

Wie könnte Europa die Energiewende schaffen?

Univ.-Prof. Dr. Georg Brasseur

Institut für Elektrische Messtechnik und Sensorik



Technische Universität Graz



162 200 TWh

Global primary energy supply by source 1960 to 2019

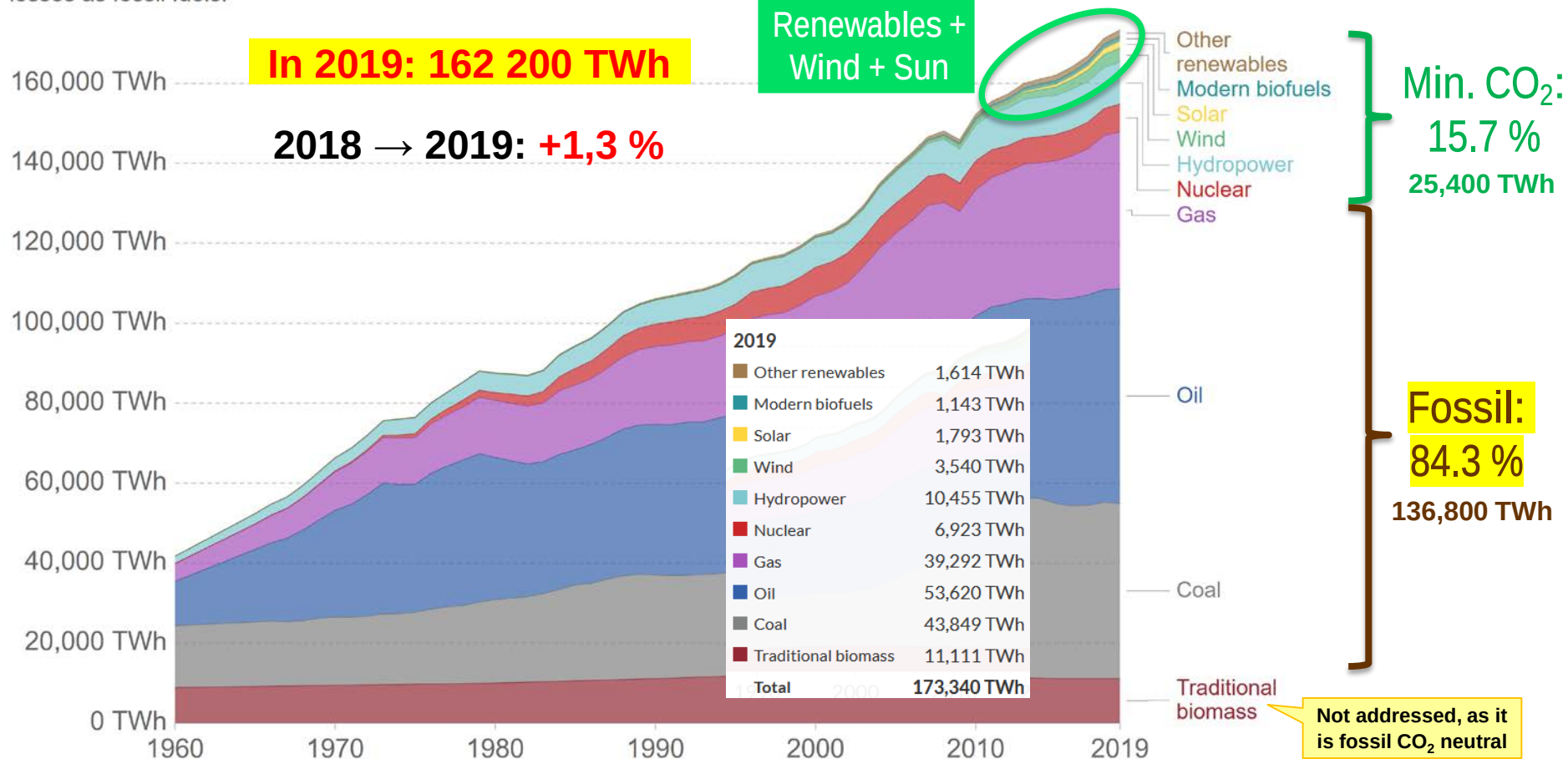
Our World
in Data

Primary energy is calculated based on the 'substitution method' which takes account of the inefficiencies in fossil fuel production by converting non-fossil energy into the energy inputs required if they had the same conversion losses as fossil fuels.

In 2019: 162 200 TWh

Renewables +
Wind + Sun

2018 → 2019: +1,3 %



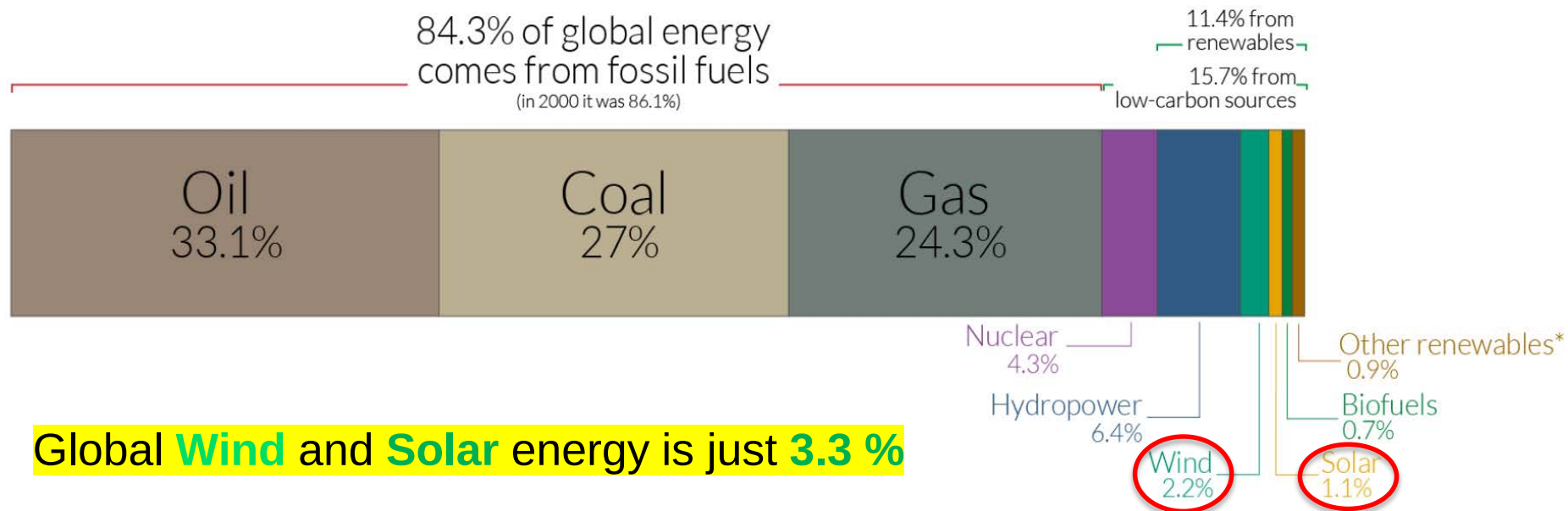
Source: Vaclav Smil (2017) & BP Statistical Review of World Energy

OurWorldInData.org/energy • CC BY

84,3 % of primary energy comes from **fossil fuels**,
in 2000 it was 86,1 %

Global primary energy consumption by source

Our World
in Data



*'Other renewables' includes geothermal, biomass, wave and tidal. It does not include traditional biomass which can be a key energy source in lower income settings.

OurWorldinData.org – Research and data to make progress against the world's largest problems.

Source: Our World in Data based on BP Statistical Review of World Energy (2020).

Licensed under CC-BY by the author Hannah Ritchie.

Electricity generation by fuel in 2019



Global primary energy
162 200 TWh = 100 %

Global electricity demand
27 000 TWh = **16,7 %**

Much too little

OECD primary energy
64 843 TWh = 100 %

OECD electricity demand
11 136 TWh = **17,2 %**

The world urgently needs more green electricity

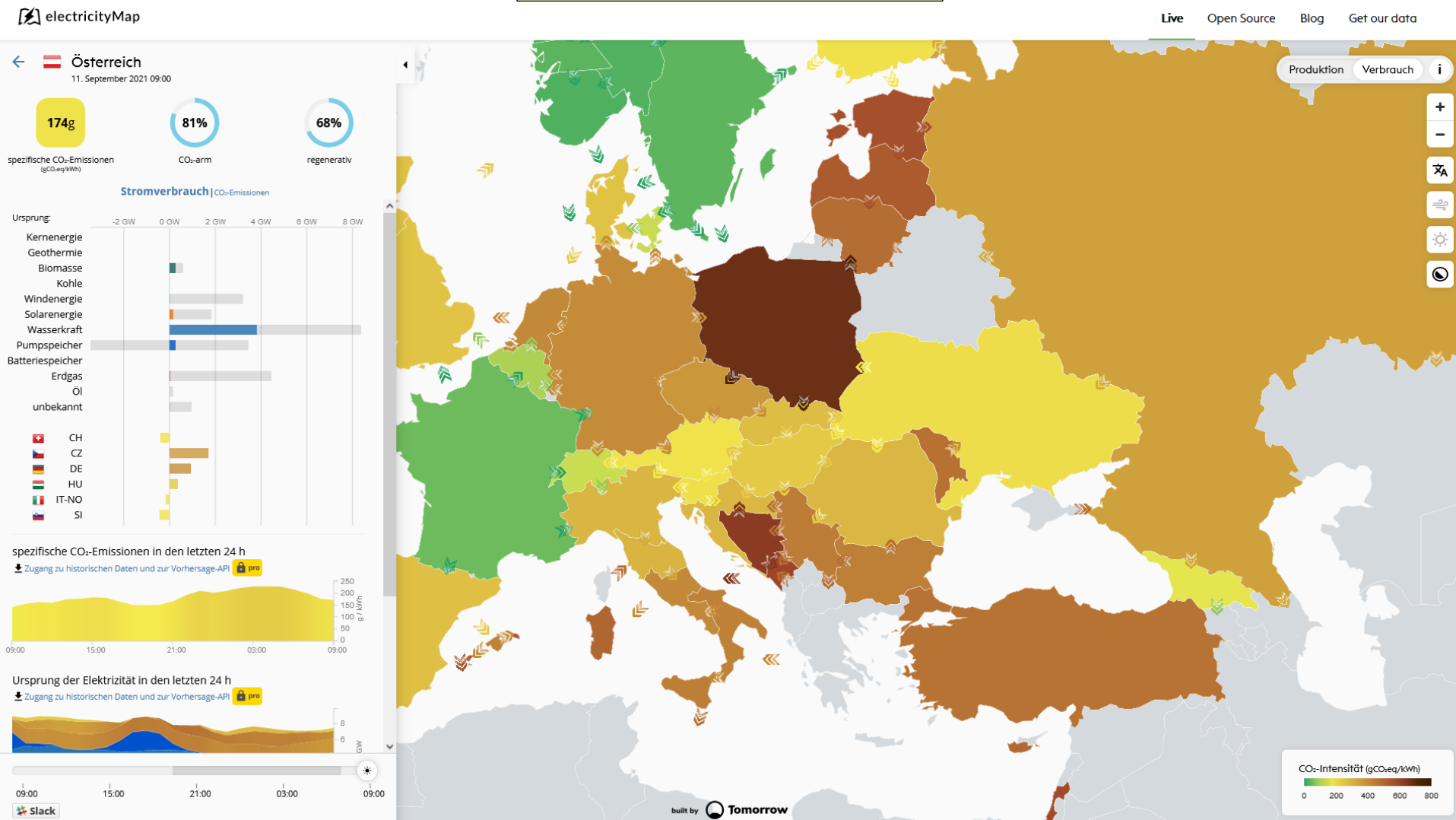
OECD Countries

- Australia
- Austria
- Belgium
- Canada
- Czech Republic
- Denmark
- Estonia
- Finland
- France
- Germany
- Greece
- Hungary
- Ireland
- Italy
- Japan
- Korea
- Luxembourg
- Mexico
- New Zealand
- Norway
- Poland
- Portugal
- Slovak Republic
- Spain
- Sweden
- Switzerland
- The Netherlands
- Turkey
- United Kingdom
- United States

Electricity generation	Global 27 000 TWh 100 %	OECD 11 136 TWh 41 %
Min. CO ₂	37 %	46 %
Fossil	63 %	54 %

An increase is urgently needed

www.electricitymap.org



Analyse des globalen Energiebedarfs

- In 2019 war der **Weltenergiebedarf** 84 % fossil und nimmt weiter zu. Der **Klimakollaps scheint unvermeidbar!**
- Die größten fossilen Energieverbraucher sind:
 - global **Industrie & Dienstleistungen**
 - global **Gebäude** und
 - in **wohlhabenden Industrienationen** der auf **Erdöl** basierende **Verkehr**.
- **Energiewende** heißt **Defossilisierung** der **globalen Primärenergie** und nicht nur der **Primärenergie**, die für die **17 % elektrische Energie** notwendig sind.
- **Umschichtung** fossiler Primärenergie (83 %) auf **elektrische Energie (17 %)** heißt:
 - im Verhältnis $83/17 = 4,9$ mal mehr Belastung für **elektrische Energiesysteme** und
 - setzt ausreichende **Netzkapazität** und ausschließlich **grünen Strom** voraus.
- Das **primäre Ziel** muss **Strom** aus **nicht fossilen Quellen** sein, da durch die **Energiewende** und das **Verbraucherverhalten** der **Strombedarf** rasant zunimmt.

