

## Die Verkehrswende zu Ende gedacht

### **Eine komplette Elektrifizierung des Straßenverkehrs in Deutschland entspräche dieser Anzahl an CO<sub>2</sub>-neutralen Energieanlagen (umgerechnet in AKW, Windräder oder Solaranlagen):**

Wir vom BGL e.V. haben das gemacht, was die Politik schon seit vielen Jahren hätte machen müssen: die Verkehrswende bis zum Ende durchdenken und komplett durchrechnen, um **auf Basis von Ist-Daten** des Jahres 2021 in einer Momentaufnahme zumindest einmal ein grobes Gefühl dafür zu bekommen, wie viele **CO<sub>2</sub>-neutrale** Energieanlagen einer vollständigen Elektrifizierung des Straßenverkehrs in Deutschland entsprächen. Bei diesen Berechnungen sind all die anderen Wirtschaftszweige, die ja auch noch elektrifiziert werden sollen, wie z.B. die Stahlindustrie, noch gar nicht berücksichtigt. Um es vorwegzunehmen: der Energieaufwand für die vollkommene Elektrifizierung des Straßenverkehrs entspräche ca. 60 AKW oder etwa 190.000 Windrädern (in etwa das Sechsfache des 2021er Bestandes) oder rund 33 Mio. Photovoltaik-Anlagen (in etwa das Fünfzehnfache des 2021er Bestandes) – oder einer Mischung aus alledem. Auf Wasserkraft und Biomasse wird hier kein Bezug genommen, da die Wasserkraft als allenfalls nur geringfügig ausbaubar gilt und die Biomasseanlagen bereits die für das Jahr 2030 im EEG vorgesehene Größenordnung von 8.400 MW erreicht haben. Alles in allem ist diese Berechnung hier keine Doktorarbeit, sondern soll – wie eingangs erwähnt – nur ein grobes Gefühl für die ganze Dimension der Verkehrswende bieten; und dabei ist es im Grunde genommen nachrangig, ob diese jetzt z.B. 190.000 oder 210.000 oder 170.000 oder vielleicht sogar „nur“ 150.000 Windrädern entspricht – die Kernaussagen bleiben dieselben: dass es um das Mehrfache des jetzigen Energieanlagenbestandes geht – und dass die Verkehrswende mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit kein Selbstläufer wird!

#### **Und so haben wir gerechnet:**

Zunächst brauchen wir eine Zahl, die uns sagt, wie viel Energie erzeugt werden müsste.

Wir nehmen als Vergleichsjahr das Jahr 2021, weil uns für 2022 noch nicht alle endgültigen Werte vorliegen und 2021 das letzte Jahr war, in dem zumindest noch sechs AKW ganzjährig liefen (ab 01.01.2022 liefen nur noch drei bis zum 15.04.2023).

