

# Energiewende - Realistische Umsetzung statt politischer Utopie

Der Weg vom visionären Traum zum erreichbaren Ziel  
Ein (bewusst unvollständiges) Ideenpapier und Denkansatz

Dr. Benno Ganser  
Prof. Alwin Burgholte

Überarbeitete Version, Januar 2024

**ENERGIEWENDE**

## Inhaltsverzeichnis:

1. Warum „Energiewende“?
2. Gründe für dieses Dokument
3. Ideales Ziel – was soll erreicht werden, und wann?
4. Status Quo heute
5. Was fehlt? Was müssen wir aufbauen?
6. Fazit

## Die Autoren:

Dr. Benno Ganser ist promovierter Chemiker. In seiner über 40-jährigen Berufserfahrung hat Dr. Ganser vorwiegend in der Energie- und Umwelttechnik sowie der Petrochemie gearbeitet. Schwerpunkte seiner Arbeit waren für knapp 20 Jahre die kerntechnische Abfallbehandlung, die Altlastensanierung, die Abwasser- und Abgasreinigung. Weitere 20 Jahre war sein Arbeitsschwerpunkt in der petrochemischen Industrie, vor allem bei der Produktion von Grundchemikalien, wie Olefine, Ammoniak und Wasserstoff. Dr. Ganser verfasste eine Reihe von Veröffentlichungen und Fachvorträgen. Derzeit ist er unabhängiger Consultant und Interim-Manager. Dr. Ganser ist seit 1988 Mitglied der FDP. Neben kommunalpolitischen Aktivitäten ist er Mitglied im Landesfachausschuss Umwelt der FDP Rheinland-Pfalz.

Prof. Dipl.-Ing. Alwin Burgholte war im Fachbereich Ingenieurwissenschaften der Jade Hochschule Wilhelmshaven zuständig für den Bereich Leistungselektronik und Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV). Im Forschungsschwerpunkt Elektromagnetische Verträglichkeit bearbeitete er die Fachgebiete Netzurückwirkungen/Power Quality, die Geräte-EMV mit CE-Zertifizierung und die Elektromagnetische Umweltverträglichkeit (EMVU). In Rahmen des Technologietransfers verfügt er über mehr als 20 Jahre Erfahrung in der messtechnischen Untersuchung von Störproblemen in der elektrischen Stromversorgung, insbesondere auch bei der Ermittlung der Störursachen. Er arbeitete an zahlreichen Forschungs- und Entwicklungsprojekten, deren Ergebnisse auf diversen Fachkongressen vorgestellt und publiziert wurden, und führt Tagesseminare zum Thema Power Quality durch.

## 1. Warum „Energiewende“?

Die Gründe für die sog. Energiewende sind seit langem diskutiert und mittlerweile gesetzlich geregelt.

- Wie wollen eine „bessere Welt für unsere Enkel“, denn die Klimaerwärmung steigt in den letzten Jahren immer stärker an. Das Pariser Abkommen verpflichtet die teilnehmenden Staaten auf eine maximale Temperaturerhöhung von 1,5°C.
- Wir müssen erkennbare Fehlentwicklungen korrigieren, wie wir als FDP es seit Generationen getan haben – siehe TA Wasser, TA Abfall, TA Luft, etc., wesentlich von der FDP mitgeprägt.
- Wir müssen dabei Ressourcen schonen – Abfälle minimieren, Kreislaufwirtschaft optimieren, dabei **Langzeitsicherheit und Versorgungssicherheit** gewährleisten
- Wir sollten nicht ausschließlich auf Sonne, Wind und Wasserkraft setzen, sondern offen für alle Technologien sein. Denn das Ziel ist, bis 2045 klimaneutral zu sein, nicht bis dahin ausschließlich die Wasserstoffwirtschaft eingeführt zu haben.
- Dazu müssen wir klimaschonende Energien (CO<sub>2</sub>-Freie Energieerzeugung) ausbauen und Infrastrukturen (Gasnetze) weiternutzen, sowie auch andere emissionsarme Energien weiterentwickeln und Möglichkeiten zur sicheren Abtrennung von Klimagasen entwickeln, wo es sinnvoll und unumgänglich ist.
- Wir müssen die Probleme der Vergangenheit lösen, nicht vor uns herschieben. Das gilt insbesondere für den nuklearen Abfall - vor 10 Jahren wurde alle bisherige Entwicklung ignoriert und man fing wieder von vorne an – aus politischen Gründen.
- Wir müssen den Gesamt-Aufwand und die Gesamtkosten der Energiewende quantifizieren, wir müssen einen Plan zur Implementierung aufzeigen, und dürfen unseren Enkeln keine gigantischen Schuldenberge hinterlassen, denn:  
  
⇒ **Die Umstellung auf regenerative Energien ist historischer Paradigmenwechsel, d.h. weg von geologisch gespeicherten Energieformen hin zu einem neuen Energiekreislauf. Das bedeutet einen komplexen globalen Kraftakt, mit entsprechenden Kosten.**

## 2. Gründe für dieses Dokument

### 2.1 „Energiewende“ als politisches Ziel

Die „Energiewende“ soll Deutschland wie Europa zu einer Energieversorgung führen, welche die Emission klimaschädlicher Gase minimiert. Dabei sollen die globalen Ressourcen maximal geschont werden. Regenerative Energieformen stehen im Vordergrund – so das politische „Credo“.

### 2.2 Derzeitige politische Planung und ihre Lücken

Bisher ist – aus Sicht der Autoren – bei politischen Entscheidern nur unzureichende technisch/wirtschaftliche Kompetenz bei der Energiepolitik erkennbar. Dies betrifft vor allem den erheblich steigenden Strombedarf durch Entfall fossiler Energiequellen. Es gibt zwar einige Gutachten zur Energiewende, die widersprechen sich jedoch teilweise signifikant. Die meisten bescheinigen der Bundesregierung Fehler in der strategischen Planung. In diesem Dokument geht es darum, die Größenordnung der Herausforderung zu verstehen und realistische Wege zu skizzieren.

### 2.3 Wie kommen wir dorthin?

Es sollte uns als Freie Demokraten darum gehen, Ideale und Visionen zu entmythologisieren, ihre Machbarkeit zu prüfen, Lücken zu definieren, die Konsequenzen aufzuzeigen. Es gilt zu definieren, mit welchen realistischen und bezahlbaren Schritten die „Energiewende“ erreichbar ist. Wir müssen einen Implementierungsplan aufstellen, wie es das Bundesverfassungsgericht gefordert hat. Die technischen Grundlagen sind seit langem bekannt. Die Elektrifizierung der bisher fossilen Wirtschaft ist jedoch erheblich teurer als die aktuellen Technologien. Die Beiträge des BFA (UA Energie) zum Bundestagswahlprogramm 2021 sind dazu ein guter erster, aber noch nicht ausreichender Schritt.

Dieses Dokument befasst sich als Schwerpunkt mit der aus unserer Sicht **viel zu niedrigen Energiebedarfsprognosen** der bisherigen Bundesregierung. Für eine Energiewende werden fast exponentiell wachsende Mengen an klimafreundlichem Strom erforderlich. Wir Freien Demokraten sind gefordert, unsere Stimme zu erheben und alles politisch Machbare zu tun, dass unser Land diesen Weg auch wirklich gehen kann, und nicht nur davon träumt.

- ⇒ **Die „Energiewende“ ist komplex und berührt alle Aspekte des Umweltschutzes, der globalen Entwicklungspolitik, und vielen anderen Feldern wie der Kreislaufwirtschaft. Das alles wirkt komplex zusammen – das ist die eigentliche Bedeutung von Ökologie.**
- ⇒ **Dieses Vorhaben benötigt - neben technisch-wissenschaftlicher Kompetenz - die Kenntnis des Zusammenwirkens aller Bereiche des menschlichen Zusammenlebens mit der Umwelt und der Natur. Dafür reicht kein Parteibuch, sondern nur der Sachverstand aller verfügbarer authentischer Ressourcen.**

### 3. Ideale politische Ziele – was soll erreicht werden, und wann?

- CO2-neutrale Energieerzeugung bis 2045
- Vorwiegend regenerative Quellen, mit nachhaltiger Speichertechnik bzw. Stromreserve für windarme dunkle Zeiten, zur Sicherung der Energieversorgung.
- Wärmeerzeugung und Fortbewegung mit Energie aus CO2-frei gewonnenem Wasserstoff, Strom aus Akkumulatoren oder anderen CO2-neutral produzierten Treib- bzw. Brennstoffen.
- Alle diese Energien sollen auch für Geringverdiener bezahlbar bleiben.

