

# Windkraft

## Vor- und Nachteile

*„Nur wer aufgeklärt ist, kann urteilen!“*

## Warum wird Windkraft eingeführt ?

Alternative Energieversorgung → Abkehr v. fossilen Energieträgern



Klimaschutz mit dem Ziel CO2 Einsparung



Sicherheit z.B. im Vgl. zur Kernenergie



Günstige Preise, denn Sonne schickt angeblich keine Rechnung



**Vorteile**



**Nachteile**

# Windkraft Vor- und Nachteile

Folgende Punkte werden betrachtet

1 CO2 Bilanz

2 Leistungsdichte

3 Wirkungsgrad

4 Nutzungsgrad

5 Umweltbelastung

6 Gesundheitsbelastung

7 Entsorgung - Nachhaltigkeit

8 Einfluss auf Klima & Vegetation

9 Kosten & Wirtschaftlichkeit

1

**CO2 Bilanz**

## Wo entsteht CO2?

1. Ressourcen Beschaffung (Seltene Erden, Kupfer, Eisen etc.)
2. Aufbau der WKA (Baukosten)
3. Betriebszeit
4. Rückbau der WKA (Nachhaltigkeit, Recycling)

## 1. Ressourcenbeschaffung

**500–1200  
Tonnen CO2.**



**Seltene Erden:** (Neodym, Dysprosium) für Permanentmagnete in Generatoren, energieintensive Förderung & Aufbereitung

**Eisenproduktion:** Für Turm & Stahlkomponenten; Emissionen durch Hochöfen & Erzgewinnung

**Kupferproduktion:** Notwendig für elektrische Leitungen und Wicklungen in Generatoren; energieintensive Schmelzprozesse.

**Betonherstellung für Fundamente:** Zementproduktion ist CO2-intensiv (ca. 800 kg CO2 pro Tonne Zement).

**Balsaholz für Flügelstrukturen:** Hoher Bedarf führt zu ökologischen Problemen, wie Abholzung in Südamerika.

**Kunststoffe und Verbundstoffe:** Verwendet für Rotorblätter; oft basierend auf erdölbasierten Kunststoffen.

**Uran als Abfallprodukt:** Uran entsteht als Nebenprodukt beim Abbau von Seltenen Erden.



## 1. Ressourcenbeschaffung



**Uran als Abfallprodukt:** Uran entsteht als Nebenprodukt beim Abbau von Seltenen Erden.

### USA Studie 2012:

Bis zu **6,1 Mill. Pfund radioaktiver Abfall** erzeugt f. Förderung seltene Erden für WKA-Anlagen!



AKWs benötigen jedoch nur bis zu **5 Mill. Pfund** radioaktives Material



**WKA (3,5 % Stromanteil) benötigen also mehr radioaktives Material als AKW (20 % Stromanteil)**

# CO2 Bilanz

## 2. Aufbau

100 bis 500  
Tonnen CO2



**Bauarbeiten vor Ort:** Fundamente setzen, Turm aufstellen, Rotorblätter montieren.

**Einsatz von schweren Maschinen:** Hydraulikkranne, Betonmischer, Baumaschinen.

**Transport der Komponenten:** LKW, Schiffe und Kräne verbrauchen fossile Brennstoffe.

Je nach Standort & Transportwege

## 3. Betriebszeit

50-250  
Tonnen CO2

in 25 Jahren



**Schmierstoffe:** Regelmäßiger Austausch von Getriebeölen & Fetten.

**Wartung & Reparaturen:** Nutzung von Fahrzeugen & Maschinen für Inspektionen.

**Netzanbindung & Stromregelung:** Energieverluste & Steuerungskosten.

## 4. Rückbau

50–300  
Tonnen CO<sub>2</sub>

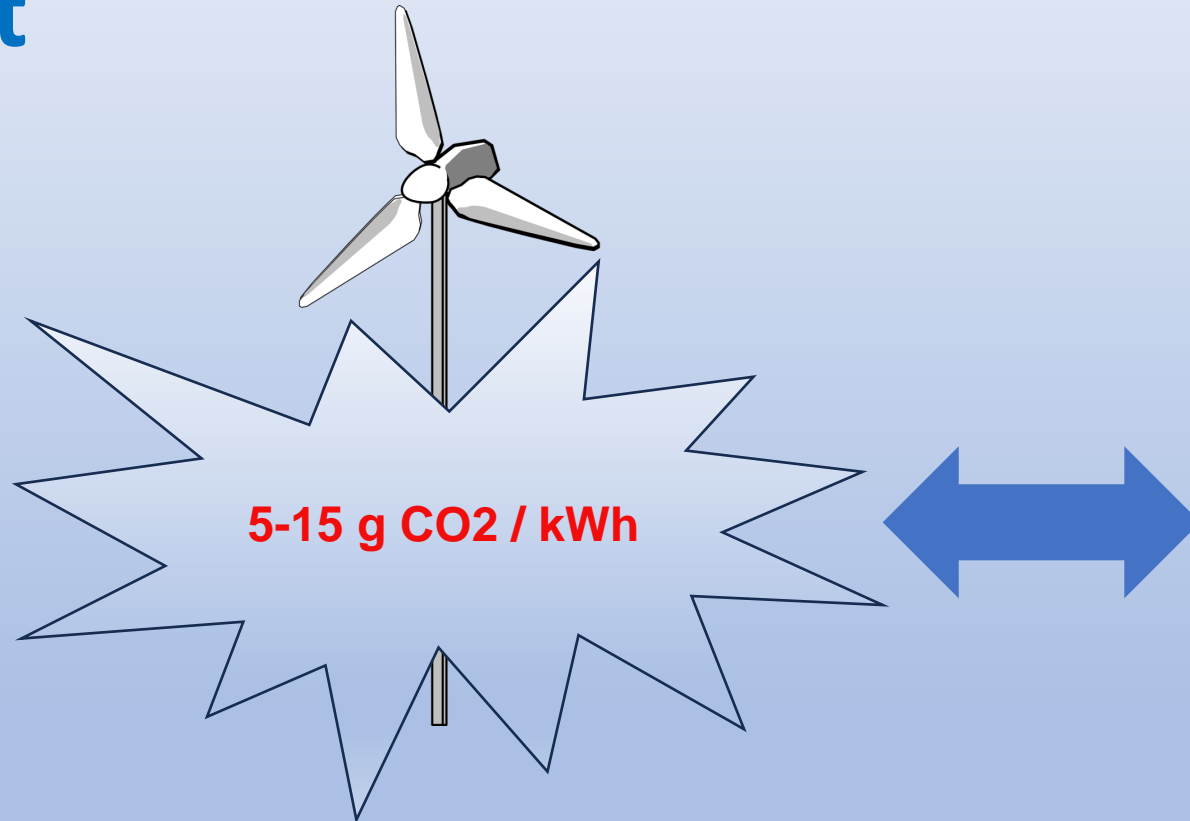


**Recycling:** Stahl und Kupfer gut recycelbar, Rotorblätter hingegen problematisch (meist Deponierung, d.h. im Boden vergraben, oder Verbrennung).

**Betonfundamente:** Aufwendige Entsorgung und Recycling. Verbleiben oft im Boden!

nach 25 Jahren

## Fazit



## Dampf- und Gaskraftwerk

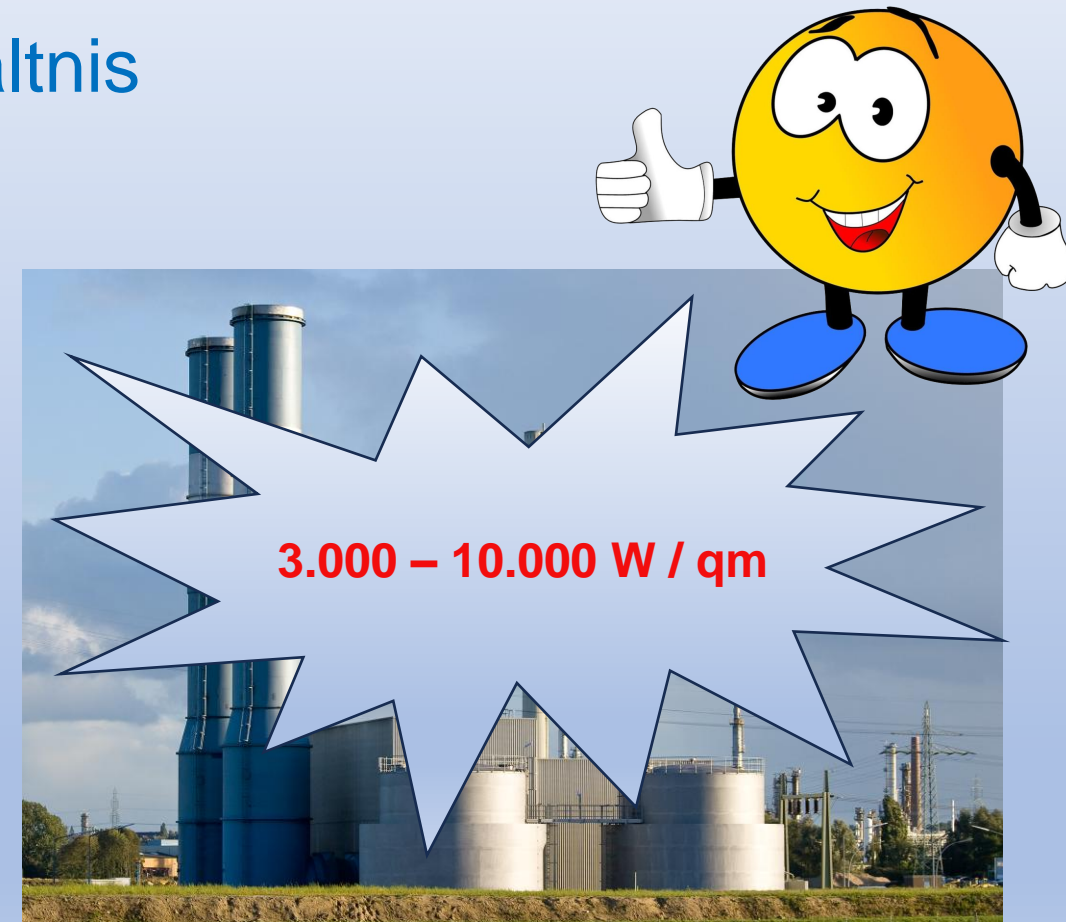
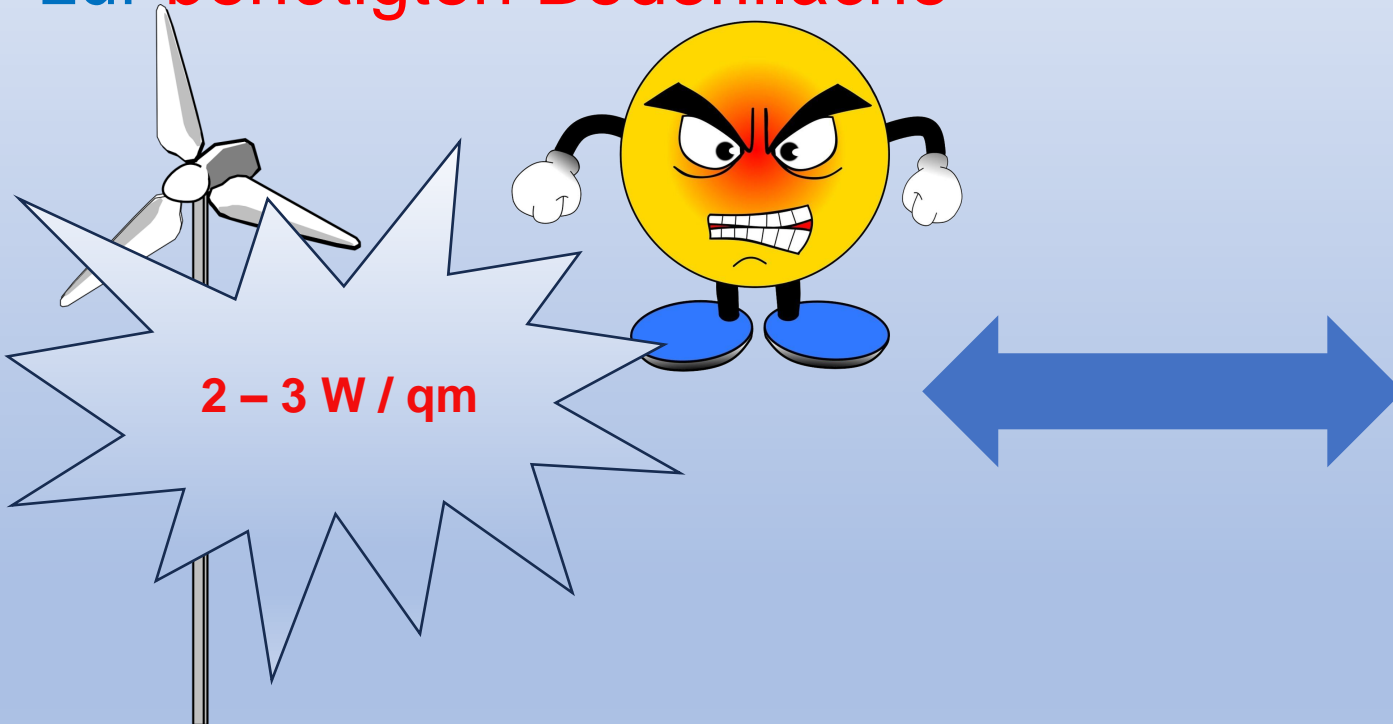