Um die Energiewende zu schaffen, sind zwei Maßnahmen notwendig:
Primärenergiebedarf senken und **CO₂ reduzieren!**

Analyse des europäischen Energiebedarfs

Die **Energiewende** bedeutet den Ersatz von **17.100 TWh/a fossiler Primärenergie** durch **Wind-** und **Solarenergie**.

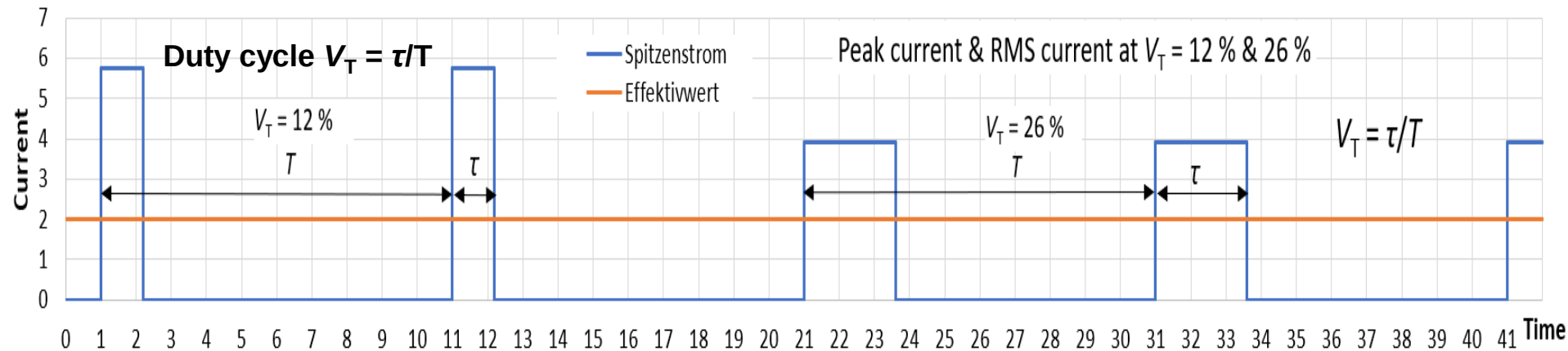
58.2 % **Energieimporte**:
Rohöl 94.6 %, **Erdgas** 83.2 % und **feste Brennstoffe** 43.6 %.

- **2019: 82.000 Windräder** → bis 2050 **mal 36** → **3 Mio. Windräder** installieren.
- Jahresauslastung Windräder: $\approx 26\%$ → Nur 26 % der möglichen Energie werden geerntet.
Installierte Leistung 2019: **205 GW** → **mal 36** → **7.600 GW in 2050** → Netze **vervielfachen!**
- **2019: 2.072 km² PV-Fläche** → bis 2050 **mal 111** → **228.000 km² PV-Fläche** errichten.
≈ Fläche Rumäniens!
- Jahresauslastung Photovoltaik: $\approx 12\%$ → Nur 12 % der möglichen Energie werden geerntet.
Installierte Leistung 2019: **148 GW** → **mal 111** → **16.400 GW in 2050** → Netze vervielfachen!
Gesamte europäische Kraftwerksleistung 2019 ≈ 1.450 GW
- **Strom** hat keine Energie, Strom kann nur **Energie** von A nach B transportieren.
- **Volatile Energie** bedeutet: bei gleicher Energiemenge **mehr Netzleistung**

Analyse des europäischen Energiebedarfs

Die **Energiewende** bedeutet den Ersatz von 17.100 TWh/a fossiler Primärenergie durch **Wind-** und **Solarenergie**.

58.2 % **Energieimporte**:
Rohöl 94.6 %, **Erdgas** 83.2 % und **feste Brennstoffe** 43.6 %.



- **Volatile Energie** bedeutet: bei gleicher Energiemenge **mehr Netzleistung**

Sechs Eckpunkte für die **europäische Energiewende**

1. **Europa** (2019: 23.300 TWh) ist nicht und wird auch **nicht energieautonom sein!**

2. Nur wenn **Primärenergie eingespart**² wird, kann die **Energiewende** gelingen.

3. **Europas** fossiler Primärenergiebedarf (Öl + Gas + Kohle = 17.100 TWh/a)¹ lässt sich **nicht mit Strom transportieren**: weder nach Europa noch innerhalb Europa.

- **488 DC-Freileitungen à 4 GW** (= **1.952 GW**) mal 8760 h = **17.100 TWh** oder
- 35 **Gas** oder **Öl** Pipelines oder
- 11.200 **LNG-Tanker** à 0,25 Mio.m³ oder 4.900 **Öltanker** à 0,35 Mio.m³.

31 pro Tag

14 pro Tag

4. **Europa** braucht neben Strom **unbedingt grüne speicherbare Energieträger**.

5. **Strom** ist die für Europa **wichtigste Energieform!** **ABER:** Das **volatile Stromangebot** ist **nicht** mit dem **Strombedarf** synchronisiert. → Blackouts drohen!

6. **Strom** kann **großtechnisch nicht gespeichert werden!** → Zur Sicherstellung der **Netzstabilität** muss **≈ 15 %**² der elektrischen Energie in **speicherbarer Form** vorliegen, insbesondere zur Überbrückung von „kalten Dunkelflauten“.

¹ bp Statistical Review of World Energy June 2020; <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/xlsx/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-all-data.xlsx>, accessed 25.12.2020. ² U. Kramer et al., FVV, Defossilisierung des Transportsektors, R586-2018, Tab. 10, accessed 11.1.2020. https://www.fvv-net.de/fileadmin/user_upload/medien/materialien/FVV_Kraftstoffe_Studie_Defossilisierung_R586_final_v.3_2019-06-14_DE.pdf

Energiedichte von **grüner** versus **fossiler Energie**

Beispiel:

Arkona Ostsee Windpark

- **1 GW Windpark** bei 44 % Auslastung mit Nennleistung: → **3,9 TWh pro Jahr**
- **Power-to-X**: z.B. in Flüssigmethan oder Diesel → $\eta = 71-43\%^1$ → **2,8 -1,8 TWh/a**
- LNG Tanker (-162 °C) ca. 250 Mio. Liter; Diesel Tanker ca. 350 Mio. Liter

**Wie lange schätzen Sie dauert es,
bis der Tanker voll ist?**



https://www.n-tv.de/wirtschaft/der_boersen_tag/Groesster-Offshore-Windpark-Hohe-See-steht-article21203487.html



<https://gcaptain.com/q-max-lng-tankers/>

1 U. Kramer et al., FVV, *Defossilisierung des Transportsektors*, R586-2018, Tab. 10, accessed 11.1.2020. https://www.fvv-net.de/fileadmin/user_upload/medien/materialien/FVV_Kraftstoffe_Studie_Defossilisierung_R586_final_v.3_2019-06-14_DE.pdf

Energiedichte von **grüner** versus **fossiler Energie**

Beispiel:

Arkona Ostsee Windpark

- **1 GW Windpark** bei 44 % Auslastung mit Nennleistung: → **3,9 TWh pro Jahr**
- **Power-to-X**: z.B. in Flüssigmethan oder Diesel → $\eta = 71-43\%^1$ → **2,8 - 1,8 TWh/a**
- LNG Tanker (-162 °C) ca. 250 Mio. Liter; Diesel Tanker ca. 350 Mio. Liter

**Betrieb des Windparks zur Füllung eines
LNG Tankers: 7 - 10 Monate oder Diesel Tankers: 1 – 1,5 Jahre**
(Leerung des Tankers dauert unter 24 h)



https://www.n-tv.de/wirtschaft/der_boersen_tag/Groesster-Offshore-Windpark-Hohe-See-steht-article21203487.html



<https://gcaptain.com/q-max-lng-tankers/>

1 U. Kramer et al., FVV, *Defossilisierung des Transportsektors*, R586-2018, Tab. 10, accessed 11.1.2020. https://www.fvv-net.de/fileadmin/user_upload/medien/materialien/FVV_Kraftstoffe_Studie_Defossilisierung_R586_final_v.3_2019-06-14_DE.pdf

Energiedichte von **grüner** versus **fossiler Energie**

Beispiel:

Arkona Ostsee Windpark

- **1 GW Windpark** bei 44 % Auslastung mit Nennleistung: → **3,9 TWh pro Jahr**
- **Power-to-X**: z.B. in Flüssigmethan oder Diesel → $\eta = 71-43\%^1$ → **2,8 -1,8 TWh/a**
- LNG Tanker (-162 °C) ca. 250 Mio. Liter; Diesel Tanker ca. 350 Mio. Liter

Wind- und Solarenergie haben eine um Größenordnungen geringere „Energiedichte“ als Kohlenwasserstoffe und die Transportverluste von Kohlenwasserstoffen sind bezogen auf den Energieinhalt nahezu vernachlässigbar.



https://www.n-tv.de/wirtschaft/der_boersen_tag/Groesster-Offshore-Windpark-Hohe-See-steht-article21203487.html

<https://gcaptain.com/q-max-lng-tankers/>

1 U. Kramer et al., FVV, *Defossilisierung des Transportsektors*, R586-2018, Tab. 10, accessed 11.1.2020. https://www.fvv-net.de/fileadmin/user_upload/medien/materialien/FVV_Kraftstoffe_Studie_Defossilisierung_R586_final_v.3_2019-06-14_DE.pdf

Resümee der **Energiebetrachtung**

- Da **Wind- und Sonnenenergie** nur **Strom liefern**, lautet die „Gretchenfrage“: Welche Verbraucher bekommen Priorität, den **kostbaren** und **in Europa generierten grünen Strom** zu nutzen?
- **Kostbar**, da die **in Europa** aus volatiler Energie **generierte elektrische Energie** und die **übertragbaren elektrischen Leistungen** **limitiert sind**.
- **Kostbar**, da die Versorgung Europas mit Strom **IMMER** sichergestellt sein muss. Ein (vorhersehbarer) Blackout kann für Europa **KEINE Option** sein.
- **Wasserstoff** zur **Defossilisierung** der europäischen Industrie **muss** aus **grünem Überschussstrom** gewonnen werden.
- Die nicht in Europa aus **grünen Quellen generierbare Energie** muss in Form **gut transportfähiger** und **speicherbarer** Energieträger nach Europa importiert werden.
- Die in Europa benötigte **Menge** und **Art** der Energieträger ist das **Ergebnis** eines multidimensionalen **Optimierungsproblems**:

Minimierung der **Investitionskosten** für die Errichtung einer Infrastruktur innerhalb und außerhalb Europas für **grüne Energievektoren**.

Resümee der **Energiebetrachtung**

- Da **Wind- und Sonnenenergie** nur **Strom liefern**, lautet die „Gretchenfrage“: Welche Verbraucher bekommen Priorität, den **kostbaren** und **in Europa generierten grünen Strom** zu nutzen?
- **Kostbar**, da die **in Europa** aus volatiler Energie **generierte elektrische Energie** und die **übertragbaren elektrischen Leistungen** **limitiert sind**.

Das **Optimierungsproblem** lässt sich anhand wissenschaftlich fundierter Fakten lösen und sollte von ideologischen wie politischen Meinungen **unbeeinflusst** sein.

- Die nicht in Europa aus **grünen Quellen generierbare Energie** muss in Form **gut transportfähiger** und **speicherbarer** Energieträger nach Europa importiert werden.
- Die in Europa benötigte **Menge** und **Art** der Energieträger ist das **Ergebnis** eines multidimensionalen **Optimierungsproblems**:

Minimierung der **Investitionskosten** für die Errichtung einer Infrastruktur innerhalb und außerhalb Europas für **grüne Energievektoren**.