### 4. Status Quo heute

#### 4.1 Status Quo - Der Energiebedarf weltweit

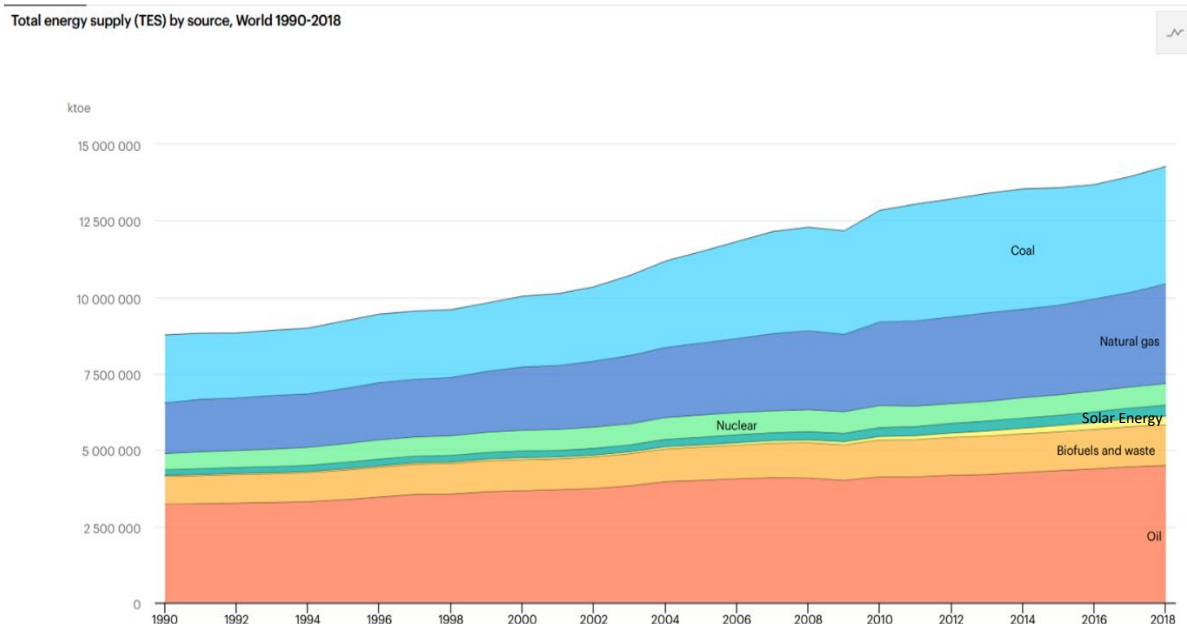


Abb. 1: Der Energiebedarf weltweit<sup>1</sup>

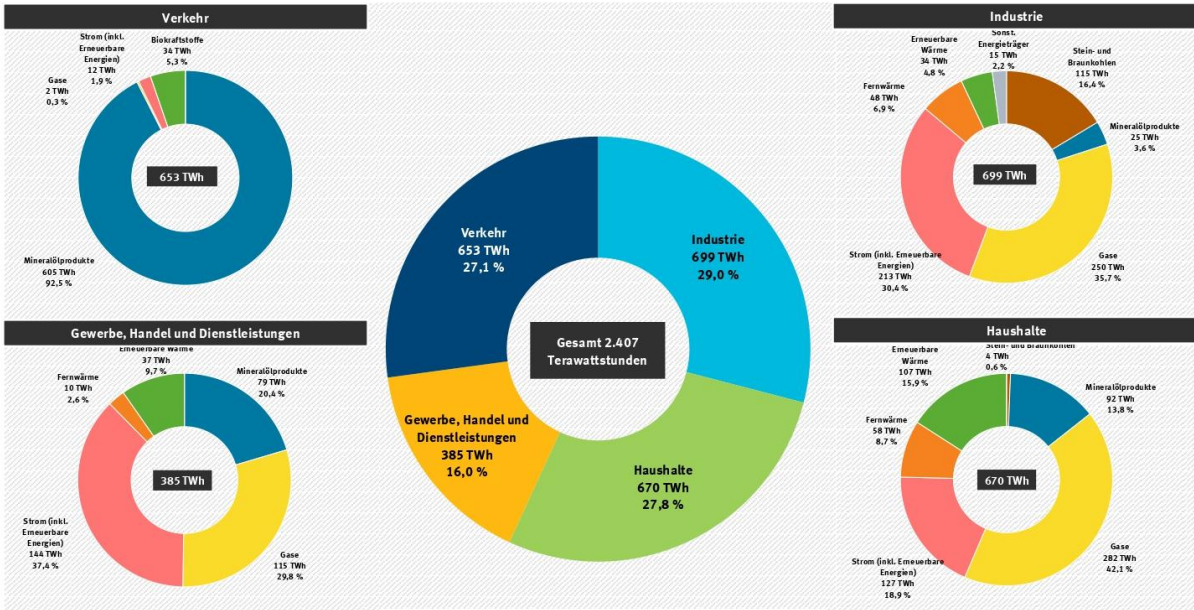
- Die 15 Mio. ktoe entsprechen ca. 174.450 TWh  
1 ktoe (Kilo Tonne Öleinheit) = 11,63 GWh (Giga Watt Stunden)
- In 30 Jahren stieg der globale Energiebedarf um 60%
- Haupt-Treiber waren China / Ostasien: +146%; USA +17%, EU +7%

⇒ **Sämtliche fossile durch regenerative Energieträger zu ersetzen ist eine Mammutaufgabe. Bis 2045, in der geplanten kurzen Zeit, ist dies nicht zu realisieren** (siehe auch Kap. 5.8., S. 22)

<sup>1</sup> Total Energy Supply (TES) by Source, World 1990 – 220, [www.iea.org](http://www.iea.org)

## 4.2 Status Quo - Der Endenergiebedarf in Deutschland 2021

Endenergieverbrauch 2021 nach Sektoren und Energieträgern\*



\* vorläufige Angaben

Quelle: Umweltbundesamt auf Basis AG Energiebilanzen, Auswertungstabellen zur Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland, Stand 09/2022

Abb.2 Der Energiebedarf in Deutschland 2021<sup>2</sup>

Vereinfacht ausgedrückt, brauchen wir Energie als elektrischen Strom, Energie zur Wärmeerzeugung und zur Energie zur Fortbewegung. Die Abbildung oben bezieht sich auf den gesamten Bedarf aller Energieformen in Deutschland, die Primärenergie.

Per Definition kann Energie Arbeit leisten. Elektrische Energie wird in kWh (Kilowattstunden) und Arbeit in J (Joule) gemessen. Dabei gilt 1 Ws = 1 J. Die Leistung wird in Watt, Kilowatt (kW), Megawatt (MW), Gigawatt (GW) und Terawatt (TW) angegeben. Die Energie errechnet sich aus dem Produkt Leistung mal Zeit. Wegen der besseren Vergleichbarkeit werden alle Energieangaben deshalb in kWh angegeben.

Die Abb. 2 in Zahlen gefasst ist wie folgt:

- Art des Endenergieverbrauchs und ihre Anteile in Deutschland:

Gesamtbedarf:	2407 TWh in 2021
davon Strom:	496 TWh in 2019
davon fossile Brennstoffe:	1715 TWh in 2019
Stromanteil:	21 %

- Aufgeschlüsselt nach Sektoren (nach Abb. 2, 2021)

Verkehr	653 TWh, davon 641 TWh fossile Brennstoffe
Industrie	699 TWh, davon 438 TWh fossile Brennstoffe

<sup>2</sup> <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-nach-energietraegern-sektoren#entwicklung-des-endenergieverbrauchs-nach-sektoren-und-energietraegern>

Haushalte 670 TWh, davon 432 TWh fossile Brennstoffe  
 Gewerbe, Handel, DL 385 TWh, davon 204 TWh fossile Brennstoffe

- ⇒ **Es ist offensichtlich, dass ein Ersatz fossiler Brennstoffe durch Strom oder Grünen Elektrolyse-Wasserstoff viel mehr Strom brauchen wird, als heute erzeugt wird. Wasserstoff ist nur ein Energiespeichermedium und muss selbst durch Elektrolyse hergestellt werden, d.h. ebenfalls mit Strom.**

### 4.3 Status Quo - Die Pläne der Bundesregierung

#### Energiewende:

Sie soll bis 2045 vollendet sein. Abschaltung der letzten Kernkraftwerke wird bis 2022 erfolgen (8,1 GW), Ausstieg aus Kohlekraftwerken bis 2038 (44,7 GW). Beide Kraftwerkstypen zusammen repräsentieren ein Energiepotential von ca. 212,5 TWh pro Jahr, das abgebaut und mit durch Sonne / Wind ersetzt werden soll. Zusätzlich wird grüner Wasserstoff als Alternative zu fossilen Energieträgern angesehen. Die Wasserstoffwirtschaft wird mit Bundesmitteln unterstützt.

Kraftwerk	Leistung bis 2022, bzw. 2038 abzuschalten	Energiepotenzial
Kernkraft	8,3 GW, in 2019 mit 7510 Volllaststunden	62,3 TWh
Braunkohle	20,71 GW, in 2019 mit 4620 Volllaststunden	95,7 TWh
Steinkohle	24 GW, in 2019 mit 1830 Volllaststunden	43,9 TWh
	Summe:	<b>212,5 TWh</b>

Grüner Wasserstoff muss mit Strom, durch Wasser-Elektrolyse, erzeugt werden<sup>3</sup>. Dabei muss der Energiegehalt des Wasserstoffs erst einmal als Elektrolysestrom zur Verfügung stehen. Dazu kommen die Umwandlungsverluste der Elektrolyse, d.h. der Wirkungsgrad einer entsprechenden Anlage. Dieser beträgt je nach Anlagentyp zwischen 65 - 80%<sup>4</sup>. D.h., jede TWh Wasserstoff-Energie muss durch 1,2-1,35 TWh elektrische Energie erzeugt werden.

#### Energiebedarfsprognose

Nach dem derzeitigen Koalitionsvertrag<sup>5</sup> von SPD, GRÜNEN und FDP wird im Jahr 2030 der Bruttostrombedarf auf 680 – 750 TWh pro Jahr geschätzt. Das sind 180 – 250 TWh mehr als derzeit. Die Elektrifizierung des Verkehrs, der Gebäudeheizungen und die aufzubauende Wasserstoff-Wirtschaft sollen damit abgedeckt sein. Weitere Bedarfsprognosen der Bundesregierung bis 2045 sind uns nicht bekannt.

#### Versorgungssicherheit

Hierzu macht die Bundesregierung keine klaren Angaben. Die lückenhafte Versorgung mit regenerativen Energien wird gesehen – sowohl Wind als auch Solarstrom stehen witterungsbedingt nur zu je max. 1.920 h, Solar 920h jährlich zur Verfügung, d.h.

<sup>3</sup> Ergebnispapier der Bundesregierung „Strom 2030 - Langfristige Trends – Aufgaben für die kommenden Jahre“

<sup>4</sup> Current status of water electrolysis for energy storage, grid balancing and sector coupling via power-to-gas and power-to-liquids: A review; Renewable and Sustainable Energy Reviews 82/2018; Alexander Buttler, Hartmut Spliethoff, TU München

<sup>5</sup> Koalitionsvertrag von SPD, Bündnis90/DIE GRÜNEN und FDP, S. 56

weniger als 22% des Jahres. Entstehende Lücken sollen durch Sektorkopplung, intelligente Netzwerke (Smart Grid) und den europäischen Verbund (z.B. Nordlink) abgedeckt werden. Die Bundes-Netzagentur weist auf ihrer Website eine derzeitige Netzreserve von nur ca. 7 GW konventioneller Kraftwerke aus. Die Versorgung mit Wasserstoff, zu dessen Bedarf keine Aussagen gemacht werden, soll auch durch Importe gewährleistet werden<sup>6</sup>.

Mit der dazukommenden stark fluktuierenden Wind- und Solarleistungseinspeisung wird die Netzstabilität erheblich gefährdet, denn Wind- und Solaranlagen können kein eigenes 50 Hz-Netz aufbauen und auch keinen Beitrag zur Frequenz-Stabilisierung liefern. Nur leistungsstarke Kraftwerke, die sog. Grundlast-Kraftwerke, können diese konstante Frequenz vorgeben. Zur Aufrechterhaltung der Netzstabilität muss immer eine Mindest-Erzeugerleistung von 25% - 35% von den 50 Hz-Kraftwerken zur Verfügung stehen.