2

## Leistungsdichte

# Leistungsdichte

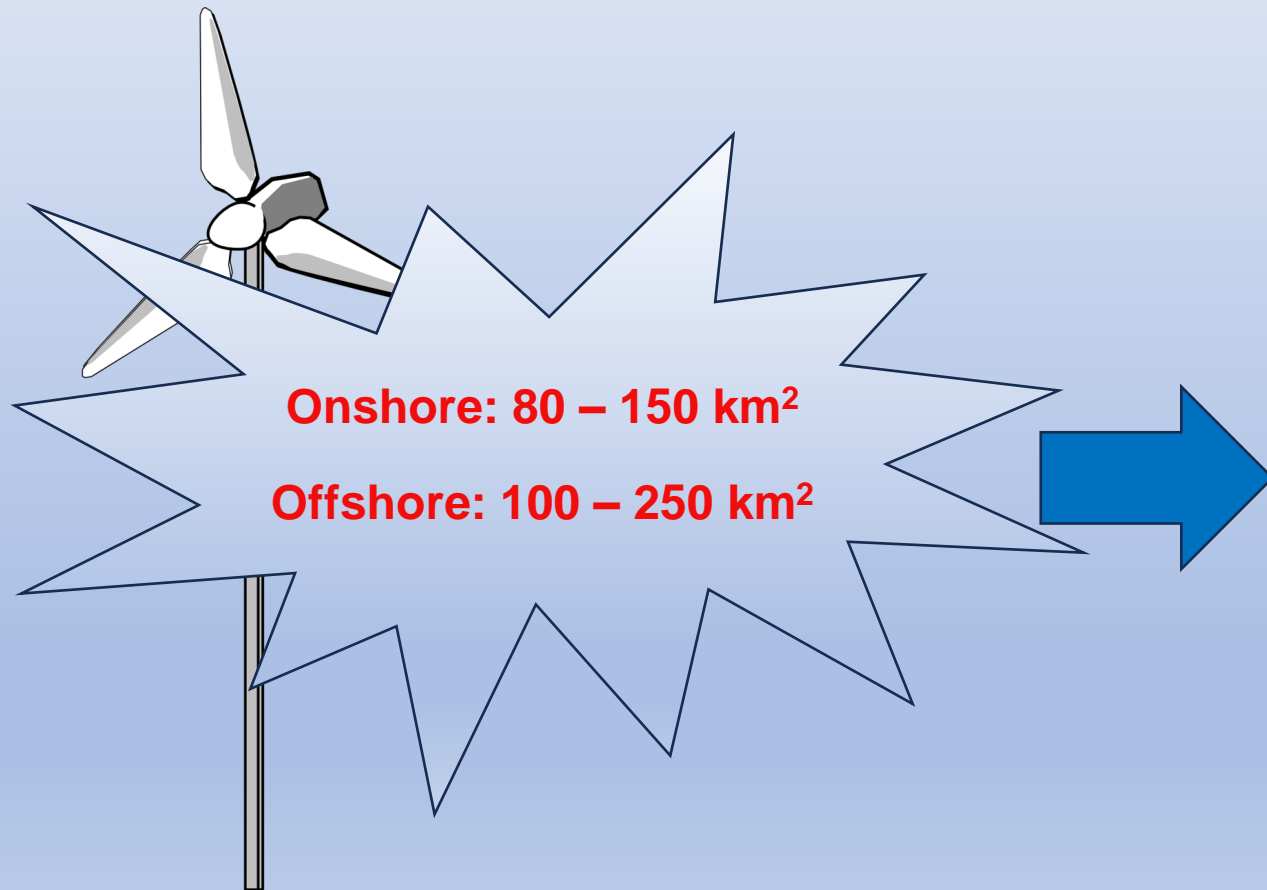
Gewonnene elektrische Leistung im Verhältnis  
zur benötigten Bodenfläche



**Faktor 2500 bis 3300 besser**

# Leistungsdichte

Vergleich benötigte Bodenfläche bei **500 MW Leistung**



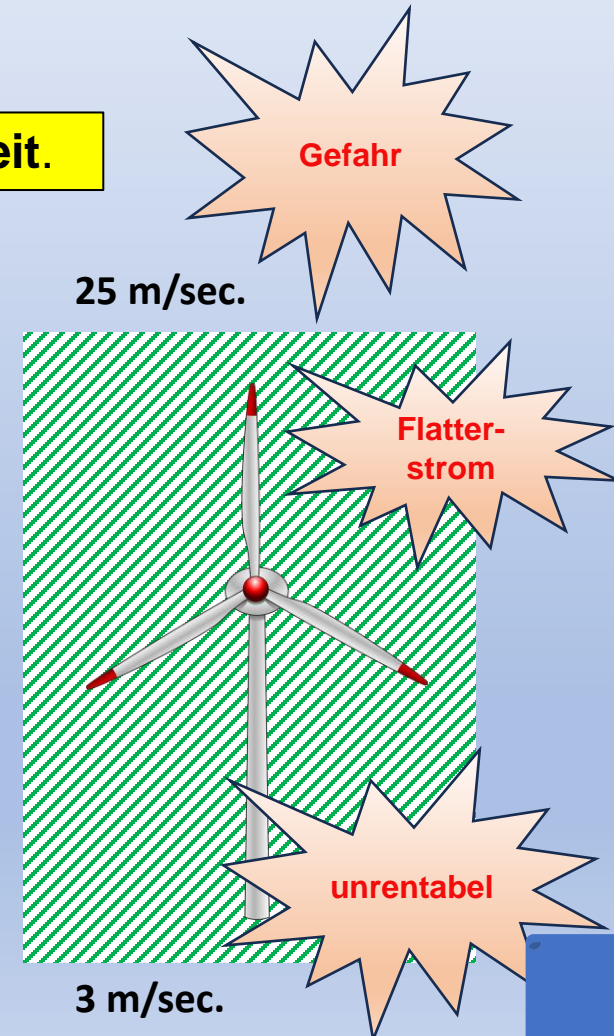
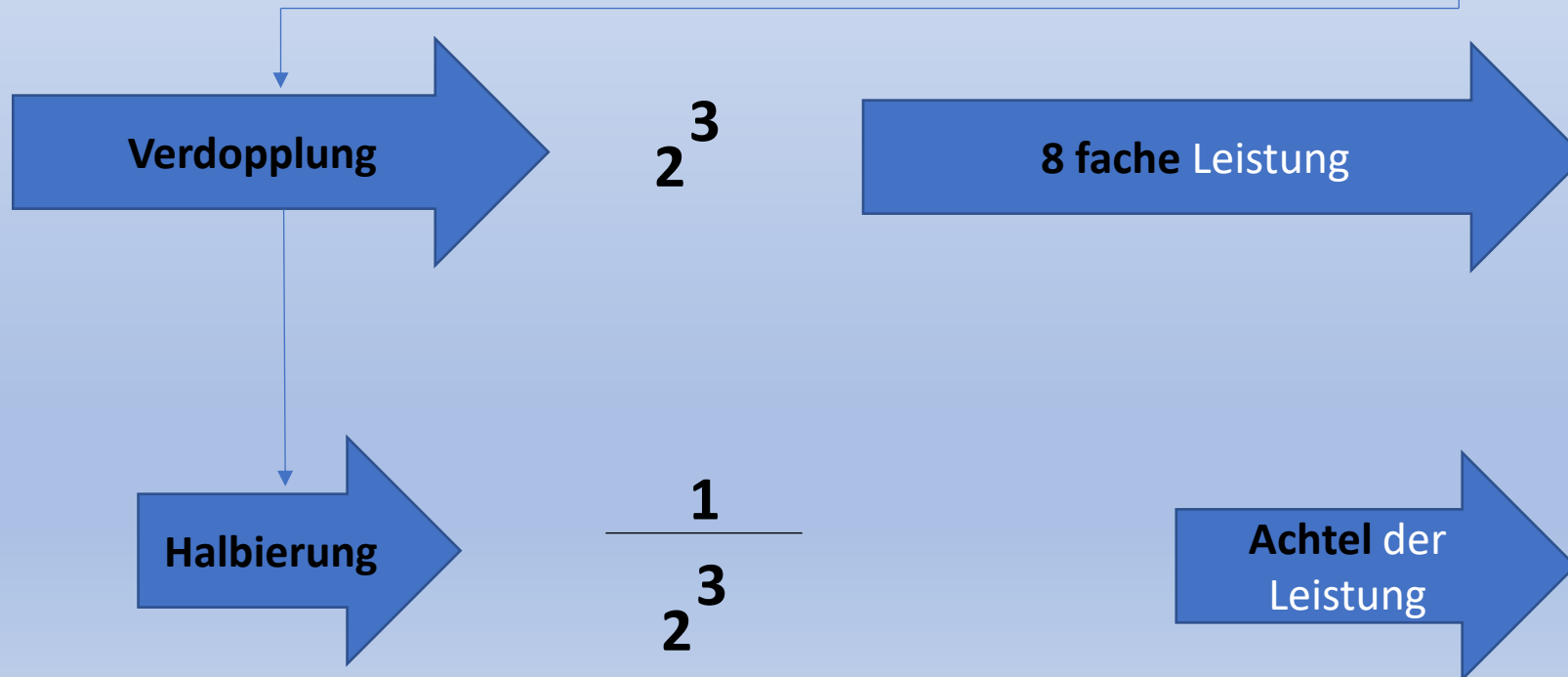
**500 MW benötigte Fläche: 50.000 bis 150.000 qm**



