

Klimawandel Small

Her, 2026

Klimawandel mit JBL-Box erklärt

- Kohlendioxidteilchen werden von Infrarotlicht in **Schwingungen** versetzt und erzeugen so Wärme in der Atmosphäre. Ebenso die anderen Klimagase.
- Die jährlichen weltweiten Treibhausgas-Emissionen (THG) nach Quellen:

53.000.000.000 t THG-Emissionen	
10.000.000.000 t	Kohle
10.000.000.000 t	Öl
7.400.000.000	Erdgas
9.000.000.000	Industrie (davon 2,4 Mrd. Zement)
3.000.000.000	Autos
1.800.000.000	LKW
800.000.000	Flugzeuge
800.000.000	Schiffe

Kreuzfahrtschiffe

- Kreuzfahrtschiffe werden oft kritisiert. Sollten sie abgeschafft werden, um das Klima zu retten?
- 200 t CO₂ emittiert ein Kreuzfahrtschiff pro Tag, **rechnet aus** wie viel das pro Jahr ist: 73.000, wie viel emittieren die weltweit ca. 500 Kreuzfahrtschiffe pro Jahr: 36.500.000 t CO₂
- **Wie viel Prozent** sind dies an den gesamten Treibhausgasemissionen THG?
Rechnet aus: $36.500.000 \text{ t} / 53.000.000.000 \text{ t} * 100 = \underline{0,06} \%$ der weltweiten Emissionen.
- **Bitte schätze spontan aus deiner Sicht ein:** Kann man mit der Abschaffung von Kreuzfahrten das Klima retten?

Abschaffung von Kohlekraftwerken

Aber mit der Abschaffung von Kohlekraftwerken könnte man viel erreichen, die 10.000.000.000 t CO₂ emittieren:

In China gibt es: 3115, in Indien 841, in den USA 427, in Deutschland 100 ...

Aber wie: Die erzeugen doch unsere Energie?

Wie viele erneuerbare Energien brauchen wir, um dies zu ersetzen?????

2000 TWh ist der Energieverbrauch Deutschlands nach der Energiewende, dabei ist auch Wasserstoff einbezogen (um sicher zu gehen, kann man auch noch 3000 TWh ausrechnen). Wir rechnen mit dem **Landwindpark Werder Kessin**, er hat eine Jahresleistung von geschätzt 300 Gigawattstunden, das sind **0,3 Terawattstunden**:

Rechnet aus:

$$2000 \text{ TWh} / 0,3 \text{ TWh} = \underline{\underline{6666.66}}$$

$$3000 \text{ TWh} / 0,3 \text{ TWh} = \underline{\underline{10.000}}$$

Wir müssen also 6666 oder 10.000 Windparks aufbauen.

Stromverbrauch Deutschland nach Energiewende

- E-Autos: 180 TWh
- E-Lkw: 61 TWh
- Wärmepumpen: 73 TWh
- Strom für Wasserstoff für Industrie: 876 TWh
- Dazu kommt:
- Unser heutiger Stromverbrauch 549 TWh (aktuell etwas weniger)
- Sonstige Industrie ca. 100 TWh
- Schifffahrt 8 TWh
- Flugverkehr 100 TWh
- Rechenzentren 18 TWh

Wie viel ist es insgesamt: _____1965 TWh_____ d.h. ca. **2000 TWh**

Quelle: meine Bierdeckelrechnungen und einige Schätzwerte aus Studien und der Zeitung, für Schifffahrt, Flugverkehr, Rechenzentren.

Wie wird der Stromverbrauch für Wasserstoff gerechnet: ich gehe hier davon aus, dass wir 10.000.000 t Wasserstoff brauchen (3 Mill. t für Stahl, 6 Mill. t für Chemie, 1 Mill. t für wasserstofffähige Gaskraftwerke und sonstige Industrie). Dafür brauchen wir 1000 mal einen 100 MW Elektrolyseur (100 Mill. Euro, 2030 50 Mill. Euro), der $100 \text{ MW} * 8760 = 876.000 \text{ MWh}$ Strom pro Jahr benötigt, das sind 876 Gigawattstunden GWh, das sind 0,87 Terawattstunden TWh. Das mal 1000 = 870 TWh Strom braucht man dafür.

Wenn die Industrie weniger braucht, wenn die Elektrolyseure effizienter arbeiten etc. würde sich diese Strommenge natürlich verringern. Ebenso würde sich diese Strommenge verringern, wenn man die Hälfte des Wasserstoffs importieren würden, etwa in Form von Ammoniak. Dann bräuchten wir in Deutschland nur noch die Hälfte des Stroms für Wasserstoff, also 438 TWh Strom durch erneuerbare Energien weniger, das wären: **1562 TWh**.

Einheiten

- Terawatt 300. Gigawatt 000. Megawatt 000. Kilowatt 000
- 300 Gigawattstunden, sind in Kilowattstunden:
 - 300.000.000 kWh
- 300 Gigawattstunden.000 Megawattstunden .000 Kilowattstunden
- Soviel produziert der Windparks Werder Kessin pro Jahr.
- Dies sind 0,3 Terawattstunden.
 - 0 Terawatt.300.000.000 kWh
- 3000 Terawattstunden, sind in Kilowattstunden:
 - 3.000.000.000.000 kWh

Landwindpark Werder Kessin



Werder Kessin hat eine Gesamtleistung von ca. 140 MW (142,4 MW). Er besteht aus 28 Windkraftanlagen mit stark unterschiedlicher Leistung: 15 Anlagen Enercon E-126, mit 7,5 MW und einem Rotordurchmesser von 127 Meter, damals die leistungsstärkste Windkraftanlage. Weiterhin wurden 13 Enercon E-82 mit jeweils 2,3 MW gebaut. Die Kosten des Projekts betragen 220 Millionen Euro. Die Inbetriebnahme erfolgte am 19. August 2013.

$$15 * 7,5 \text{ MW} = 112,5 \text{ MW}$$

$$13 * 2,3 \text{ MW} = 29,9 \text{ MW}$$

$$112,5 + 29,9 = 142,4 \text{ MW}$$

Er läuft mit Eisenmagneten ohne seltene Erden, als fremderregter Generator im Direktantrieb.

Wie rechnet man von der Leistung auf die Jahresleistung?

Die Leistungszahlen von Solaranlagen und Windkraftanlagen sind Betriebsgeheimnisse und werden in vielen Fällen nicht veröffentlicht. Man kann aber Schätzungen machen, dies kann man mit dem sog. **Kapazitätsfaktor**..

- Werder Kessin hat eine Leistung von 142,4 MW und vom Wind her nach meinem Gefühl eine günstige Lage, ich schätze hier einen Kapazitätsfaktor von **25 %**, also * 0,25

So erfolgt die **Rechnung der Jahresleistung**:

- $142,4 \text{ MW} * 8760 \text{ (Stunden des Jahres)} = 1.247.424 \text{ MWh Megawattstunden}$
Jahresleistung * **0,25 Kapazitätsfaktor** = 311.856 MWh, das sind 311 Gigawattstunden, das sind 0,3 Terawattstunden.
- Bei Landwindparks weiter im Binnenland mit nicht so viel Wind könnte man z.B. einen 0,20 Kapazitätsfaktor nehmen, um realistische Schätzwerte zu bekommen
- Offshore Windkraft erreicht bei sehr günstigem Wind teils einen Kapazitätsfaktor von **40 %**, also * 0,40 ...
- Ein Atomkraftwerk läuft mit einem Kapazitätsfaktor von ca. 90 % durch, man könnte auch vereinfacht 100 % nehmen.

Jahresleistung Solarpark Barth

Die Leistung des Solarparks Barth ist 68,7 MW (Bauabschnitte 1 bis 4)

Leistung MW * 8760 (Stunden des Jahres) = _____ MWh

_____ MWh * Kapazitätsfaktor = tatsächliche Jahresleistung

Rechnet aus:

68,7 MW Leistung * 8760 (Stunden des Jahres) = _____ 601.812 _____ MWh

Nun noch den Solar-Deutschland-Kapazitätsfaktor:

_____ 601.812 _____ MWh * 0,1 =

_____ 60.181 _____ MWh.

Nun die Größenordnungen verändern und auf Gigawatt und TWh umstellen:

das sind _____ 60 _____ Gigawattstunden (GWh) (000 Nullen weg),

das sind _____ 0,06 _____ Terawattstunden (TWh) (nochmal 000 Nullen weg,

wenn nicht 1 Terawatt erreicht wird, sondern nur Gigawatt, bitte als Kommawert bzw. 0,00 schreiben)

Jahresleistung Hohe See / Albatros Offshore

Der Offshore-Windparks Hohe See / Albatros liegt in der Nordsee und hat 609 MW Leistung. Der Kapazitätsfaktor kann aufgrund des guten Windes höher geschätzt werden, nehmen wir geschätzt 40 % an bzw. bitte malnehmen mit * 0,40 ... **rechnet die Jahresleistung aus:**

$$\underline{\underline{609}} \text{ Leistung} * \underline{\underline{8760}} \text{ Stunden des Jahres} = \underline{\underline{5.334.840}} \text{ MWh.}$$

$$\underline{\underline{5.334.840}} \text{ MWh} * 0,40 = \underline{\underline{2.133.936}} \text{ MWh,}$$

das sind 2.133.936 Megawattstunden MWh,

das sind 2133 Gigawattstunden GWh,

das sind 2,1 Terawattstunden TWh

Baltic I vor Prerow

- Wenn das schon so gut geht, rechnet doch mal Baltic 1 vor Prerow aus:
- Er wurde schon 1997 geplant, 2006 erfolgte die Baugenehmigung, der Bau erfolgte 2010 vom März bis September, Kosten 200 Mill., er wurde gebaut von EnBW, er verfügt über 21 Windkraftanlagen von Siemens mit 2,3 Megawatt / MW Leistung,

- rechnet die Jahresleistung aus:

$$21 * 2,3 \text{ MW} = \underline{\quad\quad\quad} 48,3 \underline{\quad\quad\quad} * 8760$$
$$\underline{\quad\quad\quad} 423.108 \underline{\quad\quad\quad} \text{ MWh}$$

hier ist guter Wind, nehmen wird auch als Kapazitätsfaktor * 0,4 =

das sind 169.243 Megawattstunden MWh

das sind 169 Gigawattstunden GWh

das sind 0,169 Terawattstunden TWh

Wie viel Platz ist in Deutschland?

- Werder Kessin braucht 14 km² (nach Google gemessen), aber man kann drumherum weiter Landwirtschaft betreiben.
- Solarpark Barth braucht 1 km², auch hier wäre Agri-PV möglich, also Solarpanels auf Feldern.
- Deutschland hat **357.683 km²**. In Deutschland werden **166.000 km² landwirtschaftlich genutzt**, davon 116.600 als Ackerland, 47.300 km² als Dauergrünland. 27 % der Fläche werden genutzt für menschliche Nahrung, 57 % für Tierfutter, 12 % für Biokraftstoffe bzw. energetische Nutzung, 1,8 % industrielle Nutzung.
- **Rechnet aus, für 2000 TWh und 6666 mal den Windpark Werder Kessin a 14 km²:**
- 2000 TWh Werder Kessin: $6666 * 14 \text{ km}^2 = \underline{\quad 93.324 \quad}$
- Wie viel Prozent am gesamten Land sind dies $\underline{\quad 93.324 \quad} / 357.683 * 100 = \underline{26 \text{ \%}}$
- Wie viel Prozent am landwirtschaftlich genutzten Land sind dies? $\underline{\quad 93.324 \quad} / 166.000 * 100 = \underline{56 \text{ \%}}$. **Was ist euer Fazit, geht das oder geht das nicht?**

In der politischen Diskussion wird davon ausgegangen, dass **Deutschland Wasserstoff importieren muss, weil es nicht genug Platz zum Aufbau erneuerbarer Energien hat.** Wenn man die Hälfte des benötigten Wasserstoffs importiert, dann braucht man nicht mehr so viele erneuerbare Energien aufzubauen, man ist aber abhängiger von anderen Ländern? **Was ist spontan eure Meinung dazu?**

Wasserstoffimporte organisieren

- Aus diesem Grund wurde von der Bundesregierung begonnen **Wasserstoffimporte** zu organisieren, ebenso fördert die EU den Aufbau von Wasserstoffpipelines u.a. aus Nordafrika. Dies ist recht erfolgreich angelaufen:
- Die deutsche H2Global Stiftung ist ein Finanzierungsinstrument für Wasserstoffprojekte, die nun die internationalen Aktivitäten der europäischen Wasserstoffbank übernehmen soll. An H2Global wird sich nun auch die Niederlande beteiligen. H2Global verfügt über 5 Mrd. Euro. H2Global will Investitionssicherheit schaffen, durch ein sog. Doppelauktionsmodell, das langfristige Preise für ausländische Produzenten garantiert, im Binnenland wird dann an Höchstbietende verkauft, und wenn diese Preise zu niedrig liegen, dann übernimmt der Staat den Differenzbetrag übernimmt. Dies übernimmt die Hintco GmbH in Leipzig. In einem ersten Kontrakt der H2GlobalStiftung, Lot 1, wird grüner Wasserstoff in Ägypten produziert, dort in Ammoniak umgewandelt, und ab 2028 jedes Jahr 40.000 Tonnen nach Europa geliefert, in den Häfen von Antwerpen und Rotterdam werden derzeit Anlagen gebaut, die Ammoniak wieder in Wasserstoff zurückverwandeln können und dann kann der Wasserstoff mit Pipeline von dort nach Köln bzw. nach Deutschland geliefert werden (mehr Infos in meinem Text 00Teil3, S. 108 ff). (die Auktionen für grünes Methanol und grünes Kerosin sind gescheitert, es gab keine Bieter). Die Lot 1 Lieferung von Fertiglobal läuft über Rotterdam, siehe diesen Überblick über viele Aktivitäten im Hafen von Rotterdam zum Thema Wasserstoff: <https://www.portofrotterdam.com/de/nachrichten-und-pressemitteilungen/das-wasserstoffsystem-nimmt-gestalt>
- Air Liquide meldet am 13. November 2025 den Betrieb einer ersten Pilotanlage im Hafen von Antwerpen: <https://de.airliquide.com/news/weltpremiere-die-innovative-technologie-von-air-liquide-wandelt-ammoniak-im-industriellen-massstab-wasserstoff-um-und-ebnet-den-weg-fur-neue-kohlenstoffarme-lieferketten>
- Auch über die SEFE werden Wasserstoffimporte vorbereitet: mit einer Kooperation mit Norwegen soll erst blauer Wasserstoff (mit CCS Verpressung von CO2 im Boden) und dann grüner Wasserstoff aus Norwegen importiert werden. Am 13.11.2024 meldet die SEFE, dass sie mit der brasilianischen Energieunternehmen Eletrobras einen Liefervertrag für 200.000 Tonnen Wasserstoff, allerdings in Form von Ammoniak, pro Jahr ab 2030 abgeschlossen hat. Am 03.02.2025 meldet SEFE, dass es mit ACWA Power, Saudi Arabien, eine Partnerschaft zu Lieferung von jährlich 200.000 Tonnen grünen Wasserstoffs nach Deutschland und Europa, ab 2030, abgeschlossen hat. (siehe mein Text 00Teil3, S. 110) (wer rechnet aus, wie viele Landwindparks uns dies erspart ;-)
- Der Leipziger Energiehändler VNG AG hat 2024 einen Vertrag über algerisches Gas abgeschlossen und dann am 14.10.2024 eine Absichtserklärung zum Import von grünem Wasserstoff aus Algerien. In der Absichtserklärung wird die Machbarkeit einer groß angelegten Produktion von Wasserstoff in Algerien und dessen Export über den geplanten South H2 Corridor, eine Wasserstoffpipeline aus Tunesien bis nach Österreich und Bayern. <https://www.south2corridor.net/>
- Aktuell, vom 12.01.2026 ist die Information, dass Uniper 500.000 t Wasserstoff pro Jahr von AM Green Ammonia India importieren will. Eine erste Fabrik für grünes Ammoniak mit 1 Mill. t pro Jahr Kapazität ist in Kakinada, Andhra Pradesh, in Bau und soll ab 2028 beginnen, die ersten Mengen grünen Ammoniak zu liefern, beteiligt am Projekt sind Casale, Air Liquide, Rely (ein Joint Venture von Technip Energies und John Cockerill, Toyo, Gentari, NTPC Renewables und vielen anderen). Nach den Firmennamen zu urteilen, scheint es sich um ein seriöses Projekt zu handeln, das auch umgesetzt werden. Das Projekt soll den EU RFNBO Standards genügen können, damit ist wohl gemeint, dass die erneuerbaren Energien zusätzlich noch neu dazu gebaut werden, damit man nicht von schon vorhandenen erneuerbaren Energien Strom weg nimmt und dies nicht mehr den Bewohnern des Landes zur Verfügung steht. Indien hat z.B. bereits riesige Solarparks aufgebaut, so könnte man auch für dieses Projekt ggf. Strom erzeugen.
- Ab 2030 bekommt Deutschland also jährlich ca. 940.000 Wasserstoff geliefert, **damit kann man schon etwas anfangen.** Und es werden sich in den nächsten Jahren weitere Möglichkeiten eröffnen. Es erscheint also möglich, dass Deutschland einen Teil seines Wasserstoffbedarfs tatsächlich importieren kann.
- Neu wird im Januar 2026 ebenfalls gemeldet, dass die Bundesregierung den Bau einer Wasserstoffpipeline quer durch Dänemark für 1,3 Mrd. Euro fördert, damit können dann Offshore- oder Onshore-Windparks und Elektrolyseure in Dänemark als Geschäftsmodell aufgebaut werden und dieser Wasserstoff kann nach Deutschland geliefert werden.
- Neu wird am 2.2.2026 vom Handelsblatt gemeldet, dass die Bundesregierung ihre Partnerschaft im Bereich Wasserstoff mit Saudi-Arabien erweitern will, beim Besuch von Bundeswirtschaftsministerin Katherina Reiche (CDU) wurde eine Energiepartnerschaft vereinbart. EnBW und das saudische ACWA Power unterzeichneten eine Absichtserklärung zum Aufbau eines Crackers, der aus Ammoniak Wasserstoffherstellen im Rostocker Hafen.
- Am 02.02.2026 beschreibt Focus Online ein Projekt im Oman in Zusammenarbeit mit der Schweiz, ein Projekt in Chile (das es schon länger gibt) und dass Finnland 100 Produktionsanlagen für E-Fuels, also vielleicht auch Wasserstoff, bauen will, die mit Solar- und Windstrom betrieben werden sollen. (siehe Quellen in den Notizen)
- **Aber 5.000.000 t Wasserstoff braucht einiges an Investitionen, können Länder wie Algerien, Ägypten und Saudi-Arabien oder auch Schottland und Norwegen wirklich für Deutschland diese Gelder aufbringen?**

Der Stromverbrauch Deutschlands nach der Energiewende reduziert sich also, wenn wir Wasserstoff importieren:

Wird 50 % des Wasserstoffs importiert, dann kann man grob die Rechnung für den Strombedarf Deutschlands anpassen, indem man nun annimmt, dass die Industrie nicht mehr 876 TWh Strom für Wasserstoff, sondern nur noch die Hälfte benötigt: $876 / 2 = 438$ TWh. Damit braucht man nur noch: $2000 \text{ TWh} - 438 = 1562$ TWh Strom für Deutschland.

Wenn wir nur noch 1562 TWh brauchen, sind das in Werder Kessin gerechnet / 0,3 immer noch = 5206 mal einen Windpark von der Größe Werder Kessins.

Dieser Stromverbrauch von 1562 TWh nähert sich den Schätzungen der Bundesnetzagentur für 2045 an: die höchste Schätzung liegt hier bei 1275,5 TWh (vor Netzverlusten)

Welcher Platzbedarf besteht dafür:

$5206 \text{ mal Werder Kessin} * 14 = 72884 \text{ km}^2 / 357.683 \text{ km}^2 = 0,20 * 100 = 20 \%$

$5206 \text{ mal Werder Kessin} * 14 = 72884 \text{ km}^2 / 166.000 \text{ km}^2 = 0,43 * 100 = 43 \%$

Also 20 % der Gesamtfläche Deutschlands und 43 % des Agrarlands.

Das ist immer noch viel!!!

Was ist mit Solar und Offshore Windkraft?

- weiter unten geht es genauer um die Ausbauziele in Deutschland, für die Flächenschätzung sollte man zumindest noch Solar und Offshore Wind beachten, den es zusätzlich um Landwind geben wird: Bis 2030 sollen in Deutschland aufgebaut sein: 215 GW Solar, 115 GW Landwind und 30 GW Offshore Wind.
- **215 TWh Solar** * 8760 = 1.883.400 GWh * 0,1 = 188.340 GWh, das sind geschätzt 188 TWh
- **115 TWh Landwind** * 8760 = 1.007.400 GWh * 0,2 = 201.480 GWh, das sind geschätzt 201 TWh
- **30 TWh Offshore** * 8760 = 262.800 * 0,4 = 105.120 GWh, das sind 105 TWh (meine groben Schätzungen, mit meinen Kapazitätsfaktoren)

Bis 2030 wird somit eine Gesamtleistung von $188 + 201 + 105 = 494$ TWh aufgebaut sein.

188 TWh Solar + 105 TWh Offshore = 293 TWh ... Strombedarf Deutschland nach der Energiewende 1562 – 293 = also brauchen wir dann nur **noch 1269 TWh**, welches mit Windkraft an Land abgedeckt werden muss.

1269 TWh / 0,3 TWh = 4230 Windparks Werder Kessin, das sind dann nur noch: **4230 Windparks Werder Kessin** * 14 km² = 59.220 km²:

59.220 km² / 357.683 km² = 0,16 bzw. **16 % der deutschen Landfläche**; (d.h. **84 % der Landfläche ist frei**)

59.220 km² / 166.000 km² = 0,35 bzw. **35 % des Agrarlands**. (d.h. **65 % des Agrarlands ist frei**)

Langsam wird es etwas realistischer: Wie gesagt, dies sind grobe Schätzungen, wenn die Windkraftanlagen alle 7,5 MW oder sogar mehr leisten, wenn sie enger aneinander stehen, dann ändern sich die Zahlen natürlich noch einmal ... egal wie die Zahlen genau sind, könnten wir aber auch sagen: wir wollen diese Windenergie, um unsere Industrie gut mit Strom versorgen zu können und um wirtschaftlich erfolgreich zu sein ... dann könnten dies Werte so bleiben bzw. sogar steigen.

Wir wollen diesen Platzbedarf konkret darstellen

Wie bleiben hier bei **5206 Windparks**. Wie kann man sich das auf der Deutschlandkarte vorstellen?

Wir brauchen, wenn wir die Hälfte unseres Wasserstoffbedarfs (5 Mill. t) importieren, „nur“ noch **1562 TWh Strom durch erneuerbare Energien**, das sind in Werder Kessin gerechnet / 0,3 immer noch = **5206 mal einen Windpark von der Größe Werder Kessin**.

- Das wären 5206 Punkte oder 520 mal ein 10er Punkte-Bündel, die man auf die Deutschlandkarte einzeichnen müsste. 5206 Punkte sind allerdings viel zum Einzeichnen. Dafür bräuchte man ein größeres Blatt Papier. Allerdings hätten diese 5206 Punkte den Vorteil wirklich für 1 Windpark stehen. Man könnte es also mal probieren!!! (Auflösungsidee 1)
- Im Moment versuchen wir es deshalb anders: Wir teilen nochmal durch 10, dann steht 1 Punkt für allerdings nicht mehr für 1 Windpark, sondern für **10 Windparks** von der Größe Werder Kessin und wir müssen dann nur noch 52 10er Punkte-Bündel in die Deutschlandkarte einzeichnen (Auflösungsidee 2).
- **Aufgabe: zeichnet 52 10er Punkte-Bündel in die Deutschlandkarte ein.**
- 1 Windpark hat die Leistung von 0,3 TWh, jeder Punkt steht aber **in dieser Auflösung nun für 10 Windparks und jeder Punkt hat damit eine Leistung von 3 TWh**. Jeder 10er Bündel hat die Leistung von 30 TWh und davon soll es 52 geben (Gegenrechnung: $52 * 30 \text{ TWh} = 1560 \text{ TWh}$, es stimmt also)
- Weitere Darstellungsart: Blumentöpfe und Schnüre: Die 10er Bündel also Blumentöpfe hinstellen, also 52 Blumentöpfe, dann würde jeder Blumentopf allerdings für 100 Windparks stehen (Gegenrechnung: $52 * 100 = 5200$) ... mit Schnüren könnten den den Bedarf der Industrie abteilen oder Wasserstoffpipelines legen und den Umriss Deutschlands darstellen.

Wir teilen beispielhaft die Industrie ab

- 10.000.000 t Wasserstoff brauchen wir für die Industrie. Die Hälfte wird importiert. Dann sind es noch 5.000.000 t. Dafür brauchen wir 100 MW Elektrolyseure, die 10.000 t Wasserstoff im Jahr produzieren. Wie viele? $5.000.000 / 10.000 =$ _____

- Diese 100 MW Elektrolyseure brauchen Strom: **rechnet** erst für 1 Elektrolyseur aus:

100 MW Leistung * 8769 Stunden des Jahres = _____ MWh

Wie viel Strom brauchen wir nun für die 5.000.000 t Wasserstoff: nehmt die Anzahl der benötigten Elektrolyseure von oben _____ * _____ (die MWh Stromverbrauch pro Jahr Zahl für 1 Elektrolyseur) = _____ MWh

Wie viel ist das in Gigawatt- und Terawattstunden:

(000Terawattstunden.000Gigawattstunden.000Megawattstunden)

_____ Gigawattstunden _____ Terawattstunden

Wie viel braucht 1 Elektrolyseure in Terawattstunde, als Kommazahl: _____

Wir teilen beispielhaft die Industrie ab

- 10.000.000 t Wasserstoff brauchen wir für die Industrie. Die Hälfte wird importiert. Dann sind es noch 5.000.000 t. Dafür brauchen wir 100 MW Elektrolyseure, die 10.000 t Wasserstoff im Jahr produzieren. Wie viele? $5.000.000 / 10.000 = \underline{\quad 500 \quad}$

- Diese 100 MW Elektrolyseure brauchen Strom: rechnet erst für 1 Elektrolyseur aus:

100 MW Leistung * 8769 Stunden des Jahres = $\underline{\quad 876.000 \quad}$ MWh

Wie viel Strom brauchen wir nun für die 5.000.000 t Wasserstoff: nehmt die Anzahl der benötigten Elektrolyseure von oben $\underline{\quad 500 \quad}$ * $\underline{\quad 876.000 \quad}$ (die MWh Zahl für 1 Elektrolyseure) = $\underline{\quad 438.000.000 \quad}$ MWh

Wie viel ist das in Gigawatt- und Terawattstunden:

(000Terawattstunden.000Gigawattstunden.000Megawattstunden)

$\underline{\quad 438.000 \quad}$ Gigawattstunden $\underline{\quad 438 \quad}$ Terawattstunden

Wie viel braucht 1 Elektrolyseure in Terawattstunde, als Kommazahl: $\underline{\hspace{2cm}}$

Stahlindustrie

Die Stahlindustrie wird auf Direktreduktionsöfen umgestellt, die mit Wasserstoff betrieben werden können (viele weitere Stahlwerke laufen als Elektrostahlwerke, mit Strom). Dies ist somit nur eine sehr vereinfachte Rechnung, bei der es um die richtige Größenordnung geht:

Thyssenkrupp 3 Hochöfen a 180.000 t * 3 = 540.000 t

Salzgitter Stahl 3 Hochöfen a 180.000 t * 3 = 540.000 t

Bremen Acelor Mittal 3 Hochöfen a 180.000 t * 3 = 540.000 t

SHS Saarstahl Dillingen 3 Hochöfen a 180.000 t * 3 = 540.000 t

Wie viel Elektrolyseure brauchen wir für einen Standort? **Rechnen:** $540.000 \text{ t} / 10.000 \text{ t} =$
_____ (10.000 t produziert 1 Elektrolyseur, der 0,87 TWh Strom verbraucht)

Pro Standort brauchen wir also: _____ Elektrolyseure * mit _____ TWh Verbrauch (siehe Folie davor) = _____ TWh insgesamt.

Jetzt kommt aber als Info herein, dass wir 50 % unseres Wasserstoffsverbrauchs importieren (und hier haben wir immer nur die Industrie gerechnet)! Also brauchen können wird hier nur die Hälfte rechnen, wenn es darum geht, dies in Windparks umzurechnen:

Also: pro Standort nur noch 27 Elektrolyseure * je _____ TWh Verbrauch = _____ TWh insgesamt.

Wie viele von den Punkten, die jeweils für 10 Windparks Werder Kessin stehen und für 3 TWh Windkraftleistung, müsste man nun jeweils den 4 Stahlstandorten zuordnen?

Rechne: TWh insgesamt _____ / 3 TWh = _____, vereinfacht: _____ Punkte.

Stahlindustrie

Die Stahlindustrie wird auf Direktreduktionsöfen umgestellt, die mit Wasserstoff betrieben werden können (viele weitere Stahlwerke laufen als Elektrostahlwerke, mit Strom). Dies ist somit nur eine sehr vereinfachte Rechnung, bei der es um die richtige Größenordnung geht:

Thyssenkrupp 3 Hochöfen a 180.000 t * 3 = 540.000 t

Salzgitter Stahl 3 Hochöfen a 180.000 t * 3 = 540.000 t

Bremen Acelor Mittal 3 Hochöfen a 180.000 t * 3 = 540.000 t

SHS Saarstahl Dillingen 3 Hochöfen a 180.000 t * 3 = 540.000 t

Wie viel Elektrolyseure brauchen wir für einen Standort? $540.000 \text{ t} / 10.000 \text{ t} = \underline{\quad 54 \quad}$ (10.000 t produziert 1 Elektrolyseur, der 0,87 TWh Strom verbraucht)

Pro Standort brauchen wir also: $\underline{\quad 54 \quad}$ Elektrolyseure * mit $\underline{\quad 0,87 \quad}$ TWh Verbrauch (siehe Folie davor) = $\underline{\quad 46,98 \quad}$ TWh insgesamt.