#### Planungsgrundlagen

Woher die Pläne der Bundesregierung stammen, ist aus ihren Veröffentlichungen selbst nicht klar. Ein Gutachten, welches die o.g. Zahlen stützt, stammt vom Öko-Institut Darmstadt<sup>7</sup>. Dieses Gutachten von Dezember 2015 bezieht sich vorwiegend auf interne Modelle des Instituts selbst, mit wenig technischen Referenzen. Ferner sieht es keinen „Grünen Wasserstoffs“ vor, der sei zu teuer. Als Leittechnik zur Reduktion klimaschädlicher Gase werden CCS/CCU Verfahren vorgeschlagen (Carbon Capture and Storage / and Use).

Ein weiteres Gutachten von PROGNOS<sup>8</sup> vom Juni 2014 kommt auf Basis von vorwiegend wirtschaftlichen Trendszenarien, ebenfalls mit wenig technischen Referenzen, für das Jahr 2050 zu einem Endenergiebedarf von knapp 6400 PJ, d.s. umgerechnet knapp 1800 TWh.

#### **4.4 Die Stromerzeugung heute**

Die nachfolgende Tabelle 1 listet alle in 2020 verfügbaren Anlagen zur Stromerzeugung mit ihren installierten Leistungen auf. Die Abbildung 3 zeigt den elektrischen Energiebedarf für das Jahr 2019.

---

<sup>6</sup> Nationale Wasserstoffstrategie der Bundesregierung, Juni 2020

<sup>7</sup> Klimaschutzszenario 2050, Studie des Öko-Instituts e.V. und Fraunhofer ISI für das BMU, Dezember 2015

<sup>8</sup> <https://www.prognos.com/de/projekt/entwicklung-der-energiemaerkte-energiereferenzprognose>



Nettonennleistung der Stromerzeugungsanlagen <sup>1)</sup> nach Energieträgern	2019	2020 <sup>2)</sup>
	MW	
Braunkohle	21 033	20 709 <sup>3)</sup>
Kernenergie	9 515	8 113
Steinkohle	23 029	23 957 <sup>3)</sup>
Erdgas	29 835	30 158 <sup>3)</sup>
Mineralöl	4 321	4 318 <sup>3)</sup>
Erneuerbare, davon:	123 826	130 270
Windkraft onshore	53 333	55 100
Windkraft offshore	7 507	7 725
Wasserkraft	5 595	5 605
Biomasse	8 327	8 490
Photovoltaik	49 016	53 300
Geothermie	48	50
Übrige konventionelle Energieträger	6 450	6 440
<b>Gesamt<sup>4)</sup></b>	<b>218 009</b>	<b>223 965</b>

Tabelle 1.: 2020 verfügbare Erzeugeranlagen mit ihren installierten Leistungen<sup>9</sup>

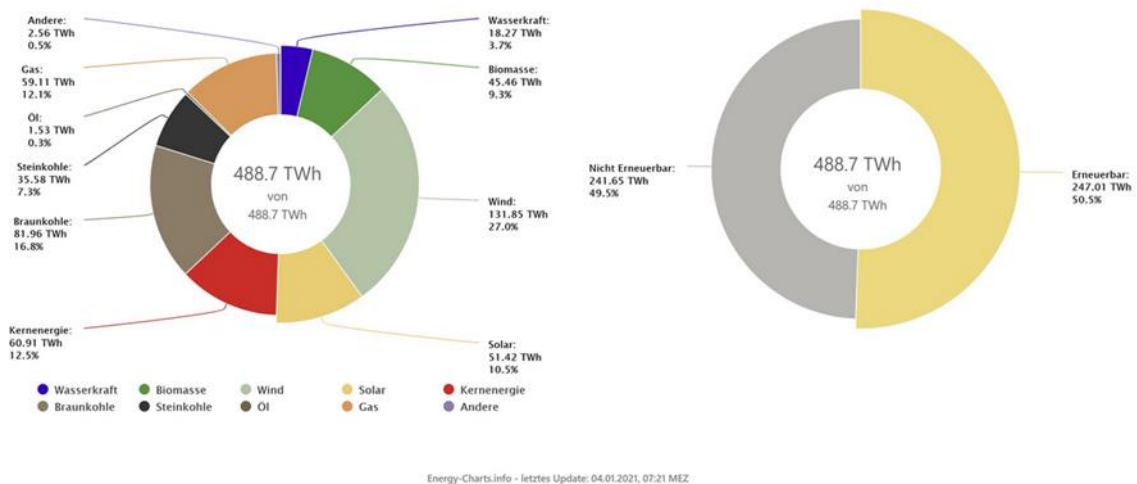


Abb. 3: Öffentliche Nettostromerzeugung in Deutschland, 2019 wurden 515,6 TWh netto erzeugt

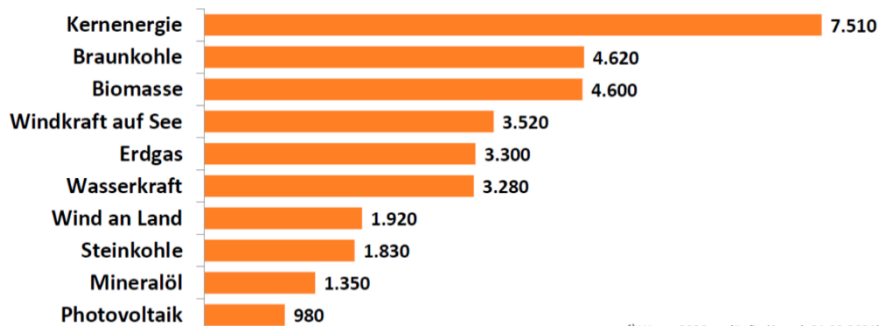
Kohle, Öl, Erdgas und Kernenergie lieferten mit 87,3 GW installierter Leistung 239,1 TWh des Energiebedarfs, das entspricht 49 %. Wind- und Solaranlagen haben eine installierte Leistung von 116,1 GW und lieferten damit 183,3TWh, das entspricht 37,5%. Künftig sollen Wind- und Solaranlagen die konventionell erzeugte Energie ersetzen. Die dafür erforderlichen regenerativen Energiemengen sind folgende:

- Reduktionsgrad 65% bis 2030: 155 TWh (ca. 40 TWh mehr als heute)
- Reduktionsgrad 100% bis 2045: 240 TWh (ca. 125 TWh mehr als heute)

Dazu muss man allerdings berücksichtigen, dass die Verfügbarkeit regenerativer Energien sehr unregelmäßig ist. Dies wird deutlich an der folgenden Graphik.

<sup>9</sup> www.bdew.de/media/documents/Jahresbericht\_2020\_final\_korr.pdf

## Jahresvolllaststunden<sup>1)2)</sup> 2020 Gesamte Elektrizitätswirtschaft; Kraftwerke im Markt



<sup>1)</sup> Werte 2020 vorläufig (Stand: 31.03.2021)  
<sup>2)</sup> bedeutsame unterjährige Leistungsveränderungen sind entsprechend berücksichtigt

Quelle: BDEW

Abb 4: Jahresvolllaststunden der Kraftwerke am Markt in 2020<sup>10</sup>

Wind- und Solarenergie sind stark witterungsabhängig. Windräder liefern nur im Bereich der Windstärken 3 bis 6 Leistung. Die installierte Leistung steht insgesamt bei onshore-Anlagen für ca. 2.000 h, bei offshore-Anlagen für ca. 3.500 h zur Verfügung. Bei Solarenergie sind es nur ca. 1.000 h pro Jahr. Ein Jahr hat 8.760 Stunden. Verfügbare Solar- und Windenergie kann also den Strombedarf alleine, ohne substantielle Speichertechnik, nicht decken. Der Energiebedarf muss also während deutlich mehr als 4.000 h im Jahr anders abgedeckt werden. Wieviel mehr an installierter Leistung das sein müsste, wird deutlich, wenn man den Strombedarf über den Verlauf eines Tages analysiert.

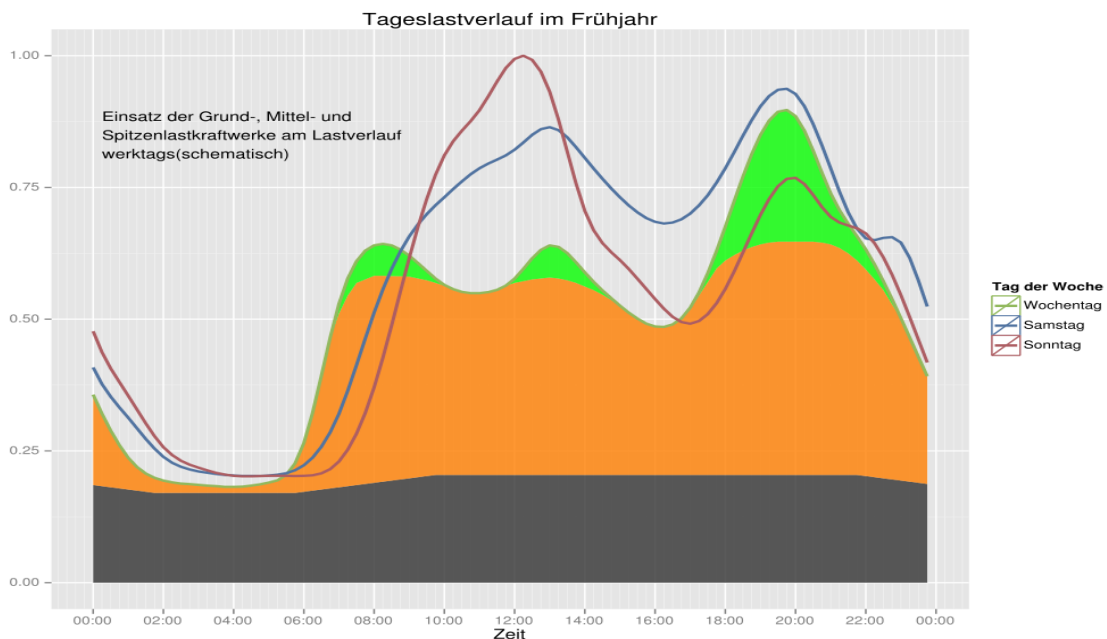


Abb. 4: Tageslastverlauf im Frühjahr<sup>11</sup>

<sup>10</sup> [www.bdeu.de/service/daten-und-grafiken/jahresvolllaststunden/](http://www.bdeu.de/service/daten-und-grafiken/jahresvolllaststunden/)

<sup>11</sup> [de.wikipedia.org/wiki/Spitzenlast](http://de.wikipedia.org/wiki/Spitzenlast)

Man kann aus dieser Graphik ableiten, dass der höchste Strombedarf (Spitzenlast) ca. 82 GW beträgt. Sie fällt zwischen 16:30 – 22 Uhr an. In den Wintermonaten ist es zu dieser Zeit dunkel. Von ca. 8:00 – 23:00 h wird eine Verfügbarkeit von ca. 41 GW gebraucht, der Grundlastbedarf zwischen 23:00 – 6:00 Uhr liegt bei ca. 16 GW.

