

Wie schafft man in Europa die Energiewende?

Univ.-Prof. Dr. Georg Brasseur

Institut für Elektrische Messtechnik und Sensorik



Technische Universität Graz



162 200 TWh

Fossile Energie fuels are the largest source of CO₂ emissions

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.

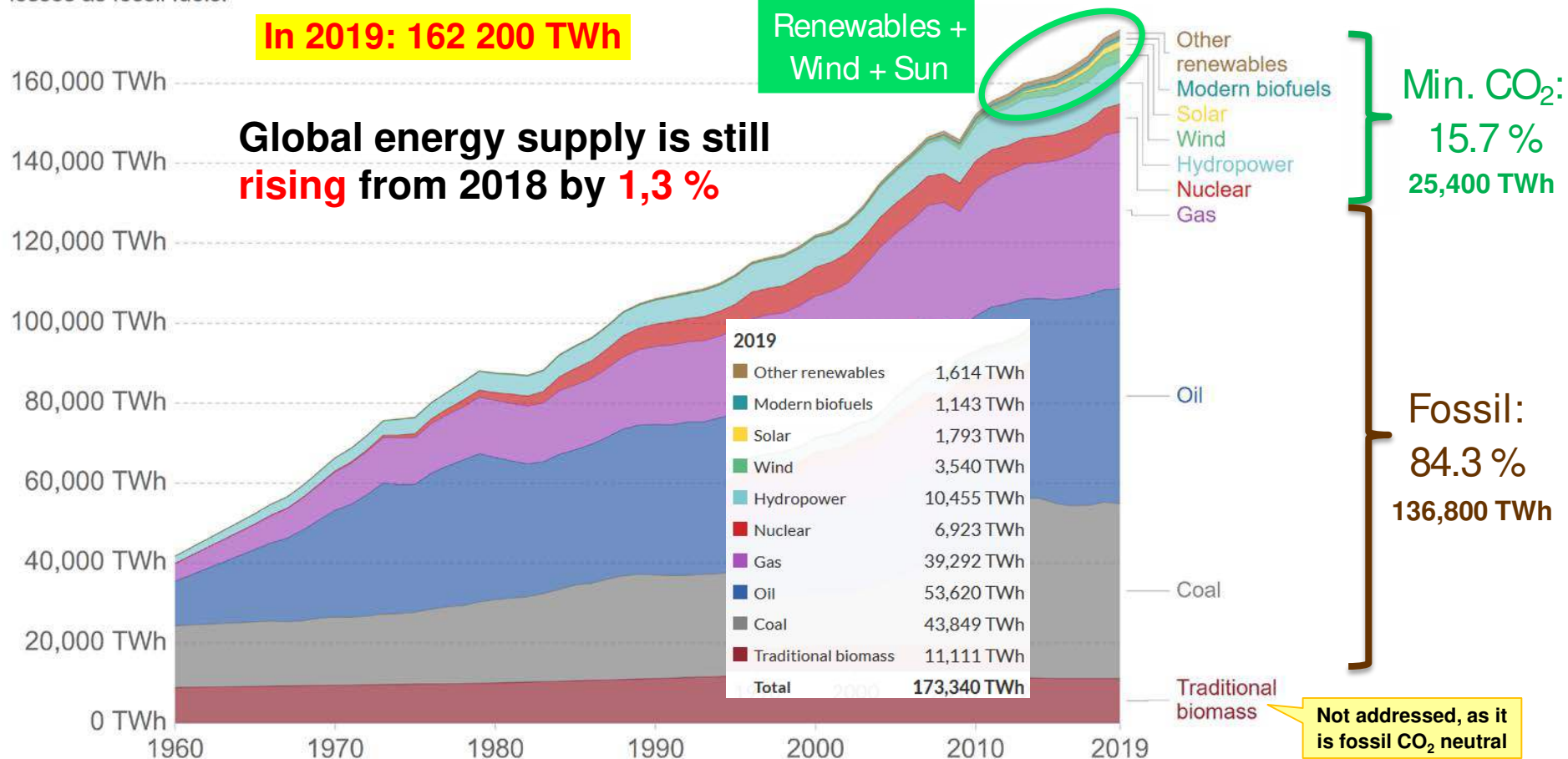
In 2019: 162 200 TWh

Renewables +
Wind + Sun

Global energy supply is still
rising from 2018 by 1,3 %

Min. CO₂:
15.7 %
25,400 TWh

Fossil:
84.3 %
136,800 TWh

Not addressed, as it
is fossil CO₂ neutral


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

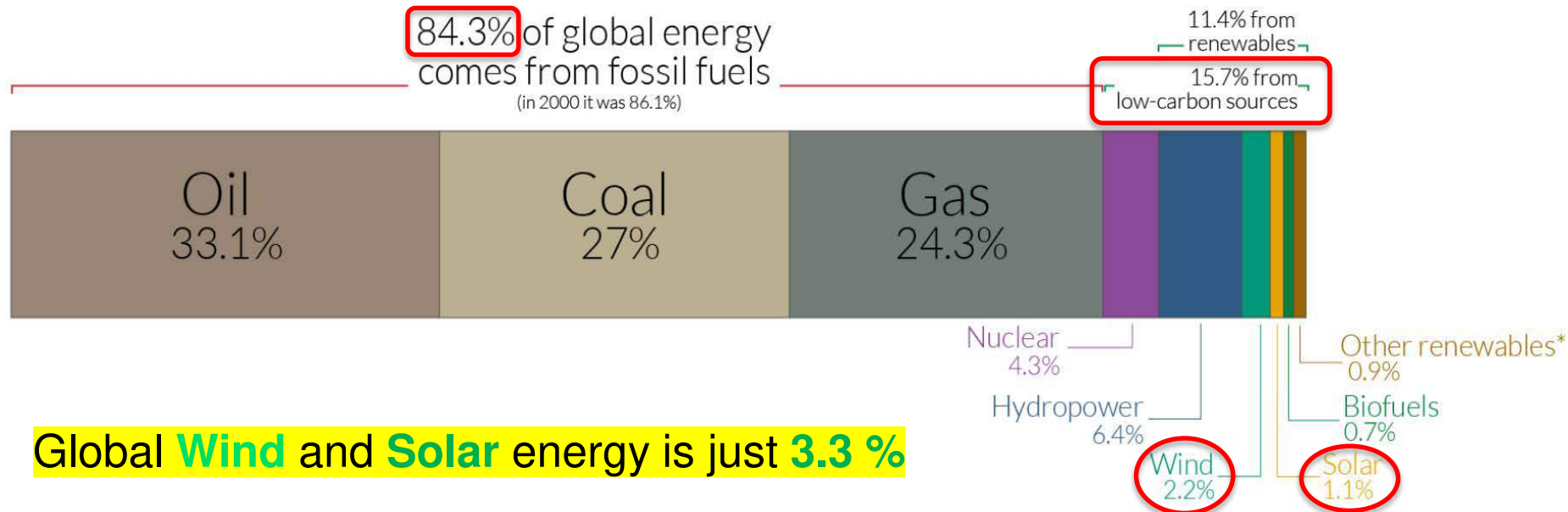
OurWorldInData.org/energy • CC BY