Die technologischen Randbedingungen des Optimierungsproblems

- Wind- und Sonnenenergie liefern **elektrische Energie**, die verbraucht werden muss, da **Strom keine Energie hat**.
- In einer **verlustbehafteten Energieumwandlung** kann aus **Strom** mittels Elektrolyse **grüner Wasserstoff** hergestellt werden.
- Eine zweite **verlustbehaftete** Energieumwandlung generiert aus **grünem Wasserstoff** gut transportier- und speicherbare gasförmige und flüssige **synthetische Kraftstoffe** wie **Methan, Ammoniak, Methanol, Petroleum, Diesel oder Benzin**.
- Die Minimierung der **Anzahl an Energieumwandlungen** wird auch die **benötigte Primärenergie minimieren** und damit auch **CAPEX und OPEX**.

Europas Stromverbraucher wachsen

- **Die Informations- & Kommunikationstechnologie** hat **keine andere Option!**
 - Der **IKT-Bereich** wächst bis 2030 von **8 %** des globalen Strombedarfs auf bis zu **21 %²** und **hat keine Option** auf eine andere Energieform zu wechseln, es **muss Strom sein**.
 - **Kryptowährung** (**Block-Chain** Technologie) braucht jährlich ca. so **viel Strom** wie **Irak** od. **Singapur** und **Google** ca. so **viel Strom** wie die gesamte **Stadt Graz**.
 - Der Streaming-Dienst **Netflix** steht für **30 %** des **Internetverkehrs** in den USA.
 - Der **Energiebedarf** der **Informations- & Kommunikationstechnologie (IKT)** wird auch in Österreich von 2017 auf 2030 voraussichtlich von 8 auf **14 TWh/a** steigen.
Die gesamte Kraftwerkskette der **Donau** liefert **≈ 13 TWh/a**.
- **Haushalte** können mithelfen:
z.B. in Deutschland **2020: PV** mit **53 GW** sind zu **98 %** in **2 Mio. Anlagen** dezentral am Niederspannungsnetz **230/400 V¹** installiert. Nur **51,4 TWh/a** wurden zufolge der geringen Jahresauslastung (**970 h**) von **11,1 %** generiert.

¹ Fraunhofer ISE, Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland, <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.pdf>, accessed 15.1.2021. ² Nature 561, The information Factories, <https://www.nature.com/articles/d41586-018-06610-y>, accessed 1.11.2019.

Europas Stromverbraucher wachsen

- **Gewerbe** und **Industrie** müssen die Prozesse **defossilisieren** & Wirkungsgrade steigern: der **Primärenergiebedarf sinkt** auf Kosten von **mehr Strombedarf**.
 - **Prozesswärme** z.B. mittels **Wärmepumpen**.
 - **Heizung/Kühlung** von **Bürogebäuden & Fertigung** über **Wärmepumpen**
 - Die **Umstellung** der **Rohstahlproduktion** von **Kohle** auf **grünen Wasserstoff** benötigt für die Rohstahlproduktion in Österreichische (VOEST) **≈ 30 TWh/a Strom** und für Deutschland **≈ 163 TWh/a**.

Deutschland 2019: 612 TWh¹
Österreich 2019: 73 TWh¹
 - Die **Umstellung** der deutschen **Chemischen Industrie** benötigt² **645 TWh elektrische Energie** pro Jahr, größtenteils zur Herstellung von **grünem Wasserstoff**.
 - Die Umstellung der deutschen **Raffinerien** von Wasserstoff (57 TWh/a) aus Erdgas auf **grünen Wasserstoff** benötigt **≈ 82 TWh³ elektrische Energie** pro Jahr.
 - Die **Grundstoffindustrie** ist für 16 % der fossilen CO₂ Emissionen in der EU verantwortlich³. Große Mengen an **elektrischer Energie** sind zur Erzeugung von **grünem Wasserstoff** als Brennstoff für Hochtemperaturwärme (> 400 °C) notwendig.

¹ bp Statistical Review of World Energy June 2020, <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>, accessed 26.12.2020. ² Roadmap Chemie 2050, <https://www.vci.de/vci/downloads-vci/publikation/2019-10-09-studie-roadmap-chemie-2050-treibhausgasneutralitaet.pdf>, accessed 26.2.2021. ³ Nord/LB, Sector Strategy, Wasserstoffwirtschaft: Chancen, Herausforderungen und Grenzen, <https://www.nordlb.de/meine-nordlb/research-dokument-847?cHash=9e803ecf8c7b8daa99764b24f829408c>, accessed 21.6.2021.

Europas Stromverbraucher wachsen

- **Gewerbe** und **Industrie** müssen die Prozesse **defossilisieren** & **Wirkungsgrade steigern**: der **Primärenergiebedarf sinkt** auf Kosten von **mehr Strombedarf**.
 - **Prozesswärme** z.B. mittels **Wärmepumpen**.
 - **Heizung/Kühlung** von **Bürogebäuden & Fertigung** über **Wärmepumpen**

Die Politik sollte die Frage beantworten und danach handeln:
In welchem Verbrauchssektor bewirkt eine staatliche Förderung die
größte nachhaltige fossile CO₂-Einsparung?

- Die Umstellung der deutschen **Raffinerien** von Wasserstoff (57 TWh/a) aus Erdgas auf **grünen Wasserstoff** benötigt **≈ 82 TWh³ elektrische Energie** pro Jahr.
- Die **Grundstoffindustrie** ist für 16 % der fossilen CO₂ Emissionen in der EU verantwortlich³. Große Mengen an **elektrischer Energie** sind zur Erzeugung von **grünem Wasserstoff** als Brennstoff für Hochtemperaturwärme (> 400 °C) notwendig.

1 bp Statistical Review of World Energy June 2020, <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>, accessed 26.12.2020. 2 Roadmap Chemie 2050, <https://www.vci.de/vci/downloads-vci/publikation/2019-10-09-studie-roadmap-chemie-2050-treibhausgasneutralitaet.pdf>, accessed 26.2.2021. 3 Nord/LB, Sector Strategy, Wasserstoffwirtschaft: Chancen, Herausforderungen und Grenzen, <https://www.nordlb.de/meine-nordlb/research-dokument-847?cHash=9e803ecf8c7b8daa99764b24f829408c>, accessed 21.6.2021.

Auswirkungen der **Energiewende** auf den **Verkehr** in Europa

Zur Erinnerung: nur **17 %** der **Primärenergie** in Europa (und global) ist **Elektrizität**

Erdöl → **Kraftstoffe**

Energiesparen bedeutet: Umschichtung Primärenergie (83 %) zu **Strom** (17 %) → $\frac{83 \%}{17 \%} = 4,9$

In **Industrienationen** werden **35 %** der **Primärenergie** (**Erdöl**) für den **Transportsektor** und davon ca. 2/3 (21 %) für den **Pkw-Verkehr** verwendet.

In **Ballungsräumen** ist der Wirkungsgrad des Antriebstranges

Energie am Rad zur Energie im Speicher (Tank)



bei Pkw mit **Vkm** **15 – 20 %**; **Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV)** **80 %**

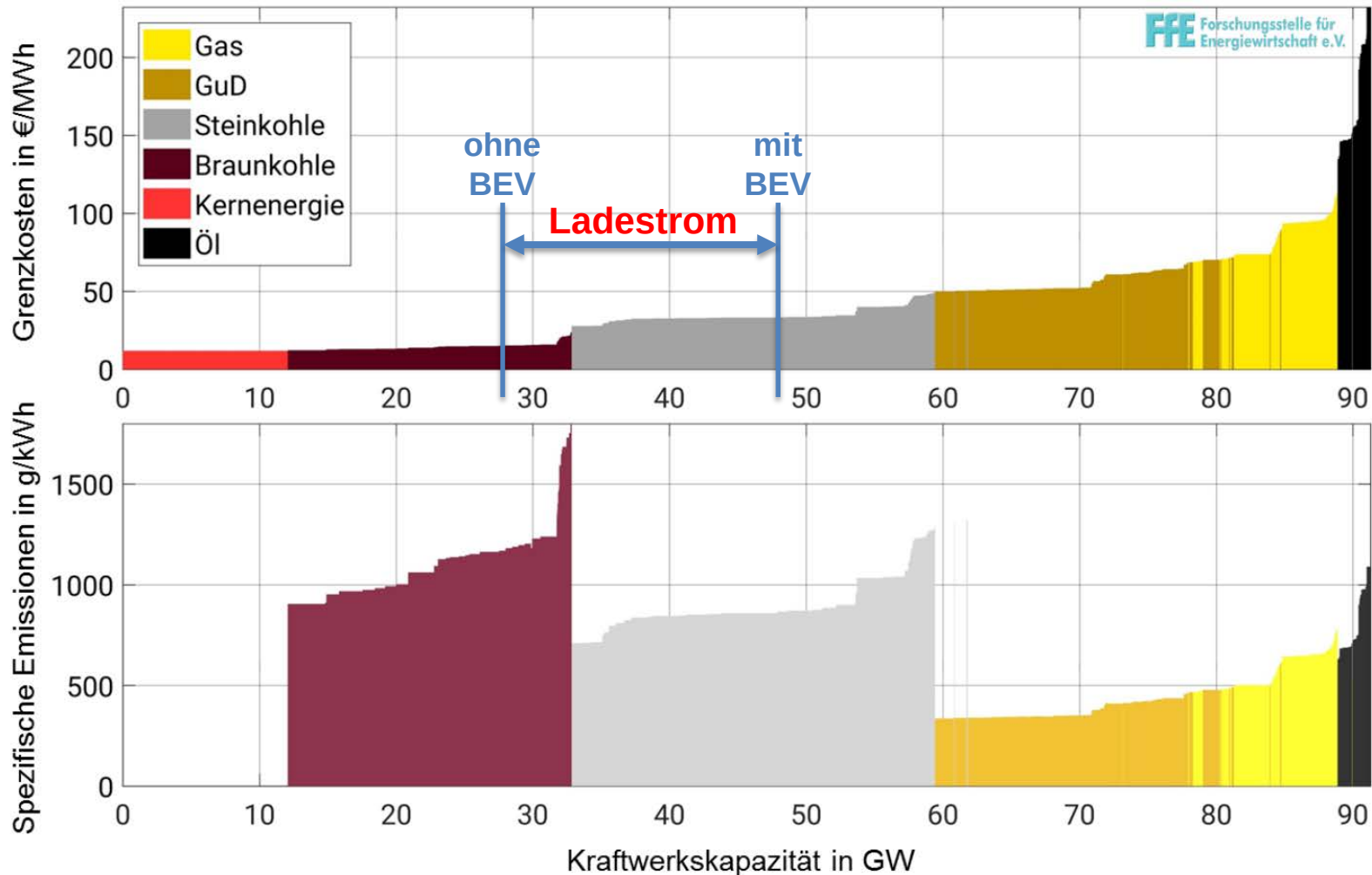
Wenn man elektrisch fährt, kann man 80 bis 85 % **fossile Primärenergie** einsparen!

Trugschluss: Der **Antriebstrang muss elektrisch sein**, aber **nicht als BEV**, denn

- **Strom** in Europa (4.000 TWh/a) ist zu **38 % fossil** und nur zu **60 % grün**.
- **Volatile Energie** ist immer im **Netz** (weil von der Natur geschenkt).
- Der **fehlende Strom** (**Residuallast**) muss mit **fossilen Kraftwerken** aufgebracht werden und diese sind auch für die **Netzstabilität essenziell**.