## 5. Was fehlt? Was müssen wir aufbauen?

### 5.1 Generelle Einschätzung

Die Pläne der alten Bundesregierung erscheinen den Autoren dieser Studie sehr unausgewogen. Bereits die derzeit eingeleiteten Maßnahmen der E-Mobilität und der Wasserstoff-Initiative führen die Strombedarfsprognose „ad absurdum“. Außerdem gibt es seitens der Bundesregierung keine klar erkennbare und belastbare Energie-Bedarfs-Prognose.

- Die Vorstellung, man könne allein mit schwankenden regenerativen Kraftwerken wie Solar- und Windstrom ein stabiles Wechselstromnetz aufrechterhalten, ist technisch derzeit ausgeschlossen<sup>12 13</sup>
- Die sehr einseitige Fokussierung auf regenerative Stromquellen wie Solar- und Windstrom, sowie die Fokussierung auf ausschließlich Grünen Wasserstoff als Speichermedium, verstellt einen offenen Blick auf andere Optionen klimafreundlicher Energieversorgung.

### 5.2 Generelle Einschätzung von Fachverbänden und anderen politischen Institutionen

- Viele Fachverbände haben bereits ihre aktive Mitarbeit an der Energiewende signalisiert. Es gibt eine breite politische Unterstützung.
- Es wird von Seiten der Industrie<sup>14 15 16 17 18 19</sup> betont, dass die Wasserstoffwirtschaft einen sehr hohen nicht-fossilen Strombedarf zur Folge haben wird. Besonders hervorheben kann man den CEO der BASF, Dr. Martin Brudermüller<sup>20</sup>.
- Als Konsequenz daraus haben der VCI und der VDI die Initiative „Chemistry4Climate“<sup>21</sup> gegründet, um der Politik klare Handlungsempfehlungen zu geben. Allein in der chemischen sowie der Stahlindustrie werden weit über 800 TWh pro Jahr zusätzlichem Strombedarf für eine klimaneutrale Produktion genannt. Das ist über 30% mehr als von der Bundesregierung insgesamt erwartet.

<sup>12</sup> „Scheitert die Energiewende?“, Prof. Alwin Burgholte, Mai 2021

<sup>13</sup> . FDP Bundesfachausschuss Wirtschaft und Energie / Unterausschuss Energie „Perspektiven der Energiewende bis 2050 und Rolle der Wasserstoffwirtschaft“, Beschluss März 2021

<sup>14</sup> „Roadmap 2050 – Auf dem Weg zu einer treibhausgasneutralen chemischen Industrie in Deutschland“, Studie von DECHEMA und FutureCamp für den VCI.

<sup>15</sup> „Der Beitrag der Stahlindustrie zu einer Klimaneutralen Wirtschaft 2050“, 23.05.2019, Wirtschaftsvereinigung Stahl

<sup>16</sup> „CO<sub>2</sub>-Verminderung in der Zementherstellung“, Forschungsinstitut für Energiewirtschaft, 22.01.2018

<sup>17</sup> Zusammenfassung verschiedener Präsentationen beim „Hydrogen Online Workshop 2021“, Mission Hydrogen GmbH, 25.03.2021

<sup>18</sup> „Aktionärsversammlung der BASF am 29.04.2021, Rede des Vorstandsvorsitzenden Dr. Martin Brudermüller

<sup>19</sup> „Notwendigkeit und Chancen für Power-to-X-Technologien“, Prof. Dr. Michael Sterner, OTH Regensburg, für u.a. Uniper, 10/2017

<sup>20</sup> [www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/handelsblatt-wasserstoff-gipfel-basf-chef-wir-muessen-die-ausbauplaene-erneuerbare-energien-dramatisch-beschleunigen/27224188.html](http://www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/handelsblatt-wasserstoff-gipfel-basf-chef-wir-muessen-die-ausbauplaene-erneuerbare-energien-dramatisch-beschleunigen/27224188.html)

<sup>21</sup> <https://www.vci.de/themen/energie-klima/chemistry4climate/chemistry4climate.jsp>

- Der Bundesrechnungshof hat mehrfach die Bundesregierung angemahnt, die Strombedarfsprognose nach oben zu korrigieren<sup>22</sup>
- Das „Handelsblatt“ (Ausgabe 16.04.2021) berichtet über „So gefährdet die Regierung mit falschen Prognosen Deutschlands Energiezukunft“<sup>23</sup>
- Das Bundesverfassungsgericht verpflichtet in seinem Urteil vom 29.04.2021<sup>24</sup> die Bundesregierung zur Nachbesserung im Klimaschutz, vor allem mit einer genauen Planung für die Zeit nach 2030.

## Fazit

- ⇒ **Es ist evident, dass die derzeitige Energiebedarfsprognose der bisherigen Bundesregierung falsch ist und die aufkommenden Probleme fahrlässig negiert.**
- ⇒ **Für die geplante Energiewende muss so schnell wie möglich eine verlässliche Energiebedarfsprognose für Strom sowie den Energiebedarf generell erstellt werden. Belastbare Lösungsansätze sind zu skizzieren.**
- ⇒ **Ohne diese realistische Planung wird der Ausstieg aus fossiler Energie scheitern**

## 5.3 Energiebedarfsprognose Stromerzeugung

### 5.3.1 Situation nach Abschalten von Kohle- und Kernkraft

Von der heute installierten Kraftwerksleistung von knapp 240 GW werden 53 GW nicht mehr verfügbar sein, die über 50% des heute benötigten Stroms erzeugen. Für das Ziel, bis 2050 keinerlei fossile Kraftwerke mehr einzusetzen, besteht damit schon aus heutiger Sicht eine Leistungslücke von knapp 50%.

### 5.3.2 Begrenzungen von Wind- und Solarenergie

Wind- und Solarenergie sind stark witterungsabhängig, sie decken zusammen nur ca. 1.000 h (Solar) bzw. max. 3.500 h (Wind offshore) ab. Für mehr als 4.000 h pro Jahr fehlt die Deckung, das betrifft vor allem Spitzenlastzeiten in den Wintermonaten.

### 5.3.3 Höchstmöglicher Strombedarf – erforderliche Spitzenlast

Aus Abb. 4 geht hervor, dass unter Umständen – d.h. bei Dunkelheit und relativer Windstille - eine Spitzenlast von ca. 82 GW von Kraftwerken der Kaltreserve abzudecken ist. Da heute lediglich eine Kaltreserve von 7 GW durch die Bundesnetzagentur ausgewiesen ist, müsste die Kaltreserve um ca. 75 GW erweitert werden. Nach heutiger Sicht können das nur Wasserkraftwerke, Biomasse, oder Gaskraftwerke sein. Alternativ müssten regenerative Kraftwerke massiv zugebaut werden, mit entsprechenden Stromspeichern, wie sie bereits weltweit eingesetzt werden<sup>25</sup>.

<sup>22</sup> „Bund steuert Energiewende weiterhin unzureichend“, Pressemitteilung des Bundesrechnungshofs vom 08.04.2021

<sup>23</sup> <https://www.handelsblatt.com/technik/thespark/die-oekostromluecke-so-gefaehrdet-die-regierung-mit-falschen-prognosen-deutschlands-energiezukunft/27093874.html?ticket=ST-2476875-iHGgJPtFR572SmgQnnLR-ap4>

<sup>24</sup> BVerfG, Beschluss des Ersten Senats vom 24. März 2021 - 1 BvR 2656/18 -, Rn. 1-270, [http://www.bverfg.de/e/rs20210324\\_1bvr265618.html](http://www.bverfg.de/e/rs20210324_1bvr265618.html)

<sup>25</sup> [www.en-former.com/megabatterien-stuetzen-energiewende/](http://www.en-former.com/megabatterien-stuetzen-energiewende/)

### 5.3.4 Zusätzlicher Strombedarf

Die o.g. Ausführungen zeigen, dass aus heutiger Sicht die Stromversorgungssicherheit durch Abschaltung konventioneller Kraftwerksleistung, der geplanten Sektorkopplung und durch den geplanten Ausbau von Technologien zur Vermeidung klimaschädlicher Emissionen in Gefahr gerät.

Die Erzeugerleistung muss immer exakt der benötigten Leistung bzw. dem elektrischen Verbraucherstrom zeitsynchron entsprechen. Der verbrauchsabhängige Leistungsbezug muss von den Kraftwerken entsprechend eingestellt werden. Mit der dazukommenden stark fluktuierenden Wind- und Solarleistungseinspeisung wird die Netzstabilität erheblich gefährdet. Ausgleich bieten große Akkumulatoren wie oben genannt, die für Minuten, Stunden oder Tage Einspeiseleistungsspitzen und Leistungslücken ausgleichen können. Leistungslücken über Wochen und Monate können nicht durch Akkumulatoren abgesichert werden.

Mit dem Stichwort »Digitalisierung« soll mittels Verschiebung und Zuschaltung von Lasten ein intelligentes Verteilernetz, das Smart Grid, ein Lastmanagement und eine Nachfrageflexibilisierung realisiert werden. Es handelt sich um Schlagworte, die unter dem Stichwort Demand Side Management benannt werden. Verteilt werden kann aber nur das, was auch vorhanden ist. Ist nicht ausreichend regenerative Leistung vorhanden, fordert ein Lastmanagement die Abschaltung der Lasten. Industriebetriebe und ganze Siedlungsbereiche müssten dann planmäßig und rotierend vom Netz genommen werden.

Mit Hilfe der in der Einführung befindlichen Smart Meter kann dann auch künftig der Energieversorger in jedem privaten Haushalt den Leistungsbezug mit schwankenden Preisen steuern. Bei zu wenig regenerativer Leistung muss eben das E-Mobil, die Waschmaschine oder der Geschirrspüler einmal warten. Das Bundeswirtschaftsministerium informiert darüber in einem Newsletter<sup>26</sup>.