84,3 % of our energy still comes from **fossil fuels**.

Global primary energy consumption **by source**

Our World
in Data

The breakdown of primary energy is shown based on the 'substitution' method which takes account of inefficiencies in energy production from fossil fuels. This is based on global energy for 2019.



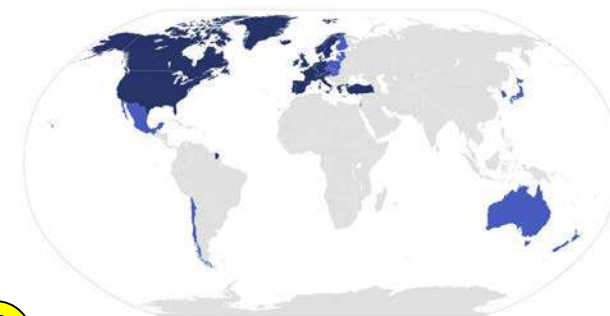
*'Other renewables' includes geothermal, biomass, wave and tidal. It does not include traditional biomass which can be a key energy source in lower income settings.

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 urgently needed

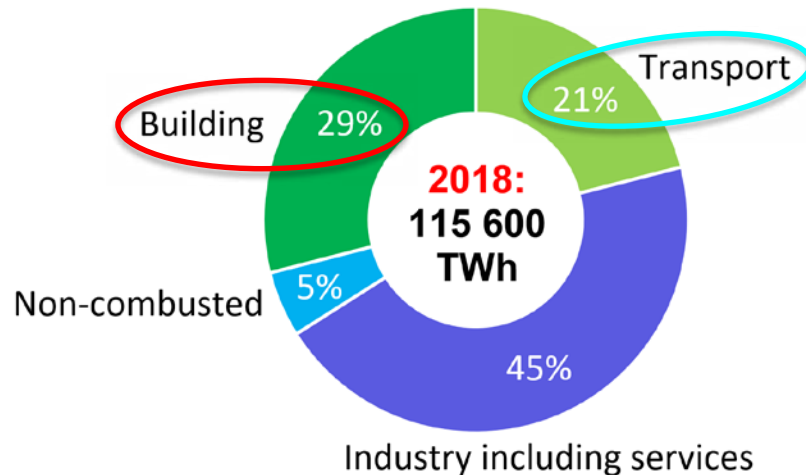
Final energy consumption by end-use sectors 2018