Jetzt kommt aber als Info herein, dass wir 50 % unseres Wasserstoffverbrauchs importieren (und hier haben wir immer nur die Industrie gerechnet)! Also brauchen können wird hier nur die Hälfte rechnen, wenn es darum geht, dies in Windparks umzurechnen:

Also: pro Standort nur noch 27 Elektrolyseure * je $\underline{\quad 0,87 \quad}$ TWh Verbrauch = $\underline{\quad 23,49 \quad}$ TWh insgesamt.

Wie viele von den Punkten, die jeweils für 10 Windparks Werder Kessin stehen und für 3 TWh Windkraftleistung, müsste man nun jeweils den 4 Stahlstandorten zuordnen?

Rechne: TWh insgesamt $\underline{\quad 23,49 \quad} / 3 \text{ TWh} = \underline{\quad 7,83 \quad}$, vereinfacht: $\underline{\quad 8 \quad}$ Punkte.

Chemieindustrie

- Die Chemieindustrie muss sich auf blauen oder grünen Wasserstoff umstellen, den umgekehrte Wasser-Gas-Verschiebereaktion, Synthesegas, Fischer-Tropsch mit Hydrocracking Prozess umstellen, damit kann man grünes Benzin, Diesel, Naphtha und Kerosin herstellen, dazu kommen weitere neue Anlagen: die Methanol zu Olefinen Route, die die Plastikgrundstoffe Ethylen und Propylen auf der Basis von CO₂ und Wasserstoff herstellen kann und Methanol zu Aromaten Route, die auch Synthesegas als Ausgangsprozess braucht, dafür braucht man eben CO₂ und Wasserstoff als Ausgangsstoff. Dafür kann man für die Chemieindustrie einiges gebrauchen. Geschätzt werden 6.000.000 t Wasserstoff. Auch CO₂ kann man viel gebrauchen, etwa der an der Punktquelle am Schornstein abgefangen wird, dieser kann in die Chemieproduktion einfließen (Stichwort: Kreislaufwirtschaft)
- Wenn wir 50 % des Wasserstoffbedarfs importieren, sind es nur noch 3.000.000 t.
- Dies in Elektrolyseuren gerechnet: $3.000.000 / 10.000 = 300.300 * \underline{0,87} = \underline{344,82}$ TWh Strom (siehe Folie davor)
- Wir brauchen also für die Chemieindustrie 344,82 TWh Strom.
- Wir tun nun so, als ob wir die gesamte Chemieindustrie auf 3 große Chemiestandorte konzentrieren können und verteilen die Punkte darauf: Köln (mit Wesseling und dem Lyondell Basell Steamcracker, Hürth und Dormagen, sowie Bayer in Leverkusen), Ludwigshafen mit dem Verbundstandort (Steamcracker und viele angeschlossene Anlagen), und Leipzig mit Schkopau und Leuna.
- 344,82 TWh / 3 = 114,94
- Wie viele Punkte, die jeweils für eine Leistung von 3 TWh stehen (für 10 Windparks a 0,3 TWh) muss man den Chemieparks zuordnen 114,94 / 3 = 38,31 also zu jedem der 3 Chemieparks 38 Punkte.

Systeme gesicherter Leistung

Solar und Landwind tun es nicht allein, wegen der Dunkelflaute, wir brauchen **Systeme gesicherter Leistung**. Systeme gesicherter Leistung bedeutet, dass man dann, wenn keine Sonne scheint oder weniger Sonne wie im Winter oder kein Wind weht, was manchmal sogar in ganz Deutschland sein kann, dass man dann trotzdem Strom hat. Dieser Strom wird dann mit Großbatterien, wasserstofffähigen Gaskraftwerken, und anderen Kraftwerken, etwa Pumpspeicherkraftwerken oder Biogasanlagen oder sonstigen klimaneutralen Kraftwerken hergestellt werden müssen. Dazu muss es auch Wasserstoffspeicher und Wasserstoffpipelines geben. Aber auch Netzausbau, um die Großbatterien z.B. anzuschließen. Systeme gesicherter Leistung bedeutet, dass kontinuierlich Strom zur Verfügung gestellt werden kann, egal welche Schwankungen die Produktion erneuerbarer Energien unterliegt.

- Strom aus Solar muss sowieso über Nacht gepuffert werden durch Großbatterien. Auch Windenergie unterliegt Schwankungen. Großbatterien, Pumpspeicherkraftwerke und andere Speicherlösungen wie große Durchlauferhitzer, die Wasser erhitzen (wie in Rostock) können diese Energie speichern, als Strom, aber auch als Wärmeenergie. In einer Dunkelflaute über mehrere Tage / Wochen, müssen wasserstofffähige Gaskraftwerke angeworfen werden, weil Batteriegroßspeicher nur über Tage speichern können, aber nicht über mehrere Tage oder Wochen. Der Wasserstoff für die wasserstofffähigen Gaskraftwerke muss im Sommer mit Elektrolyseuren durch Solar und Wind hergestellt wurde, wobei dieser Wasserstoff gespeichert werden muss, in gekühlten Tanks oder unterirdischen Speichern.
- Elektrolyseure stellen aus Strom Wasserstoff her, indem Wasserstoff an Katalysatorplatten entsteht, benötigt wird dafür auch Wasser, Die Elektrolyseure sollten in der Nähe der erneuerbaren Energien gebaut werden, damit man **teuren Stromnetzausbau spart**.
- Freileitungen: Kosten sind 1,6 Mill. – 4,2 Mill. pro km beim Neubau, also 160-420 Mill. pro 100 km, Daten: Bundesnetzagentur Kostenschätzungen. Der Übertragungsnetzbetreiber Amprion berichtet, dass er 3 Mrd. Euro investiert hat (mehr als jemals davor) und damit 100 Kilometer Stromleitungen fertiggestellt hat. Bierdeckelrechnung: 400 km von Cuxhaven nach Köln: 400 km * 1,6 Mill. = 640 Mill. 400 km * 4,2 Mill. = 1680 Mill. bzw. 1,6 Mrd. Euro ... Pipelines sind im Vergleich etwas günstiger, der Bau scheint zudem schneller zu gehen und einfacher zu sein: Eine 900 km Pipeline von den Orkney Inseln nach Emden kostet für 3 Mrd. Euro, das sind ca. 900 km, hier bekommt man, 450 km für 1,5 Mrd. Euro. Dies mag auf dem Land etwas teurer sein, aber Pipelines liegen überall, man muss nur noch welche danebenlegen.
- Aber nicht nur im Norden auch anderswo in Deutschland sind ‚Zentren‘ denkbar mit Windenergie und Elektrolyseuren. Wasserstoff kann auch von diesen Standorten aus durch **relativ günstig und schnell erbaubare Wasserstoffpipelines** bis zu den Industriestandorten der Stahl- und Chemieindustrie gebracht werden und zu den wasserstofffähigen Gaskraftwerken.
- Im Moment schafft Deutschland mit seinen Kraftwerken 234 Gigawattpeak (Bundesnetzagentur Kraftwerksliste), der historisch höchste gemessene Leistungsbedarf in Deutschland war 78 GW. **Wenn Deutschland ca. 1500 TWh Strom braucht, welche Leistung braucht man dafür? Dies kann man aus der Jahresleistung zurückrechnen mit einer Division / 8760 die Stunden des Jahres: besser mit Gigawatt rechnen: 1500 TWh sind: 1.500.000 GWh /8760 = 171 GW Leistung. Dafür bräuchte man in einer Dunkelflaute eine ganze Menge wasserstofffähiger Gaskraftwerke, bei 1 Gigawatt Leistung pro Kraftwerk, braucht man davon: 171 Kraftwerke (oft haben die wasserstofffähigen Gaskraftwerke eine Kapazität von 500 MW, dann bräuchte man doppelt so viele) ... es gibt aber in Deutschland auch eine große Menge anderer Kraftwerke, auch Biogaskraftwerke, Pumpspeicherkraftwerke, Wasserkraft etc.**
- Aktuell hat die Politik entschieden für 12 GW wasserstofffähige Gaskraftwerke aufgebaut, also 12 mal ein 1 GW Kraftwerk bzw. 24 mal 500 MW Kraftwerke, immerhin (siehe dazu weiter unten).
- Aus meiner Sicht sollte man bei einer Dunkelflaute auch mal 3 Tage lang den Stecker ziehen und auf das Aufladen von E-Autos verzichten, i.S. eine Art Energiewende-Lockdowns, dadurch kann man den Ausbau von allzu vielen wasserstofffähigen Gaskraftwerken sparen.
- Frage: Was sind Systeme gesicherter Leistung? Warum braucht man die?

Erneuerbare Energien auf der Deutschlandkarte:

Aufgabe: Wir stellen die **5206 Windparks** dar

- **Platziert 52 10er Punktebündel auf der Deutschlandkarte (insgesamt sind dies 520 Punkte)**. Warum Punktebündel? Um es übersichtlicher zu machen und damit man es nachzählen kann. 1 Punkt steht für 10 Windparks Werder Kessin, 1 Punkt steht für eine Jahresleistung von 3 TWh
- Überlegt dabei, wo ihr diese Punktebündel platziert, um effektiv Strom- und Wasserstoff produzieren zu können, d.h. es müssen sicherlich einige Windenergieanlagen im Norden Deutschlands gebaut werden, weil es dort viel Wind gibt und man kann sich vorstellen, dass dort auch Elektrolyseure stehen und von dort aus Wasserstoffpipelines losgehen, um die Kosten der Energiewende zu senken. Aber auch in regionaler Nähe zu den Chemieanlagen, z.B. in Sachsen, neben Schkopau und Leuna, könnt ihr Schwerpunkte der Windenergie einzeichnen, auch dort können Elektrolyseure stehen und Wasserstoffpipelines zu den Chemiestandorten gelegt werden.
- Ordnet weiterhin eine Anzahl der 520 eingezeichneten Punkte der erneuerbaren Energien den 4 Stahlstandorten und den 3 Chemiestandorten zu, legt von den Windparks Wasserstoffpipelines zu den Stahl- und Chemiestandorten:
- **Stahl: 8 Punkte** braucht jeder Stahlstandort (Thyssenkrupp Duisburg, SHS Saarland, Salzgitter Stahl, Salzgitter, Acelor Mittal, Bremen)
- **Chemie: 38 Punkte** braucht jeder Chemiestandort (Köln, Ludwigshafen, Leipzig: Schkopau, Leuna)
- Eine Großstadt wie Berlin braucht **1,4 GW Leistung, das sind ca. 28 Werder Kessin Windparks bei 50 MW durchschnittlicher Leistung (ordnet also Berlin 3 Punkte zu)** und zeichnet um Berlin herum noch 26 Großbatterien a 50 MW, und 3 wasserstofffähige Gaskraftwerke a 500 MW ein.
- Erläutert euren Plan. Wo habt die erneuerbaren Energien hingestellt, wo verlaufen die Wasserstoffpipelines? Begründet eure Entscheidungen. Was ist euer Eindruck, hat Deutschland genug Platz für die erneuerbaren Energien? Denkt ihr, dass eine sinnvolle Verteilung möglich ist?

Atomkraft

- Zum Vergleich: Atomkraft, hier das Kernkraftwerk Susquehanna, Baujahr 1973, im U.S. Bundesstaat Pennsylvania, mit zwei Reaktorblöcken mit zusammen 2403 MW Leistung, Atomkraftwerke haben hohe Kapazitätsfaktoren z.B. 93,1 %.
- **Rechnet aus:**
- $2403 * 8760 = \underline{\hspace{2cm}}$ MWh, das sind $\underline{\hspace{2cm}}$, das sind $\underline{\hspace{2cm}}$ Terawattstunden im Jahr, bei einem Kapazitätsfaktor 93,1 %, also $* 0,93$ sind das $\underline{\hspace{2cm}}$ TWh vereinfacht $\underline{\hspace{2cm}}$ Terawattstunden,
- das ist so viel wie $\underline{\hspace{2cm}}$ große Offshore Windparks ($\underline{\hspace{2cm}}$ TWh / 2 TWh = $\underline{\hspace{2cm}}$) oder $\underline{\hspace{2cm}}$ Landwindparks Werder/Kessin ($\underline{\hspace{2cm}}$ / 0,3) und $\underline{\hspace{2cm}}$ mal der Solarpark Flughafen Barth ($\underline{\hspace{2cm}}$ / 0,06).
- Kostenvergleich:
- Hohe See / Albatros: $\underline{\hspace{2cm}} * \text{ca. } 2,4 \text{ Mrd.} = \underline{\hspace{2cm}}$ Mrd.
- Werder Kessin: $\underline{\hspace{2cm}} * 220 \text{ Mill.} = 14520 \text{ Mill.}$, das sind ca. $\underline{\hspace{2cm}}$ Mrd.
- Flughafen Barth: $\underline{\hspace{2cm}} * 100 \text{ Mill.} = 33300 \text{ Mill.}$, das sind ca. $\underline{\hspace{2cm}}$ Mrd.

Atomkraft

- Zum Vergleich: Atomkraft, hier das Kernkraftwerk Susquehanna, Baujahr 1973, im U.S. Bundesstaat Pennsylvania, mit zwei Reaktorblöcken mit zusammen 2403 MW Leistung, Atomkraftwerke haben hohe Kapazitätsfaktoren z.B. 93,1 %.
- **Rechnet aus:**
- $2403 * 8760 = 21.050.280$ MWh, das sind 21.050 Gigawattstunden, das sind 21 Terawattstunden im Jahr, bei einem Kapazitätsfaktor 93,1 %, also $* 0,93$ sind das 19,5 TWh vereinfacht 20 Terawattstunden,
- das ist so viel wie 10 große Offshore Windparks ($20 \text{ TWh} / 2 \text{ TWh} = 10$) oder 66 Landwindparks Werder/Kessin ($20 / 0,3$) und 333 mal der Solarpark Flughafen Barth ($20 / 0,06$).
- Kostenvergleich:
- Hohe See / Albatros: $10 * \text{ca. } 2,4 \text{ Mrd.} = 24 \text{ Mrd.}$
- Werder Kessin: $66 * 220 \text{ Mill.} = 14520 \text{ Mill.}$, das sind ca. 14 Mrd.
- Flughafen Barth: $333 * 100 \text{ Mill.} = 33300 \text{ Mill.}$, das sind ca. 33 Mrd.

Atomkraft

Die Baukosten von Atomkraftwerken sind schwer zu kalkulieren, sie liegen in den USA und Europa zwischen ca. 10 bis 20 Mrd. Euro: Das AKW Olkiluoto-3 in Finnland mit einem großen Druckwasserreaktor mit 1600 MW Leistung wurde auf 3 Mrd. hin geplant, und kostete 11 Mrd. Euro. In den USA stiegen die Kosten vom AKW Vogtle, in Georgia, mit zwei Druckwasserreaktion, zusammen mit einer Leistung von 2234 MW, von 14 Mrd. Dollar auf 29 Mrd. Dollar. China scheint seit 2025 in der Lage zu sein, Kernkraftwerksblöcke mit 1200 MW Leistung in Serienfertigung für 2,4 Mrd. Euro bauen zu können (FAZ Artikel).

Kohlekraftwerke sind ähnlich günstig, 1000 MW für 1 Mrd., 2000 MW für 2 Mrd.

Das ist noch immer **viel günstiger als erneuerbare** Energien – so jedenfalls die Ergebnisse meiner Rechnungen auf den Folien ab 116.

Und: die erneuerbaren Energien werden noch teurer, denn sie selbst reichen nicht, es müssen **Systeme gesicherter Leistung** aufgebaut werden: d.h. Elektrolyseure, Wasserstoffspeicher, Wasserstoffpipelines und wasserstofffähige Gaskraftwerke.

- Atomkraft hat also Wumms. Atomkraft kann die Energiewende also ergänzen, **aber nicht auf lange Sicht tragen, Hauptproblem sind die nicht ausreichenden Uranvorräte (sie reichen derzeit ca. 200 Jahre ... wenn China seinen Stromverbrauch ganz auf Atomkraft umstellen würden, reichen die weltweiten Uranvorräte nur noch 99 Jahre).**
- Und auch bei Atomkraft muss man auf eine **Wasserstoffwirtschaft** umsteigen, **auch hier braucht man Elektrolyseure, Wasserstoffpipelines etc., wenigstens für die Stahlindustrie als Betriebsstoff und für die chemische Industrie als Grundstoff bzw. Rohstoff, *auch mit Atomkraft ist also nicht alles wie früher, auch hier ändern sich die Kostenstrukturen der Industrie.***

Städte, E-Autos und Netzausbau

Städte, E-Autos und Netzausbau

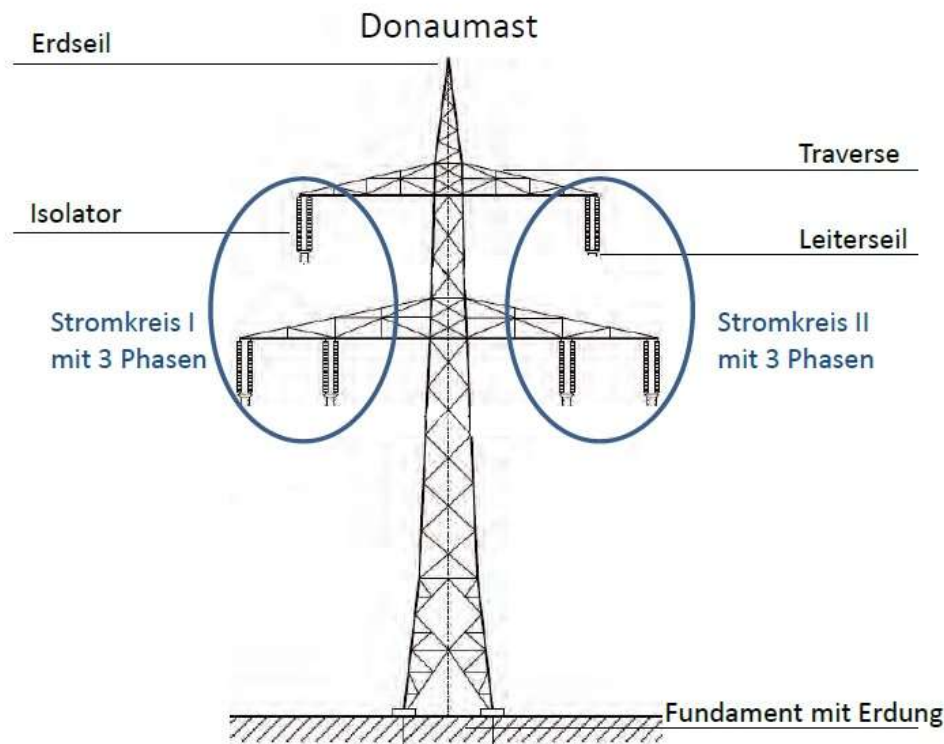
- Die Kosten für den Netzausbau für erneuerbare Energien sind hoch
- Er wird auf die Stromkosten u.a. für die Verbraucher umgelegt, sog. Netzumlage (2026 wurde von der Politik ein Zuschuss von 6,5 Mrd. Euro bezahlt)
- Auch für die Industrie könnte dadurch der Strompreis potentiell ansteigen, bzw. die Politik, die derzeit den Industriestrompreis subventioniert bzw. verringert, könnte dafür noch mehr zahlen müssen
- Deshalb dürfen die Kosten für den Netzausbau nicht weiter ansteigen
- Dafür braucht man eine sinnvolle regionale Planung
- Dafür muss man weniger Gleichstrom-Erdkabel bauen, die sehr teuer sind oder vielleicht auch kein Gleichstrom-600km Kabel durch die Ostsee nach Litauen legen ... wie dies für die Zukunft geplant wird, offenbar um dort Windenergie in der Ostsee aufzubauen und den Strom nach Deutschland zu produzieren.
- Dafür braucht man eine sinnvolle Platzierung von Elektrolyseuren, da eine Wasserstoffpipeline etwas weniger kostet und schneller zu bauen ist ...
- Diese Aspekte befinden sich schon in der Planung der Bundesnetzagentur, der Planung der KO.NEP und in anderen Überlegungen, etwa zu differenzierten Anreizen für den Bau von Elektrolyseuren, dies wurde von der Bundesnetzagentur gefordert (und es wird teils im sog. aktuellen Netzpaket adressiert)
- Auffällig ist aber die zögerliche Ausschreibung von Windenergie-Gebieten durch die Bundesländer.
- **Aus meiner Sicht muss die Regionalplanung für Städte auch die benötigte Ladeleistung für E-Autos beachten. Diese ist so hoch, dass man den benötigten Strom nicht von weit her heranschaffen sollte, sonst braucht man wieder zu viel Netzausbau.**

Eine 250.000 Einwohnerstadt mit E-Autos

- Als Anhaltspunkt: Eine 250.000 Einwohnerstadt braucht grob geschätzt als 2 Personen Haushalt 2700 kWh pro Jahr * 125.000 Haushalte (mit der Hälfte rechnen, es werden 2 Personen Haushalte genommen) = 337.500.000 kWh / 8760 = 38.527 kW ca. 38 MW Leistung, das sind 1 Werder Kessin Windpark, 140 MW Höchstleistung, angenommen wird hier durchschnittlich eine 50 MW Leistung des Windparks. Dazu wäre eine Großbatterie a 50 MW von Schwankungen nötig. 1 wasserstofffähiges Gaskraftwerk a 500 MW reicht insofern für 10 mal eine 250.000 Einwohnerstadt für die Dunkelflaute aus, jedenfalls für den Haushaltsbedarf. Man kann sich auf dieser Ebene locker vorstellen, dass 2 Windparks jedenfalls auch gut wären und die Versorgung noch stabiler machen würden. Hier könnte man sich auch gut vorstellen, dass diese Windparks in der Nähe stehen.
- Problem sind aber die Elektroautos.
- In einer Kleinstadt laden z.B. 10.000 E-Autos mit 11 kW (langsam), dann sind das 10.000 * 11 kW = 110.000 kW, **das sind 110 MW**, das sind / 50 MW durchschnittlicher geschätzter Leistung von Werder Kessin, 2 Werder Kessin Windparks und 2 Großbatterien, die können neben der Stadt stehen.
- Wenn 100.000 E-Autos mit 11 kW (langsam) laden, dann sind dies 1.100.000 kW, **das sind 1.100 MW / 50 MW**, das sind: 22 Werder Kessin Windparks. Und 22 50 MW Großbatterien. Das ganze verdoppeln, für 22 kW schnelleres Laden, sind 44 Windparks. Auch bei 22 oder 44 Windparks kann man sich immer noch vorstellen, dass sie in der Nähe stehe.
- Wenn 1.000.000 E-Autos mit 11 kW (langsam) laden, braucht man dafür 11.000.000 kW bzw. **11.000 MW**, 11 GW Leistung / 50 MW = sind dies 220 Werder Kessin Windparks. Für 22 kW Ladeleistung 440 Werder Kessin Windparks. Dafür braucht man schon eine regionale Planung und einen Ausbau von Stromnetzen, denn 440 Windparks passen nicht direkt neben Köln. Wie viel Freileitungen braucht man dafür?

Freileitungen

- Für die Spannung von 380 Kilovolt kV kommt üblicherweise ein sogenanntes Viererbündel aus vier Aluminium-Seilen je Phase zum Einsatz, die durch Abstandhalter 40 cm voneinander weggehalten werden.
- Zu einem Stromkreis gehören jeweils drei Phasen.
- Bei 380 kV kann ein einziger solcher Stromkreis 2 GW Leistung im Dauerbetrieb aushalten, man kann kurzfristig auch höher gehen, bis 2,5 GW
- Ein 380 kV-Doppelsystem, wie auf diesem Donaumast, kann 4 GW Leistung transportieren.



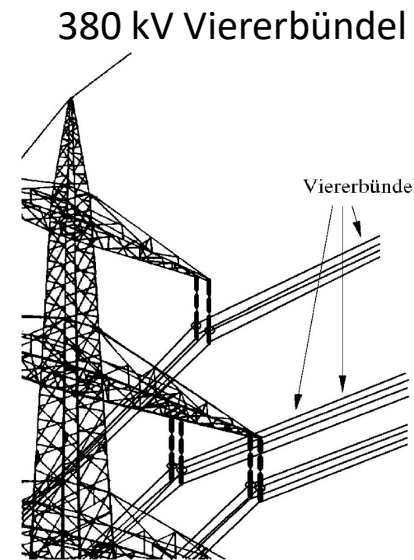
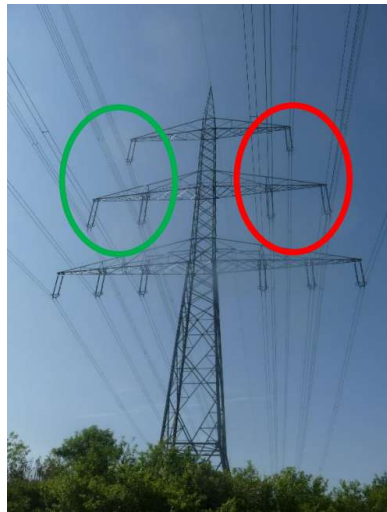
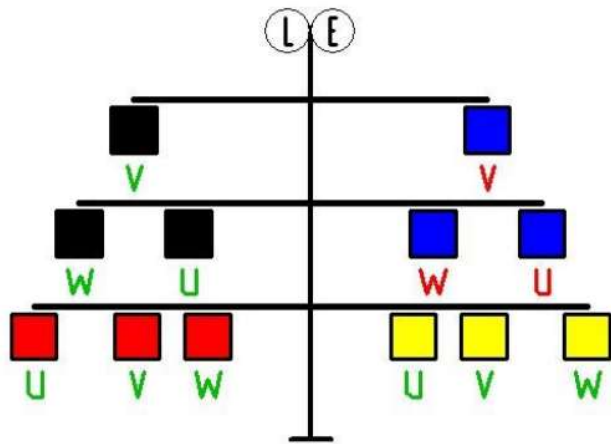
Es gilt das Prinzip N-1, man muss immer doppelt redundant sein, wenn z.B. eine Stadt wie Berlin 1,4 GW Leistung benötigt, dann braucht man mindestens 2 mal 2 GW Stromkreise, falls 1 Stromkreis mal ausfällt, dafür würde ein Strommast mit einem Doppelsystem wie hier reichen.

Das Prinzip der Redundanz bedeutet auch, dass man Leitungen nur mit 60 bis 70 % auslastet, dann kann man im Notfall nur mit einem Stromkreis die Leistung des Doppelsystems tragen.

An Leiterbündeln erkennen, welche Voltzahl anliegt:

Die 380 kV Hochspannungsleitungen bestehen aus drei mal 4 parallelen Leiterbündeln, die 220 kV Hochspannungsleitungen bestehen häufig aus drei mal 2 parallelen Leiterseil-Bündeln, während die Hochspannungsleitungen mit 110 kV und die Mittelspannungsleitungen von 30 kV, 20 kV und 10 kV üblicherweise aus drei einzelnen Leiterseilen bestehen.

Oft wird das aber kombiniert, an einem Strommast können Stromkreise mit unterschiedlichen Spannungen angeklemmt sein: Ein Stromkreis besteht aus 3 Phasen (U, V, W). Auf dem Masten von Bürstadt nach Maximiliansau liegen dort auf schwarz: 220 kV, auf blau 380 kV, und unten rot 220 kV und gelb 220 kV.



Welche Leistungen gibt es in Vorpommern Rügen, welchen Stromverbrauch haben wir hier?

Es gibt verschiedene Netzebenen

Netzebene 1: 380 kV: überregionale Übertragung, 1000-2000 MW bzw. 1-2 GW pro Stromkreis, bei zwei Stromkreisen, bzw. einem Doppelsystem 2000-4000 MW bzw. 2-4 GW. 220 kV: überträgt 300 bis 1000 MW.

Netzebene 2: 110 kV: überregionale Übertragung, mittelgroße Kraftwerke, Industriebetriebe, pro Stromkreis 150 bis 250 MW, bei einem Doppelsystem auf einem Mast 300 MW bis 500 MW.

Netzebene 3: regionale Verteilung 30 kV, 20 kV, 10 kV, 30 kV schafft pro Stromkreis 10-25 MW, 20 kV schafft 5-15 MW, 10 kV 3-6 MW.

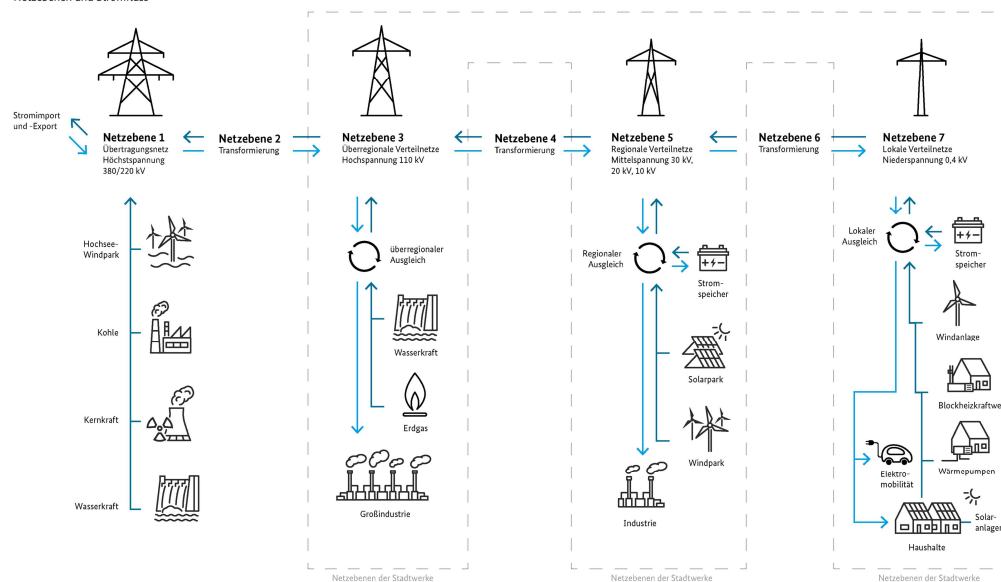
Netzebene 4: 0,4 kV (400 Volt), schafft 100 bis 250 kW (Quelle: ChatGPT)

Auf Netzebene 2 kann man mit einem 110 kV Doppelsystem mit 500 MW ca. **45.000 Autos** laden. (500.000 kW / 11 kW)

Auf der Netzebene 3 kann man bei 30 kV und 25 MW **2272 Elektroautos** bei 11 kW laden (25.000 kW / 11 kW) ... hier stellt sich natürlich auch die Frage, ob die bestehenden Netze reichen

Auf Netzebene 4 kann man vielleicht **18 E-Autos** an eine 11 kW Wallbox anschließen (200 / 11)

Das deutsche Stromnetz
Netzebenen und Stromfluss



Wie viel Freileitungen sind das?