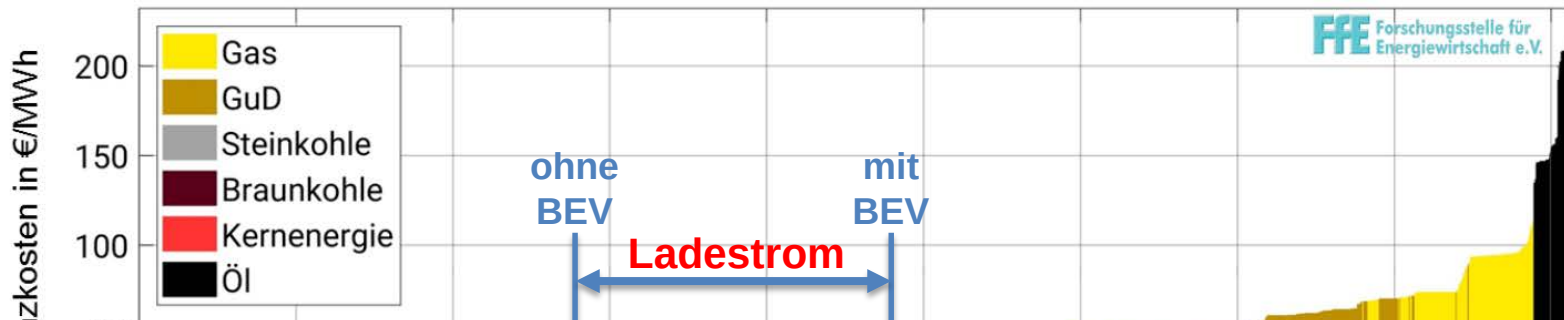
Die „Merit-Order“ ist die Einsatzreihenfolge der Kraftwerke

Grenzkosten und spezifische Emissionen der Residuallast-Kraftwerke in D

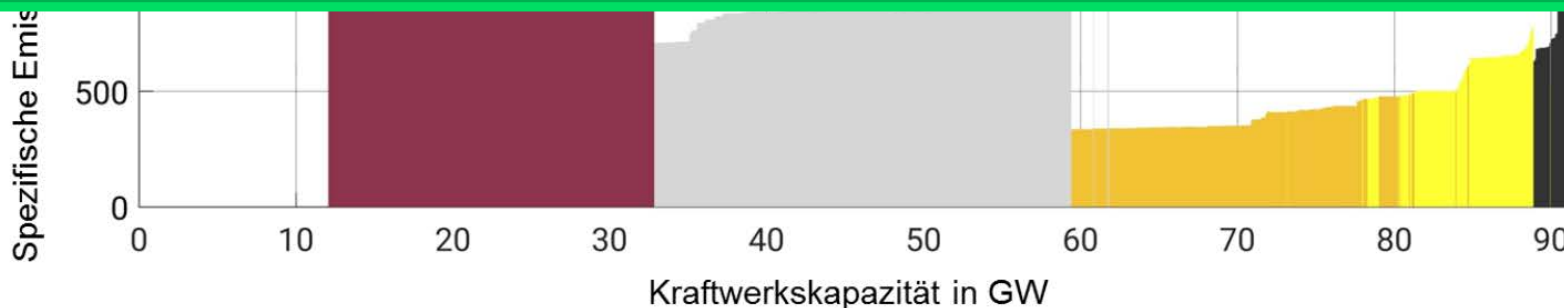


Die „Merit-Order“ ist die Einsatzreihenfolge der Kraftwerke

Grenzkosten und spezifische Emissionen der Residuallast-Kraftwerke in D



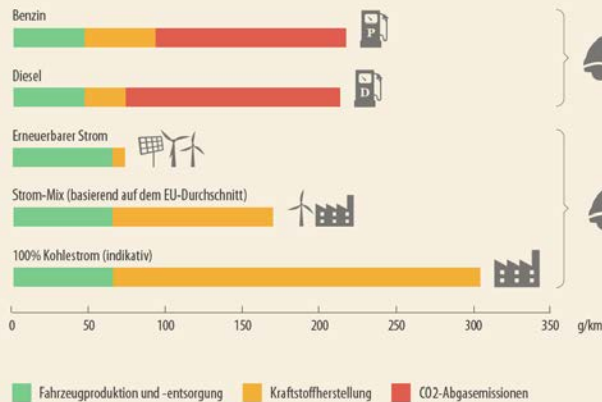
Die von der Politik praktizierte Ankurbelung der Mobilität mit BEV verzögert die Energiewende, da das Ziel - die vollständige Defossilisierung des Stroms – um Jahre verzögert wird.



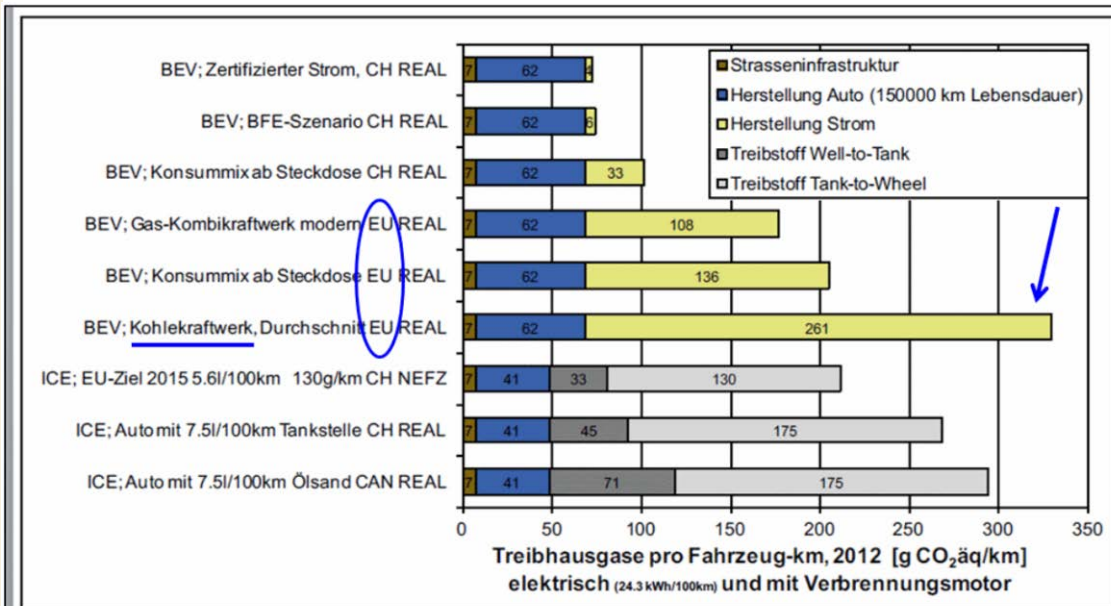
Lebenszyklusbewertung der CO₂-Emissionen des Verkehrs in der EU mit Vkm und BEV.

CO₂-EMISSIONEN DES VERKEHRS IN DER EU

CO₂-Lebenszyklusemissionen verschiedener Fahrzeug- und Kraftstoffarten (2014)



Quelle: Europäische Umweltagentur, TNO



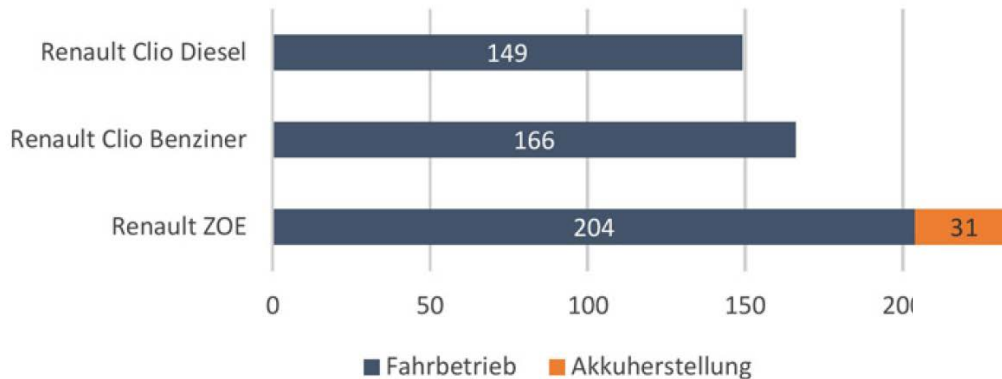
THELMA/ETH Zürich, 2013

BEV = Battery Electric Vehicle ICE = Internal Combustion Engine, Verbrennungsmotor

BFE-Szenario: Energieperspektive 2050 des Bundes (CH): Strom aus Schweizer Produktion und Import von Kernenergie

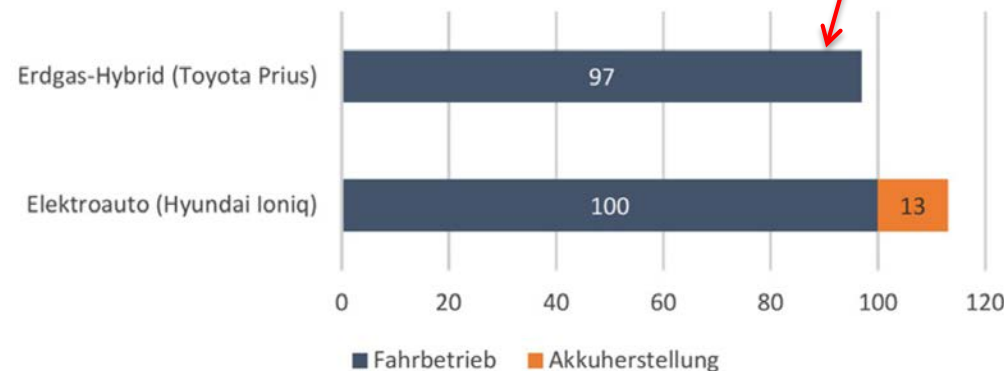
Vergleich Vkm mit BEV mit Ladestrom aus verschiedenen Primärquellen

CO₂-Emissionen 2020 in g/km
(incl. Akkuherstellung)

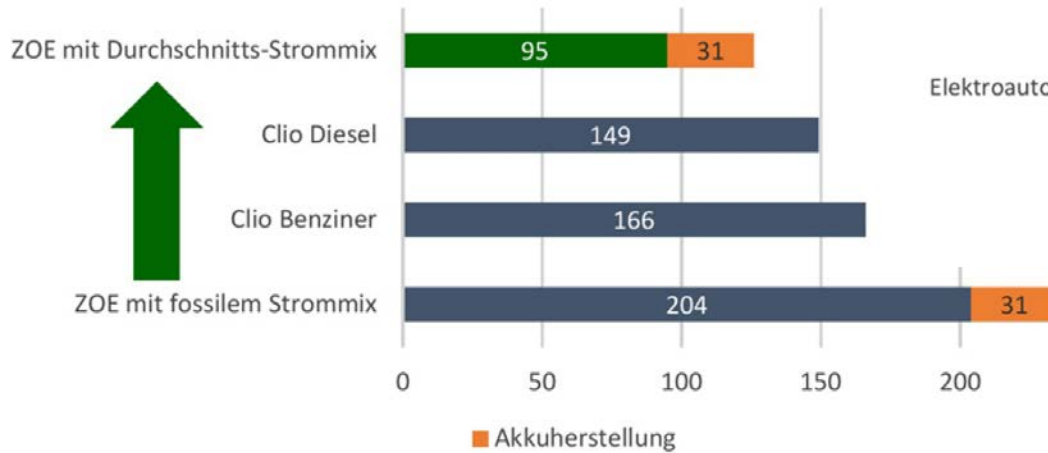


Der angegebene Wert von 76 Gramm wurde mit dem inzwischen veralteten NEFZ-Zyklus ermittelt. Lt. ADAC ergibt das neuere WLTP-Verfahren beim Prius einen um knapp 11 % Prozent höheren Ausstoß (siehe <https://www.motortalk.de/news/was-derwltpl-mit-der-kfz-steuer-macht-t5929208.html?page=3>). Dazu kommen noch die Vorkettenverluste (bei Erdgas ca. 15 %). Somit ist mit einem CO₂-Ausstoß von **97 Gramm/km** zu rechnen.

Elektro- versus optimiertes Erdgasauto
(beide mit Erdgas als Primärenergie)



CO₂-Emissionen in g/km



Was wären die Voraussetzungen für **Mobilität** mit **BEV**

- Elektrische Energie muss zu 100 % aus **CO₂-armen Quellen aus Europa** kommen.
- Das Netz muss **viel mehr ausgebaut sein** → Kraftwerke, Netzinfrastruktur.
- Elektrische Energie zum Laden der BEV muss **Überschussstrom** sein.
- Das Angebot (volatile Energie) muss mit **den Verbrauchern synchronisiert** sein, um bei Bedarf mehr grünen Strom zu liefern → größtechnische Energiespeicher.
- Batterien müssen das **Oxidationsmittel** aus der Umgebung nehmen, um eine signifikant höhere Energiedichte zu erreichen → siehe synthetische Kraftstoffe
- Batterien müssen aus weltweit **gut verfügbaren Rohstoffen** bestehen, um keine neuen Abhängigkeiten zu begründen → Lithium, seltene Erden, fossile Energie, ...
- Das Netz muss im **Vollausbau einer BEV-Mobilität** sowohl die Ladeenergie wie die Ladeleistung bereitstellen können → **Beispiel: alle Pkw in D sind 2019 elektrisch ...**

Elektromobilität in Deutschland 2019¹, alle Pkw sind elektrisch

Pkw: 47,72 Mio. Pkw, 15 000 km/a @ **25 kWh**/100 km inkl. Heizung + Kühlung

Installierte Kraftwerksleistung in Deutschland: **≈ 214 GW** $\bar{P} \approx 75 \text{ GW}$

Gesamte **elektrische** Energie Deutschlands: **612 TWh/a**

47,72 Mio. Pkw, **150 mal** mit **25 kWh** laden → **179 TWh/a** (+29 % von D).