# Leistungsdichte

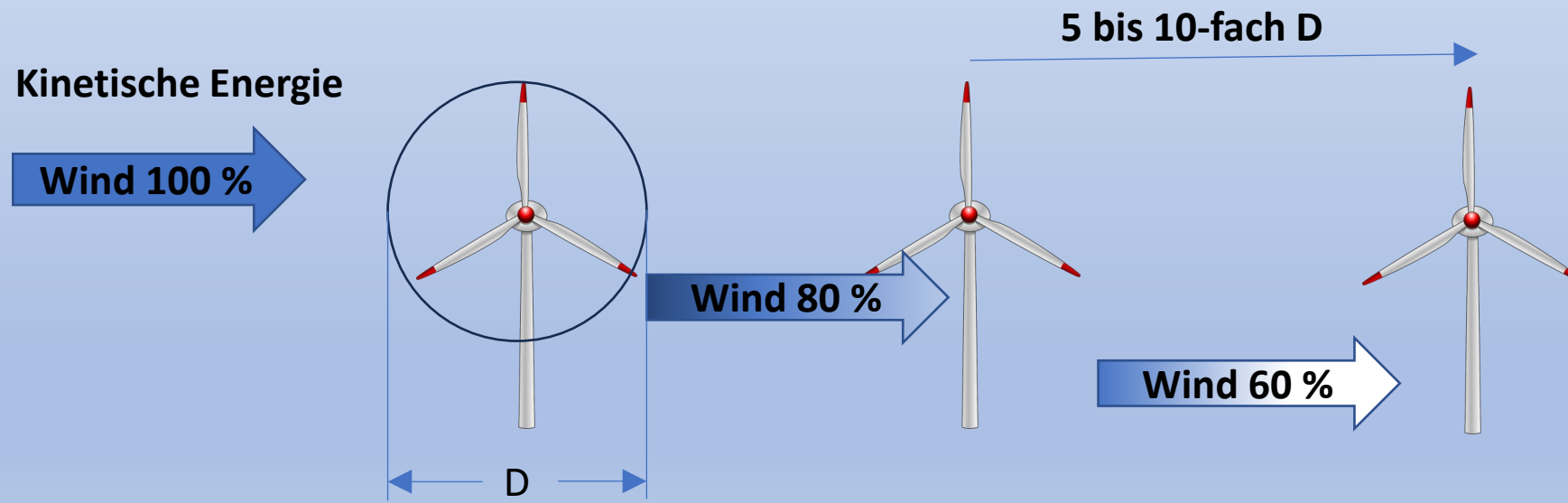
## Kinetische Energie

Die kinetischer Energie wächst mit der dritten Potenz der **Windgeschwindigkeit**.



## Kinetische Energie (Verschattung)

**Verdopplung** bzw. **Verdreifachung** der Anzahl WKAs bringt nicht automatisch **doppelten** oder **dreifachen** Ertrag -> Nachlaufverluste!

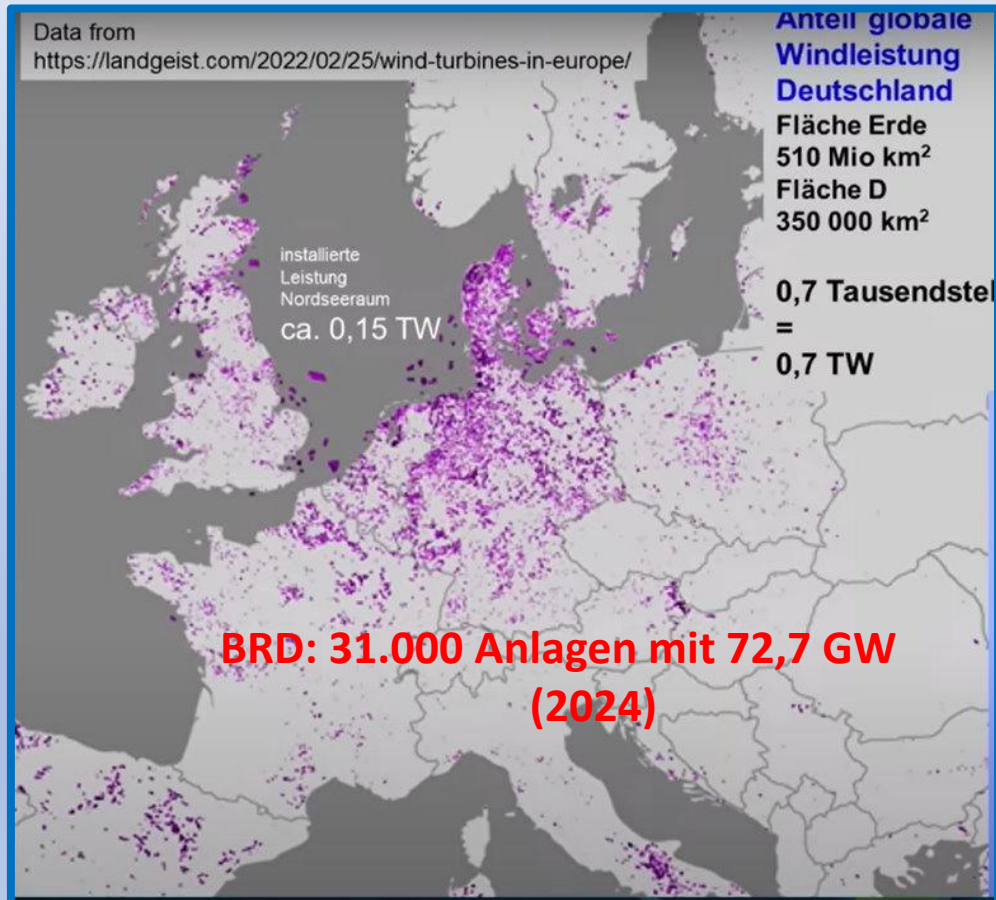


Reihenschema



# Leistungsdichte

## In Deutschland



## Windkapazität ist limitiert!!

Zur Verfügung stehen in D max. 0,7 TW an Windenergie

**Danach käme der Wind zum erliegen**

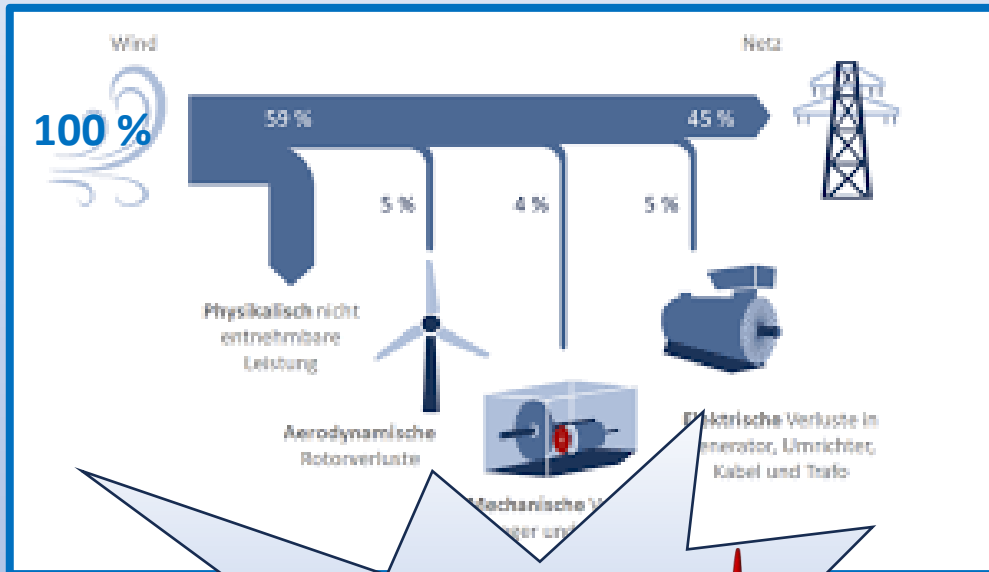
Dramatische Folgen für örtliche Wetterverhältnisse (Trockenheit, Nässe...??)

3

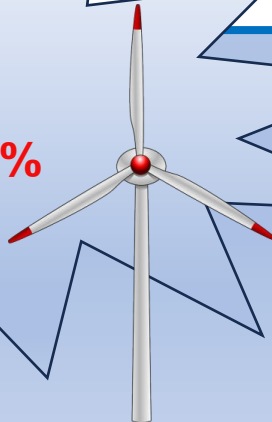
**Wirkungsgrad**

# Wirkungsgrad

Definiert das Verhältnis von abgegebener Energie zur zugeführten Energie.



**WKA**  
**30 – 45 %**



**Gaskraftwerk**  
**55 – 63 %**

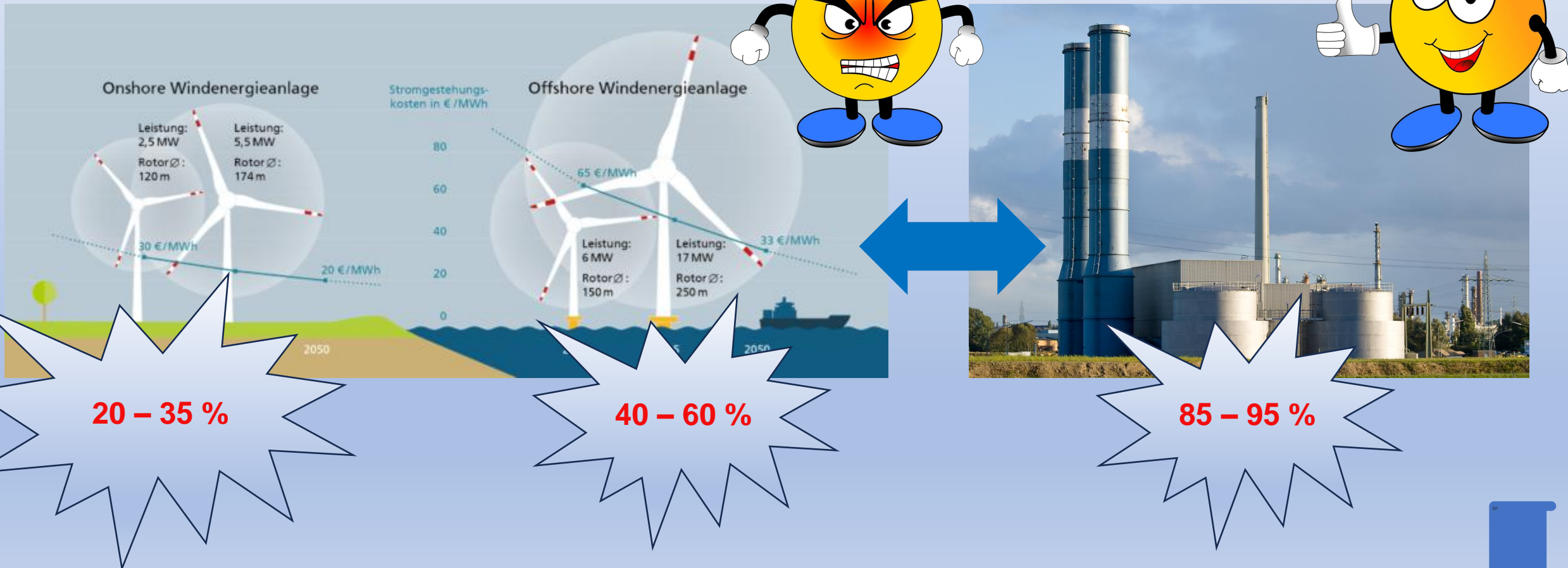


4

**Nutzungsgrad**

# Nutzungsgrad

Definiert die durchschnittliche Betriebsdauer



5

**Umweltbelastung**

# Umweltbelastung

## Flächenverbrauch und Landschaftsveränderung



Abbildung 2: Windpark Stillfüssel: Die Fläche für den Aufbau ist noch nicht wieder bewachsen (Inbetriebnahme Q1/2018) und beträgt ca. 0,9 ha (1) (2)

Der Wald ist nicht nur CO2 Speicher!