Freileitungen: Kosten sind 1,6 Mill. – 4,2 Mill. pro km beim Neubau, also 160-420 Mill. pro 100 km, Daten: Bundesnetzagentur Kostenschätzungen (siehe Notizen), Ampiron hat aber für 100 km Netzausbau sogar 3 Mrd. gemeldet.

- Die Kleinstadt, deren E-Autos 110 MW Leistung benötigen, ist mit einer normalen Freileitung leicht anschließbar. Es müssen allerdings bei 30 kV, vier Stromkreise mit ca. 25 MW Leistung in die Stadt hereinführen (25 MW, damit kann man 2272 Elektroautos bei 11 kW laden ... $2272 * 4 = 9088$), (nötige Windparks ca. 3 mal Werder Kessin 50 MW).
- Bei einer mittelgroßen Stadt mit 100.000 Elektrofahrzeugen, braucht man 1100 MW. Dafür reichen mit bei 110 kV 2 Donaumast-Freileitungen mit je zwei Stromkreisen von 250 MW bzw. Doppelsystem mit 500 MW, bei Redundanz 3 Donaumast Freileitungen. Wenn hier die Windparks in der Nähe z.B. 20 km liegen, ist das nicht so teuer: $20 * 2$ Mill. 40 Mill. Kosten (nötige Windparks ca. 22 mal Werder Kessin 50 MW)

Berlin: Eine Großstadt wie Berlin braucht im Moment 1,4 GW Leistung, das sind ca. 28 Werder Kessin Windparks bei 50 MW durchschnittlicher Leistung, 26 Großbatterien a 50 MW, und 3 wasserstofffähige Gaskraftwerke a 500 MW ein. Dafür würden 3 Donaumast-Freileitungen mit jeweils einem 110 kV Doppelsystem mit einer Leistung von 500 MW reichen, für Redundanz besser 4.

Bei 1.000.000 E-Autos braucht Berlin zusätzlich 11.000 MW bzw. 11 GW Leistung, dann sind 220 Werder Kessin Windparks, fürs Schnellladen mit 22 kW wären dies 440 Werder Kessin Windparks bzw. 220 50 MW Großbatterien bzw. 440 MW Großbatterien.

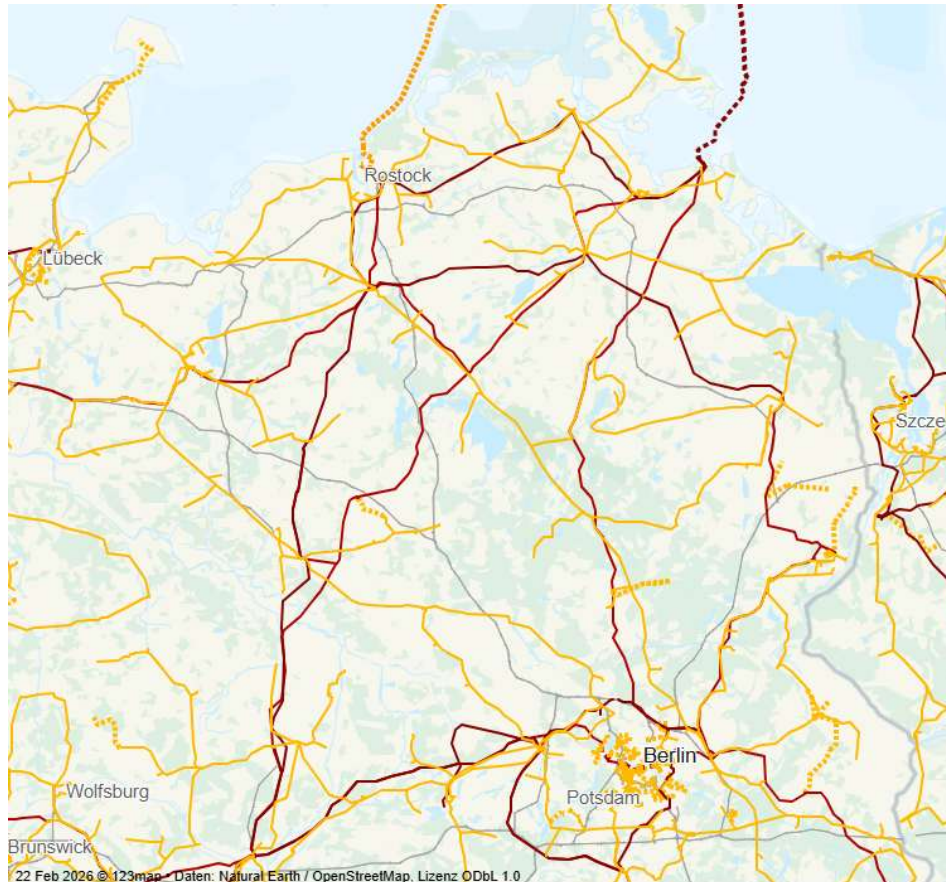
- Wenn dieser Strom etwas von der Offshore Windparks von der Ostsee oder von Landwindparks im Norden kommen würde, dann bräuchte man 3 mal eine 380 kV Freileitungen mit Doppelsystem mit 4 GW Leistung, für 12 GW. Soll der Strom Offshore von der Ostsee kommen, müsste man die 300 km lang auf Berlin zulaufen müssten. Kosten: $100 * 1,6$ Mill. $* 3 = 480$ Mill. oder wenn es mehr kostet $100 * 4,2$ Mill. $* 420$ Mill. = 1260 Mill. Euro. Würde man die Windparks regional um Berlin herum platzieren, würde man also 480 bis 1260 Mill. Euro sparen ($220 * 220$ Mill. hat Werder Kessin damals gekostet = 48 Mrd.) Es erscheint aber von den Kosten her machbar.

Wenn man die E-Autos in Berlin versorgen wollte, dann bräuchte man 3, besser 4 380 kV Freileitungen, im Plan sind 2 erkennbar, von denen aber nur 1 erst 2037 ausgebaut werden ... das muss man sich aber genauer ansehen ...

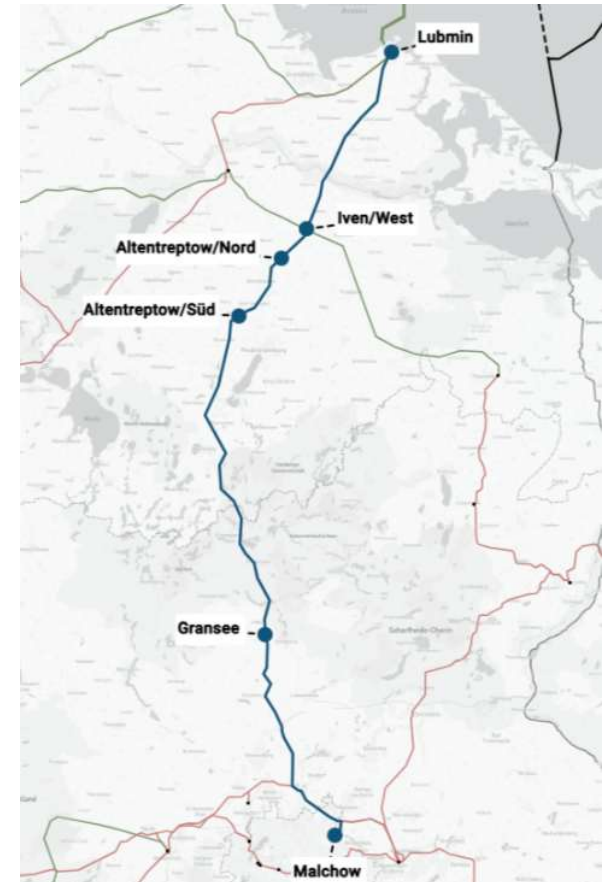
Wir hier:
rot: 380 kV
und dunkelrot
220 kV

zwischen 2
und 4
GW

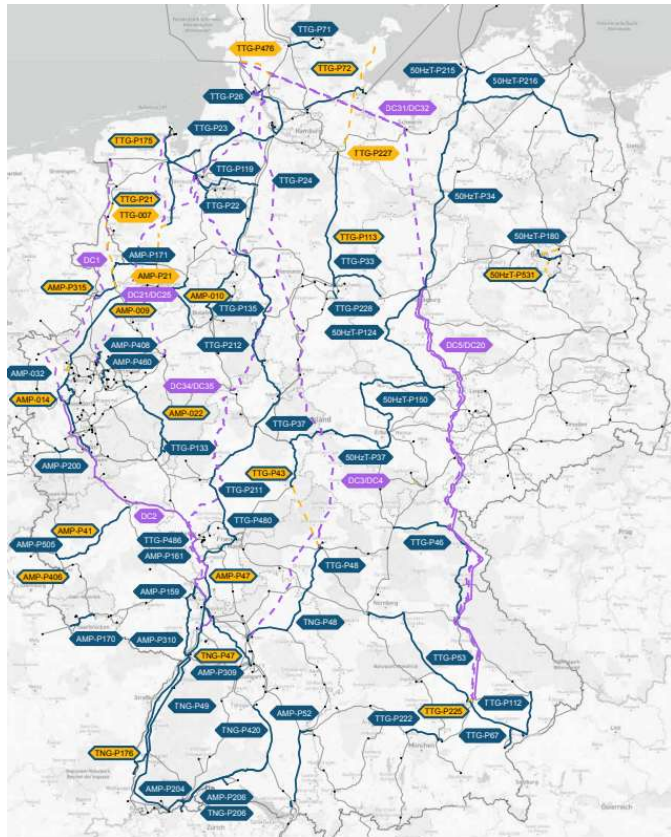
gelb: 110 kV
300 MV – 500
MV



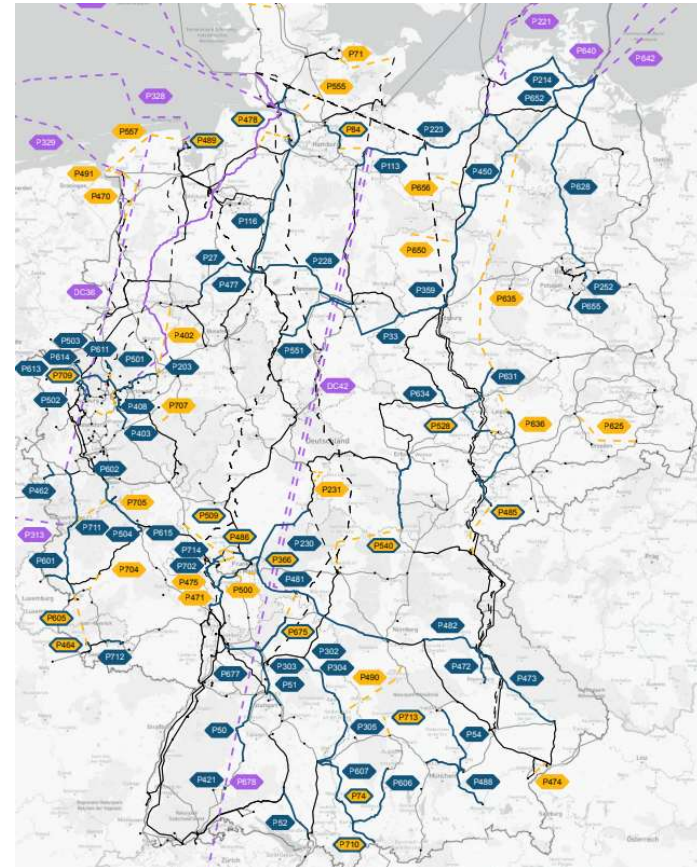
Lubmin, Malchow, Ersatzneubau
50 Hertz, Fertig: 2037,
Netzentwicklungsplan



Netzentwicklungsplan: Startnetz: 113 Mrd. Euro
Ausbaumaßnahmen mit den Gleichstrom Erdkabeln,
pink, Sued Link (Tennet und Transnet BW) und
SuedOstLink (Tennet mit 50 Hertz)



nach Belastungstests wurde dieser zusätzliche Ausbau bis 2037 bzw.
2045 festgestellt, hier ist ein Ausbau der Stromleitung Lubmin bis
Berlin als nötig dargestellt ... die merken also schon was!!!!!!

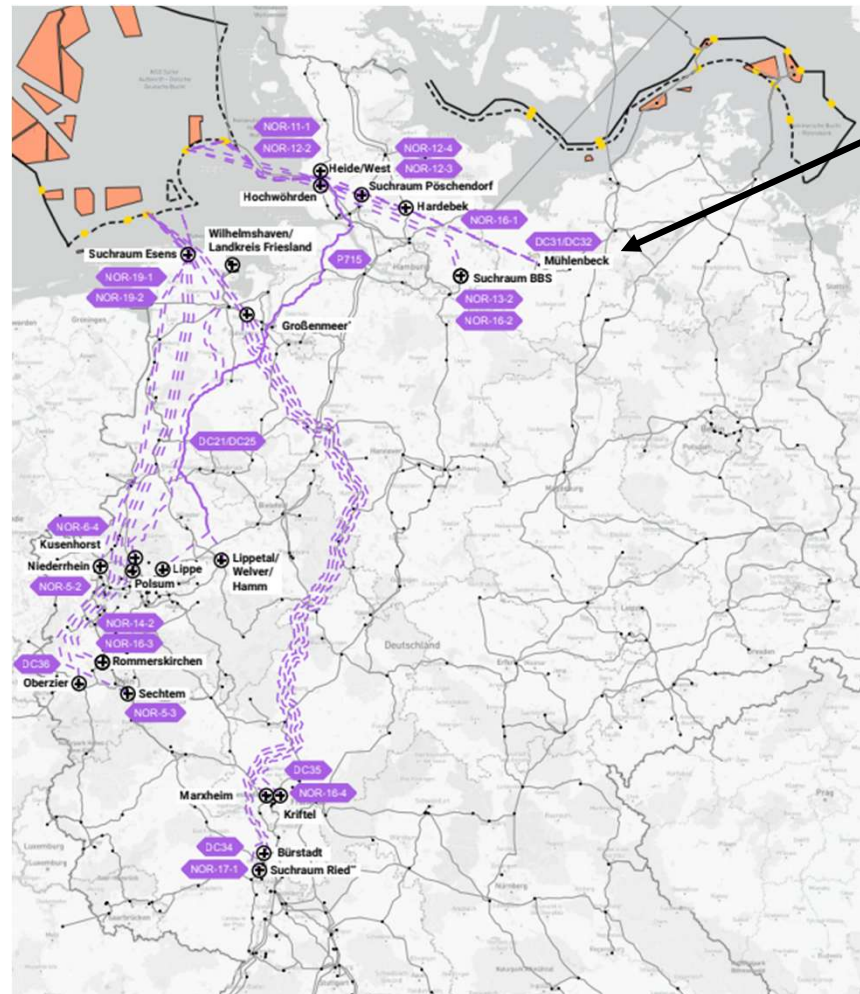


Aber auch das Land Berlin / Brandenburg muss mit seiner Regionalplanung etwas tun, aber die ist noch nicht fertig:
<https://mil.brandenburg.de/mil/de/presse/detail/~16-02-2026-windenergie-planung#>

In der Nordsee soll noch Offshore Windkraft aufgebaut werden, hierzu sollen DC bzw. Gleichstromübertragungsnetze gebaut werden, als Erdkabel, siehe: Netzentwicklungsplan, S. 178.

Viele dieser Erdkabel Planungen sind aber gestoppt worden, weil sie zu teuer sind. Die Bundesregierung will Freileitungen bauen.

Derzeit wird deshalb auf den neuen Netzentwicklungsplan im Herbst 2026 gewartet.



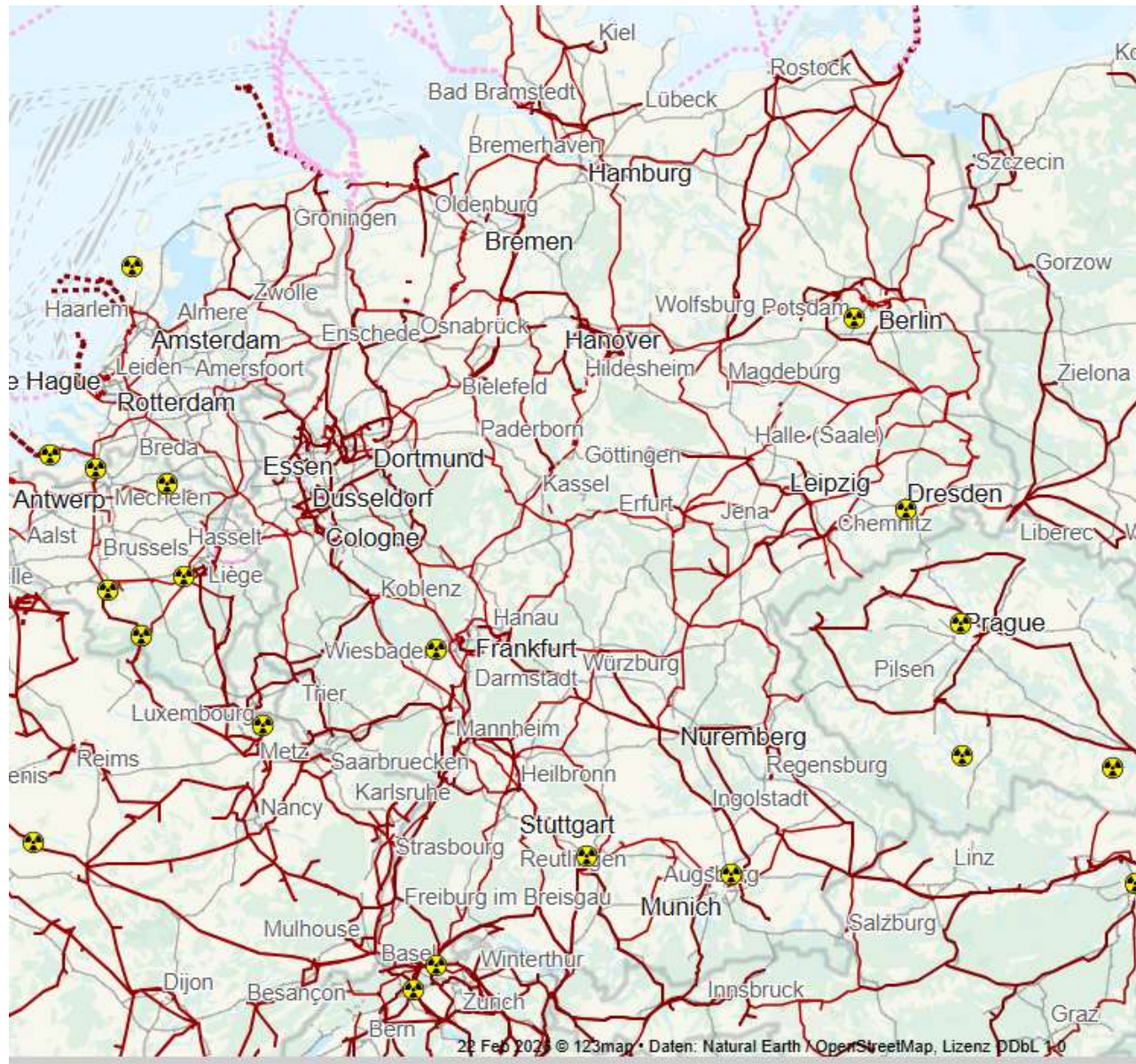
Interessant ist, dass ein Nord-Ost-Link Erdkabel von der Nordsee nach Schwerin laufen soll, das zwischen 4 und 12 GW Leistung transportieren soll, dies wird von Tennet und 50 Hertz geplant, S. 175.

Soll Berlin also später von der Nordsee aus versorgt werden?

Das müsste man aber doch regional schaffen können!!!

Geplant ist auch noch 600 km ein Gleichstromkabel durch die Ostsee nach Litauen, Lettland und Estland.

Bestehende
380 kV und
220 kV
Leitungen

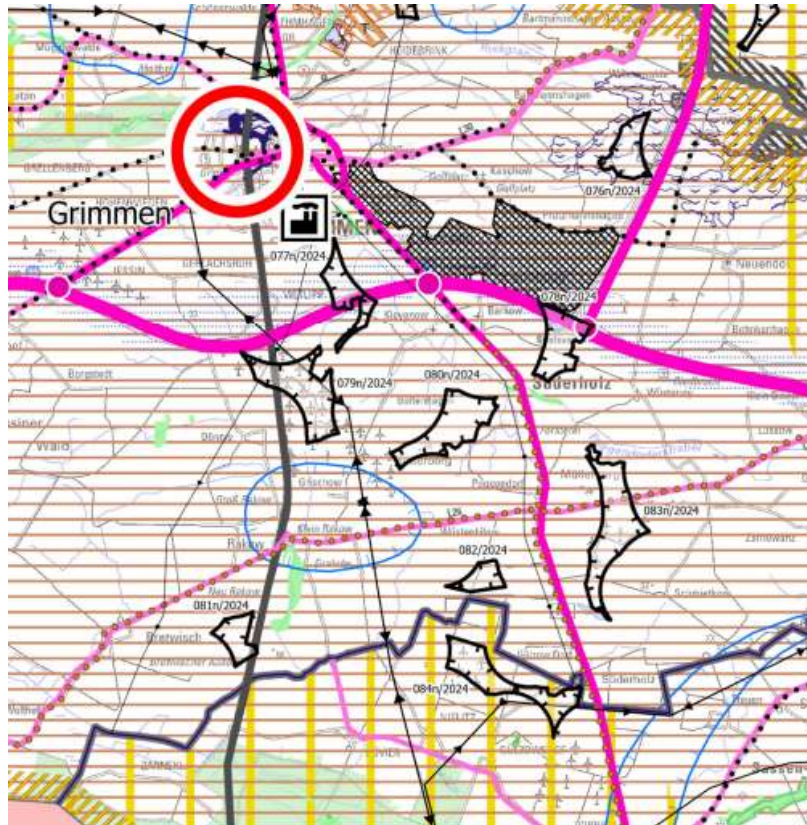


MV Erneuerbare Energien

- MV möchte vor allem die Bürger besser beteiligen: „Jeweils 0,3 Cent pro Kilowattstunde sollen deshalb an die Gemeinde und direkt an die Einwohner fließen. Die Extra-Einnahme soll dafür sorgen, dass Betroffene Windräder akzeptieren. Etwas niedrigere Sätze gelten für neue Solaranlagen.“ Dagegen gibt es Proteste der Windkraftbranche: siehe NDR 24.02.2026: <https://www.ndr.de/nachrichten/mecklenburg-vorpommern/windkraft-branche-rot-rot-in-mv-wuergt-energiewende-ab,windkraft-222.html>
- Windenergie- und Solarausbau wird im Regionalen Raumentwicklungsplan Vorpommern geplant, hier liegt am 26.01.2026 ein neuer Entwurf vor, siehe hier: <https://www.rpv-vorpommern.de/>
- Der NABU kritisiert die Planung: <https://mecklenburg-vorpommern.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/energie/erneuerbare-energien-energiewende/windkraft-und-artenschutz/konflikte/35671.html>

MV Erneuerbare Energien

- Regionaler Raumentwicklungsplan Vorpommern, Zweiter Entwurf 2026: <https://www.rpv-vorpommern.de/regionalplanung/rrep-vp-neuaufstellung-2-entwurf-2026>



Gebiete für Windkraft werden z.B. unter Grimmen vermehrt ausgewiesen, bei uns in der Nähe eher wenig.

Es fällt auf, dass generell nicht so viele Gebiete ausgewiesen sind.

Berlin kann man so mit unserem Landwind - so mein Eindruck - nicht versorgen.

Sparen durch den richtigen Ort für Elektrolyseure

- 5.000.000 Mill. t Wasserstoff (5.000.000 Mill. t Importe), darüber braucht man:
- 500 Elektrolyseure mit 10.000 t Jahresleistung. Sie brauchen 100 MW.
- $500 * 100 \text{ MW} = 50.000 \text{ MW}$, das sind 50 GW Leistung
- Eine 380 kV Donaumast Freileitung kann als Doppelsystem ($2 * 2 \text{ GW}$) 4 GW Strom transportieren.
- Für 50 GW Leistung braucht man also: $50 / 4 = 12,5$ mal eine solche 380 kV Freileitung.
- Kosten für 400 km: $400 * 1,6 = 640 \text{ Mill.}$ $400 * 4,2 \text{ Mill.} = 1680 \text{ Mill.}$ bzw. 1,6 Mrd., $12,5 * 1,68 \text{ Mrd.} = 21 \text{ Mrd.}$
- D.h. würde man die Elektrolyseure 400 km weiter im Land anschließen und z.B. mit Offshore Wind Strom betreiben, dann würde dies den Betrag von 21 Mrd. kosten.

Teil 2

Gesetzliche Basis, Regulierung, Kosten

Gesetzliche Basis

- Koordiniert wird der Aufbau erneuerbarer Energien und alles andere auch von der Bundesnetzagentur in Bonn. Neu ist eine weitere Institution, die KO NEP, die nun einen zusätzlichen Plan erstellt, in dem die Gasnetze und Wasserstoffnetz und die Elektrolyseure geplant werden und dies mit den Stromnetzen abgestimmt wird. Ab 2026 wird von der KO.NEP ein gemeinsamer Netzentwicklungsplan Gas und Wasserstoff der Bundesnetzagentur vorgelegt.
- Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz BMWK stellt nicht nur Langfristszenarien zur Verfügung, sondern hat begonnen, eine Systementwicklungsstrategie SES (siehe Ausgabe vom November 2024) zu entwickeln, die im Energiewirtschaftsgesetz als Grundlage für die Netzentwicklungspläne der Bundesnetzagentur dienen soll
- Die Bundesnetzagentur und KO NEP wird auch eine Regionalisierung und räumlich Verteilung der Lasten geplant, d.h. die Solar- und Windkraftleistung wird auf die von den Bundesländern gemeldeten freien Flächen verteilt. Im Prinzip kann die Bundesnetzagentur also auch Netzausbau sparen, indem sie z.B. viel Windenergie im Norden ansiedelt und direkt dort Elektrolyseure und von dort Wasserstoffpipelines legt, aber keine Freileitungen. Auch die Kraftwerksstandort müssen mit der Bundesnetzagentur abgesprochen werden. Die Bundesnetzagentur wird mit dieser Einbindung von Elektrolyseuren und der Einbeziehung regionaler Aspekte zum zentralen Motor und Koordinator der Energiewende.
- Die Industrie müsste aber bei der KO NEP ernsthaft mitarbeiten, die Zahlen für Elektrolyseure, die dort gemeldet wurden sind erscheinen nicht realistisch, die Excel-Tabellen zum Wasserstoffbedarf erscheinen so, als ob die Chemieindustrie nicht so richtig mitmachen wollte. Leverkusen Chempark H braucht im Jahr 2035 nur 80.000 MWh Strom für Wasserstoff, das sind 2400 Tonnen. Ludwigshafen braucht 300.000 MWh Strom für Wasserstoff, das sind 9000 Tonnen Wasserstoff.
- Die Energiewende beruht auf einer Reihe von Gesetzen: dem Energiewirtschaftsgesetz (EnWG), das Basisgesetz für die deutsche Energiewirtschaft, hier z.B. geregelt, dass für den Netzausbau die Netzbetreiber (Übertragungsnetzbetreiber, Verteilnetzbetreiber) verantwortlich sind, der Netzausbau selbst wird von vier Gesetzen geregelt: Das Energiewirtschaftsgesetz (EnWG), das Energieleitungsausbaugesetz (EnLAG), das Netzausbaubeschleunigungsgesetz Übertragungsnetz (NABEG) und das Bundesbedarfsplanggesetz (BBPlG). Der Bedarf für den Netzausbau wird vom Netzentwicklungsplan (NEP) dargelegt. Es gibt viele weitere Gesetze, die Auswirkungen auf die Energiewende haben z.B. ein Bündel von Gesetzen genannt Windenergie-Beschleunigungsgesetz. Und es gibt auch Verordnungen, die nicht vom Bundestag beschlossen werden müssen.
- Das Gesetz, das den Aufbau erneuerbarer Energien lenkt, ist das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), es besteht seit 2000 und ist mehrfach geändert worden, dort stehen konkrete Ausbauziele drin. Es verpflichtet die Verteilnetzbetreiber erneuerbare Energien vorrangig an das Stromnetz anzuschließen. Dies soll nun im sog. Netzpaket abgeschafft werden. Zentral für das EEG ist, dass es bestimmte Vergütungssätze garantiert für den eingespeisten Strom. Die Betreiber verkaufen den Strom aber dennoch auf dem Markt. Das Geld, das sie auf dem Markt verdienen, zahlt die Bundesregierung nicht, sie zahlt aber den Unterschiedsbetrag bis hin zum Vergütungssatz. Zuerst wurden diese Unterschiedsbeträge über den Strompreis von den Verbrauchern bezahlt, die Industrie war teils befreit, ab 2022 wurde diese sog. EEG-Umlage vom Staat übernommen, 2025 lag der staatliche Finanzierungsbedarf bei 17 Mrd. Euro.
- **Dies ist eigentlich eine sehr gute Idee:** Der Aufbau erneuerbarer Energien wird von privaten Investoren bezahlt, der Staat bezahlt nur einen zusätzlichen Anreiz für eine etwas höhere Rendite und er gibt Sicherheit für die Investitionen, sodass sich auch Kosten für die Finanzierung verringern, weil die Bank für einen Kredit die Sicherheit hat, dass er zurückgezahlt werden wird. **Man muss nur sehen, dass die Kosten für den Staat nicht immer weiter ansteigen.**
- Die Bundesnetzagentur spricht offen davon, dass Unsicherheiten bestehen, es können nicht alle möglichen Entwicklungen in vollem Umfang berücksichtigt werden, es sei auch unsicher, ob der Aufbau der erneuerbaren Energien wie geplant gelingt, ob Speicherkapazitäten bereitgestellt werden können etc. Auch bezüglich der zukünftigen Stromnachfrage beständen Unsicherheiten.
- Schon im November 2024 hat die Bundesnetzagentur einen Vorschlag gemacht, wie sie Elektrolyseure an Plätze lenken will, an denen viel Strom erzeugt wird und somit weniger Netzausbau nötig ist, dadurch können auch Redispatch-Kosten reduziert werden. Dies soll über den Baukostenzuschuss, den eine Elektrolyseurbetreiber an den Übertragungsnetzbetreiber zahlen muss, geschehen: ist der Ort günstig, dann wird wenig Baukostenzuschuss verlangt. Der günstigste Zuschuss ist 20 %, bei 500 MW würden 10 Mill. Euro fällen. Ist der Ort weniger günstig, steigt der Zuschuss auch 100 %, dies wären 60 Mill. Euro. Dies muss von der Politik noch geregelt werden.