Global

Primary: 160 000 TWh

Primary to End-use just

72 %

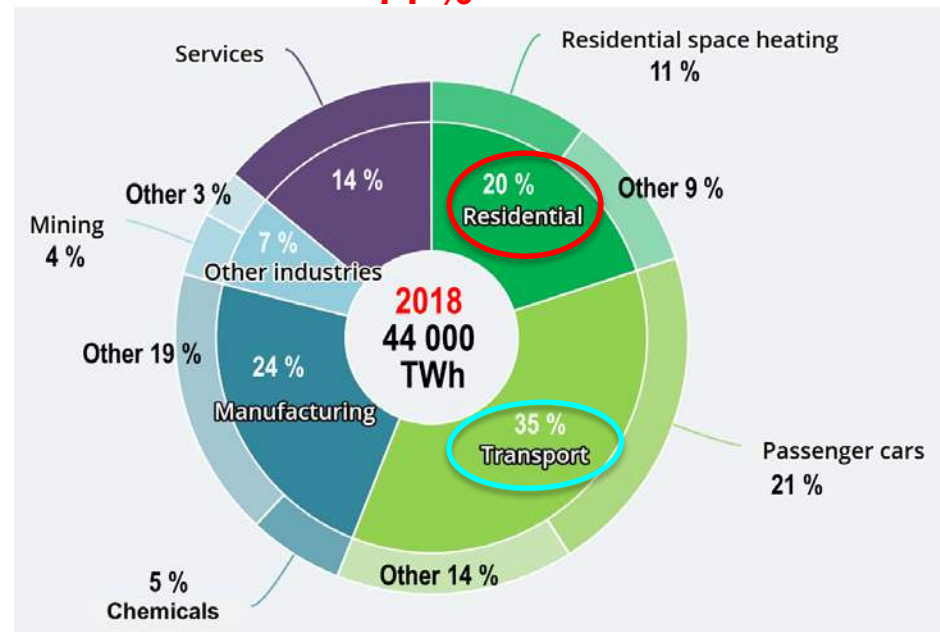


In IEA¹

Primary: 62 400 TWh

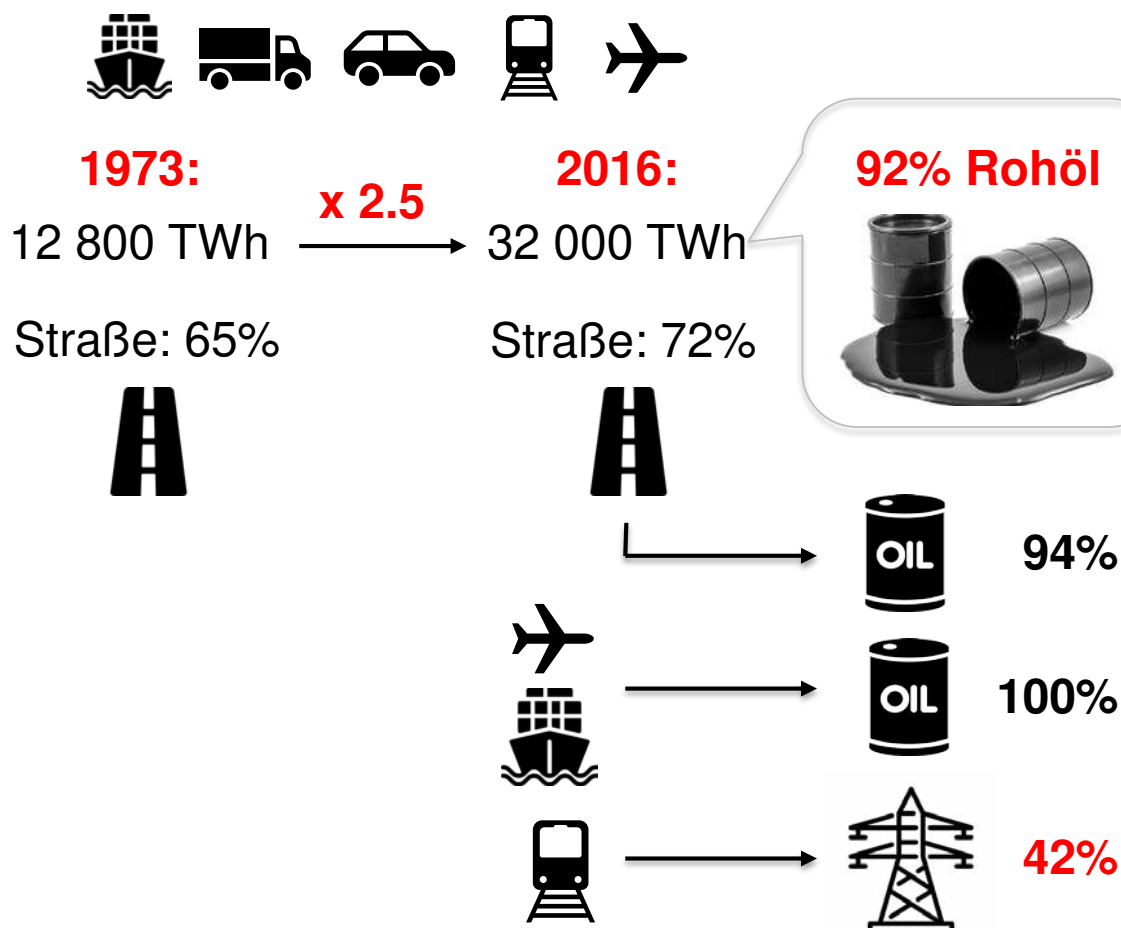
Primary to End-use just

71 %



¹ Refers to 2018 data for sixteen IEA countries for which data are available for most end uses: Australia, Belgium, Canada, Czech Republic, Finland, France, Germany, Hungary, Italy, Japan, Korea, Luxembourg, New Zealand, Spain, the United Kingdom and the United States.

Weltenergieverbrauch des Transportsektors



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 Gebäude** und
 - in **wohlhabenden Industrienationen** der **erdölbasierte Verkehr**.
- **Energiewende** heißt **Defossilisierung** der **globalen Primärenergie** und **nicht nur der Primärenergie**, die für **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 **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

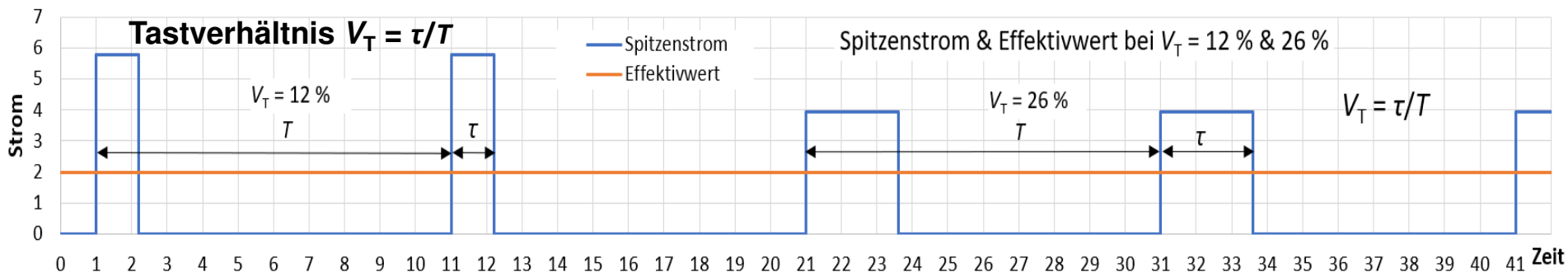
Europas fossiler Primärenergiebedarf aus Öl + Gas + Kohle beträgt 17.100 TWh/a.

Die **Energiewende** bedeutet deren **Ersatz** durch **Wind-** und **Solarenergie**.

- **2019: 82.000 Windrädern** → bis 2050 **mal 36** → **2,92 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

Verteilung volatiler Energie von der **Quelle** zu **Verbrauchern** bei **konstanter mittlerer Leistung**



Sieben 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 in Europa.
 - **488 DC-Freileitungen à 4 GW** (= 1.952 GW) mal 8760 h = **17.100 TWh**

Wer kann in Europa die extreme Leistung brauchen? => **IRREAL!**
4. **Strom** hat **keine Energie**, Strom kann nur **Energie** von A nach B **transportieren**.
5. **Europa** braucht neben Strom **unbedingt grüne speicherbare Energieträger**.
6. **Strom** ist die für Europa **wichtigste Energieform!** **ABER**: Das **volatile Stromangebot** ist **nicht** mit dem **Strombedarf** synchronisiert. → Blackouts drohen!
7. **Strom** kann **größentechnisch 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

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**.
- **Die 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. **51,4 TWh/a** wurden generiert bei nur **11,1 %** Jahresauslastung (970 h).
 - **ABER:** Die gegenüber kalorischen Kraftwerken viel geringere Jahresauslastung von **Wind-** und **Solarfarmen** bewirkt, dass bei **gleicher generierter Energie** die installierte Leistung und die **Netze** signifikant ausgebaut werden müssen.