Er ist Wasserspeicher

Er ist Klima- und Temperaturregler

Er liefert Nahrung für Tiere

Er ist ein Habitat für Tiere (Größere Tiere meiden die WKA - Flächen)



# Umweltbelastung

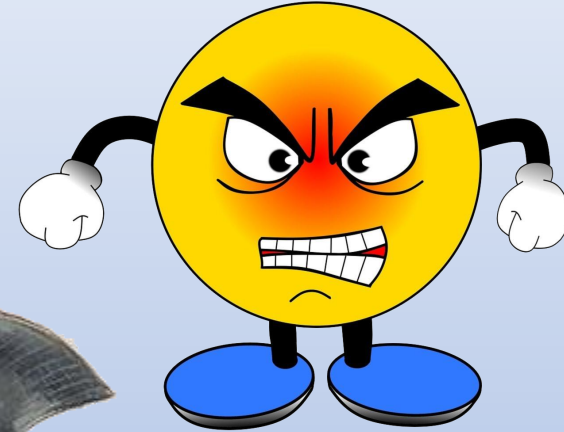
## Eingriff in Ökosystem & Artenschutz



250.000



300.000



**Vogelschlag:** Vögel und Fledermäuse kollidieren mit Rotorblättern, vor allem **Greifvögel**. Besonders gefährdet davon sind **Mäusebussard**, **Rotmilan**, **Seeadler** und **Wanderfalke!**

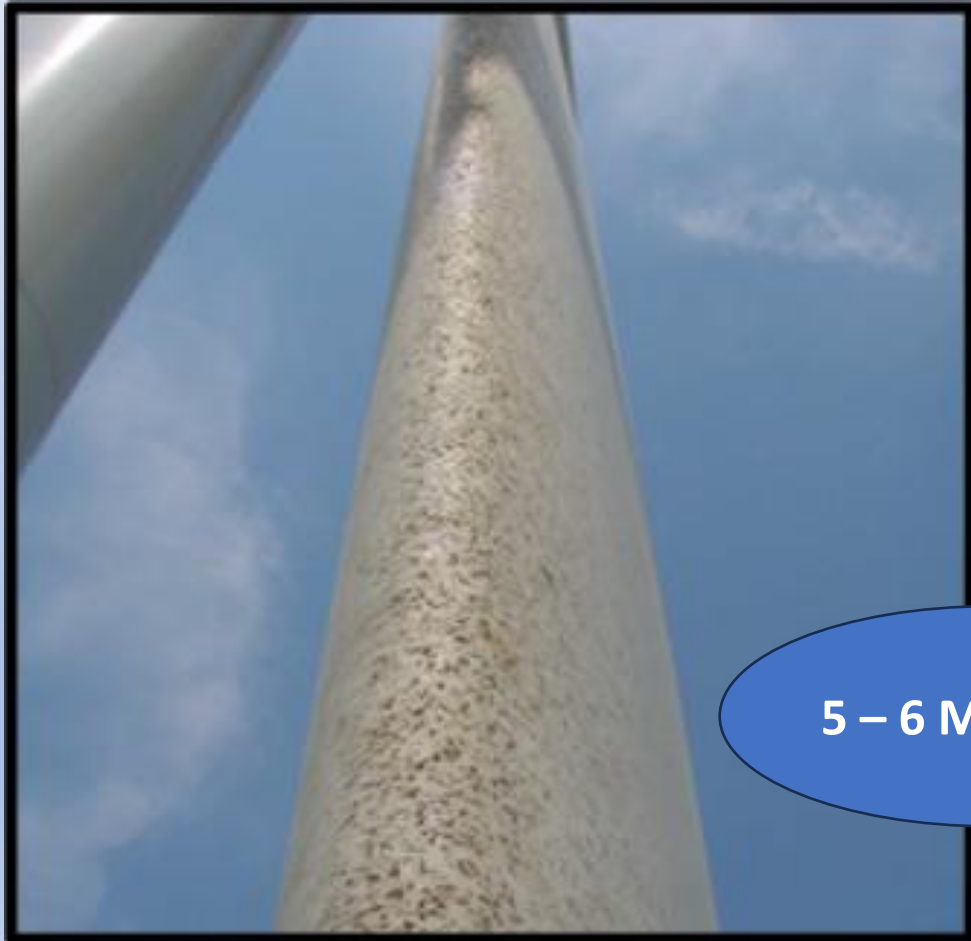
Aber auch **Störche** und **Singvögel**.

Besonders wandernde **Fledermäuse** wie Großer Abendsegler, Rauhaufledermaus und Kleinabendsegler sind betroffen.



# Umweltbelastung

## Eingriff in Ökosystem & Artenschutz



5 – 6 Milliarden

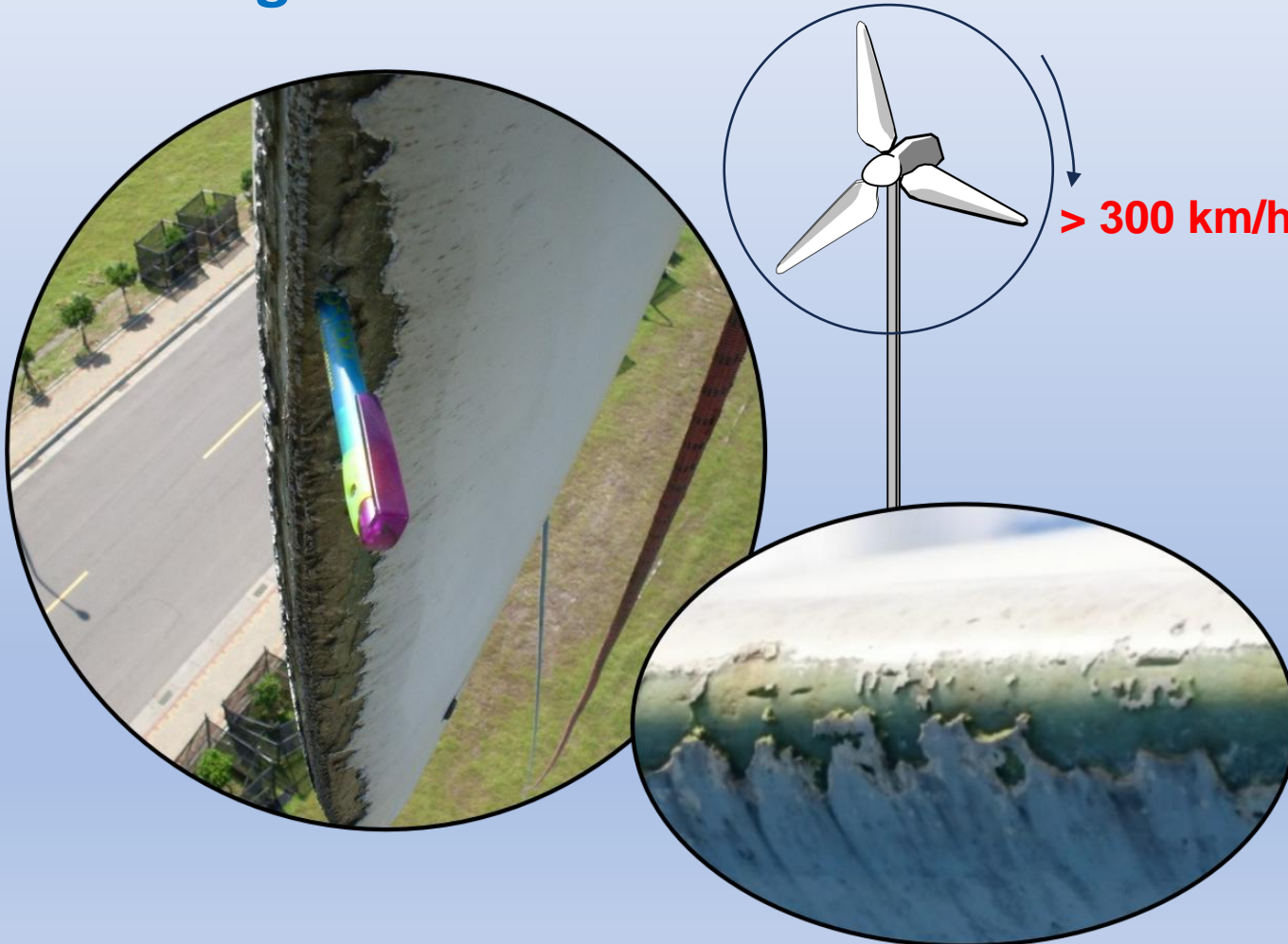
**Insekten:** Windkraftanlagen können auch **Insekten** gefährden!

**Besonders betroffen:** Fluginsekten wie **Schmetterlinge**, **Käfer** & **Bienen**. Die Auswirkungen sind verringerte Bestäubung, Störung von Nahrungsketten..



# Umweltbelastung

## Umweltgifte durch Abrieb



### Erosion an der Vorderkante:

Windkraftanlagen tragen durch **Erosion** der Vorderkante von **mikro- und nanoskaligen** Partikeln in die Umwelt ein.

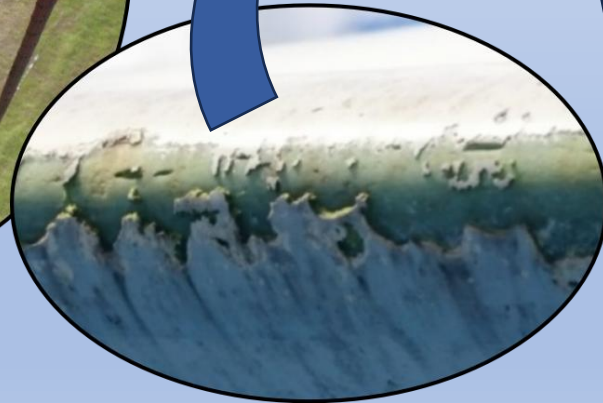
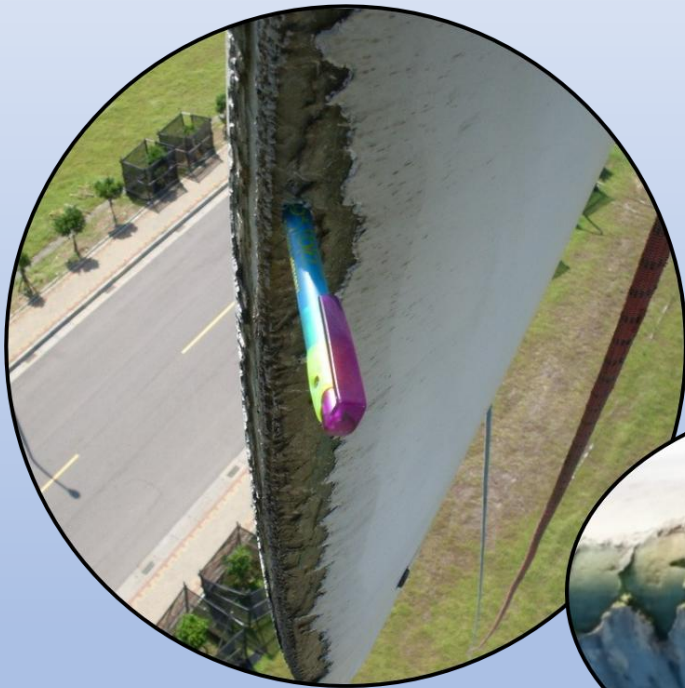
Die Rotorblätter sind hohen **aerodynamischen** Belastungen und Umwelteinflüssen ausgesetzt wie

**UV-Strahlung, Wind, Hagel, Eis, Starkregen, Temperaturwechsel, Blitzeinschlägen**

und großflächigen Insektenschlägen und -verklebungen an der Oberfläche ausgesetzt!

