie der Reifenabrieb. **Sekundäres Mikroplastik** entsteht nach dem Ende des regulären Lebenszyklus kunststoffbasierter Güter in der Umwelt infolge des allmählichen mechanischen wie chemischen Abbaus der Kunststoffe. Makroplastik zerfällt infolge des ultravioletten Lichts der Sonne, der Scherkräfte von Wind und Wellen, wie auch des Sauerstoffs der Luft über die Zeit in immer kleinere Bestandteile und schließlich zu Mikroplastik.

Mikroplastik umfasst Partikel, die rund, (scharf)kantig, in unterschiedlichen Geometrien oder auch als Fasern vorliegen können. Absichtlich produziertes primäres Mikroplastik wurde mit der Verordnung 2023/2055 vom 25. September 2023⁷ im Rahmen der REACH-Verordnung⁸ in der EU erstmalig reguliert. Darin wurden feste, nicht bioabbaubare Polymerartikel erfasst, die in allen Dimensionen gleich oder kleiner als fünf Millimeter sind oder deren Länge gleich oder kleiner als 15 Millimeter ist, wobei das Verhältnis von Länge zu Durchmesser größer als drei ist. Damit sind sowohl Fasern als auch Plastikteilchen, die in der Wissenschaft manchmal als „Nanoplastik“

6 Thompson, Richard et al. (2024), Twenty years of microplastic pollution research—what have we learned? In: *Science*, 386, 6720, online abrufbar <https://doi.org/10.1126/science.adl2746>.

7 Verordnung (EU) 2023/2055 der Kommission zur Änderung von Anhang XVII der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH) hinsichtlich synthetischer Polymermikropartikel, ABl. L 238 vom 27. September 2023, 67–88.

8 Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Agentur für chemische Stoffe, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission, ABl. L 396 vom 30. Dezember 2006, 1–851.

bezeichnet werden, weil sie nanoskalig sind, juristisch unter dem Begriff des „Mikroplastik“ subsumiert.⁹

2. Herkunft von Mikroplastik und die fragliche Relevanz von Windkraftanlagen

Wie alle kunststoffhaltigen Konsumgüter, die über Wind und Witterung mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt sind und der natürlichen Alterung unterliegen, setzen auch die Rotoren von Windkraftanlagen Mikroplastik in die Umwelt frei. Zur Frage, wie viel Mikroplastik andere ebenfalls kunststoffhaltige Kulturgüter – seien es Gebäude, Zäune oder Windkraftanlagen – emittieren, liegen nur wenige wissenschaftliche Daten vor. In welchem Umfang ein bestimmtes Produkt je nach Zusammensetzung, Design und Umweltbedingungen Mikroplastik freisetzt, ist bis dato kaum erforscht und auch methodisch schwierig zu messen. Ein Fokus der Forschung der vergangenen Jahre lag auf der Quantifizierung des Reifenabriebs aus dem Straßenverkehr.

Die wenigen identifizierten Publikationen zu Mikroplastik aus Windkraftanlagen fokussieren sich ausschließlich auf Offshore-Windparks, da hier aufgrund der intensiveren mechanischen Beanspruchung etwas höhere Mikroplastikemissionen erwartet werden. Bei einem erheblichen Teil der Studien handelt es sich um theoretische Abschätzungen der Mikroplastikemission oder Modellversuche im Labor.

Beispielsweise untersuchten Bedulina et al. Auswirkungen der freigesetzten Partikel von Windkraftanlagen auf die Miesmuschel *Mytilus edulis*. Im Labor wurden Muscheln dafür sieben und vierzehn Tage lang künstlich unterschiedlichen Gehalten an Mikroplastikpartikeln ausgesetzt, die durch Mahlen von Rotorblattbeschichtungen und Kernmaterialien gewonnen wurden. Die hohen Gehalte an Partikeln stellten allerdings nur ein geringes bis gar kein Risiko für die Muscheln dar. Es seien aber weitere Untersuchungen erforderlich, um einen umfassenden Überblick zu erhalten, urteilen die Autoren.¹⁰

Niederländische Forschende haben kürzlich eine Hochrechnung vorgenommen, um den Eintrag von Mikroplastik von Offshore-Windkraftanlagen infolge der Erosion an den Vorderkanten der Rotoren, wo der Abrieb besonders ausgeprägt ist, abzuschätzen. Sie halten einleitend fest, dass in der Literatur zuverlässige und transparente Schätzungen zur Bildung und Emission von Mikroplastik durch Windkraftanlagen fehlen.