Anzahl e-Pkw **sequenziell** in der Zeit $\Delta T = \frac{8760}{150} \text{ h} = \mathbf{58,4 \text{ h}}$ laden.

Die **EU empfiehlt** **einen öffentlichen** Ladepunkt **pro 10 e-Fahrzeuge²**

27 %

Nutzungszeit	Leistung in kW	Ladezeit in h	Anzahl e-Pkw in ΔT	Anzahl Ladepunkte	Gleichzeitig ladende e-Pkw	Auslastung Ladepunkte	Netzleistung in GW	Energie in TWh
0 – 24 Uhr	3,125	8	7,30	6 536 435	13,70%	100,00%	20,43	179
0 – 24 Uhr	25	1	58,40	817 054	1,71%	100,00%	20,43	179
0 – 24 Uhr	100	0,25	233,60	204 264	0,43%	100,00%	20,43	179
6 – 22 Uhr	100	0,25	155,73	306 395	0,64%	100,00%	30,64	179
6 – 22 Uhr	100	0,25	155,73	500 000	1,05%	61,28%	50,00	179
6 – 22 Uhr	50	0,5	77,87	1 000 000	2,10%	61,28%	50,00	179
6 – 22 Uhr	50	0,5	77,87	2 000 000	4,19%	30,64%	100,00	179
6 – 22 Uhr	25	1	38,93	4 771 600	10,00%	25,68%	119,29	179
6 – 22 Uhr	50	0,5	77,87	4 771 600	10,00%	12,84%	238,58	179

¹ bp Statistical Review of World Energy June 2020, accessed 25.12.2020, <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/xlsx/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-all-data.xlsx>. ² Masterplan Ladeinfrastruktur Bundesregierung, [EU-Richtlinie 2014/94/EU](#), accessed 2.2.21.

27

Elektromobilität in Deutschland 2019¹, alle Pkw sind elektrisch

Pkw: 47,72 Mio. Pkw, 15 000 km/a @ **25 kWh**/100 km inkl. Heizung + Kühlung

Installierte Kraftwerksleistung in Deutschland: **≈ 214 GW** $\bar{P} \approx 75 \text{ GW}$

Gesamte **elektrische** Energie Deutschlands: **612 TWh/a**

47,72 Mio. Pkw, 150 mal mit 25 kWh laden → 179 TWh/a (+29 % von D).

Anzahl e-Pkw **sequenziell** in der Zeit $\Delta T = \frac{8760}{150} \text{ h} = \mathbf{58,4 \text{ h}}$ laden.

Die **EU empfiehlt** **einen öffentlichen** Ladepunkt **pro 10 e-Fahrzeuge²**

41 %

Nutzungszeit	Leistung in kW	Ladezeit in h	Anzahl e-Pkw in ΔT	Anzahl Ladepunkte	Gleichzeitig ladende e-Pkw	Auslastung Ladepunkte	Netzleistung in GW	Energie in TWh
0 – 24 Uhr	3,125	8	7,30	6 536 435	13,70%	100,00%	20,43	179
0 – 24 Uhr	25	1	58,40	817 054	1,71%	100,00%	20,43	179
0 – 24 Uhr	100	0,25	233,60	204 264	0,43%	100,00%	20,43	179
6 – 22 Uhr	100	0,25	155,73	306 395	0,64%	100,00%	30,64	179
6 – 22 Uhr	100	0,25	155,73	500 000	1,05%	61,28%	50,00	179
6 – 22 Uhr	50	0,5	77,87	1 000 000	2,10%	61,28%	50,00	179
6 – 22 Uhr	50	0,5	77,87	2 000 000	4,19%	30,64%	100,00	179
6 – 22 Uhr	25	1	38,93	4 771 600	10,00%	25,68%	119,29	179
6 – 22 Uhr	50	0,5	77,87	4 771 600	10,00%	12,84%	238,58	179

¹ bp Statistical Review of World Energy June 2020, accessed 25.12.2020, <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/xlsx/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-all-data.xlsx>. ² Masterplan Ladeinfrastruktur Bundesregierung, [EU-Richtlinie 2014/94/EU](#), accessed 2.2.21.

Elektromobilität in Deutschland 2019¹, alle Pkw sind elektrisch

Pkw: 47,72 Mio. Pkw, 15 000 km/a @ **25 kWh**/100 km inkl. Heizung + Kühlung

Installierte Kraftwerksleistung in Deutschland: **≈ 214 GW** $\bar{P} \approx 75 \text{ GW}$

Gesamte **elektrische** Energie Deutschlands: **612 TWh/a**

47,72 Mio. Pkw, 150 mal mit 25 kWh laden → 179 TWh/a (+29 % von D).

Anzahl e-Pkw **sequenziell** in der Zeit $\Delta T = \frac{8760}{150} \text{ h} = \mathbf{58,4 \text{ h}}$ laden.

Die **EU empfiehlt** **einen öffentlichen** Ladepunkt **pro 10 e-Fahrzeuge²**

67 %

Nutzungszeit	Leistung in kW	Ladezeit in h	Anzahl e-Pkw in ΔT	Anzahl Ladepunkte	Gleichzeitig ladende e-Pkw	Auslastung Ladepunkte	Netzleistung in GW	Energie in TWh
0 – 24 Uhr	3,125	8	7,30	6 536 435	13,70%	100,00%	20,43	179
0 – 24 Uhr	25	1	58,40	817 054	1,71%	100,00%	20,43	179
0 – 24 Uhr	100	0,25	233,60	204 264	0,43%	100,00%	20,43	179
6 – 22 Uhr	100	0,25	155,73	306 395	0,64%	100,00%	30,64	179
6 – 22 Uhr	100	0,25	155,73	500 000	1,05%	61,28%	50,00	179
6 – 22 Uhr	50	0,5	77,87	1 000 000	2,10%	61,28%	50,00	179
6 – 22 Uhr	50	0,5	77,87	2 000 000	4,19%	30,64%	100,00	179
6 – 22 Uhr	25	1	38,93	4 771 600	10,00%	25,68%	119,29	179
6 – 22 Uhr	50	0,5	77,87	4 771 600	10,00%	12,84%	238,58	179

¹ bp Statistical Review of World Energy June 2020, accessed 25.12.2020, <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/xlsx/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-all-data.xlsx>. ² Masterplan Ladeinfrastruktur Bundesregierung, [EU-Richtlinie 2014/94/EU](#), accessed 2.2.21.

Elektromobilität in Deutschland 2019¹, alle Pkw sind elektrisch

Pkw: 47,72 Mio. Pkw, 15 000 km/a @ **25 kWh**/100 km inkl. Heizung + Kühlung

Installierte Kraftwerksleistung in Deutschland: **≈ 214 GW** $\bar{P} \approx 75 \text{ GW}$

Gesamte **elektrische** Energie Deutschlands: **612 TWh/a**

47,72 Mio. Pkw, 150 mal mit 25 kWh laden → 179 TWh/a (+29 % von D).

Anzahl e-Pkw **sequenziell** in der Zeit $\Delta T = \frac{8760}{150} \text{ h} = \mathbf{58,4 \text{ h}}$ laden.

Die **EU empfiehlt** **einen öffentlichen** Ladepunkt **pro 10 e-Fahrzeuge**²

159 %

Nutzungszeit	Leistung in kW	Ladezeit in h	Anzahl e-Pkw in ΔT	Anzahl Ladepunkte	Gleichzeitig ladende e-Pkw	Auslastung Ladepunkte	Netzleistung in GW	Energie in TWh
0 – 24 Uhr	3,125	8	7,30	6 536 435	13,70%	100,00%	20,43	179
0 – 24 Uhr	25	1	58,40	817 054	1,71%	100,00%	20,43	179
0 – 24 Uhr	100	0,25	233,60	204 264	0,43%	100,00%	20,43	179
6 – 22 Uhr	100	0,25	155,73	306 395	0,64%	100,00%	30,64	179
6 – 22 Uhr	100	0,25	155,73	500 000	1,05%	61,28%	50,00	179
6 – 22 Uhr	50	0,5	77,87	1 000 000	2,10%	61,28%	50,00	179
6 – 22 Uhr	50	0,5	77,87	2 000 000	4,19%	30,64%	100,00	179
6 – 22 Uhr	25	1	38,93	4 771 600	10,00%	25,68%	119,29	179
6 – 22 Uhr	50	0,5	77,87	4 771 600	10,00%	12,84%	238,58	179

¹ bp Statistical Review of World Energy June 2020, accessed 25.12.2020, <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/xlsx/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-all-data.xlsx>. ² Masterplan Ladeinfrastruktur Bundesregierung, [EU-Richtlinie 2014/94/EU](#), accessed 2.2.21.

Elektromobilität in Deutschland 2019¹, alle Pkw sind elektrisch

Pkw: 47,72 Mio. Pkw, 15 000 km/a @ **25 kWh**/100 km inkl. Heizung + Kühlung

Installierte Kraftwerksleistung in Deutschland: **≈ 214 GW** $\bar{P} \approx 75 \text{ GW}$

Gesamte **elektrische** Energie Deutschlands: **612 TWh/a**

47,72 Mio. Pkw, **150 mal** mit **25 kWh** laden → **179 TWh/a** (+29 % von D).

Anzahl e-Pkw **sequenziell** in der Zeit $\Delta T = \frac{8760}{150} \text{ h} = \mathbf{58,4 \text{ h}}$ laden.

Die **EU empfiehlt** **einen öffentlichen** Ladepunkt **pro 10 e-Fahrzeuge**²

318 %

Nutzungszeit	Leistung in kW	Ladezeit in h	Anzahl e-Pkw in ΔT	Anzahl Ladepunkte	Gleichzeitig ladende e-Pkw	Auslastung Ladepunkte	Netzleistung in GW	Energie in TWh
0 – 24 Uhr	3,125	8	7,30	6 536 435	13,70%	100,00%	20,43	179
0 – 24 Uhr	25	1	58,40	817 054	1,71%	100,00%	20,43	179
0 – 24 Uhr	100	0,25	233,60	204 264	0,43%	100,00%	20,43	179
6 – 22 Uhr	100	0,25	155,73	306 395	0,64%	100,00%	30,64	179
6 – 22 Uhr	100	0,25	155,73	500 000	1,05%	61,28%	50,00	179
6 – 22 Uhr	50	0,5	77,87	1 000 000	2,10%	61,28%	50,00	179
6 – 22 Uhr	50	0,5	77,87	2 000 000	4,19%	30,64%	100,00	179
6 – 22 Uhr	25	1	38,93	4 771 600	10,00%	25,68%	119,29	179
6 – 22 Uhr	50	0,5	77,87	4 771 600	10,00%	12,84%	238,58	179

¹ bp Statistical Review of World Energy June 2020, accessed 25.12.2020, <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/xlsx/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-all-data.xlsx>. ² Masterplan Ladeinfrastruktur Bundesregierung, [EU-Richtlinie 2014/94/EU](#), accessed 2.2.21.