# Umweltbelastung

## Umweltgifte durch Abrieb (Mikroplastik)



30-150 kg / Jahr  
und Anlage

0,6 - 3 to  
in 20 Jahren

Symbolbild



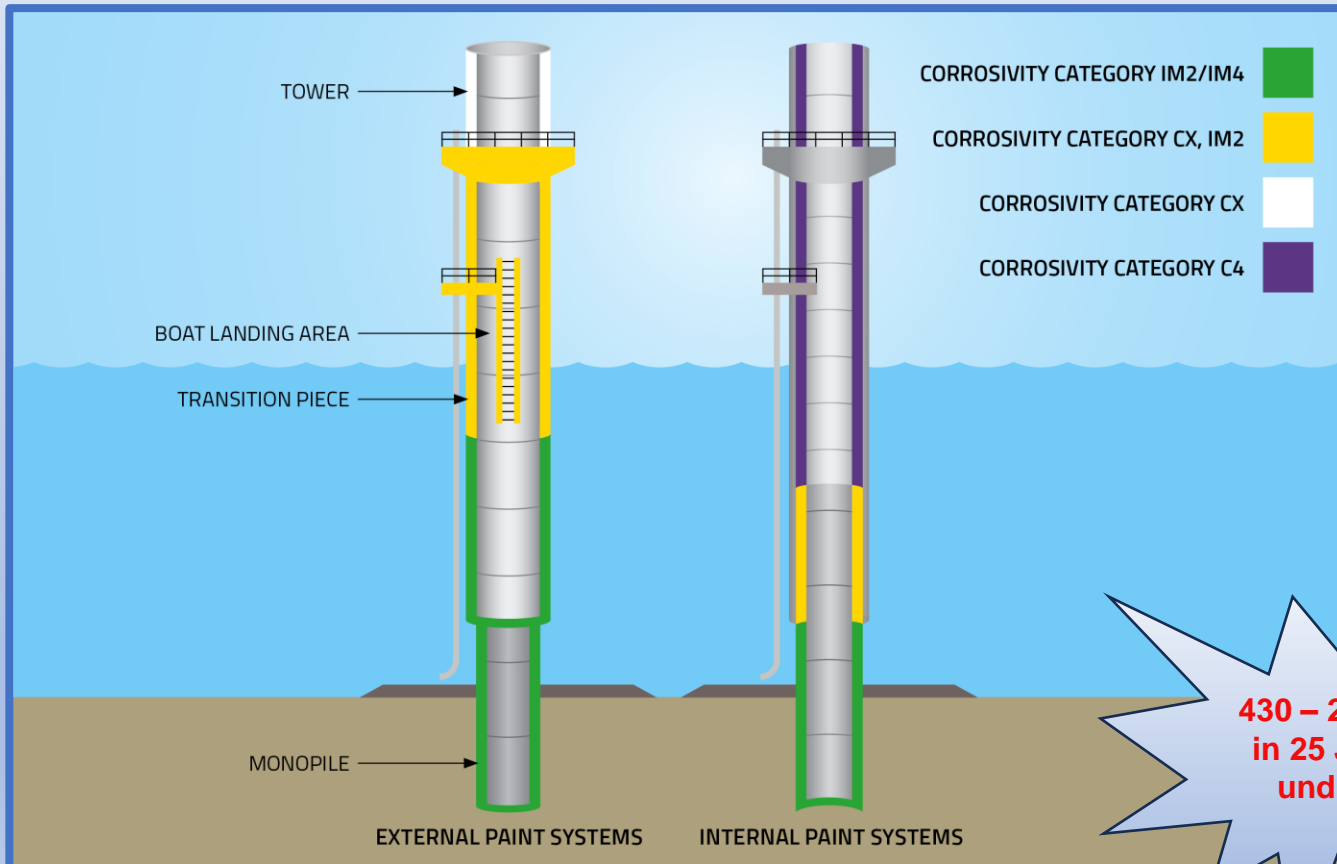
60 Tsd. To in 20  
Jahren und bei  
30.000 Anlagen

~1,5 to



# Umweltbelastung

## Umweltgifte durch Farb-Abrieb



Das Leichtweiß-Institut für Wasserbau (LWI) hat erstmals systematisch untersucht, wie sich diese **Farbpartikel im Meer** ausbreiten.

**Die Ergebnisse sind alarmierend:** Ein einzelner Windpark **mit 250 Megawatt** Leistung könnte

**Gesamt:**  
 15,5 – 79,2 to  
 in 25 Jahren

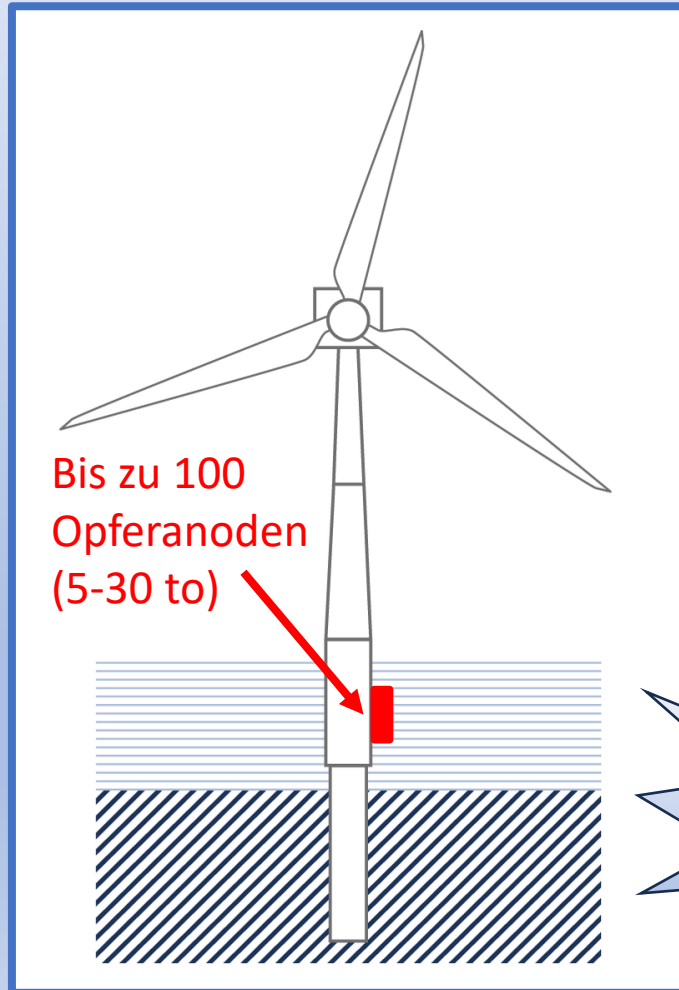
**430 – 2.200 kg**  
 in 25 Jahren  
 und Park

**Nord-Ostsee:**  
 9,1 GW  
 36 Parks  
 á 250 MW



# Umweltbelastung

## Umweltgifte durch Opfer-Anoden



Eine Legierung aus „unedlen“ Metallen wie **Aluminium, Zink, Cadmium, Blei, Magnesium, Indium, Gallium** als **Block** an den zu schützenden Teilen vor „Verrosten“



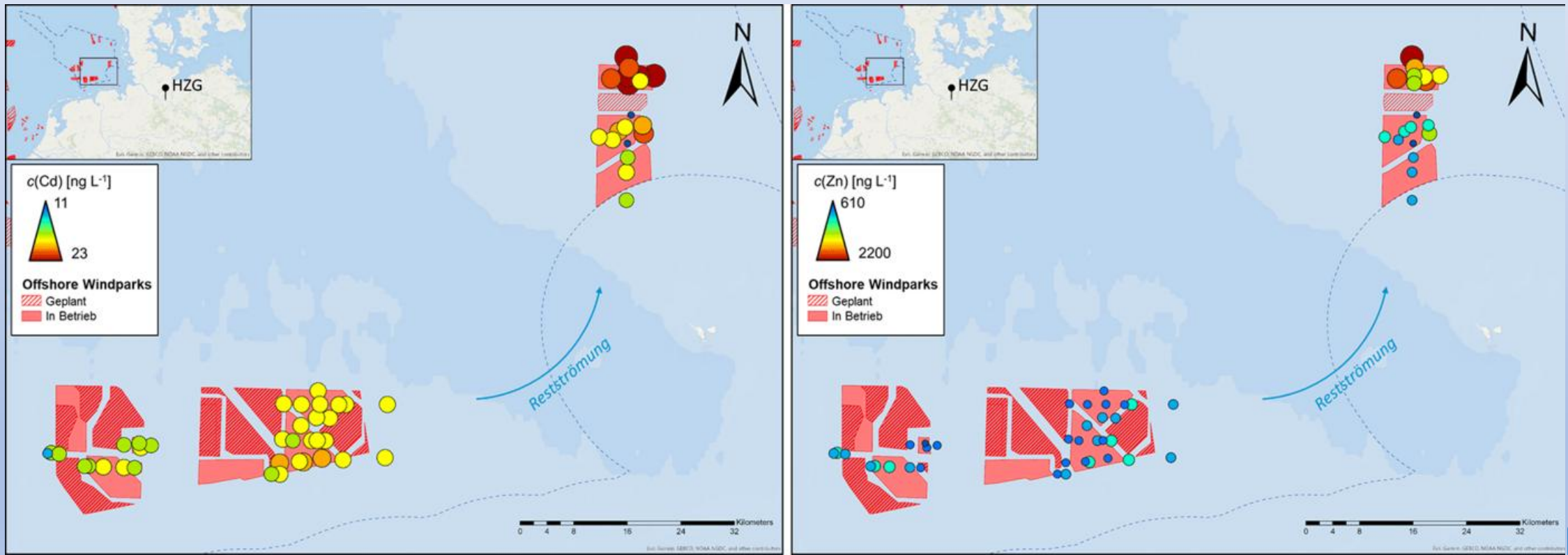
Die Legierungen werden **leitend** mit den Funktionsteilen verbunden und schützen die Bauteile aus Eisen oder Stahl vor dem Verrosten. Denn statt der Funktionsteile **geben nun die Opferanoden Elektronen** ab, werden **oxidiert und gehen in Lösung (Meer)**. Die Bauteile der Windkraftanlagen bleiben dadurch in ihrer Funktion länger erhalten und müssen nicht so bald ersetzt werden

Das unedlere Metall wird dabei allerdings **allmählich aufgelöst**, also „geopfert“.



# Umweltbelastung

## Umweltgifte durch Opfer-Anoden -> Schwermetalle



Quelle: Helmholtz Zentrum Geesthacht

# Umweltbelastung

## Umweltbelastung durch klimaschädliche SF<sub>6</sub> Gase

30.243 WKA

~ 106.000 PKWs

PKW  
 1,5 – 2 to CO<sub>2</sub>  
 & Jahr

In Windkraftanlagen befinden sich häufig **klimaschädliche Gase** in den **Schaltanlagen und Transformatoren**, insbesondere das **Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>)**.

**Extrem klimaschädlich:** SF<sub>6</sub> hat ein **Treibhauspotenzial** von **23.500** über 100 Jahre (laut IPCC), das heißt, **1 kg SF<sub>6</sub> wirkt wie 23.500 kg CO<sub>2</sub>**.

### Sehr langlebig:

Es verbleibt **mehrere Tausend** Jahre in der Atmosphäre.

### Wird kaum abgebaut:

Es reichert sich an und trägt langfristig zur **Erderwärmung** bei.