Baustellen der Energiewende: Strompreis

Der Strompreis setzt sich aus Sicht der Haushalte aus mehreren Komponenten zusammen. Hier haben sich mehrere Änderungen ergeben, z.B. sind ab 2023 die Kosten für das EEG nicht mehr im Strompreis enthalten.

- Für 2023:
- 41 % für Kosten der Energiebeschaffung (der Preis für die Produktion von Strom in den Kraftwerken ... als eine Basis für den Preis für den Strom auf dem Strommarkt), dann
- 12 % Vertrieb/Marge, der Profit der Stadtwerke,
- 4 % Konzessionskosten, die an die Kommune abgeführt werden,
- 4,5 % Stromsteuer an den Staat,
- 16 % Mehrwertsteuer,
- 3 % sonstige Umlagen und
- 20 % **Netzentgelte**, womit den Netzbetreibern (Übertragungsnetzbetreiber und Verteilnetzbetreiber) **der Betrieb, aber auch der Ausbau, also die oben erwähnten 408 Mrd. Euro, sonstige Kosten, auch die Redispatch-Kosten und Kosten zur Vorhaltung von Netzreservekraftwerken und Kapazitätsreserveanlagen (die anspringen, wenn kein Wind und keine Sonne da ist)**. Das geht bei Gaskraftwerken leicht, bei Kohlekraftwerken braucht man schon einen kleinen Vorlauf. Und in Zukunft werden auch die gerade geplanten wasserstofffähigen neuen Gaskraftwerke unter die Netzentgelte fallen. Aber da dies sehr teuer werden wird, wird hier derzeit an einem besonderen Mechanismus, dem Kapazitätsmechanismus, gebastelt, der eine Finanzierung ermöglichen soll – ohne dass die Netzentgelte extrem stark ansteigen. Es kann sein, dass der Staat auch hier Zuschüsse zahlen wird.
- Denn sonst kann der Verbraucher die Strompreise nicht mehr bezahlen und die Industrie bekommt heute schon Zuschüsse für die Stromkosten.
- Beim Thema Netzentgelte wird deutlich, welche große Rolle der Bundesnetzagentur zukommt, die etwa die Netzentgelte und Verteilernetzgebühren festlegt und damit die Höhe beeinflusst, zu den Kosten zur Vorhaltung von Netzreservekraftwerken und Kapazitätsreserveanlagen gibt es eine eigene Webseite bei der Bundesnetzagentur, mit dem Titel ‚Netzengpassmanagement‘.
- Aktuell hat die CDU/SPD Regierung für 2026 einen 6,5 Mrd. staatlichen Zuschuss zu den Netzentgelten beschlossen, um die Verbraucher zu entlasten und für 2026 niedrigere Strompreise zu ermöglichen und für 600.000 Unternehmen und Landwirte wird eine dauerhaft niedrigere Stromsteuer eingeplant. Auch die Gasspeicherumlage fällt weg, siehe: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/niedrigere-netzentgelte-2382396>
- Was sind Redispatch Kosten?

Baustellen der Energiewende: Strommarkt, Redispatch

- Kontroversen löst der Strommarkt aus: die Übertragungsnetzbetreiber ÜNB planen immer 1 - 2 Tage im voraus (genannt Kraftwerkseinsatzplanung – Dispatch), auch nach Wetterbericht, früher mussten sie im Jahr 3 Anpassungen vornehmen, heute teils im Monat 200 mal neu entschieden Kraftwerke etwa aus der sog. Netzreserve hochzufahren, Speicher abzurufen, Strom zu importieren, z.B. wenn doch die Sonne für die für morgen angemeldeten Solaranlagen nicht scheinen, z.B. bei einem Gewitter (das nennt sich Redispatch ... erneute Planung). Sie müssen dabei – soweit ich dies verstanden haben - die Langzeitverträge für Stromabnahme erfüllen mit den Stadtwerken und der Industrie, aber auch Leuten Strom liefern, die dies gerade an der Strombörse kurzfristig gekauft haben (dafür gibt es vier Regelzonen: betrieben von den ÜNB TenneT, 50Hertz, Amprion und TransnetBW). Das geht offenbar, - soweit ich dies verstanden habe - weil die spontan gehandelten Mengen am Strommarkt gegenüber dem Gesamtvolumen recht niedrig sind. Offenbar würden sie dann auch von Großbatterien Strom ‚kaufen‘, wenn dies den Strom günstig anbieten. Das Strom immer bereitsteht, nennt sich Systemsicherheit (z.B. gab es in Spanien 28.04.2025 einen Blackout).
- Es gibt weitere Probleme: z.B. bei starken Wind werden Offshore Windparks abgeschaltet und auch z.B. Landwindparks in Mecklenburg Vorpommern abgeschaltet (Quartalsbericht Netzengpassmanagement 04/2024, S. 13, Engpass Pasewalk), da die Leitungen nicht dick genug sind, um den Strom in den Süden zu leiten, sonst gehen die Transformatoren oder Leitungen durch Überbelastung kaputt. Die Betreiber dieser Windparks bekommen aber trotzdem Geld, das sind die sog. Redispatch Kosten, **die auf die Stromkosten der Verbraucher als ein Teil der Netzentgelte aufgeschlagen werden**, dazu kommt, dass bei erhöhtem Bedarf etwa im Süden Deutschlands teure Gaskraftwerke angeworfen werden, dies geht – soweit ich das verstanden habe - ebenfalls als Redispatch in den Strompreis ein, kurz: das bezahlen wir.
- Die Redispatchkosten wurden durch eine Reform der Bundesnetzagentur hin zu Redispatch 2.0 bereits gesenkt. Offizielle Infos u.a. zu den Kosten von Redispatch gibt es hier, sie sind von 1,8 Mrd. 2023 auf 1,1 Mrd. 2025 gesunken: Webseite: Bundesnetzagentur Netzengpassmanagement; und Energy Charts: https://www.energy-charts.info/charts/energy_redispatch/chart.html?l=de&c=DE
- Die Redispatchkosten sinken hoffentlich in Zukunft ab, wenn mehrere Stromleitungen u.a. die Erdleitung Südlink mit 4 GW Leistung vom Norden in den Süden 2028 fertig ist.
- Die Fertigstellung von Südlink hatte sich durch die Politik (Bayern) verzögert. Sie wurde auch dadurch verzögert 2015 durch die Politik vereinbart wurde Erdkabel statt Freileitungen zu nutzen, dies hatten viele in der Bevölkerung gewünscht, siehe: <https://de.wikipedia.org/wiki/Suedlink>
- 4 GW Leistung der Erdleitungen hat Wumms, die Erdkabel ersetzen 8 Freileitungen mit 500 MW. Eine größere Stadt mit Industrie braucht z.B. 1,5 GW, eine mittelgroße 250.000 Einwohner-Stadt nur für Haushalte ca. 50 MW, mit E-Autos 200 MW.
- Ende 2024 waren 7,4 GW Leistung in den Nordsee Windparks aktiv – eine Leistung, die natürlich je nach Wind schwankt – davon kann also ab 2028 viel mehr in den Süden gebracht werden – und vor Ort kann dann noch weiterer vorhandener Strom in Wasserstoff umgewandelt werden (weitere Ostsee-Offshore-Windparks wird es nicht geben, wg. Naturschutz und Tourismusüberlegungen, der Ausbau konzentriert sich auf die Nordsee und dann auf Projekte mit Dänemark z.B. zusammen).
- Die Redispatchkosten würden auch absinken, wenn man es erlauben würde, den abgeregelten Strom vor Ort im Norden in Elektrolyseuren zu nutzen, dies ist im Moment regulatorisch noch nicht erlaubt – soweit ich das verstanden habe – daran wird gerade im Ministerium gearbeitet (Nutzen statt abregeln).
- Redispatchkosten waren auch deshalb gestiegen, weil die erneuerbaren Energien mehr einspeisen, dadurch mehr Strom fließt, aber dann, wenn dieser wegbricht, auch höhere Strommengen durch konventionelle Kraftwerke und Reservekraftwerke ‚nachgefüttert‘ werden müssen, die dafür auch kompensiert werden, dies ist die sog. Momentanreserve, um die Schwingung von 50 Hertz im Stromnetz zu halten. Diese Infos findet sich z.B. nicht auf Youtube. Wie dies später einmal ohne Generatoren der Gas- oder Kohlekraftwerke gehen soll, die die 50 Hertz Schwingung erzeugen ist noch nicht ganz geklärt, dazu bedarf es eines neuen Stromrichterkonzepts, siehe mein Text: 00Teil3, S. 99.

Baustellen der Energiewende: EEG-Reform, Kapazitätsmechanismus für wasserstofffähige Gaskraftwerke ...

Am 01.08.2024 ist vom BMWK ein Bericht mit dem Titel Strommarktdesign der Zukunft veröffentlicht worden, hier geht es darum, nach dem Auslaufen des EEG neue, europarechtskompatible Anreizformen zu entwickeln, favorisiert wird eine Kapazitätzahlung mit Refinanzierungsaspekt, dies ist eine feste Zahlung je nach kWh installierte Leistung, bei einer Kompensation für zu wenig Gewinne und eine Rückzahlung bei zu vielen Gewinnen gegenüber einer Referenzanlage. Ebenso wird diskutiert, wie ein Kapazitätsmechanismus ausgestaltet werden soll, dieses soll ab 2028 „operativ“ sein. Mit dem [Kraftwerksicherheitsgesetz sind jetzt schon 5 GW für wasserstofffähige Gaskraftwerke ausgeschrieben](#) worden und 2 GW für Modernisierungen. In der CDU/SPD Koalition wurde unter Wirtschaftsministerin Katharina Reiche beschlossen 20 GW Gaskraftwerke zu bauen, das wären 40 Kraftwerksblöcke à 500 MW. Sie wollte diese zuerst als reine Gaskraftwerke bauen. Hintergrund: Erdgas kommt nicht mehr aus Russland, aber kann nun aus Norwegen bezogen werden. Dies hat sie gegenüber der SPD nicht durchsetzen können, es gab eine Einigung darauf, [dass die neuen Kraftwerke wasserstofffähig sein müssen, also mittelfristig von Erdgas auf Wasserstoff umgestellt werden können](#).

In Arbeit in den Ministerien ist derzeit wie die Finanzierung bzw. wie ein Kapazitätsmechanismus zur Finanzierung von wasserstofffähigen Gaskraftwerken aussehen könnten. Problem ist, dass die wasserstofffähigen Gaskraftwerke teuer sind, aber nachher im Winter vielleicht nur weniger Wochen laufen und man nur in diesen Wochen damit Geld verdienen kann ... so ist es schwer, die Investition wieder hereinzubekommen bzw. einen Kredit dafür zurückzuzahlen. Dazu kommt, dass die EU Kommission dem zustimmen muss, da es sich um eine teilweise Subventionierung handeln könnte und hier ist die EU Generaldirektion Wettbewerb bzw. die DG Competition zuständig und kann ggf. Auflagen erteilen. (siehe zu diesen Infos: Tagesschau. Einigung mit Leerstellen, 14.11.2025). Hierzu wird derzeit ein neues Kraftwerkssicherheitsgesetz (KWSSG) erarbeitet, dass die Bezahlung für wasserstofffähige Gaskraftwerke, aber auch für die sonstigen Kraftwerke, die in der sog. Netzreserve stehen und die im Notfall angehen müssen, geregelt wird. Im Januar 2026 ist nun eine Einigung mit der EU Kommission erfolgt, 12 Gigawatt werden gebaut, davon müssen 10 Gigawatt langfristig Strom liefern können, d.h. Gaskraftwerke sein. Sämtliche Kraftwerke müssen wasserstofffähig sein. Bis 2040 sollen 2 GW und bis 2043 4 GW auf Wasserstoff umgestellt werden. Ab 2045 sollen die Anlagen zu Beginn schon mit Wasserstoff laufen, es wird allerdings angemerkt, dass dies technisch noch nicht ganz geklärt sei (In den Startlöchern für neue Gaskraftwerke, FAZ, 17.01.2026). Eine Möglichkeit sei auch, bestehende Gasturbinenkraftwerke umzurüsten. Der Neubau eines 15 MW Gasturbinenkraftwerks koste 30 Mill. Euro, ein H2-ready Retrofit koste 3 Mill. Euro, siehe dazu diese Infos. Siehe: <https://www.bdew.de/online-magazin-zweitausend50/gleichgewicht/wasserstoff-so-werden-kraftwerke-h2-ready/> - Zugriffen: 05.12.2025.

Baustellen der Energiewende: es gibt noch keine bundesweite Förderung für Elektrolyseure, die ggf. eine Lenkung für Standorte für Elektrolyseure vorsieht, der Aufbau Wasserstoffkernnetz geht voran

Elektrolyseure werden derzeit nicht bundesweit, sondern teils auf Länderebene gefördert, derzeit ist in den Ministerien ein Vorschlag in der Diskussion Wasserstoff Erdgas beizumischen, als Zwangsquote, um den Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft voranzubringen. Die ersten Abnehmer werden die Stahlwerke sein, das sind aber erst einmal nicht so hohe Mengen: pro umgebauten Midrex-Direktreduktionsofen vielleicht anfangs 50.000 t Wasserstoff ... weil noch mit Erdgas gemischt werden wird ... es werden derzeit 3 Midrex-Direktreduktionsanlagen gebaut, Duisburg, SHS-Saarstahl, Salzgitter Stahl / VW Wolfsburg ... die Chemieindustrie baut von selbst Elektrolyseure, allerdings für die Entschwefelung von Erdöl-Raffinerien, sonst baut sie ihre Anlagen nicht um, das ist ein Hemmnis für den Wasserstoffhochlauf und die Politik traut sich bislang nicht hier z.B. einen EU Umbauplan für Chemie zu erzwingen ...

Das Wasserstoffkernnetz wird bis 2032 aufgebaut, das Netz wurde bereits genehmigt, Investitionskosten 18,9 Mrd., die Industrie will es finanzieren, die Netzentgelte werden einheitlich festgelegt, gehen die Kosten höher, will der Staat einspringen, dies wird aber über ein Amortisationskonto später zurückbezahlt. Auch aus europäischen Töpfen (IPCEI) soll eine Förderung erfolgen. Siehe mein Text: 00Teil3, S. 102.

Es steht aber im Raum, dass auch für Elektrolyseure eine bundesweite neue Regelung getroffen werden sollte: Schon im November 2024 hat die Bundesnetzagentur einen Vorschlag gemacht, wie sie Elektrolyseure an Plätze lenken will, an denen viel Strom erzeugt wird und somit wenig Netzausbau nötig ist, dadurch können auch Redispatch-Kosten reduziert werden. Dies soll über den Baukostenzuschuss, den eine Elektrolyseurbetreiber an den Übertragungsnetzbetreiber zahlen muss, geschehen: ist der Ort günstig, dann wird wenig Baukostenzuschuss verlangt. Der günstigste Zuschuss ist 20 %, bei 500 MW würden 10 Mill. Euro fällt. Ist der Ort weniger günstig, steigt der Zuschuss auch 100 %, dies wären 60 Mill. Euro

Klimageld

- Die Politik hatte eigentlich vor, ein **Klimageld** an ärmere Haushalte zu zahlen, weil diese durch die höheren Stromkosten besonders betroffen sind. Dies hatte aber Christian Lindner von der FDP blockiert und in die Zukunft geschoben.
- Die reicheren Haushalte können die höheren Stromkosten normalerweise problemlos zahlen, die Industrie bekommt Strompreiskompensationen, also staatlich erniedrigte Strompreise.
- Derzeit ist die Diskussionslage komplexer: Das Wohngeld wurde auch aufgrund der höheren Energiekosten erhöht (davon profitieren aber noch wenige Personen), siehe oben, gerade hat die Bundesregierung einen Zuschuss zu den Netzentgelten bezahlt und damit für alle den Strompreis für 2026 abgesenkt, für Personen, die 3500 kWh verbrauchen, z.B. 100 Euro Stromkosten im Jahr weniger ... davon profitieren aber auch viele reiche Personen sehr stark ...
- Die Frage ist also: Klimageld oder Stromkostensenkung? Und: wie kann man das Klimageld ausgestalten, dass wirklich die ärmeren Haushalte profitieren?
- Die Linke fordert offenbar ein Klimageld von 350 Euro (wie viel würde das kosten, wenn man die an 10 Millionen ärmere Haushalte auszahlt? 3,5 Mrd. Euro ... das ist eine ganze Menge, aber weniger als der Zuschuss zum Netzentgelt für 2026!!!)
- Was denkt ihr dazu?

Weitere Technologien zur Stromerzeugung und Speicherung ... Wärmeerzeugung und Speicherung

- Man sollte noch nach anderen Technologien suchen: Windkraft ist günstig, aber was ist, wenn der Golfstrom aufhört und Europa abkühlt? Windkraft muss dann einen kanadischen Winter überstehen, da ist Solarenergie vielleicht auch wieder gut. Thermische Speicher, etwa Garagen voller Ziegelsteine mit Solar auf dem Dach? Kleine Windräder überall? Oder die neue Idee der Generatoren an Wasserwirbeln?
- Wie funktioniert der große Tauchsieder in Rostock? Siehe Stadtwerke Rostock: <https://www.swrag.de/wir-fuer-hier/fuer-die-region/power-to-heat>
- In den USA hat Form Energy seine Fabrik nun aufgebaut, die günstige Eisen Luft (Rost) Batterien bauen, die bis zu 100 Stunden Strom abgeben können, also bis in die Dunkelflaute hinein ggf. Strom bereitstellen können, siehe: <https://formenergy.com/>
- Kann man CO₂ nicht doch durch Pyrolyse in harten Kohlenstoff umwandeln, der nicht mehr verwittert, kurz: wir machen aus CO₂ einfach wieder Kohle und tun sie in den Boden oder bauen damit Häuser aus schwarzen Steinen? (siehe die NECOC Forschung von Benjamin Dietrich am KIT: https://www.tvt.kit.edu/21_3547.php)
- **Recherchiert nach neuartigen Lösungen zur Erzeugung von Strom und zur Speicherung von Strom und Wärme!**

Ohne staatliche Förderung: Boom bei Großbatterien

Interessant ist, dass ein Teil der Energiewende derzeit ohne staatliche Förderung vorstatten geht:

- Es gibt mittlerweile weltweit eine Vielzahl von Großbatterien. Eine weltweite Übersicht gibt es zum Beispiel bei Wikipedia. In den USA ist eine Datenbank aufgebaut worden, die DOE (Department of Energy) Global Energy Storage Database, mit 2337 Einträgen (Stand: 02.01.2025), darunter auch Pumpspeicherkraftwerke.
- In Deutschland gibt es schon 360 Großbatterien (Marktdatenstammregister). Im Mittelspannungsbereich, ist es begrenzt auf 20 MW, bei größeren Speichern braucht man 110 kV Freileitungen und höher. Siehe z.B. Geladen Batteriepodcast mit Hans Urban von EcoStor. Nicht alle diese Speicher stehen direkt bei einer Fabrik oder Solaranlagen, viele der Speicher stehen an **Netzknotenpunkten** und speichern alle Arten von Strom, auch grauen Strom von Kohlekraftwerken.
- Letztlich geht es hier offenbar um ein Geschäftsmodell zum Geld verdienen. Das Geschäftsmodell dahinter ist, dass die Volatilität / d.h. die Preisschwankungen am Strommarkt derzeit immer größer werden, sodass man immer gut seinen Strom verkaufen kann ... die Übertragungsnetzbetreiber planen dann den Abruf des Stroms aus den Großspeichern ein und der Strom wird weiterhin an Strommärkten verkauft.
- Große Batteriespeicher werden z.B. von RWE gebaut, Anfang 2023 eine Megabatterie in Lingen und Werne mit 117 MW, ein 220 MW Speicher wird in NRW gerade errichtet. In Eemshaven entsteht in den Niederlanden neben einem RWE-Kraftwerk ein 35 MW und 41 MWh Speicherkapazität Lithium-Ionen-Speicher mit 110 Batterieschränken. In Meppen, Ortsteil Hüntel, im Landkreis Emsland entsteht ein 300 Megawattstunden Stromspeicher des britischen Unternehmens Harmony Energy, neben einem Umspannwerk des Netzbetreibers Ampiron. Es soll 170.000 Haushalte 6 Stunden mit Strom versorgen und 150 Millionen Euro kosten. In Arzberg bei Wunschseidel wird eine 100 MW, 200 Megawattstunden Großbatterie aufgebaut, in der Nähe befinden sich einige kleine Solaranlagen und 5 Windkraftanlagen, siehe Google Maps.
- Ecostor hat in Betrieb: Doberlug Kirchhain 8 MWh, Bad Düben 16 MWh, Elsteraue 16 MWh, Eisenach 12 MWh, Ipfhofen 24 MWh, Diespeck 24 MWh, Sulzberg 8 MWh. In Planung sind mehrere viel größere Speicher, Trossingen 716 MWh, Wengerohr 600 MWh. Derzeit gibt es viele Anträge auf Großbatterien, teils spekulativ, um diese Genehmigung ggf. weiterverkaufen zu können.
- Siehe auch dazu: Geladen Batteriepodcast mit Hans Urban von EcoStor. Hier wird auch erwähnt, dass Großbatterien laut sein können u.a. wegen den Lüftern, es wird hier eine Lärmschutzwand gebaut. Ecostor sagt: Die Batterien sind für 100 Euro / kWh in Form fertiger Container zu kaufen ($100 * 1000 = 100.000$ für 1 MWh, $100.000 * 10 = 10$ Millionen Euro würde ein 100 MWh Batteriespeicher kosten), sie machen ca. 45 % der Gesamtkosten aus, die Wechselrichter und Trafos kosten 20 %, die größeren Umspannanlagen 20 %, also gibt es 100 MWh für ca. 20 Mill. Euro. Ein 240 MWh Speicher kostet einen mittleren zweistelligen Millionenbereich, also ca. 50 Mill. Euro. Die Batterien sind auf 15 Jahren Betriebsjahre ausgerichtet.
- Neulich gab es ein Großfeuer bei einer Großbatterie in Moss Landing in den USA, die eine Leistung von 750 MW und eine Gesamtleistung von 3000 MWh hatte. Siehe zu diesem Thema: 00Teil2, S. 158 ff.

Wie viel kostet die Energiewende?

Wie viel kostet die Energiewende in Deutschland?

Landwindenergie brauchen wir für 2000 TWh bzw. 3000 TWh (hier wird Solar ausgeklammert, welches auch teurer ist, wenigstens nach meinen Beispielen).

- 6666 * 220 Mill. kostet: 1.466.520 Mill., das sind 1466 Mrd.
- 10.000 * 220 Mill. kostet: 2.220.000 Mill., das sind 2200 Mrd. (in teuer, ggf. bei Massenproduktion die Hälfte)

Elektrolyseure: Weiterhin brauchen wir 10.000.000 t Wasserstoff, dafür brauchen wir 1000 * einen 100 MW Elektrolyseur, der kostet pro Stück 100 Mill. Euro, 1000 * 100 Mill. Euro = 100.000 Mill. Euro, das sind 100 Mrd. Euro. (bei Massenproduktion wird prognostiziert, dass der Preis 2030 auf 50 Mill. Euro sinkt, 1000 * 50 Mill. = 50.000 Mill., das sind 50 Mrd. Euro)

Dazu kommen die wasserstofffähigen Gaskraftwerke. Wie viel man davon braucht, kann ich hier nicht im Ansatz vernünftig prognostizieren. 1000 MW Leistung kostet 1,5 Mrd., so eine Quelle, teils wird auch in der Literatur geschätzt 1 Mrd., siehe Notizbereich. Wir haben jetzt in Deutschland 234 Gigawattpeak Spitzenlast (siehe Bundesnetzagentur Kraftwerksliste), wenn man das alles mit wasserstofffähigen Gaskraftwerken abdecken würde (die nur wenige Wochen etwa im Winter bei Dunkelheit und Windflaute laufen), würde dies 234 * 1,5 Mrd., also 351 Mrd. Euro kosten. Sie sind schwer zu finanzieren, wenn sie wenig laufen, dafür werden derzeit die sog. Kapazitätsmärkte entwickelt, hier will der Staat ggf. auch Fördergelder zahlen.

Dazu kommen Wasserstoffspeicher, dafür habe ich keine Kostenzahlen, Speicher für Wasserstoff befinden sich derzeit in Erprobung.

Weiterhin brauchen wir Wasserstoffpipelines, man kann aber für Wasserstoff auch das Erdgasnetz nutzen, Pipelines sind günstig und können schnell und weit gebaut werden. Beispiel: Nord Stream I, Länge 1224 Kilometer, wurde von 2010 bis 2012 fertiggestellt, mit einer Geschwindigkeit von 3 km pro Tag und mit zwei Rohren, in denen 58,8 Mrd. Kubikmeter Gas fließen konnten, 16 % der Erdgas Importe der EU, Kosten waren 7,4 Mrd. Euro. Der Preis für das Wasserstoffkernnetz ist bekannt, 60 % besteht aus alten Erdgasleitungen, es kostet 18,9 Mrd. Euro., also ca. 20 Mrd.

Und ein CO₂-Pipelinennetz, um am Schornstein aufgefangenes CO₂ (z.B. von Zementwerken) in der Chemieindustrie nutzen zu können. Schätzung: 20 Mrd. Euro.

Dazu kommt der Netzausbau: Der Übertragungsnetzbetreiber Amprion berichtet, dass er 3 Mrd. Euro investiert hat und damit 100 Kilometer Leitungen fertiggestellt hat. Laut Bundesnetzagentur sollen 13.600 Trassenkilometer neu gebaut werden. Bierdeckelrechnung: 13.600 / 100 = 136 * 3 Mrd. = 408 Mrd. Euro.

Kurz: in der teuren Version, mit jetzigen Preisen bei 3000 TWh: 2200 Mrd. (10.000 Landwindparks) + 100 Mrd. (1000 Elektrolyseure) + 351 Mrd. (wasserstofffähige Gaskraftwerke), 18,9 bzw. 20 Mrd. Wasserstoffkernnetz + 20 Mrd. CO₂ Pipelinennetz + 408 Mrd. Euro Netzausbau Strom Freileitungen = 3099 Mrd. Euro.

Dazu kommen die Umbaukosten Stahlindustrie und Chemieindustrie. Europa: 14 Hochöfen in Deutschland a 3 Mrd. = 42 Mrd. Für Europa mit 50 Hochöfen * 3 Mrd. 150 Mrd. Euro und die neuen Chemiewerke, hier ist der Preis unbekannt, die Anlagen sind aber nicht so teuer: Geschätzt: 50 integrierte Steamcracker in Europa, Umbau je 2 Mrd. (die Steamcracker können teils weiterverwendet werden), das sind 250 Mrd.

In der teuren Version: ca. 3163 Mrd. und der Umbau der Industrie ca. 250 Mrd. in Europa, in Deutschland ca. 100 Mrd. = 3199 Mrd. – vereinfacht 3200 Mrd. Euro.

In der günstigen Version aus: 2000 TWh (weil die Chemieindustrie ihre Grundstoffproduktion verringert und nicht so viel Wasserstoff verbraucht) und geht man davon aus dass Landwindenergie sich von den Kosten her halbiert, sind es ca. 733 Mrd. Euro, plus halb so teure Elektrolyseure 50 Mrd., plus 120 Mrd. für kleinere wasserstofffähige Gaskraftwerke, die zum Teil nur umgerüstet werden, plus 20 Mrd. Wasserstoffkernnetz, 20 Mrd. für ein CO₂ Pipelinennetz, 408 Mrd. für den Netzausbau, auch für die E-Autos braucht man Netzausbau, ich gehe nicht davon aus, dass der günstiger wird. **In der günstigen Version: ca. 1331 Mrd. Euro und der Industrieumbau in Deutschland: 100 Mrd. Euro. = ungefähr 1451 Mrd. – vereinfacht 1450 Mrd. Euro.**

Ginge das? – nicht alle Kosten trägt der Staat!

Zum Vergleich: die Gesamtausgaben des Bundeshaushalts 2026 betragen 520 Mrd. Euro. **Zur Erinnerung, Folie davor: Teure Version der Energiewende: 3300 / 25 Jahre = 132 Mrd. pro Jahr, realistisch wäre aber bis 2040 / 15 Jahre zu rechnen: 220 Mrd. im Jahr ... günstige Version 1500 Mrd. / 25 Jahre = 60 Mrd. pro Jahr oder in kürzerer Zeit: 1500 / 15 Jahre = 100 Mrd.**

Diese Kosten kommen aber nicht in voller Wucht auf den Staat zu, weil:

Der Ausbau der Stromnetze wird über die Netzzumlage finanziert, die von den Stromverbrauchern getragen wird (der Staat hat hier bisher einmal eine Unterstützungszahlung getätigt) ... die Kosten von 408 Mrd. zahlt also nicht der Staat ... es könnte aber sein, dass hier nochmal Einmalzahlungen auf den Staat zukommen. Schon heute zahlt der Staat gegenüber der Industrie Geldbeträge, damit deren Stromkosten niedriger liegen. Diese nennt sich Strompreiskompensation SPK und Carbon Leakage Schutz von der DEHSt, dies wird vom Staat bezahlt. Es wird auch immer wieder über weitere Entlastungen für die Industrie diskutiert, etwa einen sog. Industriestrompreis. Die Abschaffung der Stromsteuer war aber zu teuer, dadurch hätte der Staat auf 5,3 Mrd. Euro Einnahmen verzichtet. Nun wird 2026 6,5 Mrd. Euro vom Staat zu den Netzentgelten zugeschossen. Für 600.000 Unternehmen und Landwirte bleibt die Stromsteuer ab 2026 dauerhaft niedriger.