Im Klartext heißt das: Die Zuteilung der Leistung erfolgt nur, wenn sie verfügbar ist. Im Sinne einer Versorgungssicherheit, die für ein Industrieland gefordert werden muss, kann bei einer völlig unzureichenden Stromversorgung das Smart Grid alleine keine Lösung sein. Für eine langfristige Ausführung wären zusätzliche Kraftwerke und ausreichende Speichermöglichkeiten, die verschiedenen Power-to-X Technologien, erforderlich. In jedem Fall kann man festhalten, dass neue zusätzliche Stromerzeugungskapazitäten gebaut werden müssen, um die sich abzeichnende Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Im Folgenden werden verschiedene Möglichkeiten diskutiert.

### 5.3.5 Stromnetz-Stabilität bei ausschließlich regenerativer Stromerzeugung

Ein wesentliches technisches Argument findet in der politischen Diskussion keine Beachtung. Alle Wind- und Solaranlagen speisen stromgeregelt in das Netz ein. Sie können kein eigenes 50 Hz-Netz aufbauen und auch keinen Beitrag zur

---

<sup>26</sup> <https://www.bmwi-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2019/05/Meldung/direkt-erklart.html>

Frequenzstabilisierung liefern. Nur leistungsstarke Kraftwerke, die sog. Grundlast-Kraftwerke, können diese konstante Frequenz vorgeben.

Wind- und Solaranlagen liefern nur wetterabhängig elektrische Leistung. Auf der Grundlage des EEG wird die Erzeugerleistung dieser Anlagen jedoch immer bevorzugt abgenommen, und das zu einem für 20 Jahre garantierten Festpreis je kWh. Erzeugte, aber nicht benötigte Leistung, wird, in Ermangelung ausreichend geeigneter Speichermöglichkeiten, zu geringen Preisen am europäischen Markt verkauft, ja, teilweise zu negativen Strompreisen entsorgt. Die nicht-regenerativen Kraftwerke müssen ihre Leistungserzeugung entsprechend reduzieren. Sie erhalten den aktuellen Börsenstrompreis und werden dadurch unwirtschaftlich. Aber: Zur Aufrechterhaltung der Netzstabilität muss eine Mindesterzeugerleistung von 25% bis 35% von den 50 Hz-Kraftwerken immer zur Verfügung stehen.<sup>27</sup>

#### Fazit:

- ⇒ **Selbst wenn man nur den heutigen Strombedarf als Grundlage nimmt, reicht die installierte regenerative Kraftwerksleistung bei weitem nicht aus, um nach Abschaltung der Kohle- und Kernkraftwerke die installierte Leistungslücke von ca. 57 GW pro Jahr zu schließen. Damit fehlen allein für den Ersatz 178,5 TWh pro Jahr.**
- ⇒ **Die systemimmanente witterungsabhängige Leistungsbegrenzung von Wind- und Solarkraftwerken macht eine weiterhin substanzielle nicht-regenerative Stromerzeugung sowie leistungsfähige Stromspeicher erforderlich**
- ⇒ **Der Bedarf regenerativer Energieerzeugung, sowie die erforderliche Kaltreserve, werden umso höher, je größer der zusätzliche Strombedarf durch Sektorkopplung wird.**

## 5.4 Energiebedarfsprognose

### 5.4.1 Verkehr:

Nach Kap. 4 ist der heutige Energiebedarf fossiler Energieträger im Verkehr 725 TWh, davon:

- Individualverkehr 55%, d.s. 360 TWh

100% auf E-Antrieb umrüstbar. Zu berücksichtigen ist der bessere Wirkungsgrad eines E-Antriebs (ca. 60% vs. 30%<sup>28</sup>), d.h. es wird ca. die Hälfte an Energie gebraucht. Dem entsprechen 360 TWh weniger fossile Brennstoffe, aber 180 TWh zusätzliche elektrische Energie.

- Güterverkehr 26%, d.s. 170 TWh

Gewerblicher Verkehr wie Klein-LKW oder Lieferfahrzeuge ist teilweise auf E-Antrieb umrüstbar. Schwerlast- bzw. Fernverkehr eher nicht. Wir gehen von 50% Umrüstung

<sup>27</sup>Bericht über die Mindesterzeugung 2019 - Bundesnetzagentur

<sup>28</sup> <https://dewesoft.com/de/applikationsberichte/reale-fahrversuche-fuer-elektrofahrzeuge>; 14.06.2019

aus. Das sind 85 TWh weniger fossile Brennstoffe, Restbedarf ebenfalls 85 TWh, ca. 40 TWh zusätzlicher Energiebedarf.

- Flugverkehr 15 %, d.s. 100 TWh

Voraussichtlich nur zum kleinen Teil auf E-Antrieb umrüstbar, der Brennstoffbedarf wird bleiben

- Rest (Bahn, Schiff, ...) 4%, d.s. 26 TWh

Wir gehen von 50% Anteil des Bahnverkehrs aus, der elektrifiziert werden kann. Einsparung 13 TWh, Restbedarf 13 TWh, zusätzlicher Energiebedarf 7,5 TWh

- **Fazit Verkehr:**

**Geschätzte Einsparung fossiler Brennstoffe beläuft sich auf ca. 460 TWh**

**Es bleibt ein Restbedarf an Brennstoffen von 200 TWh**

**Es gibt dafür 230 TWh elektrischen Energiebedarf mehr**

#### 5.4.2 Industrie:

Der heutige Energiebedarf fossiler Energieträger in der Industrie sind ca. 440 TWh. Haupttreiber sind die Chemie, Stahl- und Zementindustrie mit zusammen ca. 315 TWh. Darüber hinaus sind fossile Einsatzstoffe als Rohstoffe unerlässlich (beim o.g. Bedarf nicht enthalten). Die Industrien arbeiten seit Jahrzehnten mit zunehmender Energieeffizienz, in der Chemieindustrie z.B. mit >>90%. Die Abwärme wird in fast allen Industrien optimal genutzt, das Einsparpotential daher grundsätzlich begrenzt.

- Chemie (siehe Referenz 13 in Kap. 5.2, Seite 11)

Die chemische Industrie steht ganz vorne bei den Ideen zur emissionsarmen Chemie. Je nach Emissionsziel gibt es 3 Szenarien. Derzeitiger Bedarf an fossilen Brennstoffen, nicht Einsatzstoffen, ist 125 TWh

Szenario 1 „Referenzpfad“: Einsparpotential fossile Brennstoffe ca. 15 TWh, ohne zusätzlichen Strombedarf

Szenario 2 „Technologiepfad“ (d.h. Investitionen in Technologien zur Emissionsverminderung): Einsparpotential ca. 40 TWh mit Begrenzung des zusätzlichem Strombedarfs auf 225 TWh

Szenario 3 „Treibhausgasneutralität 2050“: Keine fossilen Brennstoffe mehr, aber mit 640 TWh zusätzlichem Strombedarf.

- Stahl: (siehe Referenz 14 in Kap. 5.2, Seite 11)  
Derzeitiger Bedarf ist ca. 160 TWh, ohne nennenswertes Einsparpotential. Die WV Stahl sieht bei komplettem Umstieg auf Wasserstoff ca. 130 TWh zusätzlichen Strombedarf und sehr hohe Investitionskosten

- **Zement:** (siehe Referenz 15 in Kap. 5.2, Seite 11)

Derzeitiger Bedarf ist ca. 30 TWh, Einsparpotential ca. 1,2 TWh; Energiebedarf nur sehr eingeschränkt durch Strom zu ersetzen, CO<sub>2</sub>-Emission ist zum großen Teil stofflich immanent bedingt („Brennen“ von Kalk mit Silikatsand).

- **Fazit Industrie:**  
**Es gibt ein geschätztes Einsparungspotential fossiler Brennstoffe auf Basis heute genutzter Technologien von ca. (15-20) TWh.**

**Je nach Szenario ist der Restbedarf fossiler Brennstoffe in Chemie, Stahl und Zement zusammengenommen zwischen (30 – 110) TWh.**

**Der zusätzliche Strombedarf beläuft sich für dieselben Industrien, bei maximalem Ersatz fossiler Energie durch Strom, auf 780 TWh.**

#### 5.4.3 Haushalt und Gewerbe

Haushalte und Gewerbe haben heute einen Verbrauch fossiler Energieträger von 636 TWh. Haupttreiber des Energieverbrauchs ist die Gebäudeheizung bzw. – Klimatisierung. Der entsprechende Anspruch an das Raumklima wird sich vermutlich nicht wesentlich ändern, eher erhöhen durch (Raumbedarf bzw. wärmeres Klima). Energieeinsparungen ergeben sich im Wesentlichen durch bessere Gebäudedämmung und alternative Methoden zur Gebäudeheizung bzw. Stromgewinnung. In einem großangelegten Feldtest zur Sanierung von Wohngebäuden, von der CO<sub>2</sub>online gGmbH in 2015<sup>29</sup> (12) betreut, waren durch optimale Dämmung und Einsatz von Wärmepumpen max. 60% einsparbar, **bei ca. 15% höherem Stromverbrauch.**

- **Fazit Haushalte / Gewerbe:**  
**Geschätztes Einsparungspotential ca. 390 TWh, Restbedarf 250 TWh, zusätzlicher Stromverbrauch ca. 40 TWh**

#### 5.4.4 Schätzung des zukünftigen Energiebedarfs und Einsparpotentiale

Die oben abgeleiteten Zahlen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Sektor	Verbrauch fossiler Energien heute	Max. Einsparoptionen	Zusätzlicher Strombedarf	Restbedarf, durch eFuels bzw. H <sub>2</sub> zu ersetzen
<b>Verkehr</b>	653 TWh	460 TWh	230 TWh	200 TWh
<b>Industrie</b> (Chemie, Zement, Stahl als Hauptverursacher)	384 TWh (315 TWh)	20 TWh	780 TWh (Chemie „Szenario 3“, max. Treibhausgas-Neutralität zur	30 TWh

<sup>29</sup> . „Wirksam Sanieren: Chancen für den Klimaschutz - Feldtest zur energetischen Sanierung von Wohngebäuden“; Studie des Fraunhofer ISE, CO<sub>2</sub>online gGmbH



			internen H2-Produktion)	
<b>Haushalt und Gewerbe</b>	640 TWh	340 TWh	40 TWh	250 TWh
<b>Ersatz konventioneller Kraftwerke</b>			240 TWh	
<b>Gesamt</b>	<i>1647 TWh</i>	<i>820 TWh</i>	<b>1290 TWh</b>	<b>480 TWh, auf Basis Grüner Wasserstoff 600 TWh (Wirkungsgradverluste der Elektrolyse)</b>