Laut „Verkehr in Zahlen 2023/2024“ des Bundesverkehrsministeriums lag der End-Energieverbrauch des Straßenverkehrs in Deutschland 2021 bei 2.033 Petajoule <sup>1)</sup>, was umgerechnet (3,6 Petajoule = 1 Terawattstunde) 564,7 TWh bzw. 564,7 Mrd. kWh entspricht. Da diese Werte jedoch auf Basis des Treibstoffabsatzes nur in Deutschland berechnet wurden, muss der Energieverbrauch der ausländischen Fahrzeuge, die immer zahlreicher in Deutschland unterwegs sind, noch hinzugeschätzt werden. Dies ist gerade für den Güterverkehr von Bedeutung, bei dem Lkw-Flotten aus den östlichen EU-Staaten (aufgrund legaler und zuweilen auch illegaler Kostenvorteile) in den letzten beiden Jahrzehnten den internationalen Straßengüterverkehr weitestgehend und zunehmend auch die Binnenverkehre (via legaler und vor allem auch illegaler Kabotage) beherrschen. Lkw haben eine große Reichweite von mehreren tausend Kilometern mit einer einzigen Tankfüllung (erlaubt sind Tanks bis zu 1.500 Litern, was bei einem Verbrauch von 30 Litern/100 km eine Reichweite von 5.000 km ergibt), weswegen sie dort in Europa tanken können, wo der Diesel am billigsten ist – und das ist (politisch durchaus so gewollt) in der Regel NICHT in Deutschland. Die in Deutschland tankenden Lkw schlagen mit einem End-Energieverbrauch von 653 Petajoule zu buche. Der End-Energieverbrauch der ausländischen Lkw wird im Verhältnis ihres Marktanteiles an der Straßen-Transportleistung in Deutschland hinzugeschätzt. Dieser lag 2021 laut „Gleitender Mittelfristprognose für den Güter- und Personenverkehr Winter 2023/2024“ <sup>2)</sup> des Bundesverkehrsministeriums bei 42,9 %, der der deutschen Lkw bei 57,1 %. Durch einfachen Dreisatz ( $653 \times 42,9 : 57,1$ ) ergibt sich auf dieser Basis für die ausländischen Lkw ein End-Energieverbrauch von 491 Petajoule. Für den ausländischen Personenverkehr wird der Marktanteil in Deutschland konservativ auf 1/10 des Marktanteils im Güterverkehr geschätzt, also 4,3 %. Bei einem End-Energieverbrauch der in Deutschland tankenden Personen-Kfz von 1.380 Petajoule ergibt sich durch einfachen Dreisatz ( $1.380 \times 4,3 : 95,7$ ) ein End-Energieverbrauch des ausländischen Personenverkehrs in Höhe von 62 Petajoule. Insgesamt ergibt dies für den Straßenverkehr in Deutschland einen End-Energieverbrauch von  $653+491+1.380+62 = 2.586$  Petajoule oder 718,2 Mrd. kWh im Jahr 2021. Dies ist der Wert, mit dem wir ab jetzt für alle Energiearten weiterrechnen.

### **Definitionen:**

Definition End-Energie: Derjenige Teil der eingesetzten Primär-Energie, der den Verbrauchern nach Abzug von Energiewandlungs- und Übertragungsverlusten zur Verfügung steht, dabei gehören Umgebungswärme oder -kälte sowie Solarthermie nicht zur End-Energie. Von der End-Energie kann noch die [Nutzenergie](#) unterschieden werden. Beispielsweise ist die Nutzenergie einer Glühbirne nur der Teil des Stroms, der in Licht gewandelt wird. Der Quotient aus Nutzenergie und eingesetzter End-Energie ist der [Wirkungsgrad](#) des eingesetzten Gerätes.

### **Hinweis:**

Elektrisch betriebene Fahrzeuge gelten energetisch als effizienter als Verbrenner. Sollten Verbrenner zunehmend durch elektrisch betriebene Fahrzeuge ersetzt werden, steigt demnach der Stromverbrauch bei insgesamt sinkendem Endenergieverbrauch beim Betrieb der Fahrzeuge. Zusätzlicher Energieverbrauch entsteht durch den Aufbau der komplett neuen Ladeinfrastruktur und bei der Herstellung der verschiedenen Arten von Antriebsbatterien, der in diesen Berechnungen nicht berücksichtigt ist. Bei über Wasserstoff-Brennstoffzellen angetriebenen Fahrzeugen sollte der Energieverbrauch für die Herstellung des Wasserstoffs und dessen Verflüssigung beachtet werden.