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

- **Die Industrie** muss die Prozesse **defossilisieren**.
 - **Prozesswärme** z.B. mittels **Wärmepumpen**.
 - Die **Umstellung** der Rohstahlproduktion von **Kohle** auf **grünen Wasserstoff** benötigt für die Rohstahlproduktion in Österreichische (VOEST) **≈ 30 TWh/a Strom** und für Deutschland **≈ 183 TWh/a**.

Deutschland 2019: 612 TWh¹
Österreich 2019: 73 TWh¹
 - Die **Umstellung** der deutschen **Chemischen Industrie** benötigt laut Verband der Chemischen Industrie² **645 TWh elektrische Energie** pro Jahr, großteils zur Herstellung von **grünem Wasserstoff**.
- **Die Elektromobilität** mit Batterien als Energiespeicher benötigt im Vollausbau in Europa **≈1000 TWh/a** für 268 Mio. Pkw³).
 - **Weder** die **Ladeenergie** über Wind- und Solarkraftwerke **noch** die hohe **Ladeleistung** der Fahrzeuge kann zufolge Netzüberlastung **bereitgestellt** werden.

Es ist zu bezweifeln, dass die momentan politisch / regulatorisch eingeleiteten Maßnahmen funktionieren.

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 Welt in Zahlen, <https://www.welt-in-zahlen.de/laenderinformation.phtml>, accessed 21.3.21.

Resümee der **Energiebetrachtung**

- Die „Gretchenfrage“ lautet: **Welche Verbraucher bekommen Priorität** den kostbaren in Europa generierten grünen Strom zu nutzen?
- **Kostbar**, da durch die geographischen und sozialen Randbedingungen die **Energiemenge** und die in Europa **übertragbaren Leistungen** limitiert sind.
- **Kostbar**, da die Versorgung Europas mit Strom **IMMER** sichergestellt sein muss, ein vorhersehbarer Blackout kann für Europa **KEINE Option** sein.
- Die nicht in Europa aus **grünen Quellen generierbare Energie** muss in Form **gut transportfähiger** und **speicherbarer** Energieträger nach Europa importiert werden.
- Die benötigte **Menge** und **Art** des Energieträgers ist das **Ergebnis** eines multidimensionalen **Optimierungsproblems**, das die **Investitionskosten** für die Errichtung der grünen Kraftwerke mit den zugehörigen Synthesanlagen und Transportsysteme **minimiert**.
- Das **Optimierungsproblem** lässt sich anhand wissenschaftlich fundierter Fakten lösen und sollte nicht durch ideologische und politische Meinungen bestimmt werden.

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“.

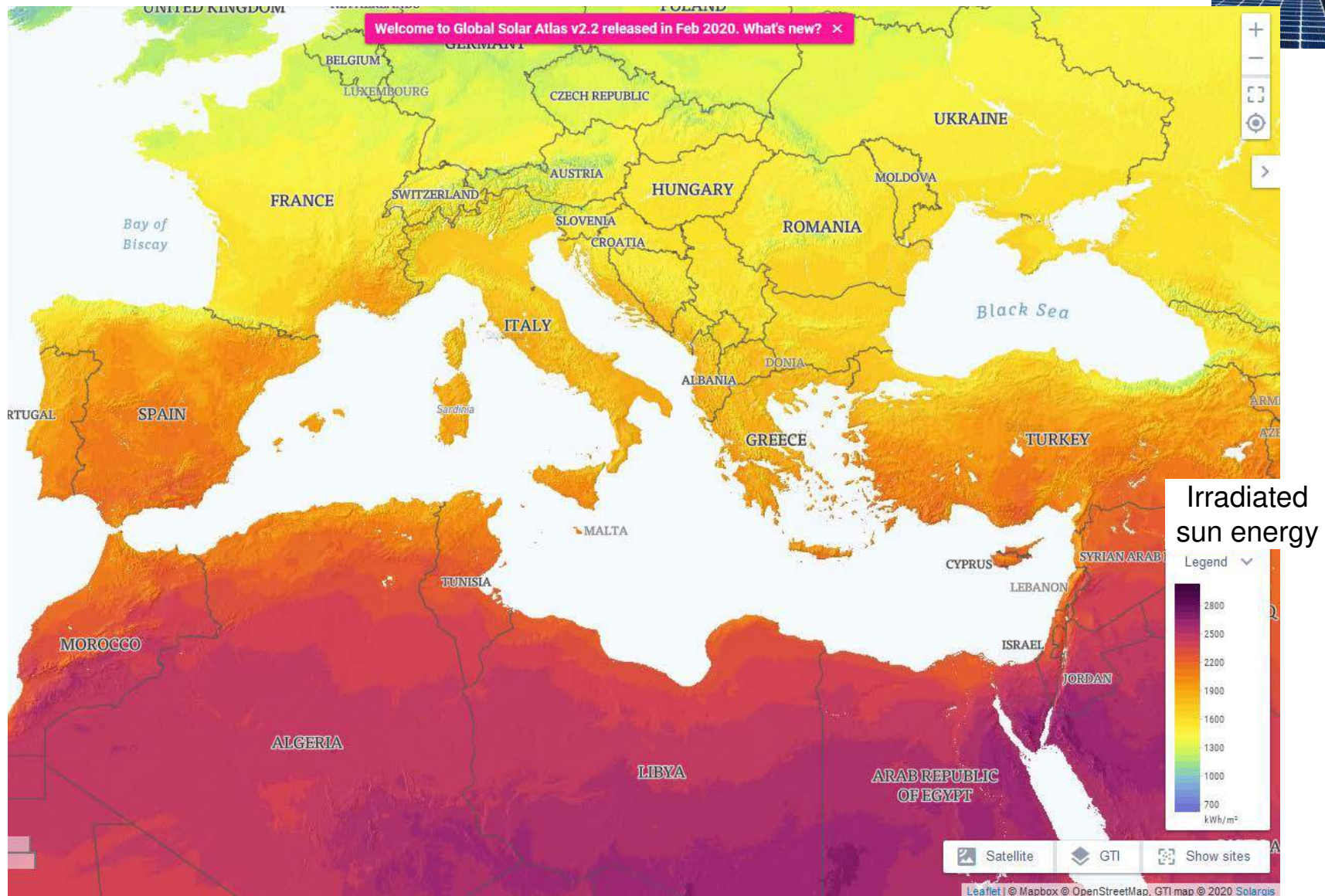
Generierung des fossilen europäischen Energiebedarfs aus