### Fazit der Energiebedarfsprognose:

- ⇒ **Bei der theoretisch vollständigen Energiewende auf Basis regenerative Stromerzeugung, eFuels und Wasserstoff wird zusätzlicher Strom bis 1.300 TWh gebraucht.**
- ⇒ **Die Strombedarfsprognose der Bundesregierung für das Jahr 2030 von 680 – 750 TWh pro Jahr, bzw. 180 – 250 TWh mehr als heute, reicht nicht aus, um die geplante Elektrifizierung des Verkehrs und der Gebäudeheizung zu realisieren, dazu müsste sich die heutige nicht-fossile Stromproduktion mindestens vervierfachen, mit entsprechenden Speicherlösungen.**
- ⇒ **Ohne technologieoffene massive Investitionen in neue Kraftwerke und Stromspeicher ist der prognostizierte Energiebedarf in Deutschland nicht zu schließen.**

## 5.6 Kostenschätzungen

### 5.6.1 Strompreise

Ein Strompreis bildet sich am Markt über die Strombörse, oft bis zu negativen Preisen. Das Merit Order Prinzip und das Gesetz zur bevorrechtigten Einspeisung regenerativer Energien (EEG) führen zu diesen Effekten. Davon sind aber nicht die Biogaskraftwerke, die Solar- und Windanlagen betroffen. Dank EEG wird ihre Leistung bevorrechtigt abgenommen, und sie erhalten für 20 Jahre eine garantierte feste Einspeisevergütung. Während bei sehr geringer regenerativer Einspeisung die konventionellen Kraftwerke fast die komplette geforderte Leistung liefern müssen, kommt es bei hoher Einspeisung der erneuerbaren Energien zu einer erheblichen Leistungsreduktion dieser Kraftwerke bis zur vollständigen Abschaltung. Jeder weitere Zubau von Wind- und Solaranlagen führt bei Beibehaltung der bestehenden Förderung nach dem EEG vermehrt zu Zeiten mit negativen Strompreisen.

Der Strompreis für private Haushalte ist seit 2012 bis heute um fast 40% gestiegen, von ca. 26 Cent/kWh auf heute bis 35 Cent/kWh, das sind global die höchsten Preise. Im Wesentlichen wird der Strompreis über die EEG-Umlage, Netzentgelte sowie durch Steuern beeinflusst. Zu erheblichen weiteren Steigerungen werden durch eine erhöhte Einspeisung von Wind- und Solaranlagen die dann vermehrt erforderlichen Redispatch- und Netzausbaukosten führen.

## 5.6.2 Kostenbedarf der Stromerzeugung

Strombedarf: Die vorgenannten Ausführungen zeigen den deutlich steigenden Strombedarf für die Energiewende von bis zu 1000 TWh/Jahr. Dazu kommt der Zusatzbedarf durch den Wegfall von Kohle- und Kernkraft von ca. 56 TWh pro Jahr. Dies bezieht sich auf den reinen Strombedarf in Deutschland. Dazu kommen noch der Bedarf an grünem Wasserstoff als Ersatz fossiler Treibstoffe von ca. 500 TWh, ebenfalls durch Strom erzeugt.

Stromgestehungskosten<sup>30</sup> (CAPEX und OPEX, d.h. Investition, Betrieb, Wartung, Brennstoff, Rückbau, etc.) liegen zwischen 4-15Ct/kWh

Kernenergie	4 – 9 Ct	Wasser	3 – 10 Ct
Wind onshore	4 – 8 Ct	Gas	8 – 10 Ct
Wind offshore	8 – 14 Ct	Biomasse	10 – 15 Ct
Kohle	5 – 10 Ct		
Solar („Hausdach“)	7 – 12 Ct,	Großkraftwerk	5 – 9 Ct

- Externe Kosten<sup>31</sup> beinhalten auch die aktuellen Probleme mit heutiger Energieerzeugung (Klimawandel, Luftverschmutzung, Wasserverunreinigung, Sonderabfall, radioaktiver Abfall, etc.). Die Angaben beziehen sich pro kWh:

Kohle:	8 Ct	Solar:	1 Ct
Kernkraft:	10 - 30 Ct	Wind:	0,3 Ct
Gas:	4 Ct	Wasser:	0,2 Ct

- Als Realitäts-Check dieser sehr allgemeinen Kostenangaben mögen zwei konkrete Ansätze dienen:
  - Kernkraftwerk Hinkley Point C in Großbritannien<sup>32</sup>:
    - Baukosten: 25 Mrd. GBP, entspricht ca. 29 Mrd. €
    - Leistung: 3260 MW; Verfügbarkeit 8000 h/a in 30 a, ergibt 770 TWh
    - Betriebskosten eines Kernkraftwerks sind ca. 4 Ct/kWh
    - Stromgestehungskosten sind damit ca. 8 Ct/kWh
  - Kosten eines offshore-Windparks<sup>33</sup>:
    - Baukosten ca. 2,5 Mio. € pro MW installierte Leistung
    - Maximale Leistung während ca. 3500 h/a, Lebensdauer max. 20 a
    - Betriebskosten ca. 25 € /MWh
    - Stromgestehungskosten sind damit ca. 6 Ct/kWh

## 5.6.2 Kostenbetrachtungen zur Wasserstoffherzeugung

Die Kosten von Elektrolyse-Wasserstoff (CAPEX und OPEX) hängen sehr stark vom Strompreis ab<sup>34</sup>. Die Fachunternehmen, die Elektrolyseanlagen bauen und entwickeln, erwarten in den kommenden 10 Jahren zwar eine substantielle Kostenreduktion durch Scale-Up Effekte,

<sup>30</sup> de.wikipedia.org, Studie des Fraunhofer ISE, März 2018,

<sup>31</sup> www.de.wikipedia.org/wiki/Stromgestehungskosten#Externe\_Kosten

<sup>32</sup> [https://de.wikipedia.org/wiki/Kernkraftwerk\\_Hinkley\\_Point](https://de.wikipedia.org/wiki/Kernkraftwerk_Hinkley_Point), zusätzlich eigene Erfahrung Dr. Benno Ganser

<sup>33</sup> WAB e.V.; Fragen und Antworten zur Offshore-Windenergie, Kap. 17, „Was kostet eine Offshore-Windenergieanlage?“

<sup>34</sup> Auszug aus verschiedenen Präsentationen beim „Hydrogen Online Workshop 2021“, Mission Hydrogen GmbH, 25.03.2021

wodurch die Kosten pro kg Wasserstoff bzw. kWh-Äquivalent durchaus vergleichbar mit derzeitigen Kosten für konventionell erzeugten Wasserstoff wären. Entscheidend aber ist der Preis für den erforderlichen Elektrolyse-Strom:

Herstellkosten vs. Strompreis	Kosten pro kg H <sub>2</sub>	Kosten pro kWh Energieäquivalent
Wasserstoff ohne Strompreis	1,5 – 2 €	4,5 – 6 Ct/kWh
Wasserstoff, Strom 4 – 10 Ct/kWh	3 – 5 €	9 -15 Ct/kWh
„grauer“ Wasserstoff	1,5 €	4,5 Ct/kWh
Erdgas für die Industrie (2020) <sup>35</sup>		2,5 Ct/kWh
Aktueller Preis (9/2021) <sup>36</sup>		6,5 Ct/kWh

### 5.6.2 Kostenschätzung auf Basis der Energiebedarfsprognose

Mit diesen Abschätzungen lässt sich die Größenordnung der Investitionskosten berechnen, die für den substanzialen Ausbau der klimafreundlichen Stromerzeugung bis 2050 benötigt wird. Ausgangspunkte für die Schätzung, unabhängig von der gewählten Technologie, sind:

- Zusätzlicher Strombedarf mindestens 550 TWh/a , maximal von 1500 TWh/a
- Investitionskosten Offshore-Windpark 2,5 Mio. €/MW installierte Leistung
- Leistung eines 1 MW Windrades sind ca. 3500 MWh/a
- Daraus resultierende zu installierende Leistung:

Energiebedarf	Zu installierende Leistung	Investitionskosten
550 TWh	157 GW	390 Mrd. €
1000 TWh	286 GW	715 Mrd. €
1500 TWh	570 GW	1073 Mrd. €

- Der Bedarf an 1000 TWh Energie aus Wasserstoff, bei einem Brennwert<sup>37</sup> von 33,3 kWh / kg, entspricht 30 Mio. t. Bei einem Preis von 4 € pro kg H<sub>2</sub> entspräche das einer jährlichen Ausgabe von ca. 120 Mrd. €.
- Zum Vergleich die Kosten importierter fossiler Brennstoffe<sup>38 39</sup>:  
 Rohölimporte ca. 85 Mio. t/a, Kosten ca. 24 Mrd. € (bei ca. 40 \$/barrel)  
 Erdgasimporte ca. 88 Mrd. m<sup>3</sup>, Kosten ca. 22 Mrd. €/a (bei 2,5 Ct/kWh)  
Gesamtkosten pro Jahr knapp 46 Mrd. €.  
Bei den Ende 2021 stark gestiegenen Preisen für Rohöl (80 \$/barrel) und Erdgas (6,5 Ct/kWh) käme man mit 105 Mrd. € in dieselbe Größenordnung.

