

## Anlage 2

### Durch Windkraftanlagen verursachte gesundheitliche Auswirkungen

#### Abrieb von Rotorblättern

Ein besonders relevanter, aber oft unterschätzter Aspekt ist die Umweltbelastung durch Abrieb der Rotorblätter.

Windkraftanlagen erzeugen beim Betrieb durch hohe Blattspitzengeschwindigkeiten, Witterungseinflüsse und Partikelaufprall einen messbaren Abrieb an den Rotorblättern. Die Blätter bestehen überwiegend aus glas- oder kohlefaserverstärkten Kunststoffen mit duroplastischen Harzen und schützenden Polyurethan- oder Fluorpolymer-Beschichtungen. Durch

- Erosion -
- Regen, Hagel, Sand, UV-Strahlung und Turbulenzen sowie
- Drehzahlen bis über 300 km/h an der Blattspitze.

lösen sich mikroskopisch kleine Partikel (<500 µm), die Kunststoff- und Additivbestandteile enthalten.

Diese sogenannten Nano und Mikropartikel, können in die Lunge und oder in die Blutbahn gelangen und zu dauerhaften Schäden und Krankheiten führen. Zusätzlich können sie über die Nahrung und oder den Umweg der Fleischproduktion (z. B Eier) aufgenommen werden.

Schätzungen aus aktuellen Fachquellen (Fraunhofer IWES 2023, DLR 2024, UBA 2022) gehen von 50 – 200 g Materialverlust pro Anlage und Jahr an Land und bis zu 1 kg offshore aus.

Deutschlandweit entstehen so rund 1 500 – 6 000 t Mikroplastik pro Jahr.

Diese Partikel setzen sich in unseren Gärten, auf Dachflächen, Regerinnen, Weiden etc. ab. Sie können sich im Nahbereich in Luft und allen Böden und Wasser ablagern und über Regen abgeschwemmt werden. Speziell in der Wiedingharde würden über die Verteilung durch die Gräben wesentlich größere Gebiete damit kontaminiert werden.

Chemisch besteht der Abrieb aus vernetzten Kunststoffen mit Additiven wie Bisphenol A, PFAS, UV-Stabilisatoren und Pigmenten.

Diese Stoffe gelten als schwer abbaubar (sogenannte Ewigkeitschemikalien sind besonders gefährlich bei stetiger Anreicherung, wie es bei Windkraftanlagen der Fall ist) teils hormonell wirksam oder persistent. Sie verbleiben über Jahrzehnte in der Umwelt.

Trotz der geringen Mengen sollten sie in der Umwelt- und Gesundheitsvorsorge berücksichtigt werden.

Gerade in Siedlungsnähe kann der partikuläre Eintrag in Luft und Boden eine direkte Umwelt- und Gesundheitsbelastung darstellen.

Besonders belastet werden die Anwohner und Tiere in einem Umkreis von 2 km. Siedlungen die von Windkraftanlagen umgeben sind, sind dabei einer wesentlich höheren Belastung ausgesetzt.

Aktueller Forschungsstand :

Behörden und Institute, wie das Umweltbundesamt (UBA) und das Helmholtz-Zentrum Hereon, weisen darauf hin, dass die Langzeitfolgen für Böden, Grundwasser und Organismen noch weitgehend unerforscht sind.

Systematische Messungen von Ablagerungen beginnen erst. Die Wichtigkeit zu genaueren Untersuchungen diesbezüglich wird betont, da viele der chemischen Stoffe als krebserregend gelten.

## Übersicht der identifizierten Stoffe im Rotorblattabrieb

Stoffklasse / Verwendung	Beispiel-Substanz	CAS-Nr.	Funktion im Material	Umweltverhalten / Bewertung
Epoxidharz-Monomer	Bisphenol-A-Diglycidylether (BADGE)	1675-54-3	Hauptbestandteil vieler Epoxidharze	enthält BPA-Struktur; schwer abbaubar; endokrin wirksam
Epoxidharz-Monomer (Alternative)	Bisphenol-F-Diglycidylether (BFDGE)	06.03.2095	BPA-freies Epoxidharz	schwer abbaubar; 0 Östrogenwirkung
Härter (Amine)	Diethylentriamin (DETA)	111-40-0	Vernetzer für Epoxidharze	toxisch im Frischzustand;
Härter (Cycloaliphatisch)	Isophorondiamin (IPDA)	2855-13-2	Vernetzer, UV-beständig	kann Wasserorganismen schädigen; nach Aushärtung stabil
Polyurethan-Vorstufe	Hexamethylendiisocyanat (HDI)	822-06-0	Härter in modernen PU-Beschichtungen	sensibilisierend, polymergebunden stabil
UV-Stabilisator / Lichtschutz	2-(2H-Benzotriazol-2-yl)-4,6-di-tertpentylphenol (UV-328)	25973-55-1	UV-Absorber	sehr persistent; vPvB-Stoff
Antioxidans	Irganox 1010	6683-19-8	Polymerstabilisierung	schwer abbaubar, geringe Toxizität
Fluorpolymer	Polytetrafluorethylen (PTFE)	9002-84-0	Erosionsschutz, Antihaft	chemisch extrem langlebig
Fluorpolymer / PFAS	Polyvinylidenfluorid (PVDF)	24937-79-9	Hydrophobe Oberfläche	persistent; mögliche PFAS-Abbauprodukte
Pigment / UV-Schutz	Titandioxid (TiO <sub>2</sub> )	13463-67-7	Weißpigment	Staub lungengängig
Pigment / UV-Schutz	Zinkoxid (ZnO)	1314-13-2	UV-Absorber	in Wasser toxisch, geringe Mengen
Füllstoff	Bariumsulfat (BaSO <sub>4</sub> )	7727-43-7	Stabilität, Dichte	in Wasser toxisch
Haftvermittler	γ-Glycidoxypropyltrimethoxysilan (GPTMS)	2530-83-8	Faser-Harz-Verbindung	hydrolysiert, Umweltrrelevanz