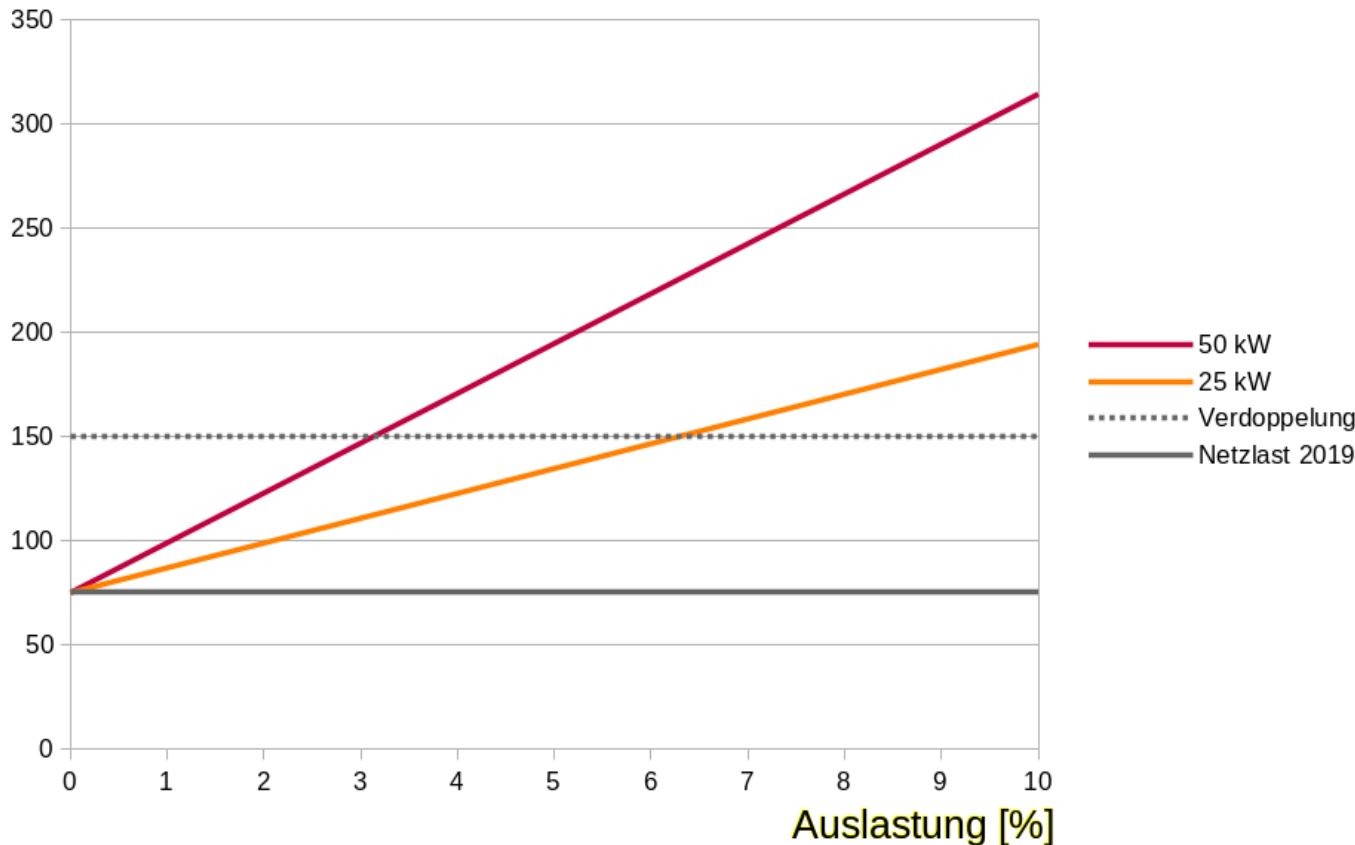
31

Elektromobilität in Deutschland 2019¹, alle Pkw sind elektrisch

Pkw: 47,72 Mio. Pkw, 15 000 km/a @ **25 kWh**/100 km inkl. Heizung + Kühlung

Installierte Kraftwerksleistung in Deutschland: **≈ 214 GW** $\bar{P} \approx 75 \text{ GW}$

Erforderliche Netzleistung [GW]



318 %

Netzleistung in GW	Energie in TWh
20,43	179
20,43	179
20,43	179
30,64	179
50,00	179
50,00	179
100,00	179
119,29	179
238,58	179

Elektromobilität in Deutschland 2019¹, alle Pkw sind elektrisch

Zum Vergleich:

60 l Diesel in 3 Minuten tanken bedeutet:

$60 \text{ l} \cdot 10 \text{ kWh/l} = 600 \text{ kWh}$ (1 h = 20 · 3 Min.)

→ $600 \text{ kW} \cdot 20 \text{ in } 3 \text{ Min} \rightarrow 12 \text{ MW in } 3 \text{ Min.}$

Mit „**Kabel**“ und **12 MW in 3 Minuten** „tanken“

12 MW 3 Minuten

25 kWh/100 km inkl. Heizung + Kühlung

nd: $\approx 214 \text{ GW}$ $\bar{P} \approx 75 \text{ GW}$

: **612 TWh/a**

→ **179 TWh/a** (+29 % von D).

$\frac{3760}{150} \text{ h} = 58,4 \text{ h}$ laden.

318 %

Die EU empfiehlt einen öffentlichen Ladepunkt pro 10 e-Fahrzeuge²

Nutzungszeit	Leistung in kW	Ladezeit in h	Anzahl e-Pkw in ΔT	Anzahl Ladepunkte	Gleichzeitig ladende e-Pkw	Auslastung Ladepunkte	Netzleistung in GW	Energie in TWh
0 – 24 Uhr	3,125	8	7,30	6 536 435	13,70%	100,00%	20,43	179
0 – 24 Uhr	25	1	58,40	817 054	1,71%	100,00%	20,43	179
0 – 24 Uhr	100	0,25	233,60	204 264	0,43%	100,00%	20,43	179
6 – 22 Uhr	100	0,25	155,73	306 395	0,64%	100,00%	30,64	179
6 – 22 Uhr	100	0,25	155,73	500 000	1,05%	61,28%	50,00	179
6 – 22 Uhr	50	0,5	77,87	1 000 000	2,10%	61,28%	50,00	179
6 – 22 Uhr	50	0,5	77,87	2 000 000	4,19%	30,64%	100,00	179
6 – 22 Uhr	25	1	38,93	4 771 600	10,00%	25,68%	119,29	179
6 – 22 Uhr	50	0,5	77,87	4 771 600	10,00%	12,84%	238,58	179

¹ bp Statistical Review of World Energy June 2020, accessed 25.12.2020, <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/xlsx/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-all-data.xlsx>. ² Masterplan Ladeinfrastruktur Bundesregierung, EU-Richtlinie 2014/94/EU, accessed 2.2.21.

Resümee zum **Vollausbau** der **Elektromobilität** in Deutschland für 47,7 Mio. e-Pkw in 2019

Umwandlungswirkungsgrade η

- **Nachladestrom** muss im Land generiert werden. Importiertes grünes Methan zu verstromen ist **sinnlos** → zu hohe Verluste & damit Kosten ($\eta = 1$ Wind/PV → $\eta = 0,71$ Strom → $\eta = 0,62$ Methan → $\eta = 0,8$ Strom → $\eta = 0,35$ e-Fzg).
- **Elektr. Energie:** **179 TWh/a** → **+42.400** Windräder (+137 %) od. **+2.600 km²** PV-Flächen (+380 %)
- **Ausgeklügelte Ladestrategien**, die das Netz „nur“ mit **+41 %** (40,6 GW) belasten sind für Verbraucher unzumutbar: alle 58 h zwischen 6 - 22 Uhr laden, < 2 % Pkw laden gleichzeitig.
- **Freier Zugang** zu den von der EU empfohlenen **4,7 Mio. Ladepunkten** führen unweigerlich zu einer Netzüberlastung (> + 100 %) und zum **Zusammenbruch** der Elektrizitätsversorgung.
- **Netzausbau** wird mit der **Zunahme** des **Strombedarfs** durch die Energiewende **nicht nachkommen** → es wird **kein grüner Überschussstrom** für **Elektromobilität** verfügbar sein.
- **Mobilität** hat auch andere Optionen als **Strom. IKT und** die vor Ort Erzeugung von **Wasserstoff** für die Umstellung der **Stahl-, Zement- und chemischen Industrie** ist auf Strom angewiesen.

Der **Elektrischer Antriebstrang** ist genial einfach, kostengünstig und hat einen hohen Wirkungsgrad. Man sollte **nicht** die **On-board Energie** in **Batterien speichern**, sondern on-board aus **grünen Kraftstoffen konvertieren**.

Resümee zum **Vollausbau** der **Elektromobilität** in Deutschland für 47,7 Mio. e-Pkw in 2019

Umwandlungswirkungsgrade η

- **Nachladestrom** muss im Land **generiert werden**. Importiertes grünes Methan zu verstromen ist **sinnlos** → zu hohe Verluste & damit Kosten (Wind/PV $\xrightarrow{\eta = 1}$ Strom $\xrightarrow{\eta = 0,71}$ Methan $\xrightarrow{\eta = 0,62}$ Strom $\xrightarrow{\eta = 0,8}$ e-Fzg) $\rightarrow \eta = 0,35$.

Es ist von der Politik zu hinterfragen, ob es nicht unverantwortlich ist,
eine **Mobilitätsform** durch öffentliche Mittel zu fördern, die
im Vollausbau nicht funktioniert.

- **Netzausbau** wird mit der **Zunahme** des **Strombedarfs** durch die Energiewende **nicht nachkommen** → es wird **kein grüner Überschussstrom** für **Elektromobilität** verfügbar sein.
- **Mobilität** hat auch andere Optionen als **Strom**. **IKT und** die vor Ort Erzeugung von **Wasserstoff** für die Umstellung der **Stahl-, Zement- und chemischen Industrie** ist auf Strom angewiesen.

Der **Elektrischer Antriebstrang** ist genial einfach, kostengünstig und hat einen hohen Wirkungsgrad. Man sollte **nicht** die **On-board Energie** in **Batterien speichern**, sondern on-board aus **grünen Kraftstoffen** konvertieren.

Ein Lösungsvorschlag für das **Optimierungsproblem** der europäischen **Energiewende**

Hypothese

Europas riesiger fossiler Primärenergiebedarf aus Öl + Gas + Kohle (17.100 TWh/a) soll über **transportfähige Energieträger** aus **grünem Strom** von außerhalb Europas importiert werden.

Warum von „**außerhalb Europas**“?

Wind- und „Solarernte“ in **optimalen Regionen außerhalb Europas** sind 2-3 mal besser → 2-3 mal **weniger** Investitionen für die **gleiche „Energieernte“**.

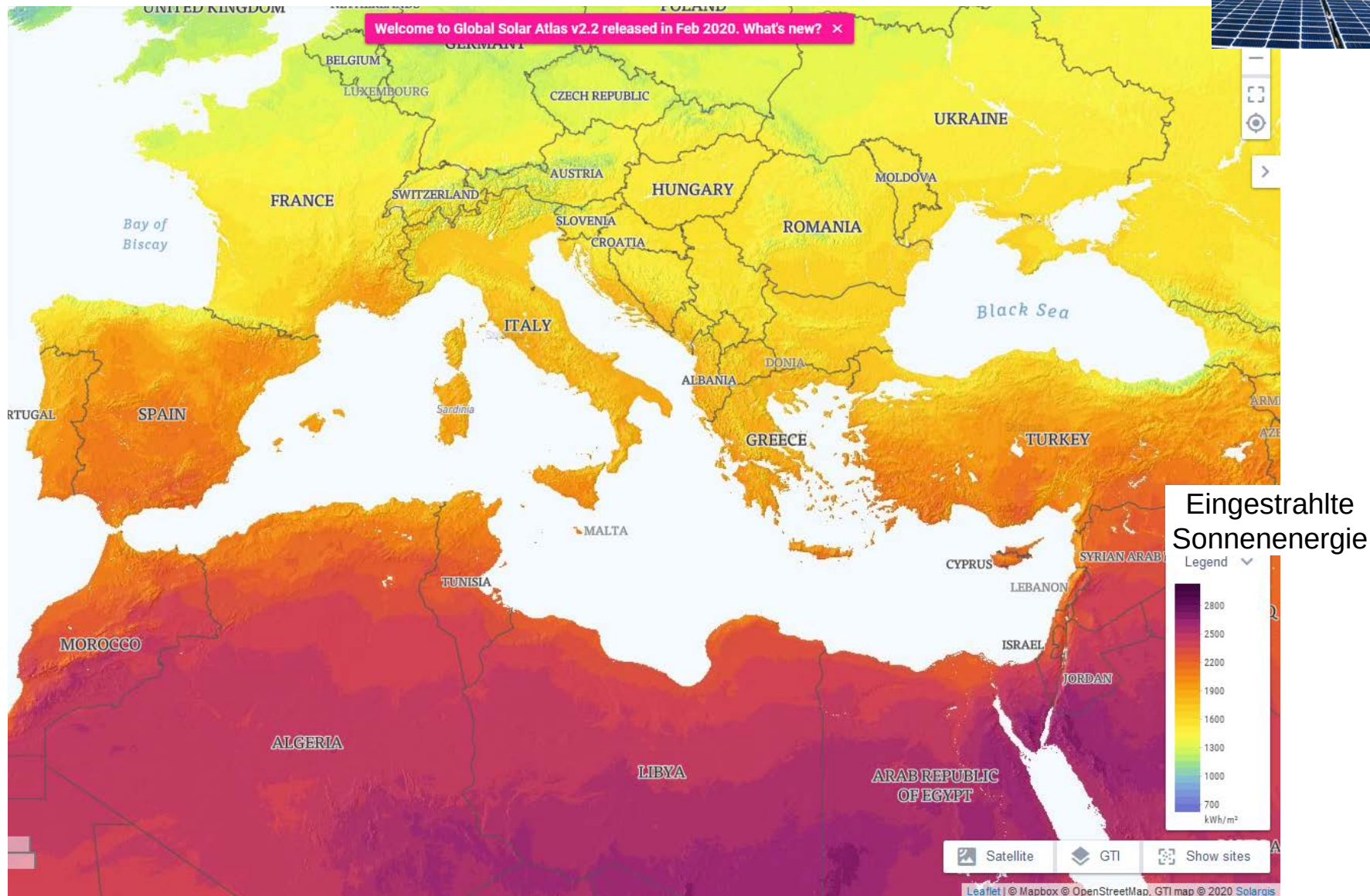
Generierung des fossilen europäischen Energiebedarfs aus