<sup>35</sup> <https://de.statista.com> Gewerbe und Industrie – Gaspreise in Deutschland bis 2020

<sup>36</sup> Handelsblatt vom 21.09.2021

<sup>37</sup> [www.hho-generator.de/vergleich-wasserstoff/wasserstoff-heizwert-vergleich.htm](http://www.hho-generator.de/vergleich-wasserstoff/wasserstoff-heizwert-vergleich.htm)

<sup>38</sup> [www.dw.com/de/deutschland-%C3%B6limporte-sinken-weiter/a-50509022](http://www.dw.com/de/deutschland-%C3%B6limporte-sinken-weiter/a-50509022)

<sup>39</sup> [www.wingas.com/rohstoff-erdgas/woher-bezieht-europa-erdgas.html](http://www.wingas.com/rohstoff-erdgas/woher-bezieht-europa-erdgas.html)

## Fazit:

- ⇒ Wenn man allein auf regenerative Energien und Grünen Wasserstoff setzt, sind substanzielle Investitionen in die Stromerzeugung erforderlich.
- ⇒ Allein um den zu erwartenden Strombedarf zu decken, belaufen sich bis 2045 die Investitionen in die Stromerzeugung auf 400 – 1400 Mrd. €
- ⇒ Dazu kommen Investitionen in Speichertechnologie in ähnlicher Größenordnung
- ⇒ Wenn man den benötigten Grünen Wasserstoff vorwiegend importiert, sind die zu erwartenden Kosten ca. doppelt so hoch wie der Import fossiler Brennstoffe heute, bei einem zu erwartenden Preis von 4 €/kg Wasserstoff (> 10 Ct/kWh)
- ⇒ Die Zeit drängt: Diese Bedarfslücken für Strom werden bereits in den kommenden 10 Jahren entstehen
- ⇒ Es erscheint geboten, auch andere Arten der Energieerzeugung bereitzustellen, um die Kosten der Energiewende in vertretbarem Rahmen zu halten

## 5.7 Wege zur Stromversorgungssicherheit

### 5.7.1 Emissionsfreie Energieformen für elektrische, mechanische und thermische Energie

Die regenerative Stromerzeugung durch Wind und Photovoltaik ist der Kern der Energiewende. Dazu kommt die Wasserkraft als Stromquelle, seit Jahrhunderten gebraucht. Sie ist entsprechend der natürlichen Wasservorkommen in Deutschland jedoch auf gegenwärtig 3,5% bzw. 17,5 TWh/a unserer Stromerzeugung begrenzt, und nicht wesentlich ausbaubar. Diese Begrenzung gilt im Wesentlichen auch für Biomasse, aufgrund der verfügbaren Fläche und der Konkurrenz zum Nahrungsmittelanbau. Ebenfalls ist die Geothermie als emissionsfreie Energie<sup>40</sup> zu nennen. Sie wird in Deutschland als auch weltweit erforscht und genutzt, muss allerdings nach den Oberflächenschäden in der Stadt Staufen (BW) mit einer gewissen Vorsicht gesehen werden.

Kernenergie hat in Deutschland seit dem Ausstiegsbeschluss 2011 keine Zukunft mehr. Sie wird allerdings weltweit weiterhin als CO<sub>2</sub>-freie Energiequelle genutzt, von EU-Ländern (F, GB, FIN, HG, CSR, SK, RU, BG) und vielen anderen Staaten, darunter USA, Russland, China, Indien, Pakistan, Brasilien oder die VAE<sup>41</sup>. Die IAEA (International Atomic Energy Authority) in Wien unterstützt Länder weltweit, vom Design über den Betrieb, den Sicherheitsaspekten<sup>42</sup>, inklusive Entsorgungs- und Endlagerplanungen. Eine neue Entwicklung, die sog. Small Modular Reactors (SMR),<sup>43</sup> wird von Russland, China, den USA, England und Frankreich verfolgt. Sie setzen auf bekannte modulare Technik, die aus dem Design der Kernreaktoren in U-Booten und Schiffen abgeleitet wird. Durch ihre Kompaktheit sollen sie billiger und inhärent sicherer sein als Großkraftwerke. Ein neues Konzept der sog. Salzschmelze-Reaktoren verspricht sogar den langlebigen radioaktiven Abfall inhärent zu vernichten – eine Option, der in den USA, Kanada und auch in Deutschland (TU München) nachgegangen

<sup>40</sup> de.wikipedia.org/wiki/Geothermie#Geothermie\_weltweit

<sup>41</sup> de.wikipedia.org/wiki/Kernenergie\_nach\_Ländern

<sup>42</sup> <https://www.iaea.org/services/networks/global-nuclear-safety-and-security-network>

<sup>43</sup> [www.iaea.org/topics/small-modular-reactors](http://www.iaea.org/topics/small-modular-reactors)

wird<sup>44</sup>. Die Entsorgung und Endlagerung radioaktiver Abfälle, inkl. der Kosten, bleibt jedoch eine Kernaufgabe<sup>45</sup>.

Weiternutzung fossiler Energiequellen und die CO<sub>2</sub>-Abscheidung, die sog. „Carbon Capture and Storage“ oder auch „-Usage“ (CCS, CCU) Technologien, muss hiergenannt werden. CCS wird weltweit angewandt, von der EU empfohlen<sup>46</sup> und ist Stand der Technik<sup>47</sup>. Natürlich ist die Frage, wie und ob man mit das abgeschiedene CO<sub>2</sub> nutzt. Es gibt Nutzungen als Rohstoff (mit Wasserstoff zur Herstellung von Chemikalien wie Methanol), auch neue Projekte wie die Aufzucht von Algen durch Heidelberger Zement (Aufzucht einer Tonne Bio-Algen benötigt zwei Tonnen CO<sub>2</sub><sup>48</sup>), oder zur unterirdischen Lagerung, die freilich umstritten ist.

Blauer Wasserstoff wird aus fossilem Erdgas (Methan) hergestellt, unter Abscheidung des in Steam Reformern entstehenden CO<sub>2</sub>. In den entsprechenden petrochemischen Anlagen gibt es genug Optionen für eine stoffliche Verwertung des CO<sub>2</sub>. Eine elegante Methode ist die Methan-Pyrolyse<sup>49</sup>. Dabei entsteht Wasserstoff und fester Kohlenstoff. Letzterer kann stofflich verwertet, oder leicht endgelagert werden. Die BASF betreibt bereits eine Prototyp-Anlage dafür, der Strombedarf für die Pyrolyse beträgt nach BASF Angaben nur ein Sechstel des Bedarfs für grünen Wasserstoff.

Die Nutzung fossiler Rohstoffe ist zwar nicht nachhaltig, aber die genannten Optionen dürfen nicht vergessen werden. Sie dienen der Energieerzeugung ohne Treibhausgas-Emission und können in einer Übergangszeit wichtige sein, zumal sie deutlich billiger sind als grüner Wasserstoff, und viel weniger Strom brauchen.

### 5.7.2 Welche Speichertechniken gibt es heute, mit welchem Wirkungsgrad?

Stromspeichertechniken sind ein wesentlicher Bestandteil der Energiewende. Wie bereits genannt, tragen Wind und Sonne jeweils nur für max. 3.500 bzw. 1.000 Stunden pro Jahr zur Stromerzeugung bei. Die Lücke zu den restlichen Zeiten, das sind immerhin über 4.000 h bzw. etwa 50%, muss geschlossen werden, unter anderem mit Stromspeichern, die mit Überschussenergie gespeist werden.

Für Direkte Stromspeicher<sup>50</sup> gibt es in jüngster Zeit viele Anwendungen, besonders spektakuläre durch die Firma Tesla. Sie erreichen mittlerweile Kapazitäten von mehreren 100 MWh. Ähnliches verspricht die Organic-Flow-Technologie<sup>51</sup> (CMBlue AG).

Stand der Technik sind die sog. „Power-to-X“ Verfahren<sup>52</sup>. Sie sind technisch ausgereift, und vielfach im Einsatz. Das „X“ steht hierbei meistens für Wasserstoff, und (a) seine Rück-Verstromung mittels Brennstoffzellen, oder (b) Umwandlung in Methan oder Ammoniak, aus Wasserstoff mittels CO<sub>2</sub> bzw. Luft-Stickstoff gebildet, oder (c) sog. Fischer-Tropsch

<sup>44</sup> Reactor Safety Research-Project No.: 1501535 ("NuDest"): "Partitionierung radioaktiver Abfallstoffedurch Rektifikation"; Dominik Böhm et al., TU München; 16.07.2019

<sup>45</sup> Kernenergie – verantwortliche Anwendung sowie verantwortliche Entsorgung – Thesenpapier von Dr. Benno Ganser, Mai 2021

<sup>46</sup> [https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/iogp\\_report\\_ccs\\_ccu.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/iogp_report_ccs_ccu.pdf)

<sup>47</sup> <https://zeroemissionsplatform.eu/about-ccs-ccu/css-ccu-projects/>

<sup>48</sup> <https://context.heidelbergcement.com/algenzucht-mit-co2/>

<sup>49</sup> Methane Pyrolysis –a potential new process for hydrogen production without CO<sub>2</sub>emission; Dr. Andreas Bode, Deter Flick; Virtual Presentation 12 – 14.01.2021

<sup>50</sup> <https://energyload.eu/stromspeicher/grossspeicher-batterieparke/>

<sup>51</sup> [www.cmblue.de](http://www.cmblue.de)

<sup>52</sup> „Regenerativer Wasserstoff - Energieträger und Energiespeicher“, Impulsvortrag Prof. Dr. Oliver Türk bei FDP LFA Umwelt, Transferstelle Bingen, Februar 2021

Kohlenwasserstoffe. Sie werden durch Wasserstoff und CO<sub>2</sub> aufgebaut, eine Technik seit den 1930er Jahren. Eine neues Plasma-Verfahren<sup>53</sup> erzeugt sie sogar direkt aus CO<sub>2</sub>. Die so gebildeten Verbindungen sind sog. „Grüne Brennstoffe“. Dazu gehört auch Methanol. Sie haben den Charm, aus Luft-CO<sub>2</sub> hergestellt worden zu sein, und sind damit Klimaneutral. Sie können direkt eingesetzt werden, für sämtliche Anwendungen, die mit Strom nicht möglich sind, und benötigen kaum zusätzliche Investitionen.

Alle Speichertechnologien haben den physikalischen Nachteil des Wirkungsgrad-Verlustes. Das heißt, dass bei der Speicherung bzw. Umwandlung des Stroms Energie verloren geht, meistens als Wärmeverlust entweder beim Speichern und Rückverstromen selbst oder bei der chemischen Reaktion der Elektrolyse bzw. Weiterverarbeitung. Diese Wirkungsgrade belaufen sich auf ca. 80% bei Stromspeichern, ca. 65% bei der Wasserstofferzeugung, oder ca. 50-60% bei Fischer-Tropsch Chemikalien. Im Klartext heißt das, dass bei sämtlichen Speichertechnologien der Strombedarf entsprechend steigt, um den Wirkungsgradverlust auszugleichen. Dieser zusätzliche Bedarf muss eingerechnet werden!