### Beispiel:

Eine moderne **Offshore-Windkraftanlage** mit **8–10 MW Leistung** kann in ihrer **gasisolierten Schaltanlage** etwa **20–30 kg SF<sub>6</sub>** enthalten. Schon **1 kg SF<sub>6</sub>** entspricht **klimatechnisch ~23,5 Tonnen CO<sub>2</sub>** – das heißt, eine Anlage kann das **Treibhauspotenzial von über 500–700 Tonnen CO<sub>2</sub>** in sich tragen. – Leckage: **0,5 – 1% / Jahr /Anlage**

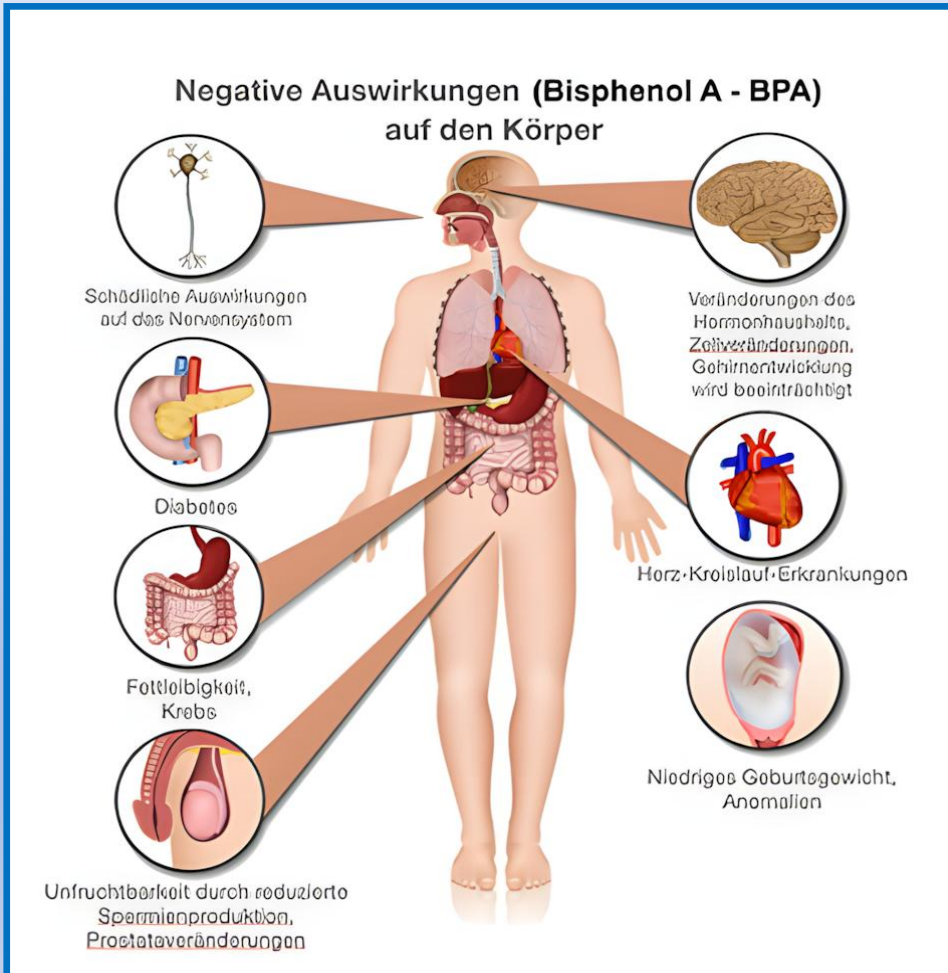
Leckage:  
 5 – 7 to CO<sub>2</sub>  
 pro Anlage  
 & Jahr

6

**Gesundheitsbelastung**

# Gesundheitsbelastung

## Umweltgifte durch Abrieb (Mikroplastik inkl. Bisphenol A)



### Partikel in Mikro- und Nanogröße

Solche Partikel, die BPA-verwandte Substanzen enthalten, schützen die darin enthaltenen Chemikalien und schützen sie vor Abbau, während sie in den Partikelmaterialien verbleiben, und werden wie ein Trojanisches Pferd durch Organismen in die Nahrungskette freigesetzt, wenn sie mit ihrem **Verdauungssystem** in Kontakt kommen.

Es ist auch besorgniserregend, dass die Forschung zeigt, dass **BPA Organismen generationsübergreifenden** Schaden zufügt, wie eine kürzlich durchgeführte Studie an Regenbogenforellen zeigt.



# Gesundheitsbelastung

## Umweltgifte durch Abrieb (PFAS = Per- und Polyfluoralkyl-Substanzen)

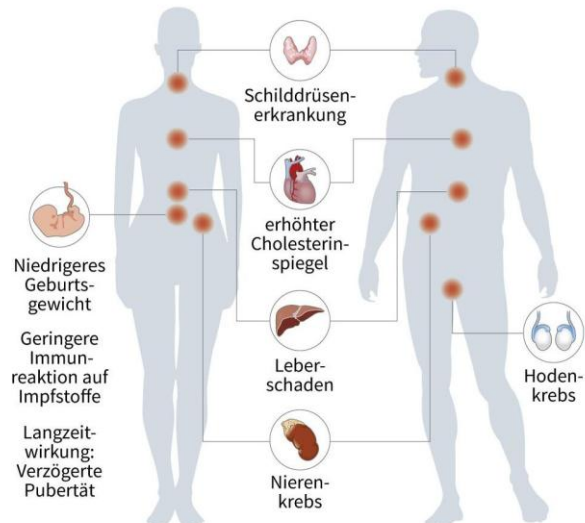
### „Ewige Chemikalien“ PFAS

Per- und polyfluorierte Chemikalien (PFAS) sind eine Stoffgruppe mit schätzungsweise 10 000 verschiedenen Stoffen. PFAS sind langlebig und auf der ganzen Welt nachzuweisen

#### PFAS nachgewiesen in ...



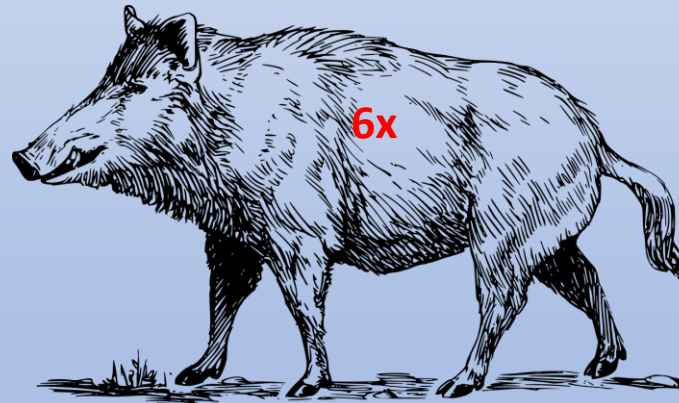
#### Effekte auf die menschliche Gesundheit



Quelle: European Environment Agency

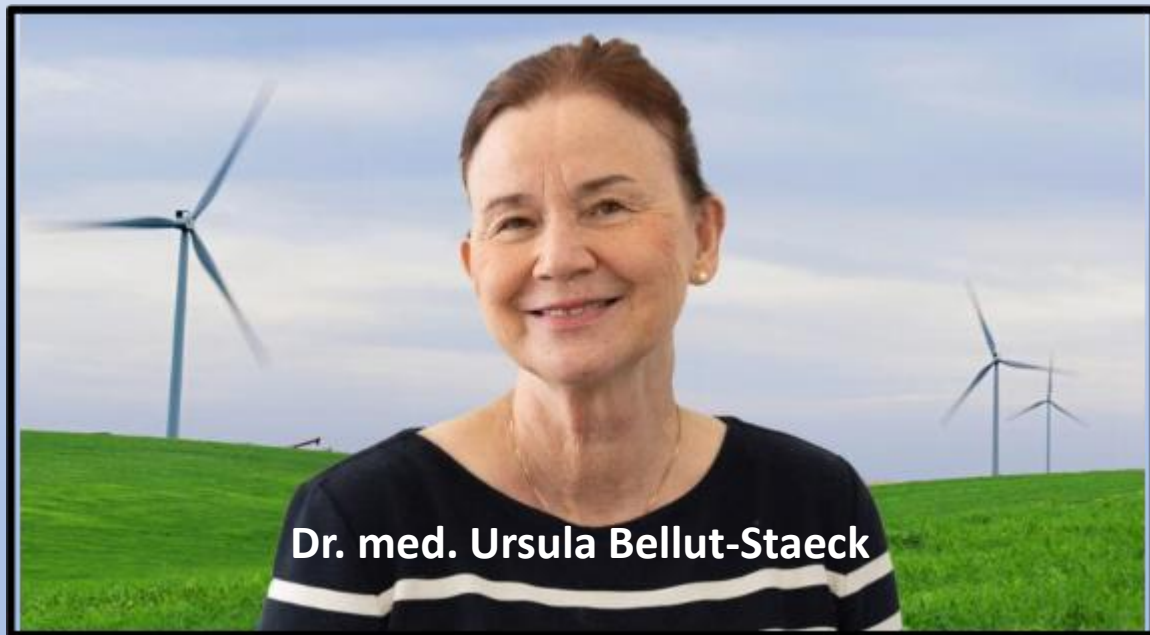
AFP

PFAS stehen im Verdacht, **krebserregend** zu sein.



# Gesundheitsbelastung

## Gesundheitsschäden durch Infraschall

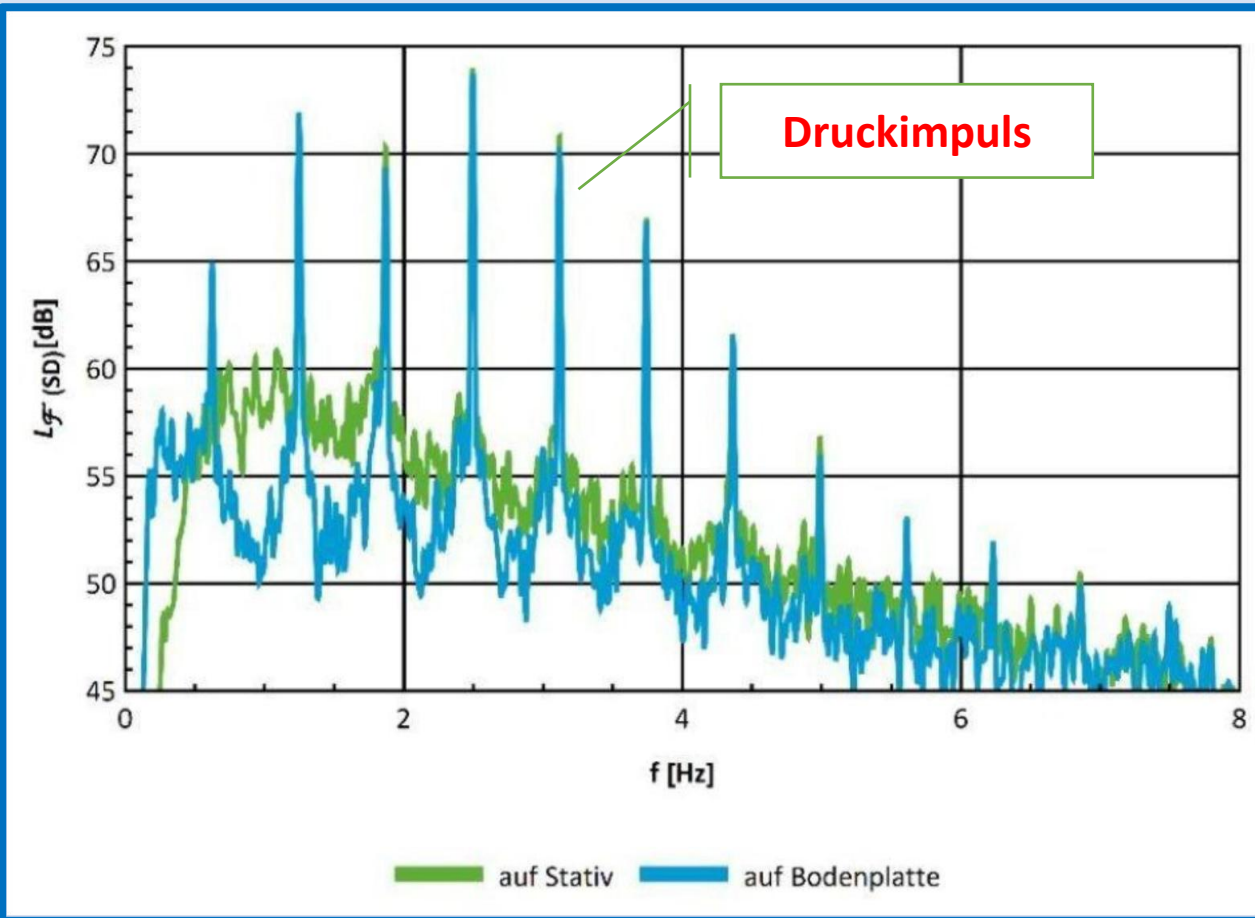


Windkraftanlagen erzeugen Infraschall. Dieser hat eine **Frequenz von unter 20 Hertz**, weshalb der Mensch ihn in der Regel nicht hören kann.

