

Bürgerforum Energiewende Hessen

# Zur Öko-Bilanz und CO<sub>2</sub>-Bilanz von Windenergieanlagen

Darmstadt /Wiesbaden, 13.10.2023

## 1 Studie des Umweltbundesamts zur Öko-Bilanz von Windenergieanlagen aus dem Jahr 2021

Öko-Bilanzen haben das Ziel, Umweltwirkungen der Stromerzeugung aus Windenergie unter Berücksichtigung der aktuellen technologischen Entwicklungen zu untersuchen. Dabei fließen die relevanten Einflussfaktoren über den gesamten Lebenszyklus in die Bilanz ein. Grundlage für die hier vorgestellten Zahlen und Ergebnisse ist die Studie „Aktualisierung und Bewertung der Ökobilanzen von Windenergie- und Photovoltaikanlagen unter Berücksichtigung aktueller Technologieentwicklungen“<sup>1</sup>.

Bezogen auf Onshore-Windenergieanlagen im Schwachwindgebiet (vergleichbar mit vielen Standorten in Hessen) kommt die Studie zu folgendem Ergebnis:

Pro erzeugter Kilowattstunde Strom ist einer WEA (Onshore, Schwachwindgebiet) ein Treibhauspotenzial von 10,6 g CO<sub>2</sub>/kWh zuzuordnen.

**Tabelle 2: Ergebnisse des Treibhauspotenzials der Windstromerzeugung nach Standort**

Treibhauspotenzial	Ergebnis des Basisszenarios [g CO <sub>2</sub> -Äquivalente/kWh Strom, eingespeist in das deutsche Stromnetz]	Ergebnisbandbreiten [g CO <sub>2</sub> -Äquivalente/kWh Strom, eingespeist in das deutsche Stromnetz]
Offshore	7,3	5,4-11,8
Onshore (Starkwind)	7,9	6,1-11,2
Onshore (Schwachwind)	10,6	5,2-15,6

Tabelle 2 aus UBA-Studie, S. 34

### Wie kommt man zu dem Wert?

Vereinfacht kann man als Vorgehensweise beschreiben: Zunächst wird die Art und Menge der eingesetzten Materialien in der Windenergieanlage und den Kabeln bilanziert (erzeugte Mengen Tonnen CO<sub>2</sub>). Die Recyclingraten z.B. der Metalle am Lebensende werden gutgeschrieben (eingesparte Tonnen CO<sub>2</sub>). Dies wird geteilt durch den Stromertrag über die Lebensdauer der Anlage (erzeugte kWh über Lebensdauer). Die in der Tabelle dargestellten Ergebnisbandbreiten zeigen auf, wie die Werte bei veränderten Annahmen variieren können.

<sup>1</sup> [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-05-06\\_cc\\_35-2021\\_oe-kobilanzen\\_windenergie\\_photovoltaik.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-05-06_cc_35-2021_oe-kobilanzen_windenergie_photovoltaik.pdf) Diese Studie wurde im März 2021 von Sphera Solutions GmbH, Leinfelden-Echterdingen, sowie dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart, im Auftrag des Umweltbundesamts erstellt. Die Studie wurde von externen Experten einer kritischen Prüfung unterzogen („Review Panel“). Diese Experten waren: Prof. Dr. Matthias Finkbeiner, Berlin, Prof. Dr. Marzia Traverso, Aachen, und Prof. Dr. Jens Hesselbach, Kassel.

Abbildung 89: GWP-Ergebnisse der Basisszenarien der durchschnittlichen Windparks pro kWh Strom (eigene Darstellung)

