Viel Wind um nichts? Der deutsche Atomausstieg im Lichte der Klimaziele

Maxine Fischer
Klasse W6l
Maturitätsarbeit an der Kantonsschule Zürich Nord

Betreuer: Reto Ammann
Zürich, November 2020

Inhalt

Abstract ... 3
1. Vorwort ... 3
1.1 Persönliche Motivation ... 3
1.2 Danksagung ... 4
2. Einleitung ... 5
2.1 Fragestellung: ... 5
3. Die Nutzung der Atomenergie in Deutschland ... 6
3.1 Der Einstieg in die Nutzung der Atomenergie ... 6
3.2 Widerstand gegen die Nutzung der Atomenergie ... 6
3.2.1 Der Reaktorunfall in Tschernobyl ... 6
3.2.2 Der Reaktorunfall in Fukushima: ... 7
3.3 Beschluss über den Atomausstieg ... 8
4. Wirtschaftliche Situation Deutschlands vom Atomeinstieg bis zum Beschluss des Ausstiegs ... 9
5. Übersicht über die wichtigsten Gesetze und Beschlüsse im Zusammenhang mit dem Ausbau der Neuen Erneuerbaren Energien, dem Atomausstieg und den Klimazielen ... 12
6. Die Klimaziele Deutschlands: ... 14
6.1 Die Klimaabkommen von Rio de Janeiro, Kyoto und Paris ... 14
6.2 Deutschlands Treibhausgas-Emissionen ... 14
6.3 Vergleich CO_2-Ausstoss von AKW, Kohle, Windenergie und Photovoltaik ... 16
6.4 Kohleausstieg und Klimaziele ... 17
7. Wind und Photovoltaik – realistischer Ersatz für konventionelle Stromerzeugung? ... 18
7.1 Problem Verfügbarkeit ... 18
7.2 Problem wechselhafter, nicht-steuerbarer Produktion ... 18
7.3 Problem Netzstabilität ... 20
7.4 Problem Stromspeicherung ... 21
7.5 Problem Netzausbau ... 22
8. Elektrizitätsbedarf und Elektrizitätsproduktion (2000-2020) ... 23
8.1 Entwicklung des Strommixes (Fokus auf die Anteile AKW, KKW, NEE): ... 23
8.2 Entwicklung Bruttostromerzeugung und Bruttostromverbrauch ... 24
8.3 Die Entwicklung des Strommarktpreises ... 24
8.4 Entwicklung der Strompreise für Privathaushalte: ... 25
8.5 Entwicklung der Strompreise für die Industrie: ... 26
8.6 Kosten der Energiewende: ... 27
9. Diskussion: Chancen und Risiken des Atomausstiegs im Lichte der Klimapolitik ... 28

9.1 Ist ein weiterer Ausbau der NEE möglich und klimapolitisch sinnvoll? 28
9.2 Energiewende unter Einbezug der Kernenergie? 29
9.2.1 Pro und Kontra Kernenergie-Ausstieg 29
10. Fazit 32
10.1 Schlussfolgerungen aus meiner Arbeit 32
10.2 Persönliches Fazit 32
11. Anhang 33
11.1 Glossar 33
11.2 Quellenverzeichnis 33
11.2.1 Zitierte Literatur und Webseiten 33
11.2.2 Zitierte Bundesministerien, Bundesämter, Gesetzesbeschlüsse und Bundesprogramme 35
11.2.2 Zitierte Statistiken 37
11.3 Abbildungen 37
11.3.1 Zusätzliche Abbildungen 37
11.3.2 Verzeichnis der Abbildungen 39
11.4 Screenshots von besuchten Webseiten 41
11.4.1 Screenshots zu Kapitel 4 41
11.4.2 Screenshots zu Kapitel 5 42
11.4.3 Screenshots zu Kapitel 6 44
11.4.4 Screenshot zu Kapitel 7 48
11.4.5 Screenshots zu Kapitel 8 51
11.4.6 Screenshots zu Kapitel 9 52
11.5 Zahlenmaterial für eigene Grafiken 56