Deswegen stellt der Infraschall durch Windkraftanlagen aus Sicht der Fachärztin Dr. med. Ursula Bellut-Staeck eine besondere **Gefahr für alle Organismen** dar.

# Gesundheitsbelastung

## Gesundheitsschäden durch Infraschall



Untersuchungen der **Dr. Kühner GmbH** im Auftrag des **Umweltbundesamtes** (UBA), haben folgendes ergeben:

Windräder erzeugen nicht von sich aus Töne, aber jedes Mal wenn ein Rotorblatt am Mast vorbeigeht, entsteht ein **Druckunterschied**.

Dieser **Druckimpuls** hat steile Flanken und breitet sich als Infraschall aus. Die steilen Flanken des Druckimpuls haben zur Folge, dass auch sogenannte Oberwellen entstehen.

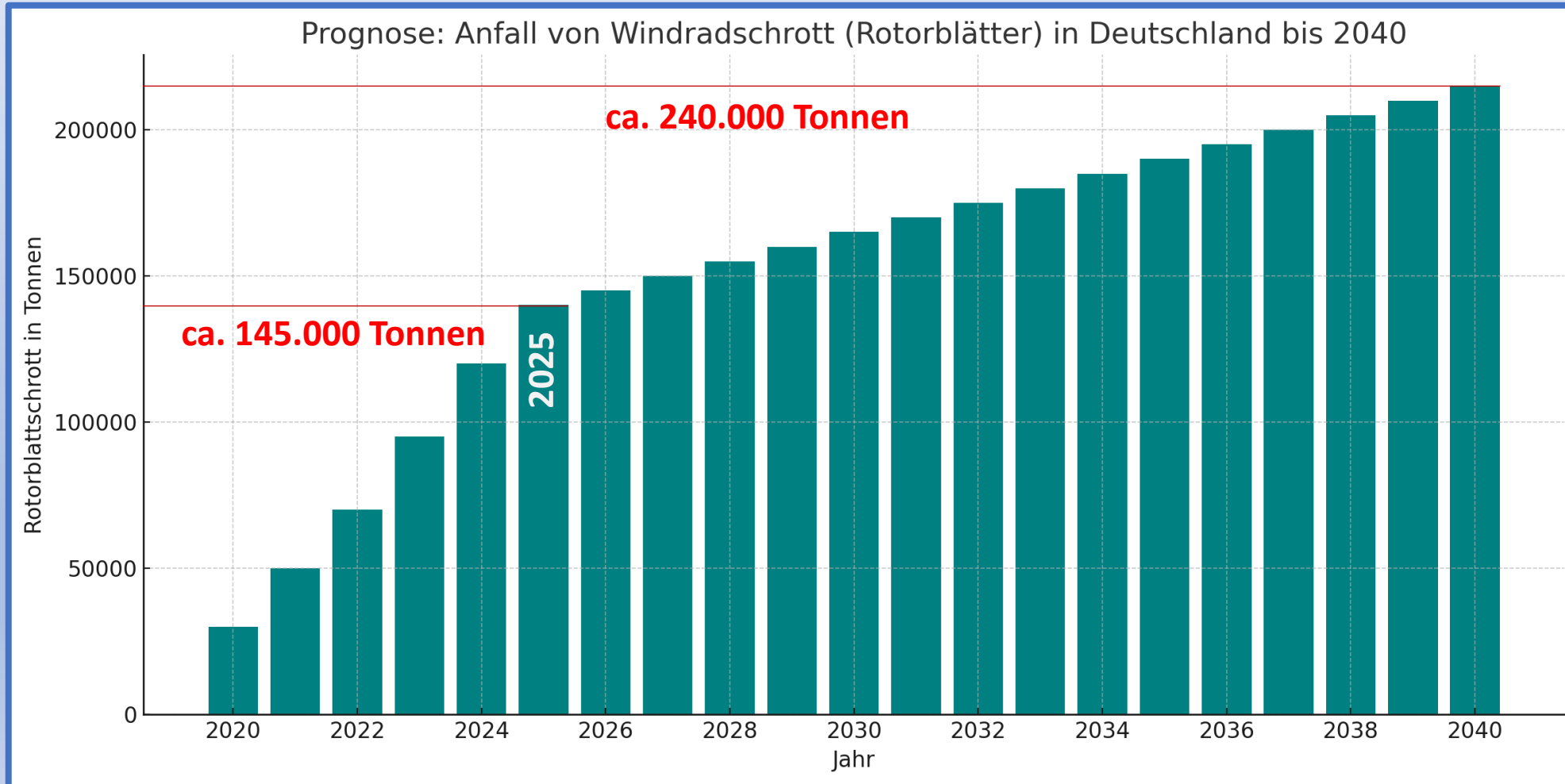
Die Untersuchungen haben ergeben, dass dieses "Klangspektrum" der Windkraftanlage auch in **1.000 – 1500 Metern Entfernung noch messbar** ist.

7

## Entsorgung & Recycling

# Entsorgung & Recycling

## Recycling bzw. Entsorgung



# Entsorgung & Recycling

## Recycling bzw. Entsorgung (Glasfaserstoffe)

Laut TA – **Abfall** dürfen Stoffe mit mehr als **6000 Joule / Kg**. Nicht mehr deponiert werden. Sie müssen thermisch verwertet werden.

- 1 Schreddern** } Extrem Verschleiß- und Energieintensiv!  
-> NEOCOMP -> jedoch ab 2021 nicht mehr!!!!
- 2 Müllverbrennung** } Kritisch wg. Stalaktiten-Bildung aus Glas  
-> Anlagenbeschädigung -> unerwünscht
- 3 Zementindustrie** } Möglich, jedoch keine entsprechende  
Aufbereitung seit 2021 durch Vor-Unternehmen  
(siehe Pkt. 1)

# Entsorgung & Recycling

## Recycling bzw. Entsorgung



Teile von Windkraftanlagen lassen sich recyceln, andere allerdings nicht. Sie verschwinden in einem „**Massengrab**“.

**Chem. Auflösung im  
Boden von  
Giftstoffen?**

# Entsorgung & Recycling

## Recycling bzw. Entsorgung (Glasfaserstoffe)

Symbolfoto



Neueste Info aus Frankreich:

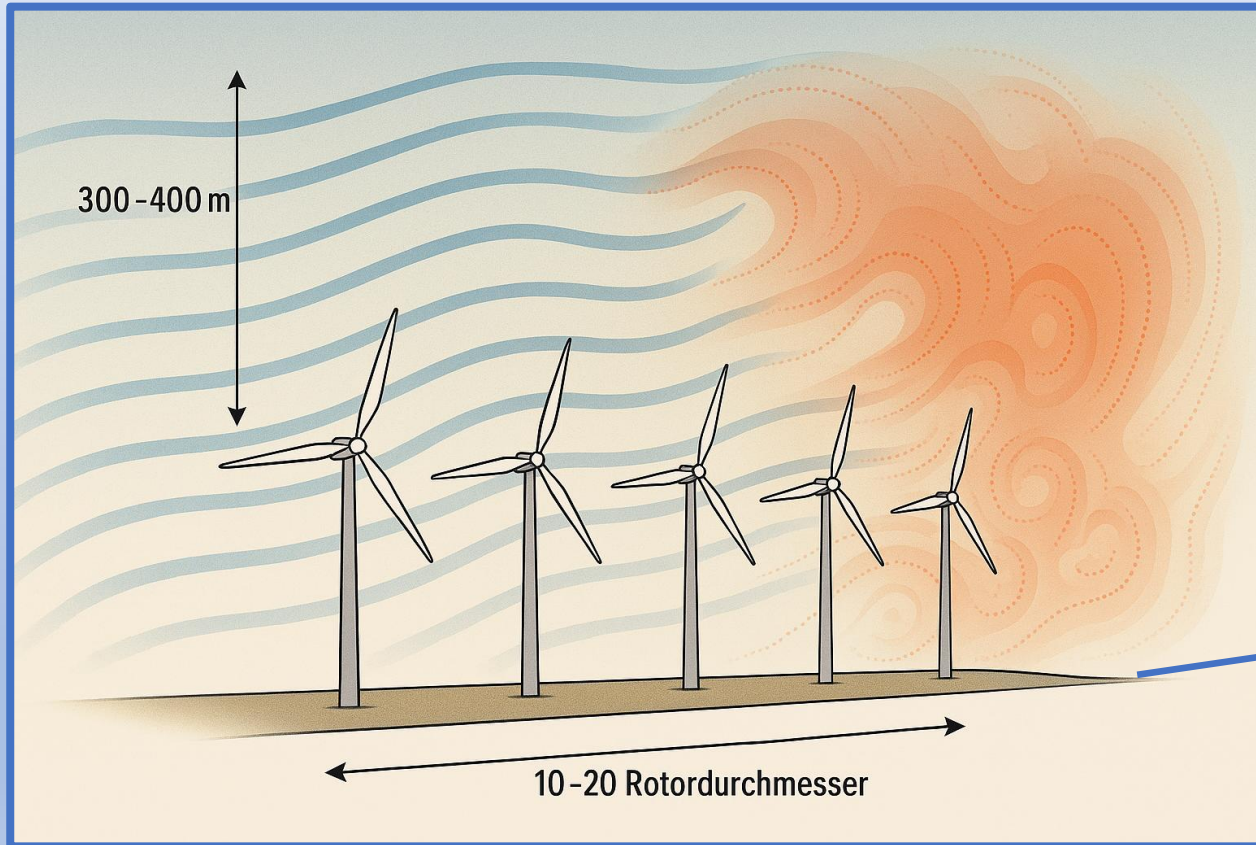
**Verklappung im Meer!**

8

## Klima & Vegetation

# Klima & Vegetation

## Luftströmungen (Wake Effekt)



Onshore: 1,5 km  
Offshore: 50 km

Feuchte  
Luft

Trockene  
Luft

Dürre



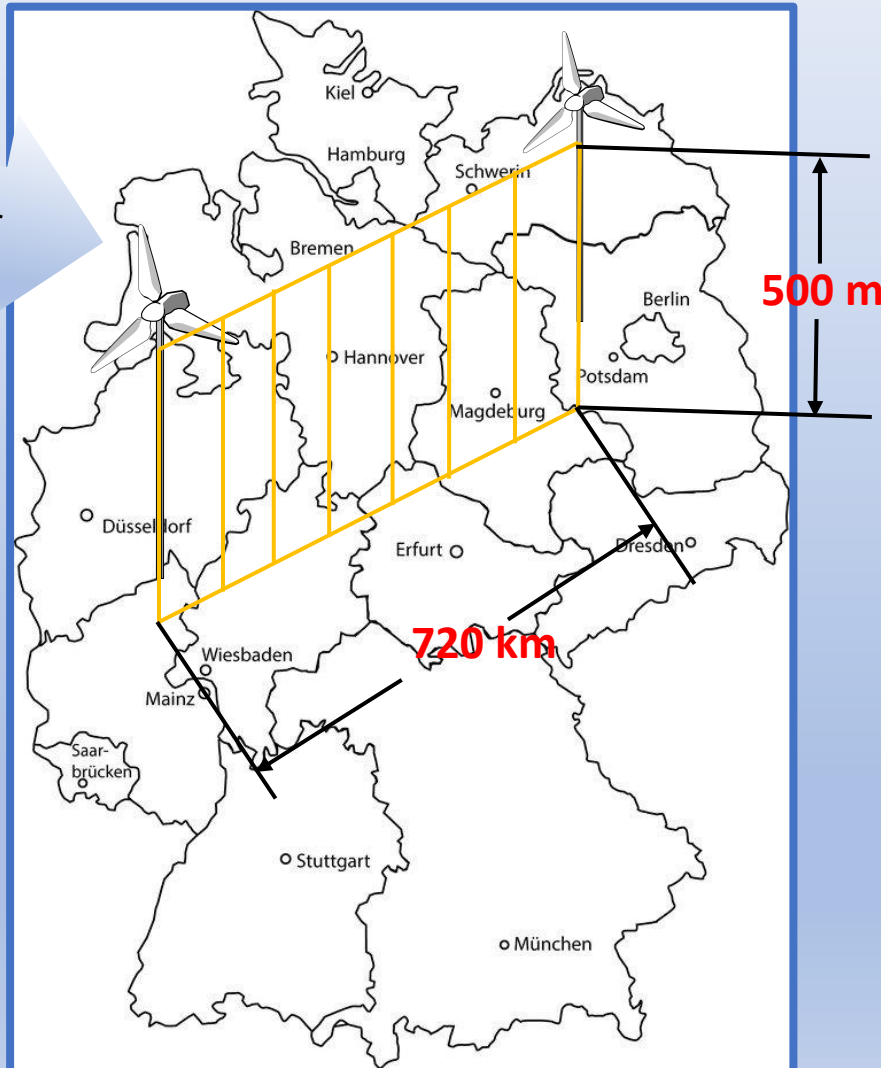
# Klima & Vegetation

## Fazit

### 30.000 Onshore Anlagen:

Bei einer typischen Blattlänge der Rotoren von **62 Metern** ergibt sich eine Kreisfläche von **12.000 Quadratmetern** je WKA und von **360 Quadrat-Kilometern** bezogen auf 30.000 Anlagen.