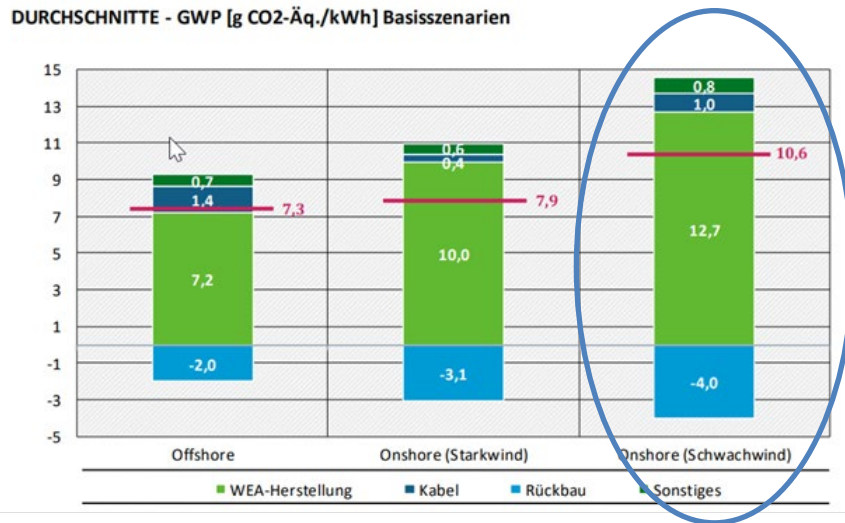


Abbildung 89 aus UBA-Studie, S. 305





Abbildung 89 zeigt: Die **Herstellung der WEA** hat den mit Abstand größten Anteil am Ergebnis für das Treibhauspotenzial<sup>2</sup>. Die **Herstellung der Kabel** hat den zweitgrößten Anteil am GWP. Beim **Rückbau** ergeben sich durch Material-Recycling rechnerische Gutschriften, die in die Gesamtbilanz einfließen<sup>3</sup>. Die Herstellung der Umspannwerke, Logistik, Installation, Nutzung und Wartung sind aufgrund ihres geringen Einflusses unter „Sonstiges“ zusammengefasst und tragen jeweils nur mit einem kleinen Anteil zum GWP-Ergebnis bei. [GWP (Global Warming Potential, dargestellt in CO<sub>2</sub>-Äquivalente / kWh = Treibhauspotenzial.)]





<sup>2</sup> Beton enthält gebrannten Kalk, Kalkstein ist biologischen Ursprungs, besteht aus CO<sub>2</sub> und Calcium. Daher ist das spätere Recycling von Beton von großer Bedeutung.

<sup>3</sup> Diese „Gutschriften“ sind in der Abbildung 89 aus der Studie in Blau mit einem Minus abgebildet, da sie den Anteil an CO<sub>2</sub> reduzieren.

## 2 Energie-Ertrag (erzeugter Strom) und CO2-Ausstoß im Vergleich sowie Amortisation

*Frage 1: Wie viel Strom kann eine moderne Windenergieanlage (WEA) bezogen auf ihre Lebenszeit liefern und wie viel Kohle würde für die gleiche Strommenge benötigt?*

	Wie viel Strom erzeugt eine moderne WEA in ihrer Lebenszeit?
	Eine Anlage läuft 25 Jahre und erzeugt pro Jahr am Standort Dauernheim 16 Mio. kWh <sup>4</sup>
	$16 \text{ Mio. kWh} * 25 = 400 \text{ Mio. kWh}$
	<b>Eine Anlage produziert über die gesamte Laufzeit gesehen ca. 400 Mio. kWh Strom.</b>





	Wie viel Kohle braucht man für die Erzeugung von 400 Mio. kWh Strom?
	Für die Produktion von 1 kWh Strom benötigt man (im Schnitt über Braun- und Steinkohle) 360g (0,36 kg) Kohle <sup>5</sup> .
	$0,36 \text{ kg} * 400.000.000 = 144 \text{ Mio. kg} = 144.000 \text{ Tonnen}$
	<b>Für die Erzeugung von 400 Mio. kWh Strom benötigt man ca. 144.000 Tonnen Kohle.</b>





*Um die Strommenge zu erzeugen, die eine moderne WEA z.B. am Standort Dauernheim über ihre gesamte Lebenszeit erzeugen kann, würde man ca. 144.000 Tonnen Kohle benötigen.*




<sup>4</sup> Präsentation Prokon am 12.10.2023 in Dauernheim

<sup>5</sup> [https://www.energieheld.de/blog/sanierung/co2-entstehung-bei-einer-kwh-aus-kohle-kokstorf-biomasse-windkraft-photovoltaik#:~:text=Wenn%20es%20um%20die%20Gewinnung,pro%20erzeugter%20Kilowattstunde%20\(kWh\)](https://www.energieheld.de/blog/sanierung/co2-entstehung-bei-einer-kwh-aus-kohle-kokstorf-biomasse-windkraft-photovoltaik#:~:text=Wenn%20es%20um%20die%20Gewinnung,pro%20erzeugter%20Kilowattstunde%20(kWh).). Für Braunkohle läge die Zahl höher.

## Frage 2: Was bedeutet das für den rechnerischen CO2-Ausstoß?

	Wie viel CO2 ist einer <b>modernen WEA</b> (auf die Strommenge der gesamten Lebenszeit von 25 Jahren bezogen) zuzuordnen?
	Eine WEA stößt im Betrieb kein CO2 aus. Aber aufgrund der Öko-Bilanz (Herstellung, Nutzung und Entsorgung) kann jeder erzeugten Kilowattstunde rechnerisch ein CO2-Ausstoß von ca. 10,6 g/kWh zugeordnet werden. <sup>6</sup>
	400 Mio kWh * 10,6 g/kWh = 4.240.000 kg = 4.240 Tonnen CO2 <sup>7</sup> 4.240 Tonnen / 25 Jahre = 169,6 Tonnen <sup>8</sup>
	<b>Auf die Gesamtstrommenge von 400 Mio. kWh gesehen, werden ca. 4.240 Tonnen CO2 einer WEA zugeschrieben. Dies entspricht einer Jahresmenge von ca. 169,6 Tonnen.</b>