### **Teil 1: AKW-Äquivalente**

Deutsche Kernkraftwerke erzeugten laut Statistischem Bundesamt im Jahre 2021 insgesamt 69,1 Mrd. kWh Strom <sup>3)</sup>. Dieser Strom stammte von den folgenden sechs Kernkraftwerken mit einer gesamten Nennleistung von 8.545 MW <sup>4)</sup>:

Brokdorf (1.480 MW), abgeschaltet am 31.12.2021;

Emsland (1.406 MW), abgeschaltet am 15.04.2023;

Grohnde (1.430 MW), abgeschaltet am 31.12.2021;

Gundremmingen C (1.344 MW), abgeschaltet am 31.12.2021;

Isar 2 (1.485 MW), abgeschaltet am 15.04.2023;

Neckarwestheim II (1.400 MW), abgeschaltet am 15.04.2023;

= TOTAL: 8.545 MW

Da Kraftwerke niemals 24 Stunden an 365 Tagen im Jahr laufen, müssen wir – um eine realistische Laufleistung bzw. Auslastung zu bekommen, die durch die Nennleistung der AKW vorgegebene theoretisch mögliche Stromerzeugung ins Verhältnis setzen zu den tatsächlich erzeugten Energieeinheiten:

Theoretisch mögliche Stromerzeugung:

$8.545 \text{ MW} \times 365 \text{ Tage} \times 24 \text{ h/Tag} = 74.854.200.000 \text{ kWh} = 74,9 \text{ Mrd. kWh}$

Anteil der realen an der theoretischen Stromerzeugung:

74,9 Mrd. kWh = 100 % Auslastungsgrad theoretisch

69,1 Mrd. kWh = 92,3 % Auslastungsgrad real

Der End-Energieverbrauch des Straßenverkehrs im Jahre 2021 lag (s.o.) bei 718,2 Mrd. kWh. Soll der gesamte End-Energieverbrauch des Straßenverkehrs durch elektrische Energie aus Kernkraftwerken analog den deutschen des Jahres 2021 bereitgestellt werden, so ergibt sich durch einfachen Dreisatz bei einem realen Auslastungsgrad von 92,3 %:

69,1 Mrd. kWh = 6 Kernkraftwerke

$718,2 \text{ Mrd. kWh} \times 6 : 69,1 \text{ Mrd. kWh} = \mathbf{62 \text{ Kernkraftwerke}}$

**Teil 2: Windräder-Äquivalente**

Um mit der Berechnung für die AKW-Äquivalente zeitlich kongruent zu bleiben, berechnen wir auch die Windräder-Äquivalente für das Jahr 2021.

Deutsche Windkraftanlagen erzeugten laut Statistischem Bundesamt im Jahre 2021 insgesamt 114,7 Mrd. kWh Strom <sup>3)</sup>. Am 31.12.2021 gab es in Deutschland laut Bundesnetzagentur <sup>5)</sup> insgesamt 28.984 Onshore-Windenergieanlagen mit einer Nennleistung von 55.880 MW und 1.499 Offshore-Windenergieanlagen mit einer Nennleistung von 7.874 MW, also zusammen 30.483 Anlagen mit einer kumulierten Nennleistung von 63.754 MW.

**Exkurs: Wichtige Unterscheidung zwischen Offshore- und Onshore-Anlagen**

*Eine Onshore-Anlage erreicht im Durchschnitt nur einen Bruchteil der Leistungsfähigkeit einer Offshore-Anlage: 2021 betrug in Deutschland die durchschnittliche Nennleistung*

*einer Offshore-Anlage umgerechnet gut 5 MW, die einer Onshore-Anlage lediglich umgerechnet knapp 2 MW<sup>5)</sup>. Noch größer ist der Unterschied bei der tatsächlich erzeugten Energie: Gemäß Angaben der „Deutsche WindGuard GmbH“<sup>6) 7)</sup> betrug diese anno 2021 bei Offshore-Anlagen umgerechnet 16 GWh und bei Onshore-Anlagen umgerechnet nur 3 GWh. Der Auslastungsgrad lag bei Offshore-Anlagen bei 35 %, bei Onshore-Anlagen dagegen nur bei 18 %. Dies ist umso mehr von Bedeutung als in der aktuellen Diskussion der Ausbau der Windenergie in den südlichen Bundesländern als besonders erfolgversprechend bezeichnet wird. Dabei ist allerdings auch zu berücksichtigen, dass die beim Stromtransport über weite Strecken zwangsläufigen Übertragungsverluste reduziert werden können, wenn sich die Energieanlagen möglichst nahe an den Verbrauchsorten befinden.*