≈ Fläche Bulgariens

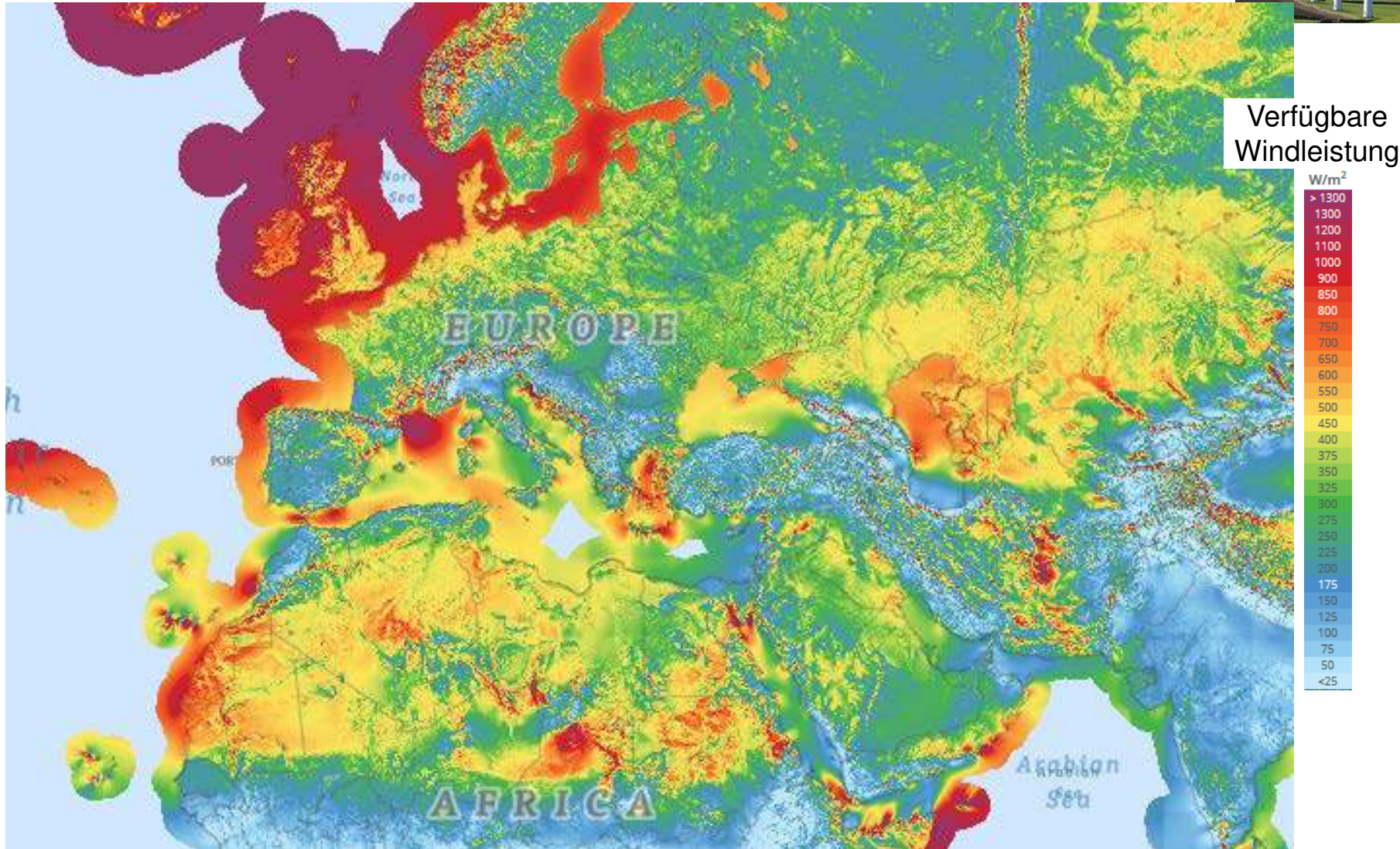
Wind: 1,52 Mio. Windräder à 2,5 MW oder **Solar: 114.800 km²** Solarfläche

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

Photovoltaik in Europa und der MENA Region



Windkraft in Europa und der MENA Region



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. $250 \cdot 10^6$ Liter; Diesel Tanker ca. $350 \cdot 10^6$ Liter

Betrieb des Windparks zur Füllung:
LNG Tankers: 7 - 10 Monate; Diesel Tankers: 1 – 1,5 Jahre
 (Leerung des Tankers dauert ca. 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. $250 \cdot 10^6$ Liter; Diesel Tanker ca. $350 \cdot 10^6$ Liter

Lessons Learned

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

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 (1 € / W) → € 2 Mrd.**) für **flüssiges Methan** mit Wirkungsgrad $\eta = 50 \%$ mit **H₂ Pufferspeicher (CAPEX € 200 Mio.)** für **permanenten** Betrieb (2 GW · 8760 h) → $\eta = 50 \%$ = **8,76 TWh fl. Methan**, Verflüssigungsanlage + Pufferspeicher (**CAPEX € 300 Mio.**) **1,433 Mio. m³/a** → **Pipeline** oder ca. alle 2 Monate **1 Tanker**.
- 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**, € 1,75 Mio./MW¹ → **CAPEX € 7,21 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 ≈ 2,5 x 2,5 km) → insges. **9,01 GW**, € 0,7 Mio./MW¹ → **CAPEX € 6,31 Mrd.**
- d) **Hochspannungsleitungen** zur Verbindung der 10 Windparks oder 10 Solarfarmen mit der Syntheseanlage → **CAPEX € 200 Mio.**

¹ ISE, Stromgestehungskosten erneuerbarer Energie, März 2018, S.10/44,
https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2018_ISE_Studie_Stromgestehungskosten_Erneuerbare_Energien.pdf, accessed 24.1.2021.