	Wie viel CO2 ist <b>fossilen Energieträgern</b> bezogen auf die gleiche Strommenge zuzuordnen?
	Pro erzeugter Kilowattstunde Strom emittieren fossile Energieträger (Kohle, Gas) im Schnitt 780g. <sup>9</sup>
	400 Mio kWh * 780 g/kWh = 312.000.000 kg = 312.000 Tonnen CO2 <sup>10</sup> 312.000 Tonnen / 25 = 12.480 Tonnen <sup>11</sup>
	<b>Auf die Gesamtstrommenge von 400 Mio. kWh gesehen werden ca. 312.000 Tonnen CO2 von fossilen Energieträgern ausgestoßen. Dies entspricht einer Jahresmenge von ca. 12.480 Tonnen.</b>

	Wie viel CO2 wird beim <b>aktuellen deutschen Strommix</b> bezogen auf die gleiche Strommenge ausgestoßen?
	Pro erzeugter Kilowattstunde Strom werden im deutschen Strommix ca. 375 g CO2/kWh emittiert. <sup>12</sup>
	400 Mio kWh * 375 g/kWh = 150.000.000 kg = 150.000 Tonnen CO2 150.000 Tonnen / 25 = 6.000 Tonnen

<sup>6</sup> S. Teil 1 des Papiers

<sup>7</sup> auf 25 Jahre Lebenszeit bezogen


<sup>8</sup> auf ein Jahr bezogen

<sup>9</sup> Bezogen auf die Präsentation der LandesEnergieAgentur vom 12.10.2023 in Dauernheim





<sup>10</sup> auf 25 Jahre bezogen für die gleiche Strommenge wie WEA

<sup>11</sup> auf ein Jahr bezogen





<sup>12</sup> Berechnung aus aktuellen Daten Agora-Meter [Agorameter \(agora-energiewende.de\)](https://agorameter.agora-energiewende.de)

	<b>Auf die Gesamtstrommenge von 400 Mio. kWh gesehen werden ca. 150.000 Tonnen CO2 beim aktuellen deutschen Strommix ausgestoßen. Dies entspricht einer Jahresmenge von ca. 6.000 Tonnen.</b>
---	---

**Frage 3: Welcher CO2-Einspareffekt ergibt sich daraus für Windstrom gegenüber fossil erzeugtem Strom bzw. gegenüber dem aktuellen Strommix?**

	Welcher CO2-Einspareffekt ergibt sich für Windstrom gegenüber a) fossil erzeugtem Strom bzw. b) dem aktuellen Strommix in Deutschland pro Jahr bzw. pro Monat
	Es gelten die Annahmen und Berechnungen aus Frage 2.
	a) $12.480 \text{ t CO}_2 - 169,6 \text{ t CO}_2 = 12.310,4 \text{ t CO}_2 \text{ pro Jahr} = 1.025,9 \text{ t CO}_2 \text{ pro Monat}$ b) $6.000 \text{ t CO}_2 - 169,6 \text{ t CO}_2 = 5.830,4 \text{ t CO}_2 \text{ pro Jahr} = 485,8 \text{ t CO}_2 \text{ pro Monat}$
	<b>Der CO2-Einspareffekt einer WEA gegenüber fossilen Energieträgern (Mischung aus Kohle und Gas) pro Jahr beträgt ca. 12.310 t CO2 (= ca. 1.025 Tonnen CO2 pro Monat).</b> <b>Der CO2-Einspareffekt einer WEA gegenüber dem aktuellen deutschen Strommix pro Jahr beträgt ca. 5.830 t CO2 (= ca. 485 Tonnen CO2 pro Monat).</b>

**Frage 4: Wie verhält sich der CO2-Einspareffekt einer WEA im Verhältnis zum CO2, das für die Herstellung, Betrieb und Entsorgung einer WEA benötigt wird? Sprich: Wann amortisiert sich eine WEA in Bezug auf das CO2?**

	Wann amortisiert sich eine WEA in Bezug auf das CO2 gegenüber a) fossil erzeugtem Strom bzw. b) dem aktuellen Strommix in Deutschland
	Es gelten die Annahmen und Berechnungen aus Frage 3, d.h. eine WEA spart pro Monat gegenüber fossil erzeugtem Strom 1.028 t CO2 und gegenüber dem aktuellen Strommix 488 t CO2 pro Monat ein. Zudem gelten die Annahmen aus Frage 2, dass einer WEA rechnerisch ca. 4.240 Tonnen CO2 insgesamt (über die gesamte Lebenszeit) zugeschrieben werden können.
	a) $4.240 \text{ t} / 1.028 \text{ t} = 4,1$ b) $4.240 \text{ t} / 488 \text{ t} = 8,6$
	<b>Innerhalb von ca. 4 Monaten ist rechnerisch eine WEA amortisiert bezogen auf fossil erzeugten Strom. Innerhalb von 8,6 Monaten ist rechnerisch eine WEA amortisiert bezogen auf den aktuellen Strommix.</b>