## Akustische Belastung

Windkraftanlagen stellen eine akustische Dauerbelastung dar.

Besonders diskutiert wird hierbei der tieffrequente Schall (Infraschall), der unterhalb der menschlichen Hörgrenze liegt (Frequenzen < 20 Hz).

## Physikalischer Hintergrund :

Infraschall entsteht vor allem durch:

- den Druckpuls, der bei jeder Umdrehung der Rotorblätter an der Gondel vorbeistreicht,
- turbulente Strömungen an der Blattkante,
- und mechanische Schwingungen im Turm und Fundament.

Diese Schallanteile breiten sich weit aus, sind kaum durch Wände oder Fenster abzuschirmen und können – je nach Windrichtung, Gelände und Luftschichtung – mehrere Kilometer entfernt noch messbar sein.

Messungen des Umweltbundesamtes (UBA) zeigen, dass Infraschallpegel in Wohngebieten in der Nähe von Windkraftanlagen typischerweise im Bereich von 60 – 80 dB(G) liegen.

Zum Vergleich: Der Hörschwellenbereich für Infraschall liegt meist oberhalb von 90 dB(G) – das bedeutet, der Schall ist für den Menschen nicht bewusst hörbar, kann aber als Druck- oder Vibrationsgefühl wahrgenommen werden.

Die medizinische und psychophysiologische Bewertung ist sehr individuell.

Indirekte Wirkungen sind jedoch gut belegt:

- Wahrnehmungsreaktionen, z. B. Druckgefühl im Ohr,
- Beeinträchtigung der Schlafqualität, insbesondere bei Geräuschwahrnehmung oder -erwartung,
- Erhöhte Stressparameter (z. B. Herzfrequenzvariabilität) in Laborstudien,
- psychische Belastung durch dauerhafte Geräuschexposition und Schallcharakteristik.

Diese Effekte sind weniger auf den physikalischen Infraschall selbst zurückzuführen, sondern auf eine kombinierte Belastung aus hörbaren und unhörbaren tieffrequenten Schallanteilen sowie auf individuelle Sensitivität.

Das Schall etwas negatives mit Menschen und Tieren machen kann, wird beobachtet aber muss noch genauer untersucht werden.

Besonders nachts und bei bestimmten Wetterlagen (Inversion, wenig Wind am Boden) kann die Wahrnehmbarkeit deutlich zunehmen.

## Akustische Belastung durch Infraschall

Windkraftanlagen erzeugen neben hörbaren Geräuschen auch tieffrequenten Schall (Infraschall < 20 Hz).

Er entsteht durch die periodische Umströmung der Blätter, Strömungsturbulenzen und mechanische Schwingungen.

Messungen zeigen Pegel zwischen 60 und 80 dB(G) in der Umgebung, also unterhalb der menschlichen Hörgrenze, aber als Druck- oder Vibrationsgefühl wahrnehmbar.

Studien berichten über indirekte Auswirkungen auf Wohlbefinden und Schlafqualität, insbesondere bei Personen mit erhöhter Geräuschempfindlichkeit.

Bei bestimmten Wetterlagen kann sich tieffrequenter Schall verstärken und weiter tragen.

Wie möchte die Gemeinde sicher stellen, dass die Anwohner der Windkraftanlagen keine gesundheitlichen Belastungen, Beeinträchtigungen oder sogar Schäden von den Anlagen haben werden?

## Quellen

1. Umweltbundesamt (UBA): Rotorblattaufbereitung und Recycling von Faserverbundwerkstoffen, Texte 92/2022
2. Fraunhofer IWES (2023): Materialanalyse von Rotorblattbeschichtungen
3. DLR (2024): Erosion von Rotorblättern und Umweltauswirkungen
4. Helmholtz-Zentrum Hereon (2024): Analytik polymerer Abriebpartikel in marinen Systemen
5. Umweltbundesamt (UBA): Tieffrequente Geräusche und Infraschall von Windenergieanlagen, 2021
6. Bayerisches LfU (2023): Infraschall – Fakten und Bewertung
7. WHO (2018): Environmental Noise Guidelines for the European Region
8. BWE (2024): Faktencheck Erosion an Rotorblättern
9. ECHA – European Chemicals Agency: Substance Information Database