Der Ausbau der Landwindparks wurde bisher nicht direkt bezahlt, sondern durch die EEG Umlage, einen garantierten Strompreis (von dem allerdings der am Markt erzielte Strompreis abgezogen wird – nur die Differenz wird vom Staat bezahlt), getragen, die über die Strompreise bezahlt wurde, die EEG Umlage hat seit dem 1. Juli 2022 die Bundesregierung übernommen, sie zahlt bei 64.000 MW Leistung im Jahr 2024, das sind grob geschätzt umgerechnet 245 TWh, dafür zahlt der Staat 18,49 Mrd. Euro EEG-Umlage. Bei einem steigenden Ausbau erneuerbarer Energien können die Kosten steigen. Pi mal Daumen, für 2450 TWh das zehnfache, 184 Mrd. Euro pro Jahr. Damit diese Umlage sinken kann, **müssten die erneuerbaren Energien unbedingt um die Hälfte günstiger werden. Es ist ein Basis Landwindmodell in Massenproduktion ohne seltene Erden nötig.**

Die wasserstofffähigen Gaskraftwerke will der Staat über sog. Kapazitätsmärkte fördern, der Strom, der dann im Winter in der Dunkelflaute damit produziert wird, wird für den Verbraucher sicher teuer werden, eben weil die Kraftwerke nur so kurz laufen und sich durch die kurzen Laufzeiten amortisieren müssen. Es kann sein, dass der Staat hier eine Subvention bezahlt..

Für Elektrolyseure gibt es noch kein Förderregime, einige Bundesländer haben allerdings eine Förderung.

Das Wasserstoffkernnetz soll rein privatwirtschaftlich finanziert werden, über ein sog. Amortisationskonto (es kostet aber nur ca. 18,9 bzw. 20 Mrd. Euro).

Fazit: ... nun sieht alles anders aus, **grob von mir geschätzt so**: der Staat zahlt seine EEG Umlage, sie wird aber erheblich teurer als im Moment, weil eben mehr erneuerbare Energien aufgebaut werden müssen und dafür Anreize bereitgestellt werden müssen: aber hier muss eine Reform stattfinden und die Windenergieanlagen müssen billiger werden, dann hätte man vielleicht EEG Ausgaben von 100 Mrd. im Jahr, plus vielleicht 20 Mrd. jährlich für die wasserstofffähigen Gaskraftwerke und 20 Mrd. für die Strompreiskompensationen für die Industrie und 10 Mrd. Anreize für die Elektrolyseure.

Es könnte also sein, dass der Staat 150 Mrd. Euro im Jahr für die Energiewende braucht, das ist bereits sehr viel und es ist fast unmöglich, dies über den Haushalt zu finanzieren, die Kosten müssen noch auf vielleicht 80 Mrd. runter. Und: eines ist klar, dass der Staat dann nicht noch weitere Aufgaben übernehmen kann, etwa Preisdifferenzen von grünen zu braunen Produkten heruntersubventionieren, wie in den Klimaschutzverträgen vorgesehen ist oder gar Exportsubventionen zahlen

Deshalb sollte die Industrie mehr an den Kosten beteiligt werden. Die Stahlindustrie zahlt derzeit nicht ihren eigenen Umbau, sie braucht Wasserstoff und sollte deshalb an den Kosten für den Aufbau erneuerbarer Energie und Elektrolyseure und wasserstofffähigen Gaskraftwerken beteiligt werden. Die Chemieindustrie schiebt ihren Umbau immer weiter nach hinten, auch sie sollte an ihren Umbaukosten und den Kosten zum Aufbau von erneuerbaren Energien und Elektrolyseuren und wasserstofffähigen Gaskraftwerken beteiligt werden – und sei es mit Krediten, die lange in die Zukunft laufen – in China kann man auch Kredite über zwei Generationen aufnehmen ;-).

- Dazu kommt, dass die Umstellung im Chemiebereich schwierig ist, so dass die Chemieindustrie 2040 nicht mehr dieselbe sein wird wie heute noch, auch die hohen EU Exporte wird es dann nicht mehr geben, zumindest in bestimmten Produktbereichen nicht mehr. Wenn sich Investoren zurückziehen muss ggf. der Staat Chemiefirmen übernehmen.
- **Besonders im Bereich Chemie wird es nach der Energiewende teilweise zu höheren Preisniveaus kommt, ein koordinierter Sprung dorthin ist viel besser als ein langsamer Übergang, bei dem der Staat zu viel Subventionen bezahlt**
- Deshalb braucht man Umbaupläne auf der EU-Ebene für die EU Stahlindustrie (2030-2033) und die Chemieindustrie (2033 bis 2037)
- Solche Umbaupläne sind nur für diese beiden Sektoren sinnvoll, weil sie teuren Wasserstoff als Betriebsmittel oder Rohstoffe brauchen. Dadurch können auch Firmen, die erst spät umbauen, noch Vorteile haben, auch deshalb ist ein Umbau durch die EU nötig, sonst haben Firmen die früh umbauen Nachteile. Für andere Firmen ist das ETS o.k.

Vereinfachte Schätzung: Wie viel erneuerbare Energien bekommt Deutschland für seine EEG-Umlage, auf der Basis heutiger Zahlen

- Die EEG-Umlage ermöglicht es den Erbauern erneuerbarer Energien eine Einspeisevergütung zu zahlen, also z.B. ein garantierter Strompreis, dies wurde bis Juli 2022 auf den Strompreis umgelegt, sodass die Verbraucher die EEG-Umlage gezahlt haben, ab Juli 2022 zahlt die EEG-Umlage nun der Staat.
- Gut ist daran, dass der Staat nicht den ganzen Strompreis zahlt, sondern nur das, was der Betreiber der Anlage nicht am Markt für den Verkauf seines Stroms erhalten hat. Der Staat muss also nur die Differenz zahlen, er bietet aber dennoch den privaten Investoren eine Sicherheit für ihre Investitionen und damit wird ein Anreiz geschaffen, dass der Aufbau der gesamten erneuerbaren Energien von privaten Investoren getragen wird und nicht vom Staat direkt bezahlt werden muss (oben hatten wir bereits die Summe von 2200 Mrd. Euro für 10.000 Windparks ausgerechnet).
- Dies EEG-Umlage ist eine sehr schlaue Idee.
- Im Jahr 2024 hat der Staat 18,49 Mrd. Euro EEG-Umlage bezahlt

Wir rechnen:

- Solar: 2024 ist 99,3 GW erreicht.
- Landwind: 2023 ist 63,5 GW erreicht (plus 9,2 Offshore).
- Solarenergie: $99,3 \text{ GW} * 8760 = 869.868 \text{ GWh} * 0,1 = 86.986 \text{ GWh}$, das sind 86 TWh.
- Landwind und Offshore: $72,7 \text{ GW} * 8760 = 636.852 \text{ GWh} * 0,25$ (geschätzt) = 159.213 GWh, das sind 159 TWh.

Wir haben also 245 TWh Leistung erneuerbarer Energien für 18,49 Mrd. jährliche EEG-Umlage bekommen ... sozusagen als Leasingzahlung ...

Wenn wir nun 2000 TWh Leistung erneuerbarer Energien haben wollen, würde das, einfach mal ungefähr, um die Größenordnung zu bekommen* 10 gerechnet, ggf. dem Staat 10 mal so viel im Jahr kosten, 184 Mrd. Euro, bei 3000 TWh 15 mal so viel, $18,4 * 15 = 276$ Mrd. im Jahr. Dies ist für den Staat mit einem Haushalt von 520 Mrd. Euro im Jahr letztlich nicht tragbar.

Das System der EEG-Umlagen muss also reformiert werden und die Zuschüsse verringert werden. (deshalb gibt es auch derzeit eine Reform, die ist aber noch nicht fertig).

Es muss dringend über Abnahmegarantien die Windkraftindustrie zu einer Massenproduktion und zu Kostensenkungen gebracht werden, denn auch dadurch würden die Kreditzahlungen für Windparks und die EEG-Umlage leichter bezahlbar. Es muss zudem ein Standardwindanlagenmodell geben, ohne Seltene Erden.

(Umweltbundesamt: 2024 wurden 285,9 Mrd. kWh Strom aus erneuerbaren Energieträgern erzeugt, Solar 75,4 TWh, Wind 138,9 TWh -> meine Schätzungen / Rechnungen stimmen also!!!!!!)

Ausbau erneuerbarer Energien in
Deutschland: bzw. Deutschlandtempo

Deutschlandtempo

- In einem Artikel der FAZ zu diesem Thema wird gemeldet, dass der Ausbau der Windenergie in Bayern und Baden-Württemberg im ersten Quartal 2024 bei 10 Windrädern lag 😊. Am besten ist immer noch NRW: geworben wird (von einer CDU/Grünen-Regierung) damit, dass 1000 Windanlagen von 2022 bis 2027 zugebaut werden, siehe: <https://gruene-nrw.de/2025/08/1000-neue-windraeder-nrw-ist-vorreiter-beim-windenergieausbau-in-deutschland/>
- 1000 / 6 Jahre = 166 Windanlagen pro Jahr. Werder Kessin hat 28 Windanlagen: $166 : 28 = 5,9$... also **6 Windparks im Jahr (insgesamt $1000 / 28 = 35$ Windparks a Werder Kessin in 6 Jahren!!!!!!!!!!!!!!), das ist wirklich eine Lachnummer ... für den Kölner Karneval ...)**. $6 * 0,3 \text{ TWh} \dots 1,8 \dots 6 * 1,8 \dots 10,8 \text{ TWh} \dots / 0,87 \dots$ damit können als 12,4 10.000 t Elektrolyseure laufen, die schaffen 124.000 t Wasserstoff, also man kann vielleicht 1 Hochofen damit betreiben (braucht aber 180.000 t) ... NRW ist also nicht mal bereit für 1 Hochofen den grünen Strom für die Elektrolyseure neu zu bauen ... in Duisburg gibt es aber 4 Hochöfen, so wird das nichts mit der Energiewende ... wenn man sagt, 3 Hochöfen reichen für Duisburg, dann $3 * 180.000 = 540.000 \text{ t} = 4,3$, also hätte NRW wenigstens 1000 mal 4,3 ... als 4000 Windkraftanlagen in 6 Jahren versprechen sollen, dass wäre dann wenigstens der grüne Wasserstoff für das Thyssenkrupp Stahlwerk in Duisburg gewesen ... ;-) !!!!
- In NRW gibt es derzeit Anstrengungen, das 1,8 % Ziel der Landesfläche für Windkraft schon 2027 zu erreichen, Zeit dafür wäre für alle Bundesländer bis 2032. Das ist erstmal gut. Eine aktuelle Studie zeigt aber, dass 3,7 % der Landesfläche genutzt werden könnten. Dies wird aber nicht gemacht, man hält sich an die Vorgabe 1,8 %.
- Hier im Text wurde aber bereits mit einfachen Rechnungen gezeigt, **dass wird selbst bei 1562 TWh 20 % der Gesamtfläche Deutschlands und 43 % des Agrarlands benötigen**, damit man die Energiewende ernsthaft angehen kann und um ggf. unsere Industrie zu retten und zu 50 % selbst versorgen zu können.
- Es wurde schon gezeigt, dass es bei 10 Mill. Tonnen Wasserstoff um 1000 Elektrolyseure a 0,87 TWh Strombedarf geht, also 870 TWh, dafür braucht man $870 / 0,3 = 2900$ Werder Kessin Windparks a 81.200 einzelne Windenergieanlagen (nicht 1000 siehe NRW) ... selbst wenn man diese Werte / 2 teilt und man 50 % des Wasserstoffs im Ausland herstellen will, dann müssen im Ausland viele Anlagen gebaut werden. Es ist absehbar, dass dann viele Aufträge für die Anlagen in Ägypten, Saudi-Arabien, Algerien oder Oman nach China gehen: Solaranlagen, Windkraftanlagen, Elektrolyseure und Chemieanlagen zur Umformung von Wasserstoff zu Ammoniak, die Schiffe zum Ammoniaktransport, die Hafenanlagen ...
- Dazu kommt, dass ein großer Teil der Bevölkerung gerne autark Energie haben möchte, seine Industrie retten will und davon ggf. auch selbst profitieren könnte, etwa frei Strom tanken, in einer Gegend mit viel Landwindparks. Es soll Leute geben, die dafür sogar gerne die Netzentgelte zahlen, die auf dem Strompreis liegen ;-), aber das ist natürlich nur die Mittelklasse, die ärmeren Bevölkerungsschichten, den sollte man eben auch ein Klimageld zahlen!!!!!!!!!!!!!! Sehen wir uns dies genauer an!!!

Stand Ausbau der erneuerbaren Energien: Solar

- Der BMWK Monitoringbericht 2024 meldet folgenden Stand der Dinge beim Ausbau der erneuerbaren Energien:
- Der Ausbau der Solarenergie: **Bis 2030 soll 215 GW erreicht werden.**
- Im Jahr 2024 wurde insgesamt 16,2 Gigawatt Ausbau erreicht (Balkonanlagen kamen davon auf 2024 0,4 GW), **die Gesamtleistung Ende 2024 lag bei 99,3 Gigawatt**, siehe hierzu Bundesnetzagentur, Ausbau erneuerbarer Energien 2024, 08.1.2025.
- **Frage:** Wie wichtig sind beim Solarausbau die Balkonanlagen?

Stand Ausbau der erneuerbaren Energien: Landwind

- Windenergie Land: **Bis 2030 sollen 115 Gigawatt erzielt werden.**
- Für 2024 ging es für die Windenergie aber nicht gut aus, es wurde 3,2 GW zugebaut, aber 0,7 GW endgültig stillgelegt, insgesamt gab es 2024 ein Zubau von 2,5 GW. Es wurden für fast 15 GW Genehmigungen für die kommenden Jahre erteilt.
- **Insgesamt liegt die Gesamtleistung Ende 2024 nun bei 63,5 Gigawatt**, siehe hierzu Bundesnetzagentur, Ausbau erneuerbarer Energien 2024, 08.1.2025.

Stand Ausbau der erneuerbaren Energien: Offshore Windparks

- Ausbau Offshore: **Bis 2030 sollen 30 GW erreicht werden.**
 - 2024 wurde insgesamt 0,7 Gigawatt in Betrieb genommen, 73 Offshore-Windenergieanlagen wurden aufgebaut, in der Ostsee für Baltic Eagle und Nordsee Gode Wind.
 - **Insgesamt liegt die installierte Leistung nun bei 9,2 GW, siehe hierzu Bundesnetzagentur, Ausbau erneuerbarer Energien 2024, 08.1.2025.**
 - Ein Problem sind mangelhafte Produktionskapazitäten für Konverter, die die Projekte nach hinten verschieben. Siehe unten, hierzu gibt es bereits eine „Taskforce Konverterplattformen“ unter Leitung des Maritimen Koordinators Dieter Janecek (Grüne). Eine Produktion der 2-GW Konverterplattformen war bisher nur in Spanien möglich, nun will die Firma Smulders in einem Joint Venture mit der Meyer Neptun Werft in Rostock dort auch diese Konverter bauen. Der Bundesverband Windenergie sieht es als positiv an, dass im 1. Hj. 2024 nun 36 Anlagen mit 377 MW gebaut wurden und 73 Fundamente erreicht wurden, er beklagt die hohen Preise für die Gebote, etwa 3 Mrd., es müsste die industrielle Kapazität „in wenigen Jahren erheblich gesteigert werden.“ KfW Darlehen für den Ausbau der Fertigung müssten deutlich höher als 25 Mill. Euro liegen.
 - Die Offshore Windparks Hohe See / Albatros haben folgende Leistungsdaten: Hohe See 497 MW (71 mal Siemens SWT-7.0-154, 7 MV) und Albatros 112 MW (16 mal Siemens SWT-7.0-154, 7 MW) ... also insgesamt 609 MW, mit 87 Anlagen.
 - Eine 8 GW Leistung bzw. ein 8 GW Ausbau wären 13 mal diese Anlage. 4 GW Ausbau wären 6,5 mal diese Anlage. **Rechne aus:** Wie oft braucht man Hohe See / Albatros um das Ziel von 30 GW im Jahr 2030 zu erreichen? (30 Gigawatt sind 30.000 Megawatt):
-
- **Frage:** Welche Probleme gibt es bei der Offshore Windenergie? Wie wird bald in MV produziert und welche Rolle spielt die Politik dabei?

Stand Ausbau der erneuerbaren Energien

- Ausbau Offshore: **Bis 2030 sollen 30 GW erreicht werden.**
- **2024 wurde insgesamt 0,7 Gigawatt in Betrieb genommen, 73 Windenergieanlagen wurden aufgebaut**, in der Ostsee für Baltic Eagle und Nordsee Gode Wind.
- Insgesamt liegt die installierte Leistung nun bei 9,2 GW, siehe hierzu Bundesnetzagentur, Ausbau erneuerbarer Energien 2024, 08.1.2025.
- Ein Problem sind mangelhafte Produktionskapazitäten für Konverter, die die Projekte nach hinten verschieben. Siehe unten, hierzu gibt es bereits eine „Taskforce Konverterplattformen“ unter Leitung des Maritimen Koordinators Dieter Janecek (Grüne). Eine Produktion der 2-GW Konverterplattformen war bisher nur in Spanien möglich, nun will die Firma Smulders in einem Joint Venture mit der Meyer Neptun Werft in Rostock dort auch diese Konverter bauen. Der Bundesverband Windenergie sieht es als positiv an, dass im 1. Hj. 2024 nun 36 Anlagen mit 377 MW gebaut wurden und 73 Fundamente erreicht wurden, er beklagt die hohen Preise für die Gebote, etwa 3 Mrd., es müsste die industrielle Kapazität „in wenigen Jahren erheblich gesteigert werden.“ KfW Darlehen für den Ausbau der Fertigung müssten deutlich höher als 25 Mill. Euro liegen.
- Die Offshore Windparks Hohe See / Albatros haben folgende Leistungsdaten: Hohe See 497 MW (71 mal Siemens SWT-7.0-154, 7 MV) und Albatros 112 MW (16 mal Siemens SWT-7.0-154, 7 MW) ... also insgesamt 609 MW, mit 87 Anlagen.
- Eine 8 GW Leistung bzw. ein 8 GW Ausbau wären 13 mal diese Anlage. 4 GW Ausbau wären 6,5 mal diese Anlage. **Rechne aus:** Wie oft braucht man Hohe See / Albatros um das Ziel von 30 GW im Jahr 2030 zu erreichen? (30 Gigawatt sind 30.000 Megawatt): $30.000 / 609 = 49,26$
- **Frage:** Welche Probleme gibt es bei der Offshore Windenergie? Wie wird bald in MV produziert und welche Rolle spielt die Politik dabei?

Wie viel Jahresleistung sind das im Jahr 2030?

- Bis 2030 sollen in Deutschland aufgebaut sein: 215 GW Solar, 115 GW Landwind und 30 GW Offshore Wind.
- $215 \text{ TWh Solar} * 8760 = 1.883.400 \text{ GWh} * 0,1 = 188.340 \text{ GWh}$, das sind geschätzt **188 TWh**.
- $115 \text{ TWh Landwind} * 8760 = 1.007.400 \text{ GWh} * 0,2 = 201.480 \text{ GWh}$, das sind geschätzt **201 TWh**.
- $30 \text{ TWh Offshore} * 8760 = 262.800 * 0,4 = 105.120 \text{ GWh}$, das sind **105 TWh** (meine groben Schätzungen, mit meinen Kapazitätsfaktoren)
- Bis 2030 wird somit eine Gesamtleistung von $188 + 201 + 105 = 494 \text{ TWh}$ aufgebaut sein. (derzeitiger Verbrauch 549 TWh, 2021, heute etwas niedriger) ... **wie man es dreht und wendet, dies reicht nicht, bzw. dies reicht nur, wenn bis 2030 kaum etwas passiert, also nur wenige E-Autos fahren und z.B. noch nicht 50 % des Wasserstoffbedarfs auch hier im Land produziert wird, ... hier wird ein Stromverbrauch von 1562 TWh (50 % Importe) geschätzt bzw. 1269 TWh (Windenergie minus der 2030 bestehenden Solar- und Offshoreenergie), meine Schätzungen gleichen sich damit den Schätzungen der Bundesnetzagentur für 2045 an: die höchste Schätzung liegt hier bei 1275,5 TWh (vor Netzverlusten)**
- **Aber 2045 ist ein bisschen spät, allein für den Wasserstoff brauchen wir ca. 435 MW Strom: 100 MW Elektrolyseur = 10.000 t, für 5.000.000 t brauchen wir 500 davon. Einer davon verbraucht : $100 \text{ MW} * 8760 = 876.000 \text{ MWh} = 876 \text{ GWh}$, das sind 0,87 TWh. $500 * 0,87 = 435$.**
- Man darf gespannt sein, ob durch den Nordseegipfel vom Januar 2026 der Offshore-Ausbau in Dänemark, England, Norwegen ... und ggf. sogar in Estland, Litauen und Lettland noch teils Deutschland mitversorgen wird.

Umgerechnet in Werder Kessin, um es sich konkret vorstellen zu können: Zubau Landwind 2024 und wie viel Landwind haben wir insgesamt ...

- Zum Vergleich: Werder Kessin hat eine Leistung von 140 MW: $2500 \text{ MW} / 140 \text{ MW} =$, mit 15 Enercon E-126 7,5 MW und 13 Enercon E-82, 2,3 MW Anlagen.
- Es wurden in Deutschland **im Jahr 2024 2,5 GW Landwind dazugebaut, dies sind: $2500 \text{ MW} / 140 \text{ MW} = \text{ca. nur 18 Windparks der Größe Werder Kessin.}$**
- Nimmt man die großen 7,5 MW einzelnen Windenergieanlagen und rechnet damit: $2500 \text{ MW} / 7,5 \text{ MW Anlagen}$, dann lautet das Ergebnis = 333,33 Landwindanlagen wurden 2024 in Deutschland aufgebaut, das ist schon sehr wenig.
- Wie viel Landwind haben wir insgesamt? Wir verfügen über 63,5 GW Leistung im Bereich Landwind ... $63.500 \text{ MW} / 140 \text{ MW Werder Kessin} = 453,71$... bislang wurden also in Deutschland in Werder Kessin umgerechnet **453 Landwindparks gebaut ... nicht so viel ...**
- Für 2000 TWh müssen wir noch einige Windparks mehr bauen: dafür brauchen wir 6666; für 1562 brauchen wir 5206; für 1269 TWh nur noch: 4230 Windparks Werder Kessin ... nehmen wir die letzte Zahl **hat Deutschland 1/10 des Ausbaus geschafft.**

Warum wurden die Ziele nicht höher gesteckt? Die Studien lagen vor ...

- **Zum Vergleich: Im Jahr 2013 wurde in einer Studie 930 GW Leistung der Windenergie für möglich gehalten (Ziel ist derzeit bis 2030 115 GW plus 30 GW Offshore ... und 215 GW Solar ... insgesamt 360 GW)**, siehe oben. Für Windenergie Land wurde in einer frühen Studie des Bundesumweltamtes (2013), [Link in den Notizen](#), berechnet, dass ein „grundsätzlich verfügbares Flächenpotential von rund 49.400 km² bzw. 13,8 % der Landfläche“ verfügbar wäre, auf der 1190 GW Leistung installiert werden kann, mit einer Leistung von 2900 TWh pro Jahr. Lässt man Standorte mit weniger als 2200 Volllaststunden weg, gibt es noch 930 GW Leistung und 2400 TWh pro Jahr. Eine Starkwindanlage mit 3,4 MW und Schwachwindanlage mit 3,2 MW Leistung wurde dabei zugrunde gelegt.
- 930 GW bzw. 930.000 MW / 140 MW Werder Kessin = 6642 Windparks ... damit wären wir genau auf der Dimension, die hier als realistisch erscheint ... und es wurde hin dieser Studie eben bereits gezeigt, dass dies auch realistisch ist’.

Fazit: Deutschlandtempo / Europatempo

- Zur Erinnerung: Wie viel Windkraft gibt es derzeit in Deutschland: Onshore / Offshore?
66.000 MW.

Wie viel Werder Kessin Windparks sind das? (Werder Kessin 140 MW). **Rechnet aus:**

$$66.000 \text{ MW} / 140 \text{ MW} = \underline{\hspace{10em}}$$

Wir haben also bisher Windparks der Werder Kessin-Größe in Deutschland aufgebaut!

Bewerte dies: Ist das gut oder eher nicht so gut? Vergleiche mit Europa:

In Europa waren bis Ende 2022 255.500 MW Windkraftleistung installiert. Bitte auch hier ausrechnen und dies durch Werder Kessin teilen, um sich dies konkret vorstellen zu können:

$$\text{Europa: } 255.500 / 140 \text{ MW} = \underline{\hspace{10em}}$$

$$\text{Spanien: } 30.000 / 140 = \underline{\hspace{10em}} \dots \text{ Dänemark } 7000 / 144 = \underline{\hspace{10em}} \text{ ;-)$$

Fazit: Deutschlandtempo / Europatempo

- Zur Erinnerung: Wie viel Windkraft gibt es derzeit in Deutschland: Onshore / Offshore?
66.000 MW.

Wie viel Werder Kessin Windparks sind das? (Werder Kessin 140 MW). **Rechnet aus:**

$$66.000 \text{ MW} / 140 \text{ MW} = 471$$

Wir haben also bisher 471 Windparks der Werder Kessin-Größe in Deutschland aufgebaut!

Bewerte dies: Ist das gut oder zu wenig? (begründe: wie viel Strom brauchen wir nach der Energiewende ... $1562 \text{ TWh} / 0,3 = 5206$... wir brauchen diese Menge also noch wie oft: $5206 / 471 = 11,05$... **also noch 11 mal** ...

In Europa waren bis Ende 2022 255.500 MW Windkraftleistung installiert. Bitte auch hier ausrechnen und dies durch Werder Kessin teilen, um sich dies konkret vorstellen zu können:

$$\text{Europa: } 255.500 / 140 \text{ MW} = 1825$$

$$\text{Spanien: } 30.000 / 140 = 214 \text{ ... Dänemark } 7000 / 144 = 50 \text{ ;-)}$$

Wie kann der Ausbau erneuerbarer Energien beschleunigt – und Stromkosten beachtet werden?

- Staatliche Abnahmegarantien bei Windkraft, um endlich dort Massenproduktion und Kostensenkungen umzusetzen
- Leitmärkte etablieren, wirklich Abnehmer für Wasserstoff etablieren, damit auch Investoren in Elektrolyseure investieren und dann wiederum auch mehr Investoren in die erneuerbaren Energien dafür investieren ... hierfür wurden viele Vorschläge gemacht, etwa Standards für grüne Produkte ... öffentliche Auftragsvergabe, die nur grüne Produkte einsetzt ... dies aktiviert aber nicht genug Nachfrage ...
- Standards für grünen Stahl führen teils zu problematischen Projekten, etwa Stahl aus Holzkohle aus Eukalyptusplantagen in Brasilien, siehe die SWR Dokumentation Schmutzige Geschäfte mit dem Klimaschutz - Investigative Recherche über Greenwashing, Youtube: https://www.youtube.com/watch?v=_99bAua8d0k&t=14s
- Erst in letzter Zeit ist das Thema Quote wieder in der Diskussion etwa auch in den Ministerien, Vorschlag wird eine Wasserstoffquote als Beimischung im normalen Erdgasnetz, also z.B. eine bestimmte Menge von 5 % muss zugegeben werden. Dies wird mit Vor- und Nachteilen ausführlich berichtet von Magnus Schwarz, siehe hier: <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/energie/streit-um-wasserstoff-warum-forscher-vor-der-gruengasquote-warnen/>
- Es wäre auch eine Quote für den Einsatz von grünem Stahl in der Industrie denkbar, aber möglichst einfach und europaweit, sonst hätten Unternehmen aus einem bestimmten Land in Europa Nachteile, etwa für die Autoindustrie. Z.B. Stefan Kauber von SHS – Saarstahl kann sich Quoten auch als Zwang vorstellen, siehe: Interview mit Stefan Kauber von SHS ‚Der Abgang auf die deutsche Stahlindustrie ist falsch‘. FAZ, 05.07.2025. In Frankreich haben Stahl und Wasserstoffhersteller auch Quoten gefordert: Siehe: <https://www.euractiv.com/section/eet/news/steelmakers-urge-eu-to-introduce-mandatory-greensteel-quotas-for-carmakers/>
- VW – das Land Niedersachsen hält Anteile, Salzgitter Stahl - das Land Niedersachsen hält Anteile wollten nun freiwillig zusammenarbeiten und VW will grünen Stahl in der Automobilproduktion einsetzen, siehe dazu das FAZ Interview: ‚Grüner Stahl kommt 2027‘ Interview von Christian Geinitz mit Stefan Dohler (EWE und BDEW) und Gunnar Groebler (CEO) Salzgitter Stahl. FAZ, 17.10.2025.

Aktuelles: Nordseegipfel 2026 in Hamburg

- Neu ist, dass hier europäische Staaten versuchen den Aufbau erneuerbarer Energien konkreter und direkter zu koordinieren und sich gemeinsam an Stromquellen anzuschließen. Dabei geht es auch darum, die Standorte gut abzustimmen, damit keine Abschattungseffekte auftreten, bei denen ein Windpark einem anderen Windpark Wind wegnimmt. Als direkter Vertrag einigten sich Deutschland und Dänemark darauf die Insel Bornholm als Bornholm Energy Island auszubauen, 3 GW Offshore Windenergieleistung teilen sich Deutschland und Dänemark.
- Die anderen Absprachen sind unverbindlich, die Zusammenarbeit wird aber stärker als zuvor beginnen, es wird eine neue ständige Arbeitsgruppe geben. Ziel ist 300 GW Offshore Windenergie bis 2050 zu entwickeln, 100 GW als Kooperationsprojekte, bei denen mehrere Länder an die Stromnetze angeschlossen werden. Dazu sollen Finanzierungsinstrumente geschaffen werden mit der EU und der European Investment Bank. Pläne existieren aber erst für 20 GW von den Übertragungsnetzbetreibern für die 2030er Jahre (siehe: Hamburg Declaration of Energy Ministers).
- Die Politik will verlässliche Bedingungen schaffen, u.a. durch die Ausbaupläne und die Anreize durch Differenzverträge (Differenz zum Marktpreis wird gezahlt, wird mehr verdient, erhält es der Staat zurück, dies muss in Deutschland in der EEG Reform noch beschlossen werden). Die Industrie verpflichtet sich 9,5 Mrd. Euro bis 2030 in neue Produktionskapazitäten zu investieren, 91.000 zusätzliche Arbeitsplätze zu schaffen (auf 187.000 bis 2031) und die Stromgestehungskosten bis 2040 um 30 % zu reduzieren, dies ist die erste Abmachung in Europa, eine Kostenreduzierung immerhin einmal erwähnt (in den USA wurden solche Ziele bereits einmal erwähnt, siehe meine Texte 00Teil3, Punkt USA, diese Dokumente gelten aber alle nicht mehr durch U.S. Präsident Trump). Es wird angestrebt zwischen 2031 und 2040 jährlich 15 GW installieren zu können. (siehe: Joint Offshore Wind Investment Pact for the North Seas, 26.1.2026)
- Das sind gute Neuigkeiten, wenngleich noch vieles nicht verbindlich ist:
- **Rechnet aus:** Was wären 300 GW: $300 \text{ GW} * 8760 \dots * 0,40$ Offshore Wind Kapazitätsfaktor ... das hat schon Wumms:
- Pläne bestehen aber erst für 20 GW, wie viel wäre das? **Rechnet aus:**

Erneuerbare Energien weltweit

Wie viel Strom bzw. Energie brauchen wir weltweit?