Die **Zahlen** für die **Synthese von Kohlenwasserstoffen** aus **grüner Energie**: **Aufwand und Investition**

Investitionskosten für die Bereitstellung von **8,76 TWh/a Energie** aus:

Windenergie: Syntheseanlage € 2,7 Mrd. + 7,21 Mrd. für 10 Windparks. **Insgesamt € 9,91 Mrd.**

Photovoltaik: Syntheseanlage € 2,7 Mrd. + 6,31 Mrd. für 10 Solarfarmen. **Insgesamt € 9,01 Mrd.**

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

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

1.952 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 ODER Solarfarm	9 565	6 276	3 570	319	209	119	19 410	647
	8 696	5 706	3 246	290	190	108	17 647	588

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** in Küstennähe oder **hohe**
Sonneneinstrahlung verfügbar sind.

Wo hohe **länderspezifische CO₂ Emissionen** sind.

Global CO₂ Emissions 1960 – 2019

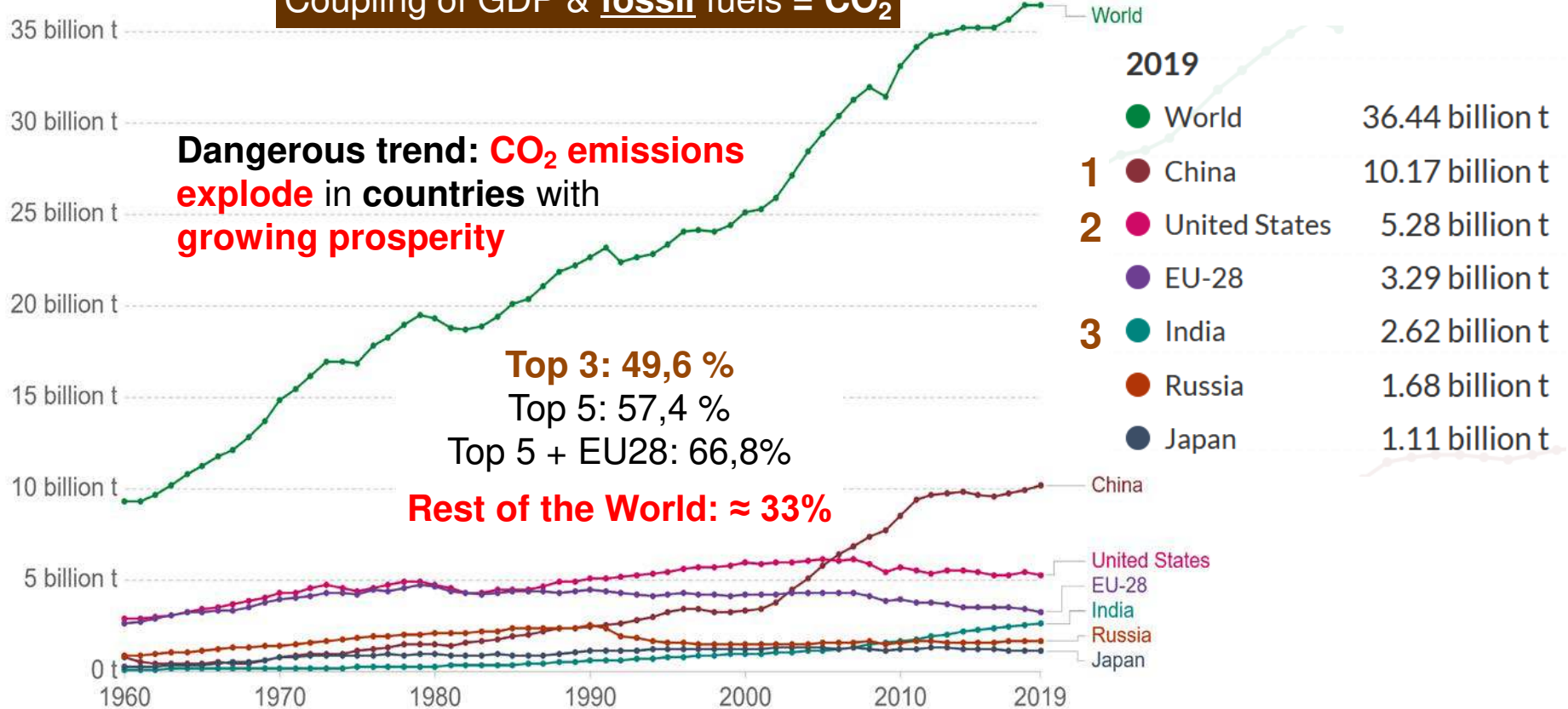
The largest CO₂ emitters

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: mit **weniger** Primärenergie, insbesondere im Verkehr, **ohne Einbußen** auszukommen. **Aber das ist eine andere Geschichte¹.....**
- **Schlüssel # 2** ist **nicht Strom** sondern an **wirkungsvollen** Standorten **global produziertes grünes Methan** nach Europa einzuführen. Diese Aktivität **muss** man **über politische Maßnahmen** und über **privates Kapital stützen**, da **fossile Energie** trotz der **hohen Energiedichte** **viel zu billig ist**. Beispielsweise durch
 - **Einführen** einer **Steuer** für den in jedem Importgut gebundenen **fossilen Kohlenstoff** und
 - **Ausschütten** eines **Bonus** für den in jedem Exportgut gebundenen **grünen Kohlenstoff**.
 - Durch ähnliche internationale Maßnahmen könnte in (ferner) **Zukunft ein Markt** geschaffen werden, der **grüne Energie wettbewerbsfähig** zu **fossiler Energie** macht.

Hier ist die Politik gefordert

Das vorgestellte Modell

- **bietet industrialisierten Ländern** einen **Absatzmarkt** für **Wind-** und **Solarkraftwerke** 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**.

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 %) → $\frac{83\%}{17\%} = 4,9$

Dazu muss **elektrische Energie** zu 100 % aus **CO₂-armen Quellen** kommen, **mehr ausgebaut sein** (**Kraftwerke & Netze**) und **mehr elektrische Energie** bei Bedarf zur Verfügung stellen.