Nord West



„Eine Wand dieses Ausmaßes quer durch Deutschland, mit **720 Kilometern Länge**... würde einen **halben Kilometer hoch** reichen.“

Diese Rechnung von Michael W. Alberts zeigt anschaulich das **Potenzial** für eine (Wind-) **Klimawirksamkeit** der installierten Windräder.“

## Temperaturänderung (Bodennähe)

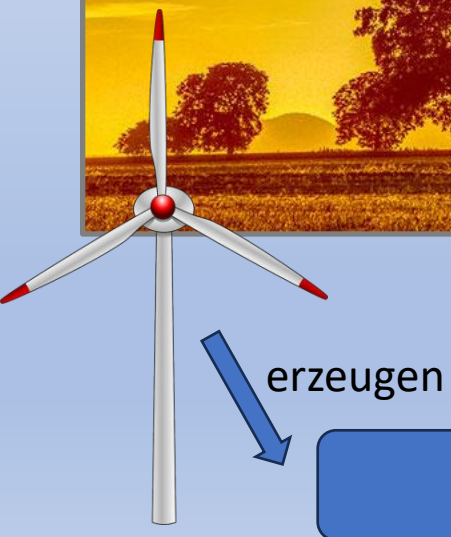


### Änderung der Temperatur in Bodennähe:

Studien haben gezeigt, dass Windparks die bodennahe Lufttemperatur leicht verändern können.

Eine bekannte Studie von Zhou et al. (2012) beobachtete in Texas eine Erhöhung der nächtlichen Temperatur um bis zu

**0,72 °C in Windparkgebieten.**



Luftströmung

führen zu

Feuchtigkeitsverteilung

beeinflussen

Vegetation

# Klima & Vegetation

## Vegetation (Bodennähe)

China-Studie 22 Jahre  
2404 Windparks  
108361 WKA

Unsere Ergebnisse  
verdeutlichen, dass die  
Entwicklung der Windkraft  
tiefgreifende ökologische  
Folgen hatte.

Biomasse

Photo-  
synthese

-53%  
bis  
-64%

Die Kohlenstoffsinken im Wald nehmen im Umkreis von 0 –20 km um **12.034** Tonnen ab, was zu einem durchschnittlichen wirtschaftlichen Verlust von **\$1,81 Millionen** (pro to CO2 150 \$) pro Windpark führt.



9

## Kosten & Wirtschaftlichkeit

# Kosten & Wirtschaftlichkeit

## Kosten & Subventionen (4,5 MW Anlage)

Herstellkosten pro MW in Millionen Euro	1,5	6.750.000,00 €
Wartungskosten / Jahr 2-3 % / 25 J	2,5 %	4.218.750,00 €
Rückbaukosten 5 - 10%	7,5 %	506.250,00 €
<b>Summe</b>		<b>11.475.000,00 €</b>
Theor. Auslastung in Stunden		8760
Real. Auslastung bei 28%		2452
Stromproduktion über Laufzeit	25 J	<b>275.940.000 kWh</b>
<b>Kosten / kWh</b>		<b>0,04 €</b>

## EEG-Subventionen

**+ 15.000.000 €**



**0,10 € /kWh**



**AKW:**

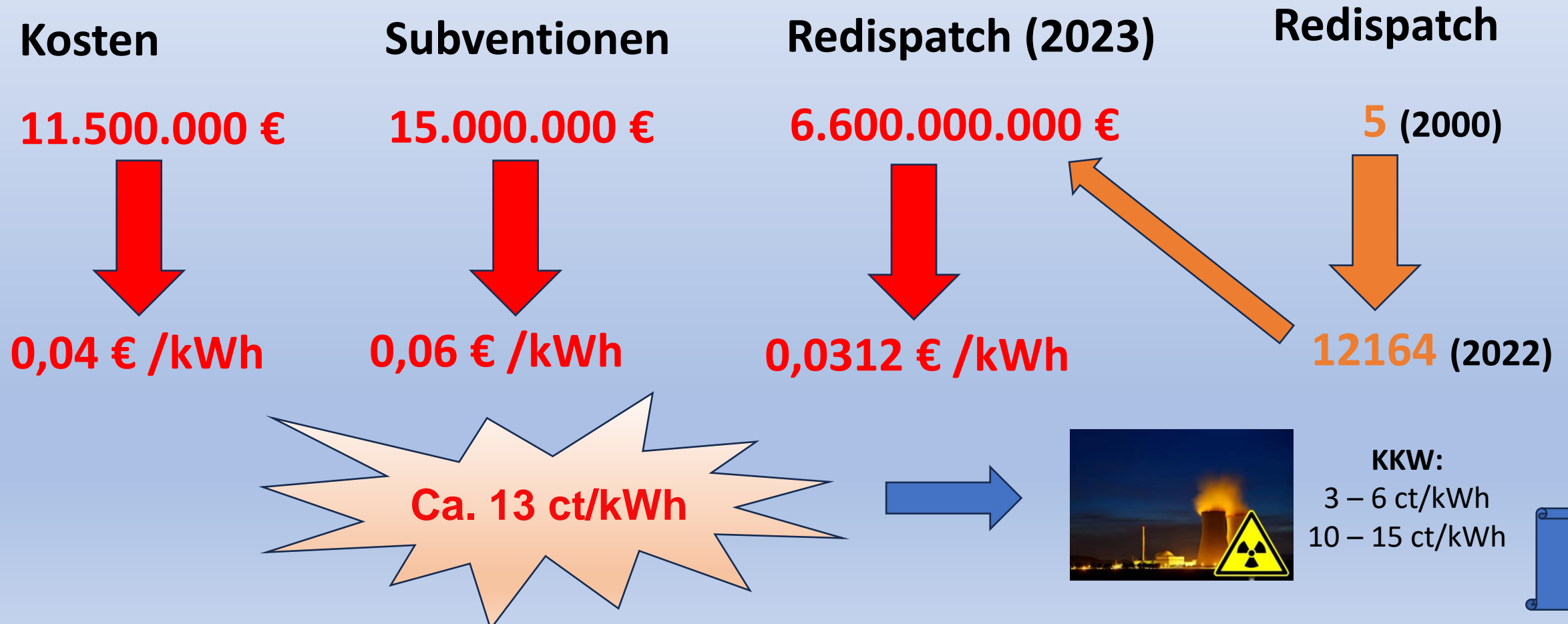
3 – 6 ct/kWh  
10 – 15 ct/kWh

Durchschnittlich:

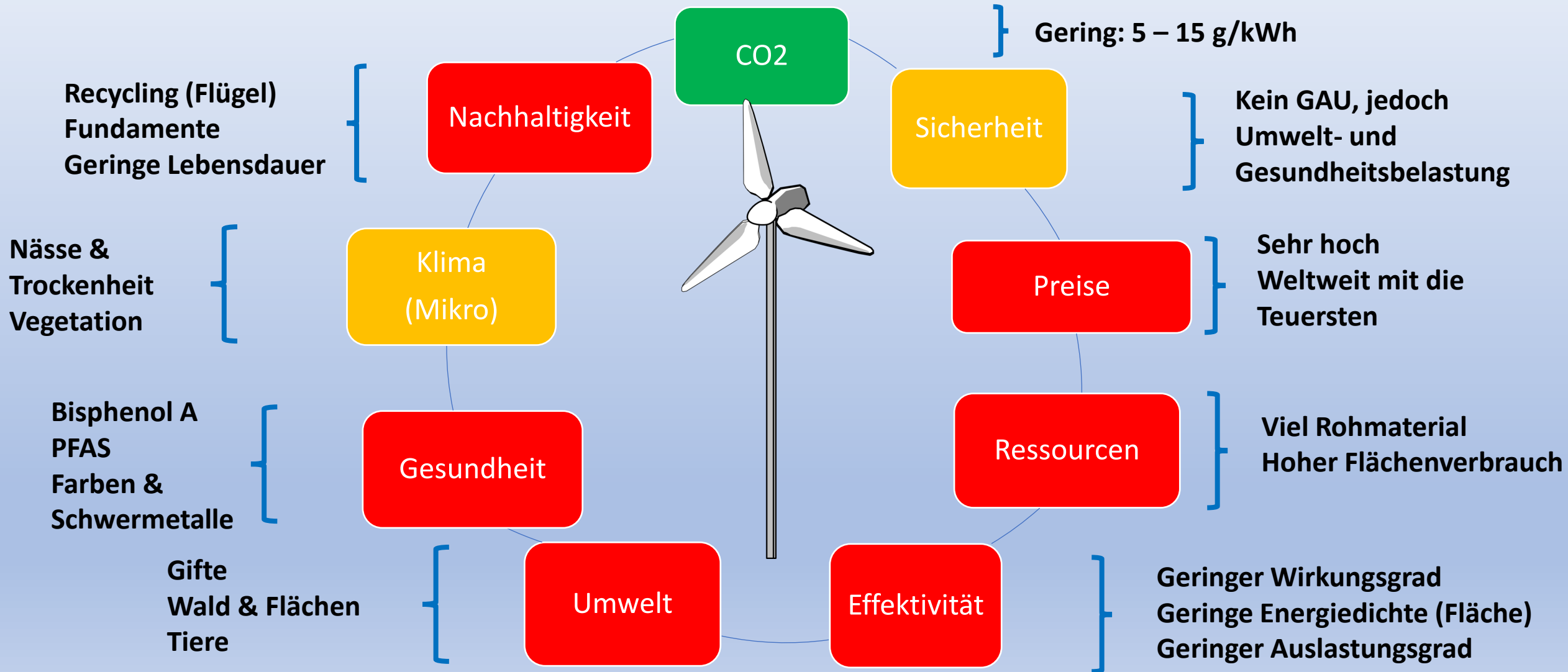
**Onshore:** 3,94 und 8,29 ct/kWh **Offshore:** 7,23 und 12,13 ct/kWh

# Kosten & Wirtschaftlichkeit

## Kosten & Subventionen & Redispatch (4,5 MW Anlage)



# Fazit der Betrachtung!



# Fazit

## Mein persönliches Urteil



# Windkraft

**DANKE für Ihr Interesse**