### **5.7.3 Wie schnell kann man die zusätzlich nötigen Kraftwerke bauen?**

Man braucht keine große Phantasie, um zu erkennen, dass die Anstrengungen für die Energiewende viel Zeit brauchen werden. Es geht nicht nur um den reinen Zeitbedarf für Großprojekte – siehe die „Nord-Süd-Stromtrasse“ – sondern auch um die reinen Kapazitäten der erforderlichen Fachfirmen und die entsprechenden Finanzinstrumente. In den verbleibenden 20-25 Jahren ist eine exakte Planung erforderlich. Dass die deutschen Behörden dazu kaum in der Lage sind, wird fast täglich bewiesen – vom einfachen Turnhallenbau bis zum Großflughafen BER. Das Bundesverfassungsgericht hat in seinem Urteil von April 2021 dem Gesetzgeber eine klare Verpflichtung auferlegt, die Energiewende detailliert zu planen, und die Last nicht der nächsten Generation aufzuladen. Hier kann nur eine konzertierte nationale Strategie helfen, mit Hilfe sämtlicher industrieller Kapazitäten.

### **5.7.4 Welche Infrastruktur brauchen wir für einen Wasserstoffkreislauf**

In der nationalen Wasserstoffstrategie sind eine Reihe von Planungen und Vorgaben gemacht. Die einschlägige Industrie plant dankenswerterweise bereits ein europäisches Wasserstoffnetz. Dass dies nicht billig sein wird steht außer Frage. Eine Dissertation am Forschungszentrum Jülich<sup>54</sup> zufolge würde ein flächendeckendes Wasserstoff-Pipeline-Netz in Deutschland von ca. 30.000 km Länge etwa 12 Mrd. € kosten (ca. 400.000 €/km). Allerdings sind die Kosten der Nord Stream 2 Pipeline bei 1200 km bereits 17 Mrd. €, was 14 Mio. € pro km bedeutet. Die realen Kosten liegen sicher dazwischen.

### **5.7.5 Sonstige technische Optionen zur Reduktion klimarelevanter Emissionen**

---

<sup>53</sup> <https://www.laborpraxis.vogel.de/synthetische-treibstoffe-aus-nachwachsenden-rohstoffen-a-1000555/>

<sup>54</sup> Energy Outlook 2020, IEA ([www.iea.org](http://www.iea.org))

Neben den o.g. Technologien zur klimafreundlichen Energieerzeugung gibt es noch andere Möglichkeiten und Verfahren. Sie müssen aus unserer Sicht zu jeder Zeit möglich bleiben, bzw. gefördert werden. Diese Technologie-Offenheit ist der Kern unserer Partei. Was zählt, ist das Ergebnis, der Weg dorthin muss jedermanns Initiative überlassen sein können.

## 5.8 Globale Auswirkungen der Energiewende

Die Energiewende darf nicht nur aus einer länderspezifischen Sicht gesehen werden. Es nützt nichts, wenn wir in Deutschland und Europa klimaneutral werden, es aber auf Kosten anderer Kontinente geschieht. Auch wenn wir es schaffen, ist die globale Auswirkung sehr bescheiden, sogar ernüchternd, wie eine Prognose der IEA<sup>40</sup> zeigt:

### The world is still far from putting emissions into decisive decline

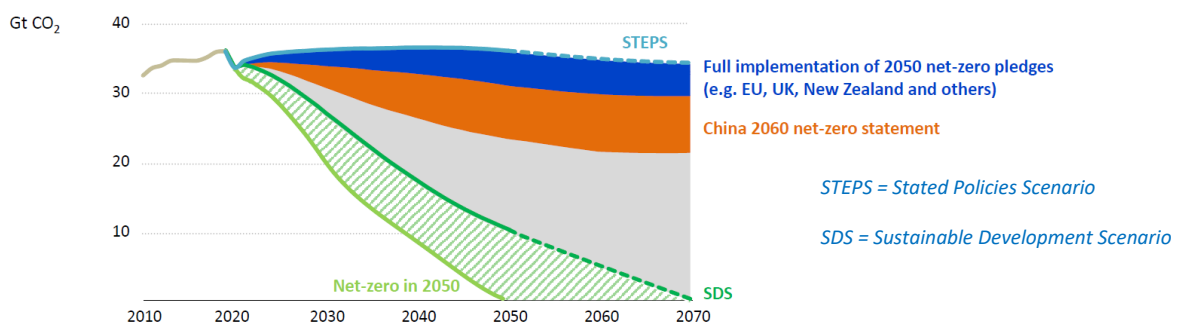


Abb. 5: IEA Prognose zur globalen CO<sub>2</sub>-Emission unter Berücksichtigung sämtlicher politischer Szenarien

Es gibt zum globalen Bild eine Reihe von Fragen, die zu beantworten sind, und denen wir uns stellen müssen – auch und vor allem alle, die die Energiewende mit großem Nachdruck vorantreiben wollen.

Eine Auswahl unserer spontanen Fragen ist unten aufgelistet. Deren Beantwortung ist unsere Aufgabe in naher Zukunft.

- **Haben wir genug Fläche für alle benötigten (Wind)-Anlagen um den prognostizierten Strombedarf zu decken?**
- **Wieviel Wasserstoff müssen wir importieren, und wieviel kostet er dann? Ist der Preis, gemessen an heutigem Standard, konkurrenzfähig genug?**
- **Ist denn das globale Potential für Wind und Solarenergie groß genug für den gesamten globalen Energiebedarf? Nicht nur Deutschland möchte grünen Wasserstoff importieren.**
- **Welche Anreize muss der Staat privaten Energieversorgern bieten, um in die erforderlichen Stromkapazitäten zu investieren (Stichwort CO<sub>2</sub> Abgabe)?**

- **Welche Möglichkeiten zur CO2 Kompensation wird es geben? (CO2-Senke Wald?)**
- **Müssen wir eine weitere substantielle Verteuerung der Energiekosten befürchten, die von Geringverdienern und der Industrie nicht mehr bezahlt werden können?**
- **Wenn wir alle fossilen Brennstoffe eliminiert haben, und damit sowohl Mineralölsteuer und der CO2-Emissionshandel entfallen, wie groß werden dann die steuerlichen Finanzlücken werden?**
- **Haben wir in trockenen Sommern genug Wasser für allen benötigten Wasserstoff?**
- **Wie wird sich die sich ausweitende Blockchain-Technologie auswirken? Schon heute ist der weltweite Strombedarf gewaltig und erreichte 2019 mit 70 TWh den gleichen Stromverbrauch wie die Schweiz<sup>55</sup>**
- **Auch Wasserdampf, Produkt der Energiegewinnung aus Wasserstoff, ist ein Klima-beeinflussendes Gas, wie CO2. Wie CO2 kommt Wasserdampf in der Atmosphäre vor. Welche Auswirkungen auf das lokale wie globale Klima hat denn all der zusätzlich erzeugte Wasserdampf? Ist der natürliche Wasserkreislauf schnell genug, um klimaschädliche Anreicherungen auszuschließen? Diese Fragestellung hat man bei CO2 ebenfalls lange ignoriert.**
- **Welche Umweltfolgen hat der substantielle Ausbau der Akkumulatoren für E-Autos, Pedelecs, E-Bikes etc.? Gibt es weltweit genug Rohstoffe dafür? Vor allem Lithium, ein sehr seltenes Element? Welche (neuen) politischen Abhängigkeiten werden entstehen?**
- **Wer übernimmt das Recycling der Batterien und zu welchen Kosten? Werden Pfandsysteme eingeführt? Wie will man mit den damit verbundenen erhöhten Brandrisiken bzw. Brandlasten in Gebäuden umgehen?**
- **Wenn alle Länder weltweit CO2-frei Energie erzeugen müssen und wollen und gleichzeitig die Weltbevölkerung weiterhin so rasant steigt, wie soll dann die global steigende Nachfrage nach „grünem Strom“ befriedigt werden, wenn wir nicht auch alle anderen Möglichkeiten einer CO2-freien, oder CO2-armen Energieproduktion ausschöpfen?**

---

<sup>55</sup> <https://blockchainwelt.de/stromverbrauch-von-bitcoin/>



## 6 Fazit und politische Forderungen, um die Klimaziele nicht scheitern zu lassen

- Wir Freien Demokraten stehen für die Ziele des European Green Deal der EU-Kommission ein, ebenfalls für einen deutlich verringerten Verbrauch natürlicher Ressourcen. Es gilt, sämtliche klimaschädliche Gas-Emissionen kurzfristig zu verringern, und nicht, auf Biegen und Brechen den globalen Wasserstoff-Kreislauf aufzubauen.
- Allerdings ist die Energiebedarfsprognose der Bundesregierung für die Energiewende viel zu niedrig angesetzt. Der Strombedarf wird durch den Ersatz fossiler Brenn- und Einsatzstoffe um ein Vielfaches steigen. Die Energiebedarfsprognose muss schnellstens substantziell nach oben korrigiert werden!
- Alle technischen Möglichkeiten zur emissionsarmen Energie-Erzeugung müssen ausgeschöpft werden nicht nur einige wenige. Sonst wird die Energiewende scheitern.
- Es ist eine massive Investition in neue regenerative Kraftwerkskapazität nötig. Das gilt allerdings auch für Grundlast-Kraftwerke wegen der erforderlichen Netzstabilisierung. Ohne solche Grundlast-Kraftwerke ist eine 100-prozentige regenerative Stromversorgung wegen der fehlenden Netzstabilität absolut ausgeschlossen.
- Dafür dürfen konventionelle fossile Kraftwerke mit entsprechender Emissionskontrolle und auch Kernkraftwerke der neuesten Generation nicht ausgeschlossen, sondern im Gegenteil gefördert werden.
- Im Kontext mit unseren europäischen Partnern müssen wir Deutsche deren Optionen zur CO<sub>2</sub> freien Energieerzeugung respektieren, und nicht bekämpfen (siehe deutsche Opposition gegen Kernenergie der EU-Partner)
- Ohne attraktive Strompreise werden die Energiekosten für die Wirtschaft wie die Verbraucher substantziell steigen. Deshalb muss das EEG dringend geändert werden bzw. wegfallen, um Marktverzerrungen und dadurch steigende Strompreise zu verhindern
- Wegen der sich abzeichnenden Kosten ist es unabdingbar, dass der Weg zur Energiewende Technologie-offen sein muss, und nicht nur ausschließlich regenerative Energien und Elektrolyse-Wasserstoff fordern bzw. fördern. Es gibt zahlreiche andere klimafreundliche Entwicklungen.
- Die entsprechenden Initiativen der Industrie zur Energiewende sind zu unterstützen. Dies gilt auch für die optimale Nutzung der vorhandenen Infrastruktur, um unnötige Investitionen zu vermeiden.