Gesamte Kraftwerksleistung von A ist **21,3 GW**

Z.B. Deutschland Ende **2020**: **PV** mit **53 GW** installiert. Jahresauslastung **11,1 %** (970 h).

51,4 TWh/a zu **98 %** in **2 Mio. Anlagen** dezentral am **Niederspannungsnetz 230/400 V**¹.

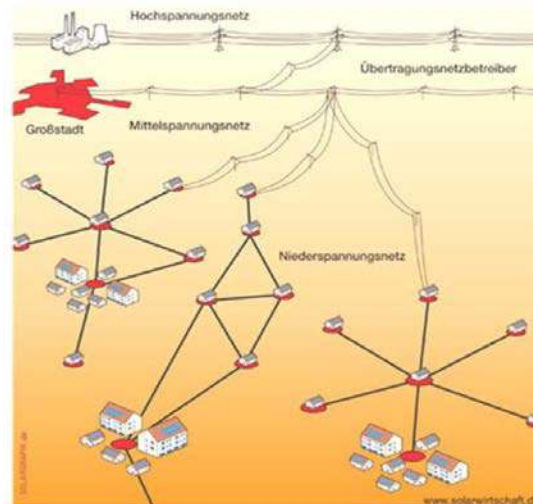
Es gäbe noch **20 Mio.** weitere Gebäude in Deutschland...

E-Mobilität 2019 in D: 179 TWh

184 GW Solar 11,1 % (Auslastung)

84 GW Windkraft, 24,3 %

In Großanlagen unrealistisch,
da Netzprobleme.



Share of PV-Systems in Germany by cumulative capacity (2019)



¹ Fraunhofer ISE, Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland, accessed 15.1.2021, <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.pdf>.

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** (52 % low CO₂)

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	178,93
0 – 24 Uhr	25	1	58,40	817 054	1,71%	100,00%	20,43	178,93
0 – 24 Uhr	100	0,25	233,60	204 264	0,43%	100,00%	20,43	178,93
6 – 22 Uhr	100	0,25	155,73	306 395	0,64%	100,00%	30,64	178,93
6 – 22 Uhr	100	0,25	155,73	500 000	1,05%	61,28%	50,00	178,93
6 – 22 Uhr	50	0,5	77,87	1 000 000	2,10%	61,28%	50,00	178,93
6 – 22 Uhr	50	0,5	77,87	2 000 000	4,19%	30,64%	100,00	178,93
6 – 22 Uhr	25	1	38,93	4 771 600	10,00%	25,68%	119,29	178,93
6 – 22 Uhr	50	0,5	77,87	4 771 600	10,00%	12,84%	238,58	178,93

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** (52 % low CO₂)

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

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	178,93
0 – 24 Uhr	25	1	58,40	817 054	1,71%	100,00%	20,43	178,93
0 – 24 Uhr	100	0,25	233,60	204 264	0,43%	100,00%	20,43	178,93
6 – 22 Uhr	100	0,25	155,73	306 395	0,64%	100,00%	30,64	178,93
6 – 22 Uhr	100	0,25	155,73	500 000	1,05%	61,28%	50,00	178,93
6 – 22 Uhr	50	0,5	77,87	1 000 000	2,10%	61,28%	50,00	178,93
6 – 22 Uhr	50	0,5	77,87	2 000 000	4,19%	30,64%	100,00	178,93
6 – 22 Uhr	25	1	38,93	4 771 600	10,00%	25,68%	119,29	178,93
6 – 22 Uhr	50	0,5	77,87	4 771 600	10,00%	12,84%	238,58	178,93

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** (52 % low CO₂)

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.

67 %

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

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	178,93
0 – 24 Uhr	25	1	58,40	817 054	1,71%	100,00%	20,43	178,93
0 – 24 Uhr	100	0,25	233,60	204 264	0,43%	100,00%	20,43	178,93
6 – 22 Uhr	100	0,25	155,73	306 395	0,64%	100,00%	30,64	178,93
6 – 22 Uhr	100	0,25	155,73	500 000	1,05%	61,28%	50,00	178,93
6 – 22 Uhr	50	0,5	77,87	1 000 000	2,10%	61,28%	50,00	178,93
6 – 22 Uhr	50	0,5	77,87	2 000 000	4,19%	30,64%	100,00	178,93
6 – 22 Uhr	25	1	38,93	4 771 600	10,00%	25,68%	119,29	178,93
6 – 22 Uhr	50	0,5	77,87	4 771 600	10,00%	12,84%	238,58	178,93

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** (52 % low CO₂)

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	178,93
0 – 24 Uhr	25	1	58,40	817 054	1,71%	100,00%	20,43	178,93
0 – 24 Uhr	100	0,25	233,60	204 264	0,43%	100,00%	20,43	178,93
6 – 22 Uhr	100	0,25	155,73	306 395	0,64%	100,00%	30,64	178,93
6 – 22 Uhr	100	0,25	155,73	500 000	1,05%	61,28%	50,00	178,93
6 – 22 Uhr	50	0,5	77,87	1 000 000	2,10%	61,28%	50,00	178,93
6 – 22 Uhr	50	0,5	77,87	2 000 000	4,19%	30,64%	100,00	178,93
6 – 22 Uhr	25	1	38,93	4 771 600	10,00%	25,68%	119,29	178,93
6 – 22 Uhr	50	0,5	77,87	4 771 600	10,00%	12,84%	238,58	178,93