- Wie viel Stromverbrauch haben andere Länder?
- USA: 3979 TWh ... nach der Energiewende: * 4 = 16000 TWh
- China: 7500 TWh ... nach der Energiewende: * 4 = 30.000 TWh
- EU: 3013 TWh ... nach der Energiewende: * 4 = 12.052 TWh
- In meiner Tabelle ausgewählter Länder , 19 europäische Länder, 11 große Länder weltweit, siehe Tabelle 1, habe ich insgesamt **20.270 Terawattstunden aktuellen Stromverbrauch** ausgerechnet. Das ist nur der Strom ohne die sonstige genutzte Energie aus Öl, Gas und Kohle, etwa für Industriewärme, Verkehr oder für die Beheizung von Wohnungen.
- Geschätzt habe ich, wie viel Strom dies in Zukunft durch die Energiewende sein wird, indem ich pi mal Daumen den Strombedarf * 4 gerechnet habe. Wenn man den Gesamtbetrag aus dieser Tabelle 20.270 TWh * 4 rechnet, sind dies **81.164 Terawattstunden Stromverbrauch nach der Energiewende.**

Land	Strom-verbrauch aktuell (TWh)	Anteil erneuerbare Energie	Stromverbrauch nach Energiewende TWh (geschätzt * 4)	Wie viel mal Hohe See Albatros (2,5 TWh)
Deutschland	549		2.000	800
Frankreich	530	23 %	2.000	800
Niederlande (2021)	113		500	200
Belgien (2021)	83		320	128
Italien (2021)	300		1.200	480
Spanien (2021)	234		800	320
Portugal (2021)	48		200	320
Polen (2021)	158		600	240
Ungarn (2021)	44		200	320
Rumänien (2021)	51		200	320
Bulgarien (2021)	30		120	48
England	300	46 %	1.200	480
Österreich (2021)	69		280	112
Schweiz (2021)	58		280	112
Tschechei (2021)	62		280	112
Dänemark (2021)	38		152	60
Norwegen (2021)	132		530	212
Schweden (2021)	131		530	212
Finnland (2021)	84		330	132
EU	3.013		8384 TWh, hier 12.052 TWh geschätzt	4.800
USA (2021)	3.979		16.000 TWh	6.400
Japan	960	32 %	3.840	1.536
China (2023)	7.500	9 %	30.000 TWh	12.000
Brasilien	615	45 %	2.460	984
Indien	1.628	21 %	6.512	2.604
Indonesien	275	16 %	1.100	440
Türkei (2021)	284		1.136	454
Südkorea (2021)	568		2.272	908
Mexiko (2021)	301		1.204	481
Malaysia (2021)	151		604	241
Russland (2021)	996		3.984	1.593
Insgesamt (hier, EU wurde nicht doppelt gezählt)	20.270 TWh		81.164 TWh bzw. 81.164.000 GWh	32.465

Weltweiter Energiebedarf

- Wie viel beträgt die gesamte Energie der Welt in Strom?
- Dieser beträgt 175.555.064 Gigawattstunden bzw. 175.555 Terawattstunden, oder 632 Exajoule, Zahl der International Energy Agency IEA.

Die Umrechnung von Exajoule in Gigawattstunden sieht so aus:

Rechnet selbst von Exajoule in Wattstunden um:

632 Exajoule in Gigawattstunden bzw. Terawattstunden umgerechnet ist: 1 Exajoule =

Weltweiter Energiebedarf

- Wie viel beträgt die gesamte Energie der Welt in Strom?
- Dieser beträgt 175.555.064 Gigawattstunden bzw. 175.555 Terawattstunden, oder 632 Exajoule, Zahl der International Energy Agency IEA.

Die Umrechnung von Exajoule in Gigawattstunden sieht so aus:

Rechnet selbst von Exajoule in Wattstunden um:

632 Exajoule in Gigawattstunden bzw. Terawattstunden umgerechnet ist: 1 Exajoule = 2.777.777.000.000 kWh – das kann man vereinfachen in Gigawattstunden: 277.777, Rechnung: $277.777 * 632 =$

175.555.064 Gigawattstunden

bzw. drei Nullstellen nach vorne gerückt:

175.555 Terawattstunden.

Mir kommt es hier nicht darauf an, welche Zahl ich für die weltweite Ebene als Ausgangspunkt nehme:

175.555 Terawattstunden oder

122.777 Terawattstunden oder

81.164 Terawattstunden, wie in der Tabelle oben.

Hier geht es darum, die Dimension des Problems zu verstehen.

Als willkürlich gesetzte Zahl gehe ich ab nun davon aus, dass man mit **150.00 Terawattstunden erneuerbarer Energien auf weltweiter Ebene die Energiewende geschafft hat.**

Wie viel ist das in Solar- und Windparks?

Rechnet aus:

- $150.000 \text{ TWh} / 0,3 =$ (Werder Kessin)
- $150.000 \text{ TWh} / 0,06 =$ (Solarpark Barth)
- $150.000 \text{ TWh} / 2,5 =$ (Hohe See / Albatros)

Teilt auf (ohne Offshore-Windkraft, da diese kaum skaliert werden kann):

- $50.000 \text{ TWh} / 0,3 =$ (Werder Kessin)
- $100.000 \text{ TWh} / 0,06 =$

Wie viel ist das in Solar- und Windparks?

Rechnet aus:

- $150.000 \text{ TWh} / 0,3 = 500.000$ (Werder Kessin)
- $150.000 \text{ TWh} / 0,06 = 2.500.000$ (Solarpark Barth)
- $150.000 \text{ TWh} / 2,5 = 60.000$ (Hohe See / Albatros)

Teilt auf (ohne Offshore-Windkraft, da diese kaum skaliert werden kann):

- $50.000 \text{ TWh} / 0,3 = 166.666$ (Werder Kessin)
- $100.000 \text{ TWh} / 0,06 = 1.666.666$ (Solarpark Barth)

Plus die Komponenten für die Systeme gesicherter Leistung: Großbatterien, Elektrolyseure, Wasserstoffspeicher, wasserstofffähige Gaskraftwerke, Netzausbau, Transformatoren, Wasserstoffpipelines.

Wie viel kostet die Energiewende weltweit

- Rechnet aus, nehmt die aufgeteilten Werte:

_____ * 220 Mill. Euro = _____ Mill. Euro, das sind
_____ Mrd. Euro (Werder Kessin)

_____ * 100 Mill. Euro = _____ Mill. Euro, das sind
_____ Mrd. Euro (Solarpark Barth)

Insgesamt sind dies: _____

Verteilt auf 25 Jahre bis 2050, sind dies: _____ / 25 Jahre =

Verteilt auf ca. 26 handlungsfähige Länder sind dies pro Jahr:

_____ / 26 = _____

Schätzt ein, bewertet nach eurem Eindruck: Kann man die Energiewende also weltweit doch finanzieren?

Wie viel kostet die Energiewende weltweit

- Rechnet aus, nehmt die aufgeteilten Werte:

166.666 * 220 Mill. Euro = 36.666.520 Mill. Euro, das sind 36.666 Mrd. Euro (Werder Kessin)

1.666.666 * 100 Mill. Euro = 166.666.600 Mill. Euro, das sind 166.666 Mrd. Euro (Solarpark Barth)

Insgesamt sind dies: 203.332 Mrd. (Solar ist teurer als Windkraft, ist hier aber stark einbezogen)

Verteilt auf 25 Jahre bis 2050, sind dies: $203.332 / 25 \text{ Jahre} = 8133 \text{ Mrd.}$

Verteilt auf ca. 26 handlungsfähige Länder (siehe Fußnote) sind dies pro Jahr: $8133 / 26 = 312 \text{ Mrd.}$

Schätzt ein, bewertet nach eurem Eindruck: Kann man die Energiewende also weltweit doch finanzieren?

Das ist pro Land und pro Jahr viel Geld, auf den ersten Blick erscheint es unmöglich. Vielleicht ist es doch möglich, wenn die großen, reicheren Länder aktiv werden, es scheint aber sehr wichtig zu sein, dass erneuerbare Energien billiger werden, denn dann könnten sich die Summen z.B. halbieren lassen.

Wenn man alles mit Windparks machen würde, dann würden 500.000 Windparks Werder Kessin 110.000 Mrd. Euro kosten ... würde man die Kosten halbieren, wären es ca. 50.000 Mrd. / 25 Jahre / 26 Länder = 76 Mrd. Euro pro Jahr pro Land ... schon viel realistischer.

26 Länder ...

- Es gibt 193 Länder auf der Welt, aber viel weniger Länder haben höhere Einkünfte und sich politisch und wirtschaftlich handlungsfähig.
- Auf Wikipedia findet sich eine Liste von Länder nach Regierungsbudget und vor allem staatlichen Ausgaben:
https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_government_budget
- Siehe die Tabelle auf der folgenden Seite, es sind ca. **26 Länder weltweit** überhaupt nur von ihren Einnahmen her wirtschaftlich handlungsfähig, d.h. sie können höhere Ausgaben tätigen und ggf. Kredite aufnehmen.
- Was passiert, wenn 26 Länder z.B. 20 Mrd. Euro zur Verfügung stellen:
Rechnet aus: das sind jährlich 520 Mrd. Euro, dies 25 Jahre lang, dies wären 13.000 Mrd. Euro ... damit kann man schon etwas machen ...

Wie viel mehr Solar?

Solar und Wind müssen sich ergänzen. Derzeit reicht die weltweite Produktionskapazität nicht aus, um die Energiewende auf 150.000 TWh für die Welt nur mit einer Technik durchzuführen.

Bei Solar müsste dazu die Kapazität 4 fach ausgebaut werden, bei Wind 10 fach, das ist sportlich.

- Wie komme ich darauf?
- Die weltweite Solar Produktionskapazität beträgt derzeit 1100 GW (hauptsächlich in China, aber auch die USA und Europa wollen Solar Produktion wieder aufbauen, siehe Teil 3 meines Textes zum Thema Industriepolitik und Zollschutz).
- Vereinfacht auf 1000 GW, mit dem Kapazitätsfaktor 14 % gerechnet (also nicht ganz so schlecht wie im sonnenarmen Deutschland, als weltweiter pi mal Daumen Durchschnittswert) ergibt sich folgende Jahresleistung:
- **Rechnet aus:** $1000 \text{ GW} * 8760 \text{ Stunden des Jahres} = 8.760.000 \dots 8.760.000 * 0,14$ der Kapazitätsfaktor = 1.226.400 Gigawattstunden = das sind 1226 Terawattstunden (das ist die Stromerzeugung die mit der derzeitigen Produktionskapazität weltweit über Solar im Jahr produziert werden bzw. dazu gebaut werden kann).
- **Rechnet aus:** Wie viel Terawattstunden Solar ergibt dies in 25 Jahren (wenn man die Produktionskapazität nicht erhöht, sondern auf dem heutigen Level lässt)?
- $1226 * 25 = 30.650 \text{ TWh} \dots$
- **Frage bzw. rechnet aus:** Um wie viel muss man die Produktionskapazität bei Solar erhöhen, um, sagen wir mal 100.000 Terawattstunden erreichen zu können? Der Rest von 50.000 Terawattstunden kann dann von Windenergie bereitgestellt werden (um die weltweiten 150.000 Terawattstunden zu erreichen).
- Antwort: eben ca. 3-4 mal mehr.

Wie viel mehr Wind?

- Wind: Im Jahr 2023 wurde weltweit (!) ,nur‘ 116,6 GW pro Jahr hinzugebaut. Die Produktionskapazität dürfte etwas mehr betragen, gehen wir mal von 120 GW pro Jahr aus. Wie viele Terawattstunden schafft man mit 120 GW? $120 \text{ GW} * 8760 = 1.051.200 * 0,26$ (Kapazitätsfaktor, als Zwischenwert zwischen Landwind und Offshore, siehe oben) = 273.312 GWh, das sind pro Jahr 273 Terawattstunden (die weltweit über Solar im Jahr produziert werden bzw. dazu gebaut werden können) ...
- Wie viel ist das in Werder Kessin?
- **Rechnet aus:** $116.600 / 140 = 832$ Windparks von der Werder Kessin-Größe (bei 6 Windkraftanlagen Herstellern: Vestas, Nordex, Siemens Gamesa, Enercon, GE Renewable Energy, Mingyang - / 6 gerechnet: pro Hersteller immerhin 138 Windparks – bei 7,5 MW a 18,6 Windräder ... also pro Hersteller $139 * 18,6 =$ _____ Windkraftanlagen)
- Wie viel Terawattstunden Wind ergibt ein Ausbautempo von 116,6 GW in 25 Jahren (wenn man die Produktionskapazität nicht erhöht, sondern auf dem heutigen Level lässt)? _____
- Um wie viel muss man die Produktionskapazität bei Wind erhöhen, um die restlichen 50.000 Terawattstunden bereitzustellen (Solar übernimmt 100.000 Terawattstunden), um die weltweiten 150.000 Terawattstunden zu erreichen.
- (Offshore Wind wird hier weggelassen, es ist zu aufwendig, allein die Installationsschiffe und Konverterplattformen kann man nicht in den nötigen Stückzahlen bauen. Allein denkbar wäre eine ‚Billig-Offshore‘-Bewegung, etwa in Brasilien, hier könnten Offshore-Anlagen küstennah auf dem Kontinentalschelf, teilweise in Wassertiefen von 5-20 Meter gebaut werden, mit Transformatoren auf dem Land).

Wie viel mehr Wind?

- Wind: Im Jahr 2023 wurde weltweit (!) ,nur‘ 116,6 GW pro Jahr hinzugebaut. Die Produktionskapazität dürfte etwas mehr betragen, gehen wir mal von 120 GW pro Jahr aus. Wie viele Terawattstunden schafft man mit 120 GW? $120 \text{ GW} * 8760 = 1.051.200 * 0,26$ (Kapazitätsfaktor, als Zwischenwert zwischen Landwind und Offshore, siehe oben) = 273.312 GWh, das sind pro Jahr 273 Terawattstunden (die weltweit über Solar im Jahr produziert werden bzw. dazu gebaut werden können) ...
- Wie viel ist das in Werder Kessin?
- **Rechnet aus:** $116.600 / 140 = 832$ Windparks von der Werder Kessin-Größe (bei 6 Windkraftanlagen Herstellern: Vestas, Nordex, Siemens Gamesa, Enercon, GE Renewable Energy, Mingyang - / 6 gerechnet: pro Hersteller immerhin 138 Windparks – bei 7,5 MW a 18,6 Windräder ... also pro Hersteller $139 * 18,6 = \underline{2585}$ Windkraftanlagen)
- Wie viel Terawattstunden Wind ergibt ein Ausbautempo von 116,6 GW in 25 Jahren (wenn man die Produktionskapazität nicht erhöht, sondern auf dem heutigen Level lässt)? s.o. $120 \text{ GW} = 273 \text{ TWh pro Jahr} * 25 = 6825 \text{ TWh}$... aber wir brauchen für 50.000 TWh diesen Wert $* 7$, also muss die Produktionskapazität von Windenergie 7fach ausgebaut werden.
- Um wie viel muss man die Produktionskapazität bei Wind erhöhen, um die restlichen 50.000 Terawattstunden bereitzustellen: $* 7$ (Solar übernimmt 100.000 Terawattstunden, hier $* 3$ oder $* 4$), um die weltweiten 150.000 Terawattstunden zu erreichen.
- (Offshore Wind wird hier weggelassen, es ist zu aufwendig, allein die Installationsschiffe und Konverterplattformen kann man nicht in den nötigen Stückzahlen bauen. Allein denkbar wäre eine ,Billig-Offshore‘-Bewegung, etwa in Brasilien, hier könnten Offshore-Anlagen küstennah auf dem Kontinentalschelf, teilweise in Wassertiefen von 5-20 Meter gebaut werden, mit Transformatoren auf dem Land).

Frage: Was folgt aus den Rechnungen?

- Was muss passieren, damit wir bis 2050 genug Solar und Windenergie haben?
- Wie erhöht man am besten die Kapazität? Durch Subventionen des Staates? Durch erhöhten Ausbau erneuerbarer Energien? Wie wird dieser überhaupt finanziert?
- Welche anderen Gerätschaften brauchen wir für die Energiewende, z.B. für die Systeme gesicherter Leistungen?
- Was fehlt dir / euch, was muss man noch wissen bzw. ausrechnen?

Wie bekommen wir die
Industrietransformation hin?

Wie bekommen wir die Industrietransformation hin?

- Wir brauchen günstigen Strom. Die Kosten für erneuerbare Energien sind aus meiner Sicht immer noch zu hoch, dies kann man an Berechnungen von Kosten für Kredite und Einnahmen aus dem Strom berechnen. Oft braucht man 15 bis 20 Cent pro kWh, damit man die Kredite innerhalb von 10 Jahren zurückzahlen kann, im ganz günstigen Fall kommt man auf 10 Cent pro kWh. Dies sind allerdings meine privaten Rechnungen, die Stromkosten in der Fraunhofer ISI Studie Stromgestehungskosten liegen niedriger.
- Auch für wasserstofffähige Gaskraftwerke gilt, dass die Kosten sinken müssen, hier muss man vielleicht kleinere, bestehende Anlagen umrüsten. Freileitungen waren vor einigen Jahren mal viel günstiger. Dies muss sich ändern, damit die Preise für Strom deutlich heruntergehen können, die wäre generell gut das Wirtschaftswachstum, aber vor allem deshalb gut, damit z.B. Elektrostahl international wettbewerbsfähig bleibt und vielleicht sogar einige Chemieprodukte trotz Energiewende.
- Wir brauchen günstigen Wasserstoff, auch hier brauchen wir günstige erneuerbare Energien, günstige Elektrolyseure und wasserstofffähige Gaskraftwerke, denn die alkalischen Wasserelektrolyseure müssen kontinuierlich durchlaufen.
- Aber dies hilft nicht in allen Fällen: Im Bereich Stahl, aber vor allem im Bereich Chemie wird es – so ist zumindest mein Eindruck - in bestimmten Produktbereichen nicht möglich sein, so niedrige Preise wie heute zu erzeugen. Hier hilft nur ein koordinierter Sprung auf ein neues, höheres Preisniveau und ein Schutz vor günstigen Importen durch die CBAM Klimazölle und zur Not auch durch sonstige Schutzzölle. Dadurch bleibt immerhin der europäische Markt für die europäischen Firmen reserviert. Dennoch wird dies zum Rückgang von Exporten und Arbeitsplatzverlusten führen, vor allem auch weil Deutschland so hohe Exporte im Stahl- und Chemiebereich hat.

Wie bekommen wir die Industrietransformation hin?

Stahl

- Midrex-Direktreduktionsanlagen können zuerst teils mit Erdgas und Wasserstoff, später mit Wasserstoff laufen.
- Einige Anlagen können als Elektrostahlanlagen über Eisenschwamm bzw. Pellets laufen, die mit Strom erwärmt werden, die braucht aber einen günstigen Strompreis.
- Höhere Wasserstoffkosten werden teils in Produkten auffangbar sein: Stahlkosten sind z.B. nur ein Teil von Autokosten.
- Aber Wettbewerbsfähigkeit auf dem Weltmarkt kann dennoch darunter leiden, Arbeitslosigkeit kann Folge sein. Europa hat hohe Stahlexporte, vor allem Deutschland ist dafür verantwortlich.
- In Deutschland müssen 14 Hochöfen umgebaut werden, in Europa ca. 50. In Deutschland ist schon Acelor Mittal in Bremen aus dem Umbau ausgestiegen. Ein indischer Konzern, der Duisburg kaufen will, macht den Kauf von Staatshilfen abhängig.
- Rechnet man 3 Mrd. Euro für den Umbau sind dies 42 Mrd. für Deutschland, 150 Mrd. insgesamt für Europa.

- Chemie:
- Wir haben sehr hohe Chemieexporte
- Es gibt noch keine Anlagen, an denen man sehen könnte, wie die Preisniveaus nach der Energiewende aussehen könnten, wenn man auf Wasserstoff umstellt.
- Eines ist klar, es wird sehr drastische Preissteigerungen im Bereich Chemie geben. Z.B. bei grünem Naphtha und grünem Kerosin ... Flüge werden irgendwann sehr teuer werden ...
- Dies liegt nicht nur an einem hohen Wasserstoffpreis, den man mit günstigen erneuerbaren Energien drücken könnte, sondern daran, dass die neuen chemischen Prozesse komplex sind, z.B. zur Herstellung von grünem Naphtha, das bisher aus Öl hergestellt wurde, braucht man die vierstufige Fischer-Tropsch-Prozess mit der umgekehrten Wasser-Gas-Verschiebereaktion, der Synthesegasherstellung (H₂ und CO) und dem Fischer-Tropsch-Prozess und dem nachfolgenden Hydrocracking ... daran kann man zwar einen konventionellen Steamcracker weiter betreiben, aber es ist klar, dass dies alles viel teurer wird. Im konventionellen Steamcracker werden normalerweise auch Ethylen und Propylen, Plastikgrundstoffe hergestellt. Dies wird fortan zu teuer, deshalb muss dies dann über den:
- Methanol-zu-Olefinen Prozess erfolgen.
- Auch den Methanol-zu-Aromaten Prozess wird es geben.
- Diese beiden Prozesse sollen generell günstiger sein, benötigen aber auch Wasserstoff.
- Zu erwarten sind also – *so ist zumindest meine Eindrücke* - unterschiedliche Preisniveaus für Chemieprodukte, aber eines ist klar: mit einer wasserstoffbasierten Chemie kann man nicht mit Länder mit günstigem Erdgas, also die USA und die Ölstaaten konkurrieren, d.h. auch dass die Chemieindustrie ihre Exporte verlieren wird und es zu hohen Arbeitsplatzverlusten kommen wird ... aber durch die CBAM Zölle wird der europäische Markt dann abgeschottet und die Chemieindustrie kann dann immerhin für den großen europäischen Markt weiterproduzieren ... dadurch können viele Chemiestandorte erhalten werden ... sicher aber nicht alle ...
- Da diese Anlagen als Großanlagen aber noch nicht gebaut wurden (35 Jahre nach dem der Klimawandel bekannt ist), kann die Öffentlichkeit und die Politik diesen Kosten immer noch nicht definitiv einschätzen. (eine Fischer-Tropsch Anlage hat die Firma Interatec in Frankfurt gebaut, eine grüne Haber-Bosch Anlagen wird derzeit in Neom und wohl bei 2028 in Indien gebaut, siehe die Uniper AM Green Energy Pressemitteilung.
- Dazu kommt, dass die Chemieindustrie an der Energiewende nicht interessiert ist, die Shareholder der Chemiefirmen sind daran interessiert, Geld zu verdienen, nicht Geld für die Energiewende zu sparen und dann 2030 hohe Milliardensummen in den Umbau zu finanzieren. Sie ziehen alles Geld aus den Unternehmen heraus. Dies führt dazu, dass es sein kann, dass der Staat den Umbau über einen Umbauplan durchführen muss und dabei auch teils Chemieanlagen verstaatlichen muss bzw. für einige Zeit mit einer staatlichen Trägergesellschaft übernehmen muss, dann die Chemie ist für den Fortbestand der modernen Welt unerlässlich. Dasselbe gilt für Stahl.
- Es gibt 50 Steamcracker in Europa ... aber da diese nicht mehr in dieser Form erhalten werden werden, und neue Anlagen dazukommen, kann man daraus schwer die Umbaukosten schätzen. Schätzt man, dass 50 Chemieanlagen umgebaut werden müssen und dies pro Anlage 5 Mrd. kostet, dann sind dies: 250 Mrd. Euro.
- Insgesamt gesehen kann man die Stahl- und Chemieindustrie Europa vielleicht für 400 Mrd. umbauen.

Umbaupläne für Stahl und Chemie in Europa

- Das Europäische Emissionshandelssystem ETS kann für Firmen mit niedrigen Energiekosten funktionieren, ist aber weniger gut für Stahl und Chemie, denn hier haben Firmen den Anreiz den Umbau immer wieder hinauszuzögen und in dieser Zeit Geld zu verdienen, worunter grüne Firmen leiden.
- Deshalb muss es einen koordinierten Sprung auf ein neues Preisniveau und einen Umbauplan für Stahl und Chemie in Europa geben: 2030 bis 2033 Stahl und 2033 bis 2037 Chemie.
- Dies geht nur auf der Ebene der EU, sonst hat ein Land Vorteile ... die EU hat in der Europäischen Gemeinschaft für Kohle und Stahl bereits einmal den Stahlsektor gelenkt und auch Durchgriffsrechte gehabt.
- 50 Hochöfen müssen in Europa umgebaut werden, von 2030 bis 2033, danach erfolgt ein Sprung auf ein neues Preisniveau und der CBAM-Außenschutz.
- 50 Steamcracker müssen in Europa umgebaut werden bzw. die Methanol-zu-Olefinen und Methanol-zu-Aromaten Anlagen neu gebaut werden
- Einige Raffinerien müssen bestehen bleiben, für Bitumen und andere Anwendungen.
- Nicht alle Chemieanwendungen können umgebaut werden. Dafür müssen Post-Combustion Anlagen eingebaut werden.
- Im Hintergrund müssen massiv erneuerbare Energien, Elektrolyseure und wasserstofffähige Gaskraftwerke ausgebaut werden, es muss in Deutschland ca, 3 Mill. Tonnen Wasserstoff bis 2033 geben für die Stahlwerke, es muss wenigstens 20 größere Systeme gesicherter Leistung geben ...

Auch die Zementindustrie baut zögerlich um, deren Umbau muss politisch erzwungen werden, diese Industrie hat keine finanziellen Probleme, sie kann in die ca. 40 deutschen Zementwerke ohne Probleme Post-Combustion Anlagen einbauen und das aufgefangenen CO₂ in Druckspeichern zwischengelagern, bis man es in der Chemieindustrie ab 2033 benutzen kann. Die Zementindustrie braucht keinen staatlichen Subventionen ... bekommt aber derzeit welche ...

Fragen: Wie kann man die Idee eines Umbauplans einschätzen, ist das sinnvoll oder eher fragwürdig? Kann das ETS doch alles machen? Was ist das ETS?

Kosten für Wasserstoff

- Ich gehe hier von der Schätzung aus, dass man 60 kWh Strom pro 1 kg grünen Wasserstoff bei der Elektrolyse braucht.

Der Preis von Wasserstoff aus der Elektrolyse hängt ganz stark davon ab, wie viel Strom kostet.

- 0,01 Euro Strompreis pro kWh (1 Cent) -> $0,01 * 60 \text{ kWh pro 1 kg Wasserstoff}$, $0,60 \text{ Euro} * 1000 = 600 \text{ Euro pro 1 Tonne Wasserstoff}$.
- 0,10 Euro Strompreis pro kWh (10 Cent) -> $0,10 * 60 \text{ kWh pro 1 kg Wasserstoff}$, $6 \text{ Euro} * 1000 = 6000 \text{ Euro pro 1 Tonne Wasserstoff}$.

(von einem solchen Preis, noch etwa höher, 8 bis 10 Euro pro kg, geht in einem aktuellen Interview u.a. Gunnar Groebler, der Chef von Salzgitter Stahl aus)

Kosten für Wasserstoff

- Wenn man es schafft 1 Tonnen Wasserstoff für 600 Euro herzustellen (mit 0,01 Euro Stromkosten pro kWh), dann kommt man dem heutigen Erdgaspreisen nahe:

- Dreisatz:

33.330 kWh Energie in Form von 1 Tonnen Wasserstoff kostet 600 Euro

1 kWh Energie kostet somit $600 / 33.330 =$ also 0,018 Euro bzw. 1,8 Cent.

Das liegt genau bei den heutigen Erdgaspreisen, die in kWh Energie notiert werden, siehe Erdgaspreise Statistisches Bundesamt.

2020 lagen die Preise im 2 Hj. etwa bei 1,8 Cent pro 1 kWh (Verbrauch über 1.111.111 MWh und mehr), das waren die Traumpreise der Industrie in den 2010er Jahren, heute liegt der Erdgaspreis bei 5,3 Cent im 1 Hj. 2025.

Mit 700 Mrd. staatlicher Subventionen für günstigen Wasserstoff für die Industrie könnte man die Preise frei setzen ...

- 2727 Landwindparks Werder Kessin aufbauen, die 220 Mill. Euro pro Windpark kosten, würden ca. 600 Mrd. Euro kosten.
- 2727 Windparks Werder Kessin * 0,3 TWh = 818 TWh, also könnten 2727 dieser Windparks zusammen 818 TWh Strom bereitstellen.
- Ein 100 MW Elektrolyseur verbraucht 100 MW * 8760 = 876.000 MW, das sind 876 Gigawattstunden, 1000 solcher Elektrolyseure brauchen dann 876 TWh Strom. 876 TWh sind 2930 Werder Kessin Windparks, also etwa mehr.
- Pro 100 MW Elektrolyseur kann man im Jahr 10.000 Wasserstoff herstellen. Mit 1000 100 MW Elektrolyseuren kann man im Jahr 10.000.000 Tonnen Wasserstoff herstellen: 3,6 Mill. Tonnen für Stahl und 6 Mill. Tonnen für die Chemie.
- 600 Mrd. Euro für die Windparks und 100 Mrd. Euro für die Elektrolyseure sind 700 Mrd. Euro. Dazu kämen noch die Freileitungen, die Wasserstoffpipelines, die Wasserstoffspeicher und wasserstofffähige Gaskraftwerke für die wenigen Wochen der Dunkelflaute im Jahre.
- Wie dem auch sei, mit einer reinen, staatlichen Subvention von 700 Mrd. könnte man den Preis vom Strom bestimmen und Strom für 1 Cent abgeben. Damit läge man auf den Erdgaspreisniveau von 2020 ...