≈ Fläche
Bulgariens

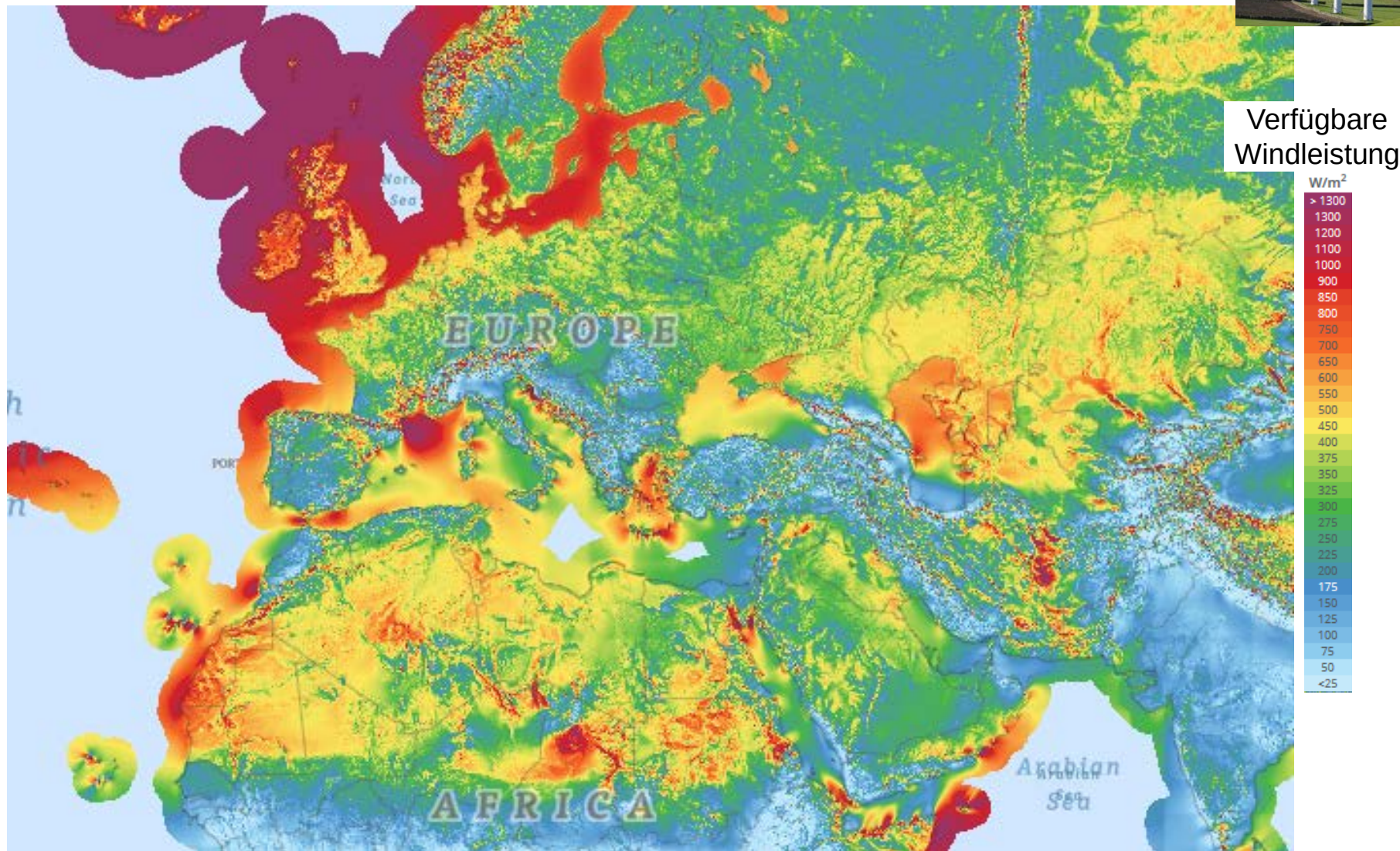
Wind: 1,52 Mio. Windräder à 2,5 MW oder **Solar: 114.800 km²** Solarfläche

Die **Zahlen verdoppeln** sich bei Generieren der **Energie in Europa!**

Photovoltaik in Europa und der MENA Region

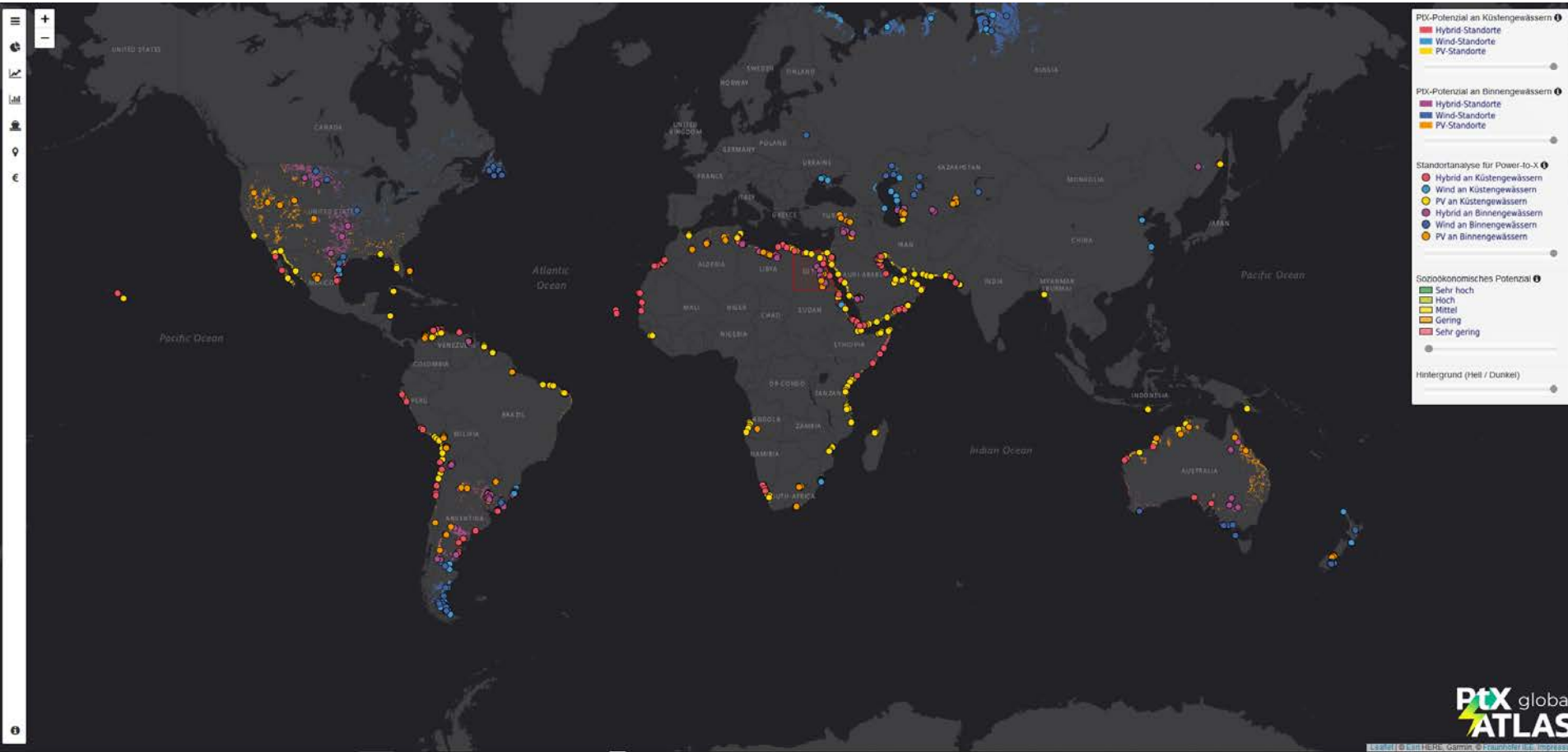


Windkraft in Europa und der MENA Region



Power-to-X-Atlas

Weltweite Potenziale für die Erzeugung von grünem Wasserstoff und klimaneutralen synthetischen Kraft- und Brennstoffen



Umwandlung **elektrischer** Energie in **Wasserstoff**

- **Elektrische Energie** (**571,8 kJ** für $2 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{ H}_2 + \text{O}_2$) spaltet Wasser zu **Wasserstoff** und Sauerstoff:
- Kathode: $2 \text{ H}_3\text{O}^+ + 2 \text{ e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2 \text{ H}_2\text{O}$ oder auch $2 \text{ H}_2\text{O} + 2 \text{ e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2 \text{ OH}^-$
- Anode: $4 \text{ OH}^- \rightarrow \text{O}_2 + 2 \text{ H}_2\text{O} + 4 \text{ e}^-$ oder auch $6 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4 \text{ H}_3\text{O}^+ + 4 \text{ e}^-$

▪ Und dann?

Was wäre der **ideale Transport-** und **Speicherbehälter** für **Wasserstoff**?

Druckbehälter oder kryogener Tank?

Heizwert (Energiedichte) **gravimetrisch** von **H₂**: **33,3 kWh/kg**;

Volumetrisch in kWh/m³ von **H₂**: **3,0** @ 1 bar; **1335** @ 700 bar; **2361** @ -253 °C

Volumetrisch von **Methan (CH₄)**: **9,9** @ 1 bar; **2000** @ 200 bar; **6111** @ -162 °C

Verhältnis CH₄/H₂: **3,3** @ 1 bar; **1,5** @ $\frac{200}{700}$ bar, **2,6** @ $\frac{-162}{-253}$ °C

Umwandlung **elektrischer** Energie in **Wasserstoff**

- **Elektrische Energie** (**571,8 kJ** für $2 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{ H}_2 + \text{O}_2$) spaltet Wasser zu **Wasserstoff** und Sauerstoff:
- Kathode: $2 \text{ H}_3\text{O}^+ + 2 \text{ e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2 \text{ H}_2\text{O}$ oder auch $2 \text{ H}_2\text{O} + 2 \text{ e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2 \text{ OH}^-$
- Anode: $4 \text{ OH}^- \rightarrow \text{O}_2 + 2 \text{ H}_2\text{O} + 4 \text{ e}^-$ oder auch $6 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4 \text{ H}_3\text{O}^+ + 4 \text{ e}^-$

Die beste Transport- und Speichermöglichkeit ist in chemischen Bindungen: entweder Ammoniak (NH-Bindungen) oder Kohlenstoff (CH-Bindungen)

Synthese von Methan und (flüssigen) Kohlenwasserstoffen

für Transport, Speicherung und Verwendung.

Volumetrisch in kWh/m³ von **H₂**: **3,0** @ 1 bar; **1335** @ 700 bar; **2361** @ -253 °C

Volumetrisch von **Methan (CH₄)**: **9,9** @ 1 bar; **2000** @ 200 bar; **6111** @ -162 °C

Verhältnis CH₄/H₂: **3,3** @ 1 bar; **1,5** @ $\frac{200}{700}$ bar, **2,6** @ $\frac{-162}{-253}$ °C

Die **Kosten** der **Energiewende** für Europa **bis 2050**

Aufwand & Investitionen

Ersatz der 2019 **von Europa** insgesamt **importierten** fossilen Energie von 17.100 TWh/a

1 GW Windpark: 7-10 Monate für Synthese von 250.000 m³ fl. Methan → **zu klein**

- a) **2 GW** Syntheseanlage (CAPEX (0,7 € / W¹) → **€ 1,4 Mrd.**) für **flüssiges Methan** mit Wirkungsgrad $\eta = 50 \%$ mit **H₂ Pufferspeicher** (CAPEX **€ 30 Mio.²**) für **permanenten** Betrieb (2 GW · 8760 h) → $\eta = 50 \%$ = **8,76 TWh fl. Methan**, Verflüssigungsanlage + Pufferspeicher (CAPEX **€ 300 Mio.³**) **1,433 Mio. m³/a** → **Pipeline** oder ca. alle 2 Monate **1 Tanker**. **Σ CAPEX € 1,73 Mrd.**
- b) **10 On-shore Windparks** à 1,752 TWh/a mit Off-shore Auslastung (48,6 %, 4.257 h) → **412 MW** → insgesamt **17,52 TWh/a**, € 0,886 Mio./MW¹ → **CAPEX € 3,65 Mrd.**
- c) **10 Solarfarmen** aus **Solarthermiekraftwerken** oder **PV** à 1,752 TWh/a (2·11,1 % (= D), 1.945 h) → **901 MW** (6,3 km²) → insges. **9,01 GW**, € 0,321 Mio./MW¹ → **CAPEX € 2,89 Mrd.**
- d) **Hochspannungsleitungen** zur Verbindung der 10 Windparks oder 10 Solarfarmen mit der Syntheseanlage → **CAPEX € 200 Mio.**

1 PTX-Atlas, https://www.iee.fraunhofer.de/content/dam/iee/energiesystemtechnik/de/Dokumente/Veroeffentlichungen/FraunhoferIEE-PtX-Atlas_Hintergrundpapier_final.pdf, Accessed 31.5.21.