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

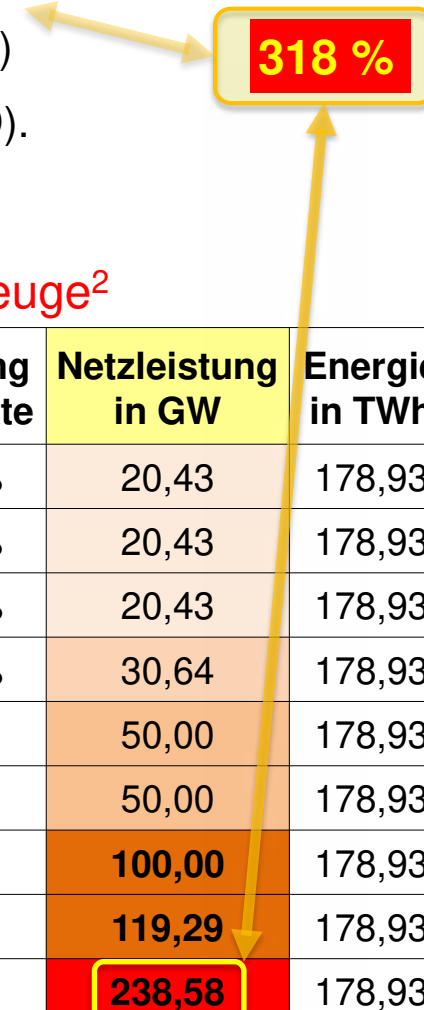
Installierte Kraftwerksleistung in Deutschland: **≈ 214 GW** $\bar{P} \approx 75 \text{ GW}$

Gesamte **elektrische** Energie Deutschlands: **612 TWh/a** (52 % low CO₂)

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 Ladeplatz pro 10 e-Fahrzeuge²**


318 %

Nutzungszeit	Leistung in kW	Ladezeit in h	Anzahl e-Pkw in ΔT	Anzahl Ladeplätze	Gleichzeitig ladende e-Pkw	Auslastung Ladeplätze	Netzleistung in GW	Energie in TWh
0 – 24 Uhr	3,125	8	7,30	6 536 435	13,70%	100,00%	20,43	178,93
0 – 24 Uhr	25	1	58,40	817 054	1,71%	100,00%	20,43	178,93
0 – 24 Uhr	100	0,25	233,60	204 264	0,43%	100,00%	20,43	178,93
6 – 22 Uhr	100	0,25	155,73	306 395	0,64%	100,00%	30,64	178,93
6 – 22 Uhr	100	0,25	155,73	500 000	1,05%	61,28%	50,00	178,93
6 – 22 Uhr	50	0,5	77,87	1 000 000	2,10%	61,28%	50,00	178,93
6 – 22 Uhr	50	0,5	77,87	2 000 000	4,19%	30,64%	100,00	178,93
6 – 22 Uhr	25	1	38,93	4 771 600	10,00%	25,68%	119,29	178,93
6 – 22 Uhr	50	0,5	77,87	4 771 600	10,00%	12,84%	238,58	178,93

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

Zum Vergleich:

60 l Diesel in 3 Minuten tanken bedeutet:

60 l · 10 kWh/l = 600 kWh (1 h = 20·3 Min.)

→ 600 kW · 20 in 3 Min → 12 MW in 3 Min.

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

12 MW 3 Minuten

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

612 TWh/a (52 % low CO₂)

→ **179 TWh/a** (29 % von D).

$\frac{3760}{150} \text{ h} = \mathbf{58,4 \text{ h}}$ 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	178,93
0 – 24 Uhr	25	1	58,40	817 054	1,71%	100,00%	20,43	178,93
0 – 24 Uhr	100	0,25	233,60	204 264	0,43%	100,00%	20,43	178,93
6 – 22 Uhr	100	0,25	155,73	306 395	0,64%	100,00%	30,64	178,93
6 – 22 Uhr	100	0,25	155,73	500 000	1,05%	61,28%	50,00	178,93
6 – 22 Uhr	50	0,5	77,87	1 000 000	2,10%	61,28%	50,00	178,93
6 – 22 Uhr	50	0,5	77,87	2 000 000	4,19%	30,64%	100,00	178,93
6 – 22 Uhr	25	1	38,93	4 771 600	10,00%	25,68%	119,29	178,93
6 – 22 Uhr	50	0,5	77,87	4 771 600	10,00%	12,84%	238,58	178,93

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

- **Nachladestrom** muss im Land **generiert werden**. Importiertes grünes Methan zu verstromen ist sinnlos → zu hohe Verluste und damit Kosten (Wind/PV → Strom → Methan → Strom → e-Fzg).
- **Elektr. Energie:** **179 TWh/a** → **+42.400** Windräder (+137 %) od. **+2.600 km²** PV-Flächen (+380 %)
- **Ausgeklügelte Ladestrategie**, die das Netz „nur“ mit **+41 %** (40,6 GW) belastet 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** → **kein** Überschussstrom für **Elektromobilität** ist verfügbar.
- **Mobilität** hat auch andere Optionen als **Strom. IKT** **und** die vor Ort Erzeugung von **Wasserstoff** zur Umstellung der **Stahl-, Zement- und chemischen Industrie** ist auf Strom angewiesen.
- **Elektrischer Antriebstrang** ist genial einfach, kostengünstig, hat hohen Wirkungsgrad, → **On-board Energie** **nicht** in **Batterien speichern**, → on-board aus **grünen Kraftstoffen konvertieren**.

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

- **Nachladestrom** muss im Land **generiert werden**. Importiertes grünes Methan zu verstromen ist sinnlos → zu hohe Verluste und damit Kosten (Wind/PV → Strom → Methan → Strom → e-Fzg).
- **Elektr. Energie:** **179 TWh/a** → **+42.400** Windräder (+137 %) od. **+2.600 km²** PV-Flächen (+380 %)
- Es ist von der Politik zu hinterfragen, ob es nicht unverantwortlich ist eine Mobilitätsform durch öffentliche Mittel zu fördern, von der man wissen sollte, dass sie im Vollausbau nicht funktioniert.
- **Netzausbau** wird mit der **Zunahme** des **Strombedarfs** durch die Energiewende **nicht nachkommen** → **kein** Überschussstrom für **Elektromobilität** ist verfügbar.
- **Mobilität** hat auch andere Optionen als **Strom. IKT und** die vor Ort Erzeugung von **Wasserstoff** zur Umstellung der **Stahl-, Zement- und chemischen Industrie** ist auf Strom angewiesen.
- **Elektrischer Antriebstrang** ist genial einfach, kostengünstig, hat hohen Wirkungsgrad, → **On-board Energie nicht** in **Batterien speichern**, → on-board aus **grünen Kraftstoffen konvertieren**.

**Ich danke Ihnen für Ihre
Aufmerksamkeit
und
freue mich auf Ihre Fragen!**

georg.brasseur@tugraz.at