Preis für erneuerbare Energien halbieren ...

- Windkraft muss in die Massenproduktion überführt werden, dann könnte man vielleicht einen Werder Kessin Windpark nicht für 220 Mill. Euro, sondern für 100 Mill. Euro bauen. Dies würde zu halb so hohen Strompreisen führen (etwa von 5 Cent pro kWh). Dies könnte man durch eine Absicherung der Abnahme von Windenergieanlagen über Kreditbürgschaften oder staatliche Abnahmegarantien kostengünstig fördern, siehe dazu den sehr guten Dena/StiPE Bericht 2022.
- Auch für Solarenergie gilt dies ... und die anderen Komponenten der Energiewende: Elektrolyseure etwa, hier wird erwartet, dass sie 2030 aufgrund von Kostenvorteilen durch Massenfertigung nicht mehr 100 Mill. Euro, sondern 50 Mill. Euro kosten (für einen 100 MW Elektrolyseur, der 10.000 Tonnen Wasserstoff im Jahr herstellt).

... aber was würde es helfen?

- Damit ist aber immer noch nicht sicher, ob bestimmte Chemieprodukte, siehe grünes Naphtha, dann günstiger werden als Naphtha aus Erdöl oder Propylen und Ethylen aus Erdgas (siehe die spezielle Erdgaschemie in den USA). Eine große oder wenigstens mittelgroße Anlage ist hier bisher nicht gebaut worden, ist gibt nur die neue kleine Fischer-Tropsch INERATEC-Anlage in Frankfurt. Man könnte es mit dem Methanol-zu-Olefinen Prozess allerdings wenigstens mal probieren, ob man so günstiges Propylen und Ethylen herstellen kann!!!! Von 1985 bis 1995 war eine mit grauem Methanol betriebene Methanol-to-Aromatics Fabrik von Exxon Mobil in Motunui in Neuseeland in Betrieb. **Aber dies tut die Chemieindustrie nicht, sie baut solche Anlagen nicht auf, auch nicht als mittelgroße Testanlagen, weder eine Fischer-Tropsch-Anlage, noch eine Methanol- zu-Olefinen Anlagen, noch einen Methanol-zu-Aromaten Anlagen.**
- **Damit ist 35 Jahre nachdem der Klimawandel bekannt ist, immer noch keine mittelgroße oder große Anlage für die drei neuen grünen Prozesse der Chemie gebaut worden und die Schätzungen von Kosten entnimmt man aus theoretischen Studien.**
- Vielleicht kann man grünes Ammoniak mit günstigem Wasserstoff so günstig, wie auf dem Weltmarkt herstellen, es wird mit Erdgas hergestellt. **Hier baut Saudi Arabiens in der Stadt Neom eine genuin grüne Anlage. (die anderen Anlagen etwa von Yara und Fertibera mischen Wasserstoff nur bei)**
- Auch im Bereich Stahl ist nach meinem Gefühl nichts sicher: Stahl wurde bislang mit Kokskohle reduziert ... das ist ein ganz billiger Rohstoff ... wenn man dies in China aus überirdisch abgebauter Kohle herstellt, die man quasi zum Nulltarif bekommt, wie soll man das unterbieten? **Kurz: Es stellt sich ganz grundsätzlich auch die Frage, ob wir uns in riesiger Höhe verschulden sollten, wenn wir nach der Energiewende sowieso nicht mehr wettbewerbsfähig in diesen Bereichen sein werden und eine Vielzahl von Stahl- und Chemieprodukten zu ‚regionalen‘, ‚europäischen‘ Produkten werden werden.**

Grüner Stahl geht vielleicht doch ...

- Im FAZ-Interview vom 17.10.2025 mit Stefan Dohler (EWE Oldenburg und BDEW) und Gunnar Groebler (CEO Salzgitter Stahl), wird, dies wurde zu Beginn dieses Textes schon erwähnt, festgestellt, dass grüner Stahl nur unwesentlich teurer werden wird als grauer Stahl. Salzgitter Stahl und VW scheinen bei der Nutzung von grünem Stahl in der Automobilindustrie freiwillig zusammenarbeiten zu wollen und grünen Stahl in der Automobilindustrie einsetzen zu wollen. Sie geben im Interview an, dass die Automobilindustrie genuin dazu geeignet ist, den Hochlauf von grünem Stahl zu begleiten, da 90 % des Stahls, der in der Automobilindustrie eingesetzt wird, von europäischen Produzenten kommt.

Preise für grüne Produkte heruntersubventionieren?

- Erdgas und aus der Petrochemie bzw. aus Erdöl stammendes Naphtha speist zu 85 % die chemische Produktion in Deutschland, DECHEMA verlautbar, dass dies bis 2050 auf 6 % zurückgehen soll. „Im Frühjahr 2023 wurde fossiles Naphtha zu einem Preis von etwa 686 US-Dollar pro Tonne (etwa 643 Euro pro Tonne) gehandelt. Dementsprechend handelt es sich bei den aktuell benötigten Mengen (14,3 Millionen Tonnen) an fossilem Naphtha um Kosten für die chemische Industrie von mehr als 9 Milliarden Euro.“
- Wenn ein Grundstoff 9 Mrd. Euro kostet und dieser Grundstoff als grüner Grundstoff z.B. das doppelte kostet, dann müsste der Staat, um die internationale Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten, diesen pro Jahr mit 9 Mrd. Euro heruntersubventionieren -> dies ist eine klar erkennbar unmögliche Aufgabe ... der Staat kann nicht künstlich die Wettbewerbsfähigkeit grüner Produkte erhalten ... auch nicht mit Exportsubventionen
- Exportsubventionen sind aber nichtsdestotrotz schon von der Industrie gefordert worden, i.S. eines Klimaausgleichs für Exporte im CBAM, siehe: EU-Kommission will die Stahlindustrie abschotten. FAZ, 20.03.2025.

Elefant im Raum Exporte

- Wie eben schon erwähnt: Ein Elefant befindet sich im Raum, Exporte. Die europäische Stahlindustrie exportiert viel, 2024 lagen die Exporte der EU bei 77,8 Mrd. Euro, die Importe von 73,1 Mrd. Euro, wobei das Gute ist, dass einige der Top-Exportländer vielleicht irgendwann einmal bei der Bekämpfung des Klimawandels mitmachen: Türkei 6,2 Mrd. Euro; USA 5,4 Mrd. Euro; England 4,1 Mrd. Euro; Schweiz 2,2 Mrd. Euro. Der Umsatz der EU Stahlproduktion wird mit 191 Mrd. Euro angegeben für 2023. Im Bereich Chemische Erzeugnisse, ohne Pharmazeutische Erzeugnisse, hat die EU 2023 einen Exportüberschuss von 35 Mrd. Euro vorzuweisen. Dies bei 224 Mrd. Euro Exporten und 189 Mrd. Euro Importen, wobei der EU Markt 655 Mrd. Euro Verkäufe aufzuweisen hat, auch hier gibt es ähnliche Top-Exportländer: USA 37,7 Mrd., England 28,6 Mrd., China 17,1 Mrd., Türkei 12,9 Mrd., Schweiz 11,2 Mrd. Euro.
- Besonders viel exportiert Deutschland. Deutschland hat 76 Mrd. Euro Exporte bei Metallen und vielleicht 139 Mrd. Euro Chemieexporte (2024) vorliegen, lt. Statistischem Bundesamt. Guckt man in die Genesis Datenbank des Statistischen Bundesamt und zieht alle Produkte zusammen, die einen Chemiebezug haben, auch Petrochemie, kommt man sogar auf 344 Mrd. Euro Chemieexporte Deutschlands. Ich finde auf die Schnelle keine Daten wie viel davon in die EU gehen und wie viel in die Welt. Deutschland wird aber mehr ‚in die Welt‘ exportieren, als andere EU-Staaten.

Chemieindustrie fordert Ende der Energiewende

- Diese besondere Abhängigkeit Deutschland von Exporten ist sicher der wichtigste Grund dafür, dass die deutsche Chemieindustrie nun für die Zukunft die Zuteilung kostenloser Emissionszertifikate fordert, wie am 23.09.2025 von der FAZ berichtet. Am 08.10.2025 fordert Evonik Chef Christian Kullmann ein vollständiges Ende des EU-Emissionshandels bzw. der CO2 Gebühren oder einen radikalen Umbau. **Kurz: Deutschlands Chemiefirmen wollen in Zukunft die gesamte Energiewende der EU blockieren.**
- **Aber die Exporte Deutschlands lassen sich nach der Energiewende leider nicht aufrechterhalten!!!!**
- Zum Vergleich: Die niederländische Stahlindustrie exportiert ca. 57 % in die EU, die Chemieindustrie 67 % in die EU. Von den Stahl Gesamtexporten von 12,4 Mrd. US\$ (2023) geht z.B. ca. 15 % in die Türkei und die USA, der Rest sind vor allem EU-Länder, das sind ca. 1,86 Mrd. US\$. Chemie liegt bei 20 Mrd. US\$ (HS 29, 2024) davon geht 67 % in die EU, 33 % außerhalb der EU, also 6,6 Mrd. US\$. Höhere Kosten durch die Energiewende für die niederländische Stahl und Chemieindustrie würden also ca. 8,46 Mrd. US\$ betreffen, viel weniger als für die deutsche Industrie. Weitere europäische Staaten müssten analysiert werden.

Auch ein Teil der Stahlindustrie will die Energiewende nicht:

- Aktuell hat sich der Stahlhersteller Acelor Mittal gegen den Aufbau einer Direktreduktionsanlage in Bremen entschieden, trotz der staatlicher Subventionen von 1,3 Mrd. Euro, selbst das Betreiben der Anlage mit Erdgas ist ihr zu teuer, sie möchte weiter Kokskohle als Reduktionsagent in der Stahlherstellung nutzen.

Einige wenige Energiewende Projekte der Chemie

- Es gibt einige wenige Energiewende-Projekte in der Chemieindustrie. SKW Piesteritz, der Ammoniakhersteller in Wittenberge plant mit dem Land Sachsen-Anhalt den Aufbau eines Elektrolyseurs für grünen oder wenigstens CO₂-armen Ammoniak. Die Chemieindustrie hat es bis jetzt geschafft 2 Elektrolyseure aufzubauen, BASF hat im März 2025 in Ludwigshafen einen mittelgroßen 54 MW Elektrolyseur von Siemens Energy in Betrieb genommen, mit 8000 Tonnen Jahresproduktion und betreibt einen kleineren in Schwarzheide. BASF hat für den 54 MW Elektrolyseur 25 Mill. Euro bezahlt, das BMWK bzw. nun das BMWE und das Land Rheinland-Pfalz haben 124,3 Mill. Euro übernommen, offenbar weil die BASF so schwach und hilfsbedürftig ist.
- Siehe Infos dazu in 00Teil2, ab S. 139.
- Oben wurde geschätzt, dass man für Stahl- und Chemie 10.000.000 Tonnen Wasserstoff braucht und dafür 1000 100 MW Elektrolyseure nötig sind und vielleicht bleibt dann für uns im Winter auch noch etwas übrig für den Betrieb der wasserstofffähigen Gaskraftwerken. Bei der Anzahl der Elektrolyseure, die die Chemieindustrie aufbauen könnte, ist also noch Luft nach oben.

Kann man mit CCS die Energiewende in der Industrie zeitlich nach hinten schieben?

- CCS ist in Europa derzeit für 32 Mill. Tonnen CO₂ jährlich verfügbar, 27 Mill. Tonnen CO₂ rund um die Nordsee, 5 Mill. Tonnen CO₂ im Mittelmeerraum, so meine Zahl anhand der konkreten Projekte, die ich in Teil 2 recherchiert habe. Wenigstens bei Northern Lights sind die verpressbaren Mengen von 5 Mill. Tonnen CO₂ pro Jahr offenbar schon zum großen Teil verkauft. Northern Lights wurde vom norwegischen Staat zu 80 % subventioniert, sodass die veranschlagten Kosten von 75 Euro pro Tonne CO₂ keinen realistischen Hinweis auf zukünftige Kosten für CCS liefern. Fast die gesamte derzeit verfügbare CCS Menge Europas, 32 Mill. Tonnen CO₂ würde also allein für die CO₂-Emissionen der Zementindustrie Deutschlands benötigt werden, mit ihren Emissionen von 20 Mill. Tonnen CO₂.
- Das Ziel der EU ist es bis 2030 50 Mill. Tonnen CCS zur Verfügung zu haben, 2040 sollen es 280 Mill. Tonnen sein. Norwegen hat mittelfristig versprochen 40 Mill. Tonnen jährlich verpressen zu können. Sieht man in die IEA CCUS Projects Database Excel-Datei und nimmt die geschätzte Kapazität aller derzeit geplanten Storage und Full Chain Projekte in europäischen Ländern, sind dies 101,08 Mill. Tonnen CO₂, wohlgemerkt über die EU verteilt.
- Dies ist 5 mal die deutsche Zementindustrie.
- Europa emittiert 3,5 Mrd. Tonnen Treibhausgase.

Abschließende Fragen

- Wo hakt es eigentlich?
- Wo gibt es Lösungen?
- Wo gibt es keine Lösungen?
- Wie geht es mit der Energiewende weiter?

- Gibt es eine Alternative zur Energiewende? Was ist, wenn man die Erwärmung zulässt und schon jetzt die Zivilisation auf die Erwärmung anpasst und z.B. Städte in der Erde oder klimatisierte Städte baut? Dann müsste man aber auch große Hafenstädte umsiedeln und ein großer Teil der Bevölkerung müsste in die polare Klimazone ziehen. Länder wie Kanada, Norwegen, Schweden, Finnland und Russland müssten sich bereiterklären, große Teile der Weltbevölkerung aufzunehmen.

Meine Antworten zur Energiewende

- Bundesnetzagentur und KO.NEP müssen Regionalplanung angehen, die 250.000 Einwohner Städte bzw. Regionen brauchen ihre 3 Werder Kessin Windparks und ihre 11 25 MW Großspeicher. Darüber muss es eine öffentliche und politische Debatte geben. Die Regionen und Städte müssen auch beginnen Windparks und Großbatterien zu finanzieren bzw. den Aufbau durch private Investoren zu beschleunigen, es müssen Forderungen gestellt werden, jeweils regional ausgerichtet ein wasserstofffähiges Gaskraftwerk zu haben. Die Übertragungsnetzbetreiber arbeiten, die Bundesnetzagentur arbeitet, die KO NEP arbeitet, aber die Dynamik muss viel mehr von der Öffentlichkeit und der Politik in diese Planungen hereingetragen werden, damit es schneller Systeme gesicherter Leistung gibt. Heute werden etwa die Großbatterien an Netzknotenpunkten gebaut, nicht an den Windparks, weil es darum geht, mit Strom zu handeln, es muss aber darum gehen, halbwegs autarke Regionen zu schaffen, die von übergeordneten Regionen wiederum im Notfall unterstützt werden können. Ich will auch wissen, wo nachher das wasserstofffähige Gaskraftwerk oder ein sonstigen, z.B. Biogas Kraftwerk stehen wird, das bei Dunkelflaute z.B. 2 250.000 Einwohnerstädte mit ca. 250 MW Stromverbrauch versorgen kann.
- Sie müssen nicht überall stehen, aber es müssen Zonen mit erhöhtem Ausbau von erneuerbaren Energien geben. Die Bewohner in diesen Regionen müssen davon wirklich profitieren dürfen z.B. mit kostenlosem Strom tanken (die aktuellen Bürgerenergiegesetze reichen dafür bei weitem nicht aus).
- Im Norden muss es einen starken Ausbau erneuerbarer Energien geben mit 5 Großzentren (siehe oben: mit ca. 3000 Werder Kessin Landwindparks und 1000 Elektrolyseuren), von dort aus gehen die günstigen und schnell erbaubaren Wasserstoffpipelines nach Deutschland herein. Dies kann massiv den Aufbau von Stromnetzen sparen. Die Bewohner dieser Regionen sollten davon profitieren und kostenlos Strom tanken können.
- Die Durchführung und Finanzierung der Energiewende steht und fällt mit günstigen erneuerbaren Energien. Dass die Windenergiehersteller nicht ein günstiges, seltene Erden-freies Modell anbieten ist völlig unverständlich: die Politik muss die Massenproduktion von Windenergie durch die Hersteller durch Abnahmegarantien fördern bzw. so schnell wie möglich erzwingen, und ihnen Auflagen machen, hinsichtlich der Reduktion der Produktionskosten und des Baus eines Basismodells ... Windenergie muss auf globaler Ebene * 7 von der Produktionskapazität ausgebaut werden ... !!!!
- Bei allen Berechnungen der Kosten der Energiewende fällt auf, dass bei einer Halbierung der Kosten für Windkraft plötzlich eine Finanzierbarkeit möglich erscheint.
- Im Bereich Industrie habe ich so viel gelesen, mir scheint es als unwahrscheinlich, dass sich die Stahl- und Chemieindustrie von selbst umbaut (auch die Zementindustrie tut zu wenig). Es ist überhaupt eine Illusion, dass Stahl- und Chemie etwa Geld ansparen würden und dann ihre Anlagen umbauen: das Geld wird sofort an die institutionellen Investoren ausgeschüttet.
- Die Chemieindustrie wird nicht umbauen, weil dann in Teilbereichen die Kosten steigen und ein größerer Teil ihrer Exporte wird wegbrechen. Dies wird zu Arbeitsplatzverlusten führen. Meinem Eindruck nach ist dies unausweichlich. Man wird es aber erst genau wissen, wenn die grünen Anlagen gebaut sind. **35 Jahre nachdem der Klimawandel bekannt ist, hat die Chemieindustrie dies immer noch nicht gemacht.** Teils wird der Staat Firmen übernehmen müssen, um Standorte zu erhalten.
- Dies wird aber nicht zum Verlust der Stahl- und Chemieindustrie in Europa führen, da es die CBAM und sonstige Schutzzölle geben wird. Außerdem ist der Erhalt der Stahl- und Chemieindustrie im nationalen Interesse der Länder, die die Firmen in staatliche Firmen umwandeln können. Dadurch werden viele Arbeitsplätze erhalten werden können.
- **Aus mehreren Gründen ist ein EU-Umbauplan Stahl 2030-2033 und Chemie 2033-2037 nötig: u.a. weil bei Stahl und Chemie Wasserstoff einen hohen Anteil an den Betriebs- oder Rohstoffen hat, weil dort Kostensteigerungen zu befürchten sind, weil dadurch Firmen die spät umrüsten noch länger hohe Profite machen können und Anreize haben, alles mögliche zu machen, nur nicht umzubauen. Firmen, die früh umbauen, haben Nachteile ... würde man die staatlich subventionieren, wäre dies teuer ... also warum nicht alle nahezu zeitgleich umbauen?**
- Für den Wasserstoffhochlauf sind Quoten für grünen Stahl und auch grüne Chemieprodukte denkbar, die müssen aber einfach sein und nur für wenige Industriebereichen gelten.
- Deutschland ist führen im Bereich Windkraft, Elektrolyseure, E-Autos, Akkuinnovationen (noch nicht bei der Produktion), bei Großwärmepumpen, bei großen Durchlauferhitzern, in den westlichen Ländern gibt es die führenden Anlagenbauer, die den Umbau der Stahl- und Chemieindustrie durchführen können, im Stahlbereich etwa die deutsche Firma SMS.
- Die Energiewende ist somit keine Einbahnstraße , sondern es geht um eine Transformation der Wirtschaft, die Technologie dazu ist vorhanden.
- Die Energiewende ist auch von den Rohstoffen her möglich, wir können die Energiewende weltweit vielleicht sogar 2 mal machen, aber sicher nicht 4 oder 8 mal, deshalb muss alles akribisch recycelt werden, siehe meine Hintergrundtexte, 00Teil1.
- Ein Unsicherheitsfaktor ist allerdings der Golfstrom bzw. alle möglichen sonstigen Kippunkte: Was passiert dann? Können Windkraftanlagen einen -20 Grad Winter in Europa überstehen? Was ist mit Solaranlagen? Deshalb ist Technologieoffenheit und Forschung immer wichtig.

Stromverbrauch Deutschland

Stromverbrauch Deutschland nach der Energiewende

- E-Autos. In Deutschland gibt es 48 Millionen Autos. Wie viel Strom würden sie verbrauchen, wenn es alle E-Autos wären? Bei 15000 km Kilometer, die ein Pkw in Deutschland im Durchschnitt fährt und 25 kWh Stromverbrauch pro 100 km sind das im Jahr ($15000 / 100 = 150$, $150 * 25 \text{ kWh}$), **rechnet aus:**

$$\frac{\text{Autos in Deutschland}}{\text{kWh}} * \text{ (Anzahl der Autos in Deutschland)} = \text{ kWh, das sind}$$

$$\text{ MWh, das sind}$$

$$\text{ GWh, das sind}$$

$$\text{ TWh ...}$$
- Lkw. In Deutschland werden von schweren Lkw über 12 Tonnen 51 Mrd. km im Jahr gefahren (2018) (kleine Lkw und Transporter werden hier nicht mitgerechnet). E-Lkw gibt es, sie brauchen 120 kWh Strom pro 100 km, Info aus FAZ-Artikel , das sind $51.000.000.000 \text{ km} / 100 =$

$$\text{ kWh, das sind}$$

$$* 120 \text{ kWh} = \text{ Megawattstunden, das sind}$$

$$\text{ Gigawattstunden, das sind}$$

$$\text{ Terawattstunden Strom für schwere E-Lkw.}$$

Stromverbrauch Deutschland nach der Energiewende

- E-Autos. In Deutschland gibt es 48 Millionen Autos. Bei 15000 km Kilometer, die ein Pkw in Deutschland im Durchschnitt fährt und 25 kWh Verbrauch pro 100 km sind das im Jahr $3750 \text{ kWh} * 48.000.000 = 180.000.000.000 \text{ kWh}$, das sind 180.000.000 MWh, das sind 180.000 GWh, das sind für E-Autos also 180 TWh ...
- Lkw. In Deutschland werden von schweren Lkw über 12 Tonnen 51 Mrd. km gefahren (2018) (kleine Lkw und Transporter werden hier nicht mitgerechnet), E-Lkw gibt es, sie brauchen 120 kWh pro 100 km, Info aus FAZ-Artikel, das sind $51.000.000.000 / 100 = 510.000.000 * 120 \text{ kWh} = 61.200.000.000 \text{ kWh}$, das sind 61.200.000 Megawattstunden, das sind 61.200 Gigawattstunden, das sind 61,2 Terawattstunden Strom für schwere E-Lkw.

Stromverbrauch Deutschland nach der Energiewende

- Wärmepumpen: Die Bundesnetzagentur meldet, dass 740.000 Wärmepumpen einen Stromverbrauch von 4,5 Terawattstunden haben, das sind $4.500.000.000 \text{ kWh} / 740.000 = 6081 \text{ kWh}$ pro Wärmepumpe, dies sind offenbar größere Häuser, da Bosch den Stromverbrauch von 27 kWh bis 42 kWh pro qm angibt. $6081 / 42 = 144 \text{ qm}$ oder $/ 27$ sind 225 qm.
- Mal mit normalen Haushaltsgrößen und Werten **gerechnet**: $60 \text{ qm} * 30 \text{ kWh} = 1800 \text{ kWh}$ Jahresverbrauch, mal 40,9 Millionen Haushalte = _____ kWh, das sind 73.620.000
Megawattstunden, das sind _____
Gigawattstunden, das sind _____ Terawattstunden
Strom für Wärmepumpen

Stromverbrauch Deutschland nach der Energiewende

- Wärmepumpen: Die Bundesnetzagentur meldet, dass 740.000 Wärmepumpen einen Stromverbrauch von 4,5 Terawattstunden haben, das sind $4.500.000.000 \text{ kWh} / 740.000 = 6081 \text{ kWh}$, dies sind offenbar größere Häuser, da Bosch den Stromverbrauch von 27 kWh bis 42 kWh pro qm angibt. $6081 / 42 = 144 \text{ qm}$ oder $/ 27$ sind 225 qm.
- Mal mit normalen Haushaltsgrößen und Werten gerechnet: $60 \text{ qm} * 30 \text{ kWh} = 1800 \text{ kWh}$ Jahresverbrauch, mal 40,9 Millionen Haushalte = $73.620.000.000 \text{ kWh}$, das sind 73.620.000 Megawattstunden, das sind 73.620 Gigawattstunden, das sind 73,6 Terawattstunden Strom für Wärmepumpen

Stromverbrauch Deutschland nach der Energiewende

- Industrie: Wasserstoff 10.000.000 Tonnen
- 1000 mal ein 100 MW Elektrolyseur, der 10.000 Tonnen pro Jahr schafft.
- **Wie viel Strom ist dazu nötig?**
- $1000 * 100 =$ _____
- _____ MW * 8760 (Stunden des Jahres) =
_____ MWh, das sind: _____ GWh,
das sind: _____ TWh
- Dazu kommt noch der Stromverbrauch und der Strom für die Prozesswärme für die anderen Industrien, sprich: Gießereien, Zellstoffindustrie, Glasindustrie, Ziegelherstellung ...

Stromverbrauch Deutschland nach der Energiewende

- Industrie: Wasserstoff 10.000.000 Tonnen
- 1000 mal ein 100 MW Elektrolyseur, der 10.000 Tonnen pro Jahr schafft.
- Wie viel Strom ist dazu nötig?
- $1000 * 100 = 100.000$
- $100.000 \text{ MW} * 8760 = 876.000.000 \text{ MWh}$, das sind 876.000 GWh, das sind 876 Terawattstunden bzw. TWh
- Dazu kommt noch der Stromverbrauch und der Strom für die Prozesswärme für die anderen Industrien, sprich: Gießereien, Zellstoffindustrie, Glasindustrie, Ziegelherstellung ...

Stromverbrauch Deutschland nach der Energiewende

- E-Autos: _____
- E-Lkw: _____
- Wärmepumpen: _____
- Strom für Wasserstoff für Industrie: _____
- Dazu kommt:
- Unser heutiger Stromverbrauch ca. 549 TWh
- Sonstige Industrie ca. 100 TWh
- Schifffahrt 8 TWh
- Flugverkehr 100 TWh
- Rechenzentren 18 TWh

- Wie viel ist es insgesamt: _____

Stromverbrauch Deutschland nach der Energiewende

- E-Autos: 180 TWh
 - E-Lkw: 61 TWh
 - Wärmepumpen: 73 TWh
 - Strom für Wasserstoff für Industrie: 876 TWh
 - Dazu kommt:
 - Unser heutiger Stromverbrauch ca. 549 TWh
 - Sonstige Industrie ca. 100 TWh
 - Schifffahrt 8 TWh
 - Flugverkehr 100 TWh
 - Rechenzentren 18 TWh
- Wie viel ist es insgesamt: _____1965 TWh_____

Zum Vergleich:

- In Genehmigung des Szenariorahmens für den Netzentwicklungsplan Strom 2025-2037 / 2045, Bundesnetzagentur April 2025, gibt es auf S. 47 ebenfalls eine aktuelle Prognosen für den Strombedarf, hier kommt man **im höchsten Szenario C 2045 auf 1275,5 TWh Bruttostromverbrauch (vor Netzverlusten) und 1195,1 TWh Nettostromverbrauch**, ein Grund für die weniger hohen Zahlen ist, dass der Anfangswert bei mir 549 TWh dort nicht erscheint, es fängt mit Haushalten an 171 TWh, davon Wärmepumpen 82,6, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen hat 230,7 TWh Verbrauch, davon Rechenzentren 116,2 TWh, Industrie hat 345,5 TWh Verbrauch (ohne Elektrolyseure offenbar), Verkehr 183 TWh, Elektrolyse 224 TWh, Fernwärme 31,7, davon Elektrokessel 8,1 TWh und Großwärmepumpen 23,6 TWh.

Fun Fact E-Auto laden

- Fun fact: Wenn 1 Millionen E-Autos an den sehr langsamen 11 kW Ladepunkten laden, braucht man 11 GW Leistung: $11 \text{ kW} \text{ sind } 11000 \text{ W} * 1.000.000 = 11.000.000.000 \text{ Watt} / = 11.000.000 \text{ Kilowatt} / = 11.000 \text{ MW} / = 11 \text{ GW}$... hier braucht sich also nur eine 22 kW Wallbox vorstellen, schon braucht man 22 GW Leistung im bundesweiten Netz und bei 2 Millionen Autos verdoppelte sich die nötige Leistung auf 44 GW Leistung. 44 GW Leistung zusätzlich zur Verfügung zu stellen ist sportlich, aber es könnte ja sein, dass es bald noch mehr E-Autos gibt, bei 4 Millionen E-Autos, die gleichzeitig an 22 kW Wallboxen laden, sind wir schon bei 88 GW Leistung. Bei 8 Millionen E-Autos an 22 kW Wallboxen bei 176 GW Leistung.
- Im Moment schafft Deutschland mit seinen Kraftwerken 234 Gigawattpeak (Bundesnetzagentur Kraftwerksliste), der historisch höchste gemessene Leistungsbedarf in Deutschland war 78 GW.
- Hier muss sich also noch etwas tun: Es muss eine smarte Lenkung des Stromverbrauchs geben: wenn es viel Strom vorhanden ist, sollte er auch billiger sein und dann sollte man ihn verbrauchen können, also E-Autos müssen im Sommer Mittags bei Solarstromüberschuss laden, man braucht also Ladestationen bei Arbeitgeber. Im Winter muss man die E-Autos dann laden, wenn wieder mehr Wind aufkommt oder nachts, wenn der Strom vielleicht günstiger angeboten wird.
- Vor allem muss es aber diesen Strom im eigenen Haus, lokal und regional geben, damit man Netzausbau spart: z.B. aus den eigenen Solarzellen und aus lokal verfügbaren Solar- und Windkraftanlagen, weil man die Stromnetze gar nicht so groß ausbauen kann, dass man diese Leistung z.B. von der Nordsee nach Bayern transportieren kann.
- Für 10 GW braucht man z.B. 20 Freileitungen mit 500 MW Leistung, für 40 GW dann 80 Freileitungen, für 80 GW 160 Freileitungen vom Norden in den Süden. Das ist nicht unmöglich, aber es ist viel. Deshalb spricht viel dafür, dass die einzelnen Städte und Stadtregionen sich eigene Windparks aufbauen für das Laden von E-Autos bzw. eben auch für ihren anderen Bedarf. Oder man muss eben wirklich alles über Wasserstoff aus Pipelines und viele lokal gebaute wasserstofffähige Gaskraftwerke laufen lassen.