Da Kraftwerke niemals 24 Stunden an 365 Tagen im Jahr laufen, müssen wir – um eine realistische Laufleistung bzw. Auslastung zu bekommen, die durch die Nennleistung der Windkraftanlagen vorgegebene theoretisch mögliche Stromerzeugung ins Verhältnis setzen zu den tatsächlich erzeugten Energieeinheiten:

Theoretisch mögliche Stromerzeugung:

$63.754 \text{ MW} \times 365 \text{ Tage} \times 24 \text{ h/Tag} = 558.485.040.000 \text{ kWh} = 558,5 \text{ Mrd. kWh}$

Anteil der realen an der theoretischen Stromerzeugung:

$558,5 \text{ Mrd. kWh} = 100 \% \text{ Auslastungsgrad theoretisch}$

$114,7 \text{ Mrd. kWh} = 20,5 \% \text{ Auslastungsgrad real}$

Der End-Energieverbrauch des Straßenverkehrs im Jahre 2021 lag (s.o.) bei 718,2 Mrd. kWh. Soll der gesamte End-Energieverbrauch des Straßenverkehrs durch elektrische Energie aus Windkraftwerken analog den deutschen des Jahres 2021 bereitgestellt werden, so ergibt sich durch einfachen Dreisatz bei einem realen Auslastungsgrad von 20,5 %:

$114,7 \text{ Mrd. kWh} = 30.483 \text{ Windkraftanlagen}$

$718,2 \text{ Mrd. kWh} \times 30.483 : 114,7 \text{ Mrd. kWh} = \mathbf{190.884 \text{ Windkraftanlagen}}$

**Dies entspricht in etwa dem 6-fachen des 2021er Bestandes.**

Dabei ist zu berücksichtigen, dass die tatsächliche Leistung eines Windrades sehr vom Standort abhängt: wenn sich die Naturgesetze nicht geändert haben, erhöht sich die Energieausbeute bei einer Steigerung der Windgeschwindigkeit um den Faktor 2 nicht ebenfalls um den Faktor 2, sondern um den Faktor 8! Oder anders ausgedrückt: werden Windräder dort aufgestellt, wo der Wind nur halb so stark weht, wird die achtfache Anzahl benötigt! Da davon auszugehen ist, dass bisher die windstarken Gebiete „bebaut“ wurden und nach und nach die windschwächeren Gebiete folgen, benötigt man **in der Tendenz mehr** Windräder für die gleiche Stromleistung. Außerdem gilt die oben durchgeführte Berechnung auch nur für den Fall, dass der Wind genau dann weht und Strom liefert, wenn dieser gerade gebraucht wird. Da dies nicht immer der Fall sein dürfte, benötigt man **in der Tendenz nochmals mehr** Windräder. Im Gegenzug werden die Windräder immer leistungsstärker (auch bereits bestehende Anlagen können durch modifizierte Software etwas leistungsfähiger gemacht werden). Dies bedeutet für die Zukunft **in der Tendenz weniger** benötigte neue Windkraftanlagen. Wenn wir jedoch die zukünftige Entwicklung berücksichtigen wollten, müssten wir ebenfalls die – gerade für den Güterverkehr enormen – prognostizierten Zuwächse bei der Verkehrsleistung und damit beim Strombedarf berücksichtigen, was **in der Tendenz wiederum mehr** benötigte Windräder bedeutet.

### **Teil 3: Solaranlagen-Äquivalente**

Um mit der Berechnung für die AKW- und Windräder-Äquivalente zeitlich kongruent zu bleiben, berechnen wir auch die Solaranlagen-Äquivalente für das Jahr 2021.