Die Autoren gelangen selbst zu dem Schluss, dass die Mikroplastikemissionen einer modernen 15-Megawatt-Offshore-Windkraftanlage, die mit einem gebräuchlichen Schutzsystem für die Vorderkante auf Polyurethanbasis versehen ist, etwa 240 Gramm pro Jahr betragen. Anhand dieses Wertes würden sich die Mikroplastikemissionen aller in der niederländischen Nordsee installierten Windkraftanlagen auf 100 Kilogramm pro Jahr belaufen. Das sei etwa 1000-mal weniger als

9 Europäische Union (2025). REACH-Beschränkung synthetischer Polymermikropartikel, Fassung 1.1, 17. Juni 2025, online abrufbar https://www.reach-clp-biozid-helpdesk.de/SharedDocs/Downloads/DE/REACH/Verfahren/Beschr%C3%A4nkung/KOM_Leitfaden_SPM_Teil1.pdf?blob=publicationFile&v=2.

10 Bedulina, Daria et al. (2024). Effect of particles from wind turbine blades erosion on blue mussels *Mytilus edulis*. In: *Science of the Total Environment*, 20, 957, 177509, online abrufbar <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.177509>.

die gesamten Mikroplastikemissionen fernab der niederländischen Küste, etwa durch Schiffsanstriche.¹¹

Eine weitere dänische Forschungsgruppe schätzt die Mikroplastikemissionen aus Windkraftanlagen infolge von Erosion der Rotorblattspitzen ab. Diese Studie stützt sich auf theoretische Daten, konkret auf Modelle und Daten zum Rotorblattwechsel, nicht auf Messungen. Mishnaevsky et al. zufolge werden von jeder Windkraftanlage im Mittel zwischen 30 und 540 Gramm jährlich abgetragen. Anlagen an Land haben geringere geschätzte Mikroplastikemissionen (8 bis 50 Gramm Mikroplastik je Anlage). Für den gesamten Bestand an dänischen Windparks ermitteln die Autoren demnach Mikroplastikemissionen von etwa 1,6 Tonnen pro Jahr. Der Wert liegt um eine Größenordnung niedriger als Mikroplastikabrieb aus Schuhsohlen und Fahrbahnmarkierungen. Verglichen mit den Emissionen aus Reifen im Straßenverkehr liegt der Wert um drei Größenordnungen niedriger, urteilen die Autoren. Sie empfehlen trotz der geringen Emissionen einen wirksamen Schutz der Vorderkanten der Rotorblätter, regelmäßige Wartung und optimale Materialauswahl, um die Emissionen zu minimieren.¹²

Studien, denen empirische Messungen von Mikroplastikpartikeln zu Grunde liegen, sind selten, da sie teils mit erheblichen methodischen Herausforderungen konfrontiert sind, wie die drei nachfolgend identifizierten Arbeiten verdeutlichen:

Chinesische Forscher untersuchten die Veränderungen der Mikroplastikbelastung während des dreijährigen Baus von Offshore-Windkraftanlagen in drei verschiedenen Arten von Meeresfrüchten, da deren Belastung eine Gefahr für die menschliche Gesundheit darstellen würde. Die höchsten Belastungen traten in der frühen Bauphase auf, während nach Abschluss der Bauarbeiten eine Erholung zu beobachten gewesen sei. Die durchschnittliche Häufigkeit von Mikroplastik war in den drei Spezies höher gewesen als in anderen Gebieten des südlichen Gelben Meers. Für die kurzfristig auftretenden negativen Effekte empfehlen die Autoren während des Bauprozesses eine kontinuierliche Überwachung und Bewirtschaftung.¹³