Wasserstoffinfos Wasserstoffimporte

Wasserstoffinfos

- Die Energiedichte spielt bei der Energiewende eine wichtige Rolle. Kerosin verfügt über einen Energiegehalt von 12.000 Wh pro kg, die neuesten Lithium-Ionen Batterien erreichen ggf. 711 bis 1653 Wh pro kg, das bedeutet, dass man mit Batterien einen Langstreckenflug nicht schaffen kann. Benzin und Diesel liegen fast auf dem Niveau wie Kerosin, 1 kg enthält ca. 10.000 Wh, das sind 10 kWh (0,852 kg hat ein Volumen von 1 Liter). Wasserstoff hat die höchste Energiedichte von allen Brennstoffen, 33,33 kWh pro 1 kg, also dreimal so viel wie Benzin oder Diesel, letztlich hängt es aber von der Temperatur und vom Druck, wie viel Wasserstoff in einen Tank / Speicher passt.
- 1 kg Wasserstoff hat den Heizwert von 33,33 kWh ... dies ist bei 1013,23 normalem Atmosphärendruck und einer Temperatur von 0 Grad gemessen ... Problem ist bei Wasserstoff nur, dass man aufgrund der geringen Dichte von 0,09 bei normalem Druck und einer Temperatur von 0 Grad für 1 kg Wasserstoff den Platz von 11,11 Kubikmeter unter Standardbedingungen braucht ($1 / 0,09 = 11,11$).
- Tanklastwagen LKW können 30 bis 37 Kubikmeter transportieren. Bahn Kesselwagen vierachsiger 110 Kubikmeter.
- D.h. ein Tankwagen kann bei normalem Druck und normalen Temperaturen nur ca. 3 kg Wasserstoff transportieren (33,33 Kubikmeter / 11,11 Kubikmeter für 1 kg Wasserstoff). Ein Wasserstoffauto braucht 1 kg für 100 km, ein Tankwagen LKW würde also bei Normaldruck also nur die Energie für eine Strecke von 300 km transportieren!!! Ein Skandal! Die Energiewende kann also gar nicht funktionieren!!! 😊 Aber ein wenig weiterrechnen muss man doch noch und schon kommt man durch menschlichen Forschungsgeist auf 1,7 Tonnen für einen Tankwagen.
- Bei 350 bar und 15 Grad Celsius kann man 23 kg pro Kubikmeter transportieren, bei 700 bar und 15 Grad Celsius sind es ca. 39 kg pro Kubikmeter. Der Standardtank in der Gasindustrie, der als stationärer Tank und Transportbehälter eingesetzt wird, ist ein Tank, der nur aus Stahl besteht, er hält 200 bar Druck aus, das wären 16 kg Wasserstoff pro Kubikmeter.
- Ein Tankwagen LKW mit 200 bar Druck würde mit 30 Kubikmeter $30 * 16 = 480$ kg Wasserstoff transportieren können (an der Zuladung scheitert es also nicht!), der Bahn Kesselwagen wäre bei $110 * 16 = 1760$ kg Wasserstoff bzw. 1,7 Tonnen!!
- Ein Tankwagen LKW bringt also an eine Wasserstofftankstelle nicht die Energie für 300 km, sondern die Energie von 48.000 km für Wasserstoffautos.
- Speicherbehälter von Wasserstofftankstellen schaffen mit einer Ummantelung aus Harz und Kohlefaser 1000 bar. In Wasserstoffautos wird teils 700 bar eingesetzt, in LKW und Bussen 350 bar. Beides Druckwerte werden auch bei Wasserstofftankstellen angeboten.
- Wieder andere Zahlen meldet das Enertrag Projekt aus Magdeburg: hier wird ein 10 MW PEM Elektrolyseur von Neumann und Esser aus Übach-Palenberg gebaut, diese Firma liefert auch zwei Verdichter: vier Kompressoren komprimieren 90 kg Wasserstoff pro Stunde auf 121 bar für die Einspeisung ins Erdgasnetz und vier weitere Kompressoren verdichten 45 kg Wasserstoff pro Stunde auf 501 bar für die Befüllung von Tanklastern,
- Bei -253 Grad Celsius hat Wasserstoff eine Dichte von 73 kg pro Kubikmeter, er ist dann flüssig, diese sog. Kryotanks sind aufwendig und es gibt die sog. Abdampfverluste bzw. Boil-Off Verluste, die auch zu Druckerhöhung führen. Der Wasserstofftanker Suiso Frontier von Kawasaki Heavy Industries kann 1250 Kubikmeter Wasserstoff bei 253 Grad Celsius transportieren, das sind: 91.250 kg bzw. 91,2 Tonnen Wasserstoff.
- Noch mehr Wasserstoff kann man mit sog. Liquid Organic Hydrogen Carrier Flüssigkeiten transportieren. Benzyltoluol, die beste LOHC Flüssigkeit, muss in hohen Mengen vorhanden sein, man braucht 1 Liter Benzyltoluol für 57 Gramm Wasserstoff, bekannt als Marlotherm LH. Dies sind 1000 kg Benzyltoluol bzw. 1 Tonne Benzyltoluol, um 57 kg Wasserstoff pro Kubikmeter binden zu können (Metallhydrid wird hier nicht dargestellt). Benzyltoluol hat eine Dichte von 0,995 g bzw. vereinfacht 1 Gramm / 1 cm³ (bei 20 Grad), das sind $1000 : ca. 1$ kg pro 1000 cm³ bzw. 1 Liter.

Wasserstoffinfos Transport

- Die japanische Firma Chiyoda hat Wasserstoff von Brunei nach Japan transportiert mit einer neuen Technologie, sie wandelt Methylcyclohexane (MCH) in Wasserstoff um, dies führt zu einem leichten Transport und Nutzung bestehender Infrastruktur, siehe diese GTAI Info. Siehe die Chiyoda Webseite zum sog. Spera Hydrogen Projekt.
- Mit 1 Tonne bzw. 1000 Liter Benzyltoluol kann man 57 kg Wasserstoff pro Kubikmeter binden.
- LKW können 30 bis 37 Kubikmeter transportieren. Bahn Kesselwagen vierachsiger 110 Kubikmeter. Mit LOHC gebunden könnten somit in einem LKW bei 30 Kubikmeter $30 * 57 \text{ kg} = 1710 \text{ kg}$, das sind 1,7 Tonnen Wasserstoff, bei einer Bahn Kesselwagen von 110 Kubikmeter $110 * 57 \text{ kg} = 6270 \text{ kg}$ Wasserstoff bzw. 6,1 Tonnen Wasserstoff.
- Ein Tankwagen LKW, der LOHC benutzt, bringt somit an eine Wasserstofftankstelle die Energie von 171.000 km für Wasserstoffautos.
- 1 Kubikmeter sind 1000 Liter, 1 Liter Öl hat ca. 10 kWh, damit hat 1 Kubikmeter Öl 10.000 kWh, $10.000 * 30 = 300.000 \text{ kWh}$ im Öl-LKW und $10.000 * 110 = 1.100.000 \text{ kWh}$ in der Öl-Bahn.
- 1 Tonne Wasserstoff hat einen Heizwert von 33.330 kWh. Mit LOHC sind $1,7 * 33.330 \text{ kWh} = 56.551 \text{ kWh}$ im Wasserstoff-LKW, und $6,1 * 33.330 \text{ kWh} = 203.313 \text{ kWh}$ in der Öl-Bahn. Kurz: mit LOHC kann man immerhin 18 % des Energiegehaltes von Erdöl in Form von Wasserstoff bei normalen Temperaturen transportieren.
- 1 Liter Wasserstoff enthält bei normalen Temperaturen und normalem Druck eine Energie von 3 Wh, mit Trägermaterialien verbunden, mit LOHCs, kann 1 Liter LOHC etwa Wasserstoff mit einer Energiemenge von 1900 Wh aufnehmen, immerhin fast 2 kWh.
- (hier wurde nicht der Energieverbrauch für LOHC Hydrierung einbezogen: bei 20-30 bar, 150-200 Grad Celsius; Dehydrierung bei 250-300 Grad Erwärmung eingerechnet bzw. nicht direkt von den kWh abgezogen, um die Daten ‚roh‘ zu haben). Siehe zu den LOHC-Trägern auch Wikipedia.
- Hydrogenius LOHC Technologies ist eine Firma in Erlangen-Bruck, die Wasserstoff in Dibenzyltoluol speichert, sie hat 2016 den Innovationspreis der deutschen Wirtschaft gewonnen und stellt seitdem LOHC-Systeme her. Kombiniert mit Dibenzyltoluol ist Wasserstoff schwer entflammbar und Wasserstofftankstellen können so in sicherer Form realisiert werden. Dibenzyltoluol ist ein preiswertes sog. Wärmeträger-Öl, bekannt als Marlotherm. Hydrogenius LOHC Technologies baut seit 2021 im Chemiepark Dormagen eine 1800 Tonnen Anlage, die 2023 in Betrieb gehen sollte, hier soll Wasserstoff im Trägermedium Benzyltoluol gespeichert werden. Eine Förderung erfolgt durch das Land NRW. Mittlerweile ist die Covestro Deutschland AG seit 2019 Gesellschafter bei Hydrogenius LOHC Technologies und stellt ihre Flächen zur Verfügung. Es gibt mehrere weitere Wasserstoffträger mit Vor- und Nachteilen.

Wasserstoff Transport

- Wasserstoff kann also jedenfalls sinnvoll über Pipelines transportiert werden, man braucht aber mehr als nur ‚eine‘.
- Oder über Ammoniak.
- Wie wird das Ammoniak aber hergestellt? Ein grüner Haber-Bosch Prozess wird derzeit in Saudi-Arabien bei der Stadt Neom erst ausprobiert, der Bau ist halb fertig ... dann wird man auch mehr über die Kosten wissen ...
- Man könnte über die normale Düngemittelherstellung auch mit CCS blaues Ammoniak herstellen.
- Ammoniak Cracker haben 90 % Wirkungsgrad, also es kommt viel Wasserstoff an, es wird aber Energie für das Cracken benötigt. Also kommt bei einem 70.000 t Schiff für Ammoniak (Schiff: Bow Pioneer) ungefähr auch so viel Wasserstoff an. 10.000.000 / 70.000, das sind ‚nur‘ 142,8 Schiffsladungen, jeden 2 Tag 1 Schiff, sprich: auch über Schiffe kann man ggf. größere Mengen Ammoniak nach Deutschland bringen.

Siehe: https://energiesysteme-zukunft.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/PDFs/ESYS_Materialien_Wasserstoff.pdf;
sowie: <https://www.ffe.de/veroeffentlichungen/transport-von-wasserstoff-in-form-von-ammoniak/>

Wasserstoffinfos Speicher

- In der Natur kann Wasserstoff am besten in Salzkavernen gespeichert werden, sie sind dicht und der Wasserstoff wird nicht verunreinigt. In Salzkavernen wird derzeit schon Erdgas gespeichert. Wasserstoffspeicher gibt es in drei kleinen Kavernen in Teesside, England, und zwei großen Kavernen in Houston, Texas. In leeren Gas- oder Öllagerstätten könnten Wasserstoff mit den Resten der dortigen Stoffe bzw. Flüssigkeiten reagieren und müsste ggf. später aufwendig gereinigt werden.
- Problem, auch in den Salzkavernen passen nur geringe Mengen Wasserstoff rein: Zitat Uni Augsburg ‚Physikalische Wasserstoffspeicherung‘: „Die typische Größe einer Gasspeicherkaverne kann von einigen 100.000 m³ bis zu einem Maximum von etwa 1.000.000 m³ variieren, wobei der Betriebsdruck mit zunehmender Tiefe steigt. So ergibt sich bei einer 1000 m tiefen Kaverne mit einem Volumen von 500.000 m³ ein Betriebsdruck von etwa 60 bis 180 bar. Bezogen auf Wasserstoff ergibt sich daraus eine Arbeitsgasmasse von 4900 t.“ Das ist nicht viel, dennoch gibt es solche Projekte:
- Der Energiekonzern Uniper will in einem ostfriesischen Salzstock in Upleward im Landkreis Aurich einen großen Wasserstoffspeicher bauen, mit 500.000 Normkubikmetern grünen Wasserstoff. Hierfür werden zuerst einmal Tests durchgeführt, in einem Monat ein Dichtigkeitstest. Nächstes Jahr soll eine Demonstrationsanlage fertig sein. Die Befüllung erfolgt mit Tankwagen. Später einmal soll das Wasserstoffkernnetz an der Anlage vorbeilaufen. Der Oldenburger Energieversorger EWE will in Huntorf einen von sieben großen Hohlräumen bzw. Kavernen, die als Erdgasspeicher genutzt werden, als Wasserstoffspeicher umbauen, die Bauarbeiten haben im Herbst 2024 begonnen, ab 2027 soll dort Wasserstoff gespeichert werden, die Kaverne fasst 20 Mill. Kubikmeter. (20 Mill. / 500.000 = 40 ... 40 mal 4900 Tonnen (siehe den Absatz zuvor), sind immerhin 196.000 Tonnen ... dies wäre eine Hausnummer ... wenn man diesen Druck von 60 bis 180 bar erzielen kann
- Speichermöglichkeiten für Wasserstoff werden derzeit aktiv untersucht bzw. ausprobiert, siehe aktuell dazu BMWK Weißbuch Wasserstoffspeicher, April 2025.

Wie finanziert man erneuerbare Energien

Werder Kessin, 0,3 TWh, 220 Mill. Euro

Wie viel Einnahmen im Jahr hat man je nach Strompreis pro kWh:

- 5 Cent: $300.000.000 \text{ kWh} * 0,05 = 15 \text{ Mill. Euro}$
- 10 Cent: $300.000.000 \text{ kWh} * 0,10 = 30 \text{ Mill. Euro}$
- 15 Cent: $300.000.000 \text{ kWh} * 0,15 = 45 \text{ Mill. Euro}$
- 20 Cent: $300.000.000 \text{ kWh} * 0,20 = 60 \text{ Mill. Euro}$
- 25 Cent: $300.000.000 \text{ kWh} * 0,25 = 75 \text{ Mill. Euro}$

Darlehenskosten

- Ein Annuitäten-Darlehen für 220 Mill. mit 3 % Zinsen und einer Darlehenslaufzeit von 10 Jahren, bei jährlichen Zahlungen, würde 10 Jahre lang 25,7 Mill. Euro pro Jahr benötigen, bei einer Laufzeit von 20 Jahren wären man 14,7 Mill. Euro jährliche Zahlungen benötigen. Kurz: man sieht hier, dass man bei einem 10 Jahres Kredit mit 25,7 Mill. Euro Rückzahlungen bei 10 Cent/kWh Stromkosten, recht knapp wird, hier bleiben pro Jahr nur 4,3 Mill. Euro Gewinn, man hat aber auch noch Betriebskosten, aber vielleicht ginge es. Ganz sicher ginge es, wenn man einen Kredit mit 20 Jahren Laufzeit bekäme. Wenn man 15 Cent/kWh für den Strom bekommen könnte, und man 45 Mill. Euro pro Jahr einnehmen würde, könnten man locker die 25,7 Mill. Euro Rückzahlungen des 10 Jahres Kredits leisten.
- Gerechnet mit Excel-Darlehenstilgungszeitplan.

Was wäre wenn Werder Kessin nur die Hälfte kosten würde?

- Man muss sich nur einmal vorstellen, wie es aussehen würde, wenn Werder Kessin nur 100 Mill. Euro kosten würde. Welchen Strompreis könnte man da einräumen und trotzdem noch die Rückzahlungen bewältigen? Wie günstig würde dann die Energiewende in Deutschland.
- Bei 100 Mill. Euro Baukosten und 3 % Zinsen bräuchte man für einen 10 Jahres Kredit eine Rückzahlung von 11,7 Mill. Euro pro Jahr. Gerechnet mit Excel-Darlehenstilgungszeitplan.
- Da ist man plötzlich bei einem Strompreis von 5 Cent bzw. besser bei einem 6 Cent Strompreis, hiermit könnte man die Rückzahlungen bewältigen.
- 5 Cent: $300.000.000 \text{ kWh} * 0,05 = 15 \text{ Mill. Euro}$
- 6 Cent : $300.000.000 \text{ kWh} * 0,06 = 18 \text{ Mill. Euro.}$
- 10 Cent: $300.000.000 \text{ kWh} * 0,10 = 30 \text{ Mill. Euro}$
- Bei 50 Mill. Baukosten und 3 % wäre man bei 5,8 Mill. Euro, hier könnte man einen 4 Cent Strompreis erreichen und trotzdem noch die Rückzahlungen bewältigen, vielleicht sogar 3 Cent.
- 4 Cent: $300.000.000 \text{ kWh} * 0,03 = 12 \text{ Mill. Euro}$
- 3 Cent: $300.000.000 \text{ kWh} * 0,03 = 9 \text{ Mill. Euro}$
- 2 Cent: $300.000.000 \text{ kWh} * 0,02 = 6 \text{ Mill. Euro.}$

Fraunhofer Institut Berechnungen Stromgestehungskosten nicht nachvollziehbar

- Das Fraunhofer Institut berechnet, dass Onshore Wind zwischen 4,9 bis 9 Cent pro kWh Stromgestehungskosten haben kann. Fraunhofer ISE. Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien, Juli 2024. S. 2. Siehe: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/studie-stromgestehungskosten-erneuerbare-energien.html> - Zugriffen: 04.03.2025.
- Also dass 5 Cent pro kWh möglich ist, das korrespondiert hier mit einem Preis von 100 Mill. Euro für einen Windpark, also halb so viel wie für Werder Kessin angegeben, **ich kann die Berechnungen des Fraunhofer Instituts also hier nicht nachvollziehen.**
- Vielleicht geht das mit den neuesten Windparks, die höher sind und größere Leistungen haben, aber nicht viel teurer sind: Werder Kessin ist aus dem Jahr 2013!!!

Mögliche Referatsthemen

- Stromgestehungskosten ausrechnen anhand von neuen Windparks (siehe Folien 99-103)
- EEG Gesetz ... wie hat das funktioniert ... 00Teil3, S. 75
- EEG Reform ... welche Modelle werden da diskutiert ... siehe: BMW E Strommarktdesign der Zukunft ...
- Kraftwerkssicherheitsgesetz ... worum geht es da ... 00Teil3, S. 124 ff.
- Strommarkt: Redispatch Was ist das ... Problem der Abregelung von Offshore und anderen Windparks ... Netzausbau ... Netzentgelte, 00Teil3, S. 99 ff.
- Strommarkt: Welche Rolle haben die Übertragungsnetzbetreiber, 00Teil3, Geladen Batteriepodcast mit Bammert, Schmid ...
- Strommarkt: Netzausbau ... Ziele ... Kosten ... Erdkabel ... Freileitungen ... reicht das, 00Teil3, S. 87 ff.
- Strom: Strompreiskompensationen SPK und Carbon Leakage Schutz für die Industrie, siehe DEGHSt Webseite ... CDU/SPD Idee die Stromsteuer senken, das wären aber viel zu hohe Einnahmeverluste, siehe 00Teil3, S. 69-74
- Was ist das europäische Emissionshandelssystem EHS bzw. ETS?, siehe 00Teil3, 138-153, und mehr u.a. zur Marktstabilitätsreserve S. 187-203.
- Bürgerenergiegesetze, ... was gibt es schon ... was wäre gut ... ist das möglich, ‚frei Laden für das E-Auto‘, wenn man in Region mit sagen wir mal 20 Werder Kessin Windparks lebt, 00Teil3, S. 85 ff.
- Klimaschutzverträge ... was ist das ... lässt sich damit die Stahl- und Chemieindustrie umbauen?
- Klimageld ... was ist das? ... warum gibt es es nicht in Deutschland ... was sagt die EU dazu ...
- Wasserstoff
- Umbau Stahlindustrie
- Umbau Chemieindustrie
- Umbau Zementindustrie
- Was sind E-Fuels ... wie werden sie hergestellt ... Ineratec Fabrik ... Kosten grünes Benzin, Diesel, Kerosin?
- Stromspeicher
- Wärmespeicher
- Was ist CCS, was ist CCU, was ist Plastikrecycling, was ist DAC?
- Solar: Balkonkraftwerke, Stromgestehungskosten Solar hier und in Afrika, Produktionskapazität weltweit
- Andere Länder: USA, China, Japan, Schweden, Dänemark, Brasilien ... 00Teil3, S. 229 ff.
- Handels- und Industriepolitik, z.B. in der EU der Net Zero Industrie Act, der den Aufbau eigener Produktion in bestimmten Bereichen vorsieht, 00Teil4, S. 181 ff., siehe dazu das Beispiel Solar ... und die Frage, wie man die Nachfrage nach erneuerbaren Energien steigern kann ... 00Teil3, S. 251 ff.

Infos

Kanäle, Reihen:

- Geladen Der Batteriepodcast:
<https://www.youtube.com/@GeladenBatteriepodcast>
- KlimaZeit Tagesschau:
<https://www.youtube.com/@tagesschau/search?query=KlimaZeit>
- Michael Sterner: https://www.youtube.com/@michael_sterner
- Doktor Whatson, Wissen schafft Energie:
<https://www.youtube.com/@DoktorWhatson>
- Breaking Lab: <https://www.youtube.com/@BreakingLab>

Erneuerbare Energien weltweit

- Wind und Sonne – Energierevolution? Mit offenen Karten, Arte, 15.02.2025: <https://www.youtube.com/watch?v=HK9f6rD-9T4>

Windkraft

- Windkraft:
- Ingenieurskunst – Patrick Sauter. Die Zukunft der Windkraft – Deutschland ganz vorne dabei! 03.12.2025
<https://www.youtube.com/watch?v=npPjWEAblz8>
- Höchste Windkraftanlage der Welt: Großprojekt in der Lausitz | Umschau | MDR, 06.08.2025:
<https://www.youtube.com/watch?v=YFwhzu-NujU>

Erneuerbare Energien Gesetz EEG

- Netztransparenz, Webseite der vier Übertragungsnetzbetreiber 50Hertz, Amprion, TenneT und TransnetBW. Infos zum EEG Finanzierungsbedarf: <https://www.netztransparenz.de/de-de/Erneuerbare-Energien-und-Umlagen/EEG/EEG-Finanzierung/EEG-Finanzierungsbedarf/EEG-Finanzierungsbedarf-2025>
- EEG Gesetz Wikipedia: <https://de.wikipedia.org/wiki/Erneuerbare-Energien-Gesetz>

Das EEG Gesetz soll verändert werden, erste Infos gibt es dazu, siehe: EEG Reform 2027 Leak, Michael Sterner, Verschlussache EEG 2027: <https://www.youtube.com/watch?v=QGGa5F2QwR0>

Links Wasserstoff

- Wasserstoff:
- Die Projekte hinter der Energiewende, die fast niemand kennt. Dr. Watson, Breaking Lab. 30.11.2025.
<https://www.youtube.com/watch?v=YLrdUEgpA&t=19s>
- Stahl aus Wasserstoff - Kann das Deutschlands Stahlindustrie retten? Breaking Lab. 27.11.2025.
<https://www.youtube.com/watch?v=hpKTx9c433s>
- Michael Sterner. Wasserstoff: Von der Dunkelflaute zum hellen Sturm. 16.11.2025. <https://www.youtube.com/watch?v=bdROO68zkJs>
- H2 Global die Deutsch-Niederländische Stiftung, die Wasserstoffimporte nach Europa organisiert: <https://h2-global.org/>
- Es gibt diverse weitere Webseiten für eine Zusammenarbeit bei Wasserstoff: <https://www.clustercollaboration.eu/find-clusters-partners>

Links Speicher

- Speicher
- Geladen Batteriepodcast mit Hans Urban von Ecostore: Großbatterien an der Strombörse - Hans Urban (Ecostor), 09.06.2024:
<https://www.youtube.com/watch?v=GSv3rN57trs>
- Siehe auch: Geladen Batteriepodcast mit Dirk Biermann: Großspeicher-Boom: Werden Netzbetreiber überrollt? - Dr. Dirk Biermann (50Hertz), 04.05.2025:
https://www.youtube.com/watch?v=Dt_noZ4BEj8&t=8s
- Michael Sterner. Speicher Wie geht's weiter. 23.11.2025.
<https://www.youtube.com/watch?v=M2l6WKTj660>

Links Strommarkt / Übertragungs- und Verteilnetzbetreiber

- Infos zum Strommarkt:
<https://energiewende.bundeswirtschaftsministerium.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2020/06/Meldung/direkt-erklaert.html>
- Gute Infos zum Zustand des Stromnetzes: Yes! 78 GW von 500 GW GROSSBATTERIEN genehmigt! XXL-Akkus Dr. Jochen Bammert / Dr. Marine Schmid, Transnet BW, siehe: 14.12.2025:
<https://www.youtube.com/watch?v=sqWitRTBjYQ>
- Marktmachtbericht, Februar 2026:
https://www.bundeskartellamt.de/SharedDocs/Publikation/DE/Berichte/Marktmachtbericht_2024_25.pdf?__blob=publicationFile&v=4
- Marktmacht im Strommarkt – und die Rolle der Politik, Patrick Sauter:
<https://www.youtube.com/watch?v=A8ZmW6l3wVo&t=25s>
- Problem mit Stromleitungen Netzanschluss Geladen Batteriepodcast:
<https://www.youtube.com/watch?v=6JCSCd0wZ3w>

E-Auto-Akkus

- Geladen Der Batteriepodcast:
<https://www.youtube.com/@GeladenBatteriepodcast>

Links Systeme gesicherter Leistung

- Zum Thema Systeme gesicherter Leitung, hier genannt Sektorenkopplung: Die unterschätzte Revolution: Sektorenkopplung erklärt - Prof. Veit Hagenmeyer:
<https://www.youtube.com/watch?v=ODa8kB6Mg5g>
- Ideen zu Speichern, KlimaZeit:
<https://www.youtube.com/watch?v=B0LSrUOFXjY>
- Pumpspeicherkraftwerk:
<https://www.youtube.com/watch?v=nJUeF8G1-Kc>

Link Kraftwerkssicherheitsgesetz (KWStG)

- Konsultationsverfahren 11.09.2024 eröffnet:
<https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Meldung/2024/20240911-kraftwerkssicherheitsgesetz.html>
- Erster Versuch scheitert, CDU lehnt das Gesetz ab, mehrere Gesetze müssen in der neuen CDU/SPD-Koalition weiter bearbeitet werden:
<https://www.twobirds.com/de/insights/2025/germany/update-zu-den-gesetzesvorhaben-der-bundesregierung-im-energierecht>
- Auf der Bundestag Webseite gibt es keine aktuellen Infos, das Gesetz befindet sich derzeit noch im Abstimmungsprozess im Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMW, Informationen müssen der Öffentlichkeit nicht gegeben werden, siehe diese Reaktion auf eine Anfrage im November 2025: <https://fragdenstaat.de/anfrage/stand-des-regierungsvorhabens-umsetzung-kraftwerkssicherheitsgesetz/>

Link Klimageld / andere Strompreissenkung

- Siehe: <https://www.iwkoeln.de/studien/andreas-fischer-ralph-henger-mehrheit-fuer-strompreissenkung.html>

Energiegemeinschaften

- Energiegemeinschaften ... sollen im Sommer 2026 ermöglicht werden:
<https://www.energieforschung.de/aktuelles/news/2025/energiegemeinschaften-als-schluessel-zur-lokalen-energiewende>

Bürgerenergiegesetze

- MV: <https://www.regierung-mv.de/Landesregierung/wm/Energie/Wind/B%C3%BCrger-und-Gemeindebeteiligungsgesetz/>

Aktuelle staatliche Änderungen:

- Aktuell 2026 6,5 Mrd. staatlicher Zuschuss zu den Netzentgelten und für 600.000 Unternehmen und Landwirte eine dauerhaft niedrigere Stromsteuer: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/niedrigere-netzentgelte-2382396>
- Netzpaket, Referentenentwurf 30. Januar 2026, viele Infos dazu vom Bundesverband erneuerbare Energie: <https://www.bee-ev.de/themen/fachthemen/netzpaket>
- Heizungsgesetz, Michael Sterner: <https://www.youtube.com/watch?v=x5N52PGF12g>
- EEG Reform 2027 Leak, Michael Sterner, Verschlussache EEG 2027: <https://www.youtube.com/watch?v=QGGa5F2QwR0>

Weitere Infos bzw. Links

- Siehe: www.tradefocus.de/consult
- Hier sind die Hintergrundtexte zu dieser Präsentation verfügbar:
 - 00Teil0 Zusammenfassung;
 - 00Teil1 Energiewende weltweit und Rohstoffe für die Energiewende;
 - 00Teil2 Zement; CCS, CCU und DAC; Stahl; Ammoniak, Methanol, Synthetic Gas, Elektrolyseure, Elektrolyseure und Wasser, Firmen und Projekte in Deutschland, sonstige Chemie; weitere Speicherlösungen, u.a. Großbatterien, Pumpspeicher etc.; Energieverbrauch Deutschlands nach der Energiewende; Debatte um den BDI Bericht Energiewende auf Kurs bringen 2025;
 - 00Teil3 Emissionen Überblick Länder; Übereinkommen von Paris, bilaterale Abmachungen; Deutschland Regulatorik; EU Regulatorik; weitere Länder: USA, China etc.;
 - 00Teil4 sonstige Themen: Wem gehört was?; PPAs mit Windparks; Lithium und Akkutechnik.
 - 00Teil5: Linkliste und Literaturverzeichnis