Deutsche Photovoltaikanlagen erzeugten laut Statistischem Bundesamt im Jahre 2021 insgesamt 49,3 Mrd. kWh Strom <sup>3)</sup>. Am 31.12.2021 gab es in Deutschland laut Bundesnetzagentur <sup>5)</sup> insgesamt 2.284.262 Photovoltaikanlagen mit einer Nennleistung von zusammen 60.117 MW.

Da Kraftwerke niemals 24 Stunden an 365 Tagen im Jahr laufen, müssen wir – um eine realistische Laufleistung bzw. Auslastung zu bekommen, die durch die Nennleistung der Photovoltaikanlagen vorgegebene theoretisch mögliche Stromerzeugung ins Verhältnis setzen zu den tatsächlich erzeugten Energieeinheiten:

#### **Theoretisch mögliche Stromerzeugung:**

$60.117 \text{ MW} \times 365 \text{ Tage} \times 24 \text{ h/Tag} = 526.624.920.000 \text{ kWh} = 526,6 \text{ Mrd. kWh}$

Anteil der realen an der theoretischen Stromerzeugung:

526,6 Mrd. kWh = 100 % Auslastungsgrad theoretisch

49,3 Mrd. kWh = 9,4 % Auslastungsgrad real

Der End-Energieverbrauch des Straßenverkehrs im Jahre 2021 lag (s.o.) bei 718,2 Mrd. kWh. Soll der gesamte End-Energieverbrauch des Straßenverkehrs durch elektrische Energie aus Solarkraftwerken analog den deutschen des Jahres 2021 bereitgestellt werden, ergibt sich durch einfachen Dreisatz bei einem realen Auslastungsgrad von 9,4 %:

49,3 Mrd. kWh = 2.284.262 Photovoltaikanlagen

718,2 Mrd. kWh x 2.284.262 : 49,3 Mrd. kWh = **33.279.287 Photovoltaikanlagen**

**Dies entspricht in etwa dem 15-fachen des 2021er Bestandes.**

Zu beachten ist: die Photovoltaikanlagen werden immer leistungsstärker. Dies bedeutet für die Zukunft **in der Tendenz weniger** benötigte neue Solaranlagen. Wenn wir jedoch die zukünftige Entwicklung berücksichtigen wollten, müssten wir ebenfalls die – gerade für den Güterverkehr enormen – prognostizierten Zuwächse bei der Verkehrsleistung und damit beim Strombedarf berücksichtigen, was **in der Tendenz wiederum mehr** benötigte Solaranlagen bedeutet.

**Quellen:**

<sup>1)</sup> Verkehr in Zahlen 2023/2024, Hrsg.: BMDV, Berlin, 2023;  
[Verkehr in Zahlen 2023/2024 \(bund.de\)](#)

<sup>2)</sup> Gleitende Mittelfristprognose für den Güter- und Personenverkehr – Winter 2023/2024, Auftraggeber: BMDV, Bonn, 2024;  
[Mittelfristprognose Winter 2023\\_2024.pdf \(bund.de\)](#)

<sup>3)</sup> Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 2024;  
[Bruttostromerzeugung in Deutschland - Statistisches Bundesamt \(destatis.de\)](#)

<sup>4)</sup> Kerntechnik Deutschland e.V., Berlin, 2023;  
[Kernenergie in Deutschland - KerndD](#)

<sup>5)</sup> Bundesnetzagentur, Bonn, 16.09.2024;  
[EE-Statistik MaStR - August 2024 \(Stand 16.09.2024\).xlsx \(bundesnetzagentur.de\)](#)

<sup>6)</sup> Deutsche WindGuard GmbH, Varel, 2022;  
[Factsheet Status Windenergieausbau an Land 2021.pdf \(wind-energie.de\)](#)

<sup>7)</sup> Deutsche WindGuard GmbH, Varel, 2022;  
[Status des Offshore-Windenergieausbaus in Deutschland \(wind-energie.de\)](#)