Wie komplex die Messung von Mikroplastikemissionen im Umfeld von Windparks ist, verdeutlicht eine weitere chinesische Erhebung aus dem Jahr 2016. Sie untersuchte die Mikroplastikfrachten im Meerwasser im Gelben Meer in der Umgebung und außerhalb eines Offshore-Windparks. Die Mikroplastikgehalte am Windparkstandort waren geringer als außerhalb. Die mikroskopische Untersuchung der Mikroplastikteilchen erbrachte, dass es sich vorwiegend um faserige Rückstände gehandelt habe. Die Forschenden vermuteten, dass diese aus Textilien oder Seilen stammen, die über das Abwasser eingetragen werden. Die Hydrodynamik des Meeres entscheide

11 Caboni, Marco et al. (2025). Estimating microplastic emissions from Offshore wind turbine blades in the Dutch North Sea, In: Wind Energy Sciences, 10, 6, 1123–1136, online abrufbar <https://doi.org/10.5194/wes-10-1123-2025>.

12 Leon Mishnaevsky et al. (2024), Microplastics Emission from Eroding Wind Turbine Blades: Preliminary Estimations of Volume, In: Energies, 17, 24, 6260, online abrufbar <https://doi.org/10.3390/en17246260>.

13 He, Jincheng et al. (2025). The impact of wind farm construction on swimming animals in the South Yellow Sea: An evaluation based on the biodiversity and microplastics, In: Environmental Research, 265, 120462, online abrufbar <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.120462>.

über die lokale Verteilung von Mikroplastik.¹⁴ Damit dominiere auch im Umfeld des Windparks Mikroplastik aus anderen anthropogenen Quellen. Es ist bekannt, dass Kläranlagen auch hierzu lande wichtige Punktquellen für Mikroplastik darstellen, deren Ablauf über die Flüsse letztlich die Meere erreicht.¹⁵

Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt eine schottische Studie, die ebenfalls auf Messungen beruht. Piarulli et al. folgten der Überlegung, dass Mikroplastik aus der Beschichtung der Rotorblätter aufgrund seiner hohen Dichte zu Boden sinken und in den Sedimenten am Windparkstandort nachweisbar sein sollte. Sie entwickelten eigens eine Methode zur Quantifizierung und Charakterisierung von Mikroplastik größer als 300 Mikrometer aus den Beschichtungen und in den Sedimenten. Piarulli et al. konnten in den Sedimenten von fünfzehn schottischen Offshore-Windparks Mikroplastik nachweisen, darunter jedoch keinerlei Partikel, die sich auf die Beschichtungen von Rotorblättern zurückführen ließen. Es handelte sich um gängige thermoplastische Kunststoffpartikel in Form von Flocken, Folien, Fragmenten und Filamenten und damit aus anderen anthropogenen Quellen.¹⁶

Anzumerken ist an dieser Stelle, dass Forschung mit negativen Ergebnissen – in der vorgenannten Studie ist das der nicht nachweisbare Zusammenhang zwischen Windpark und Mikroplastikvorkommen – generell seltener publiziert wird, ein Phänomen, das als „Beobachter-Bias“ in der Wissenschaft selbst bekannt ist und kritisch diskutiert wird.¹⁷

14 Wang, Teng et al. (2018). Microplastics in a wind farm area: A case study at the Rudong Offshore Wind Farm, Yellow Sea, China, In: Marine Pollution Bulletin, 128, 466-474, online abrufbar <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.01.050>.

15 Sturm, Michael Toni (2024), Long-Term Monitoring of Microplastics in a German Municipal Wastewater Treatment Plant, In: Microplastics 2024, 3, 3, 492-502, online abrufbar <https://doi.org/10.3390/microplastics3030031>.

16 Piarulli, Stefania et al. (2024), Assessment of microplastics in the sediments around Hywind Scotland Offshore Wind Farm, In: Journal of Physics: Conference Series, 2875, EERA DeepWind Conference 2024, online abrufbar <https://doi:10.1088/1742-6596/2875/1/012050>.

17 biases.de (2025), Observer Bias (Beobachter-Bias) einfach erklärt – Definition, Ursachen und Auswirkungen, online abrufbar <https://biases.de/observer-bias/>.