2 Alain-Le-Duigou, et.al, Relevance-and-Cost-of-Large-Scale-Underground-Storage 9-8-17.pdf, Elsevier, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319917326824?via%3Dihub>, accessed 11.9.21.

3 toaz-info_LNG-storage-tank-cost-analysis_19-7-2013, <https://pdfcoffee.com/pdfviewer/web/viewer.html?file=https%3A%2F%2Fpdfcoffee.com%2Fdownload%2Fing-storage-tank-cost-analysis-pdf-free.html%3Freader%3D1#page=1&zoom=auto,-17,801>, page 15, accesses 10.9.21.

Die **Kosten** der **Energiewende** für Europa **bis 2050**

Zusammenfassung und Resümee

Investitionskosten (CAPEX) für die Bereitstellung von **8,76 TWh/a grünes Methan** aus:

Wind: Syntheseanlage € 1,73 Mrd. + 3,65 Mrd. (10 Windparks) + € 0,2 Mrd. (HV-Leitungen) Insgesamt **€ 5,05 Mrd.**

PV: Syntheseanlage € 1,73 Mrd. + 2,89 Mrd. (10 Solarfarmen) + € 0,2 Mrd. (HV-Leitungen). Insgesamt **€ 4,82 Mrd.**

CAPEX in **Mrd. €** für **Methansynthese** **außerhalb Europas** zum **Ersatz** der von Europa jährlich importierten **fossilen Energieträger** (2019: **17.100 TWh**) durch **Wind- & Solarenergie**

1.956 Synthese- anlagen à 8,76 TWh	CAPEX in Mrd. € für den Ersatz von:			Auf 30 Jahre aufgeteilter CAPEX in Mrd. € für den Ersatz von:			CAPEX für 30 Jahre	Σ CAPEX pro Jahr
	Öl 8.445 TWh	Erdgas 5.541 TWh	Kohle 3.152 TWh	Öl 8.445 TWh	Erdgas 5.541 TWh	Kohle 3.152 TWh		
Windpark	3,843	2,521	1434	128	84	48	7,798	260
ODER Solarfarm	3,321	2,179	1239	111	73	41	6,739	225

Bei 40 % Energieeinsparung: **CAPEX € 135 – 156 Mrd/a**; OPEX ähnliche Größenordnung

Die **EU-28** hat im **Jahr 2019 Energieprodukte** im Wert von **€ 320 Mrd. eingeführt**¹

1 Bruegel-Report, Mark Leonard et.al., The geopolitics of the European Green Deal, <https://www.bruegel.org/wp-content/uploads/2021/02/PC-04-GrenDeal-2021-1.pdf>, accessed 11.2.2021.

Wo soll man die **Synthesanlagen**
für **grüne Energieträger** errichten?

Wo **viel Wind** und/oder
hohe Sonneneinstrahlung verfügbar sind.

Der PtX-Atlas¹ gibt dazu gute Hinweise

Wo hohe **länderspezifische CO₂ Emissionen** sind.

1 PtX-Atlas, <https://maps.iee.fraunhofer.de/ptx-atlas/> accessed 20.6.2021

Global CO₂ Emissions 1960 – 2019

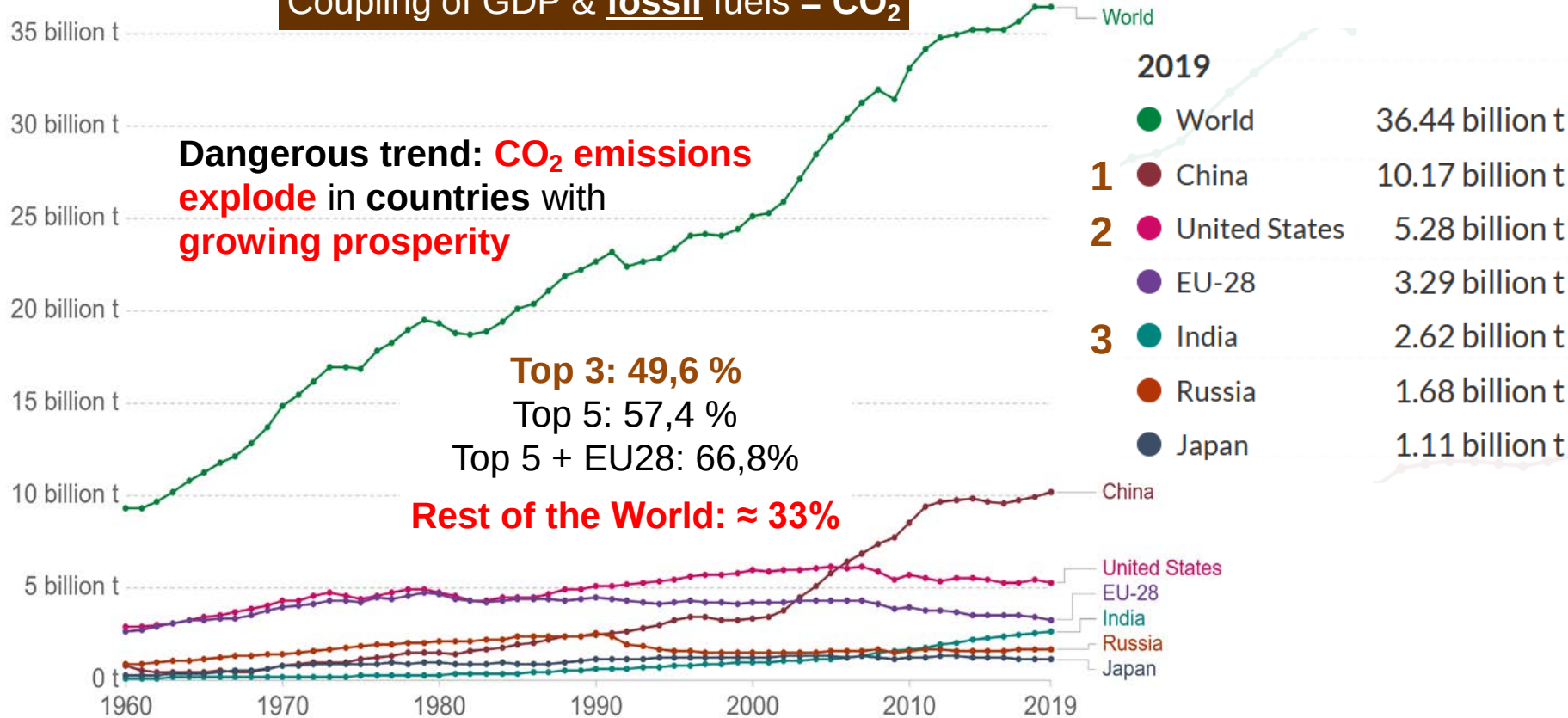
The largest CO₂ emitters

Annual CO₂ emissions

Carbon dioxide (CO₂) emissions from the burning of fossil fuels for energy and cement production. Land use change is not included.

Our World
in Data

Coupling of GDP & fossil fuels = CO₂



Source: Global Carbon Project; Carbon Dioxide Information Analysis Centre (CDIAC)

Note: CO₂ emissions are measured on a production basis, meaning they do not correct for emissions embedded in traded goods.

OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions/ • CC BY

Resümee zur Energiebetrachtung

- Die **CO₂-Reduktion** ist ein **globales** Thema und **kein lokales**.
- Wo die Bevölkerung **wächst** und **wohlhabend** wird, **wachsen** auch die **CO₂-Emissionen**.
- Die **Entkopplung** der **Energiezunahme** von den **fossilen CO₂ Emissionen** ist entscheidend.
- Die reichen und technologisch führenden **Industrienationen** und die armen, **wachsenden Nationen** bestimmen die **Erreichung der Paris-Ziele**.
- **Schlüssel # 1** ist eine **sofort wirksame** globale **CO₂ Reduktionsstrategie**:
Energieeinsparung: ohne Einbußen mit **weniger** Primärenergie, insbesondere im Verkehr, **auskommen**. Aber das ist eine andere Geschichte¹.....
- **Schlüssel # 2** ist **Elektrizität so schnell wie möglich zu defossilisieren** und staatliche Subventionen **nur** an Stromverbraucher zu vergeben, die zur Defossilisierung beitragen.
- **Schlüssel # 3** ist weltweit an effektiven Standorten **grünes Methan/Kraftstoffe** produzieren und nach Europa importieren. Diese Aktivität muss durch politische Maßnahmen und durch Risikokapital unterstützt werden, da **fossile Energie** **trotz hoher Energiedichte viel zu billig ist**. **Politische Unterstützung** könnte z.B. durch die folgenden Maßnahmen erfolgen:
 - Einführen einer **Steuer** auf in jedem Importgut gebundenen **fossilen Kohlenstoff**
 - Auszahlen einer **Prämie** für in jedem Exportgut gebundenen **grünen Kohlenstoff**.

¹ G. Brasseur, Hochwirkungsgrad Hybridantrieb für nachhaltige Elektromobilität, ÖAW-Verlag, 11.2.2020, https://epub.oeaw.ac.at/0xc1aa5576_0x003b46cd.pdf

Resümee zur Energiebetrachtung

- Die **CO₂-Reduktion** ist ein **globales** Thema und **kein lokales**.
- Wo die Bevölkerung **wächst** und **wohlhabend** wird, **wachsen** auch die **CO₂-Emissionen**.
- Die **Entkopplung** der **Energiezunahme** von den **fossilen CO₂ Emissionen** ist entscheidend.
- Die reichen und technologisch führenden **Industrienationen** und die armen, **wachsenden Nationen** bestimmen die **Erreichung der Paris-Ziele**.

Durch kluges internationales Handeln könnte in Zukunft ein Markt entstehen, der **grüne Energie** gegenüber fossiler Energie **wettbewerbsfähig macht**.

- **Schlüssel # 3** ist weltweit an effektiven Standorten **grünes Methan/Kraftstoffe** produzieren und nach Europa importieren. Diese Aktivität muss durch politische Maßnahmen und durch Risikokapital unterstützt werden, da **fossile Energie** **trotz hoher Energiedichte viel zu billig ist**. **Politische Unterstützung** könnte z.B. durch die folgenden Maßnahmen erfolgen:
 - Einführen einer **Steuer** auf in jedem Importgut gebundenen **fossilen Kohlenstoff**
 - Auszahlen einer **Prämie** für in jedem Exportgut gebundenen **grünen Kohlenstoff**.

Das vorgestellte Modell

- **bietet** industrialisierten Ländern einen Absatzmarkt für **Wind-** und **Solkraftwerke** sowie **Synthesanlagen** in **gewaltigen Stückzahlen**,
- **sichert** die **Stabilität** des **europäischen Netzes**, bei aus CO₂ Gründen immer geringerem Einsatz **fossiler Energieträger (Erdgas)**,
- **verringert** die **derzeitige Abhängigkeit** von **Erdöl und Erdgas** exportierenden Ländern: Bepreisung **jeder Freisetzung** von **fossilem CO₂**,
- **unterstützt** in Wachstumsregionen die Zunahme des **bescheidenen Wohlstands** ohne **CO₂-Zunahme** (**Friedenssicherung**),
- **schafft Arbeitsplätze** z.B. in der Middle East and North Africa (MENA) Region und
- **hilft** damit vermutlich den **Flüchtlingsstrom** aus diesen Ländern **einzudämmen**.

**Ich danke Ihnen für Ihre
Aufmerksamkeit**

und

freue mich auf Ihre Fragen!

georg.brasseur@tugraz.at