Abstract

Atomenergie ist eine kontrovers diskutierte Form der Stromerzeugung und wird von Atomkraftgegnern als Hindernis für den Ausbau der Neuen Erneuerbaren Energien (Wind, Photovoltaik, Biomasse, Geothermie) betrachtet. Nach dem Reaktorunfall in Fukushima im Jahr 2011 als Folge eines Tsunami beschloss Deutschland den endgültigen Atomausstieg. In Anbetracht des Klimawandels beginnt sich heute weltweit abermals eine Neubeurteilung der Kernenergie abzuzeichnen: Nach Wasserkraft ist Kernenergie die Form der Stromerzeugung mit den geringsten CO_2-Emissionen pro produzierter Kilowattstunde Strom.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit Deutschlands Einstieg in die Atomenergie in den sechziger Jahren und der Förderung und dem Aufbau der Neuen Erneuerbaren Energien, insbesondere Wind und Photovoltaik und dem 2011 beschlossenen Ausstieg aus der Atomenergie, dessen Folgen und der Klimapolitik. Auch auf den vor wenigen Monaten verabschiedeten Kohleausstieg wird kurz eingegangen. Die Energiepolitik eines Landes lässt sich nicht losgelöst von der wirtschaftlichen Situation betrachten, entsprechend ist auch die Entwicklung der Wirtschaft im fraglichen Zeitraum zu beleuchten.

Atomkraftwerke sind Teil eines für das Land charakteristischen Strommixes. In diesem Mix übernehmen die verschiedenen Stromerzeugungsformen unterschiedliche Rollen: Sie tragen entweder zur Basisversorgung bei oder decken Bedarfsspitzen ab. Aus diesem Grund untersucht die vorliegende Arbeit neben der Rolle der Atomenergie im Strommix auch die der Neuen Erneuerbaren Energien sowie der Kohle- und Gaskraftwerke. Weiter ist die Frage zu klären, ob der deutsche Atomausstieg in Bezug auf Klima und Wirtschaft notwendig und sinnvoll ist. Die Arbeit will weiter zur Erhellung der Frage beitragen, ob die gewählte Reihenfolge – erst Atom-, dann Kohleausstieg – zielführend und umsetzbar ist. Die Arbeit stützt sich auf publizierte Fachliteratur, Gutachten sowie vertrauenswürdige Primärquellen - insbesondere offizielle Webseiten von Bundesministerien und Verbänden etc. Daneben fliessen eigene Abschätzungen in die Überlegungen ein.

Die Arbeit kommt zum Schluss, dass in Deutschland der Atomausstieg zu schnell beschlossen wurde und in einer zu kurzen Zeitspanne umgesetzt wird. Im Hinblick auf die Klimaproblematik macht die Reihenfolge erst Atomausstieg, dann Kohleausstieg wenig Sinn. Für Deutschland ist Atomkraft – neben Wasserkraft und Biomasse-Strom - zurzeit die einzige grossmassstäbliche Form der Stromerzeugung, die gleichzeitig planbar und klimafreundlich ist. Entsprechend sollten die Option Kernenergie und die entsprechende Forschung nicht aufgegeben werden, um so einen möglichen Wiedereinstieg in der Zukunft offen zu halten. Für eine breite gesellschaftliche Akzeptanz eines Wiedereinstiegs sind der Bau eines Endlagers für radioaktive Abfälle und die Verpflichtung, dass nur Reaktoren mit den dannzumal höchsten Sicherheitsstandards gebaut und betrieben werden, zentrale Voraussetzungen.

1. Vorwort

1.1 Persönliche Motivation

Aufgrund der Arbeitsstelle meines Vaters bin ich schon sehr früh mit dem Thema Kernenergie und der Kontroverse um ihren Nutzen und ihre Gefahren konfrontiert worden. Mein Vater arbeitete bis zu seiner Pensionierung als Leiter der Abteilung S (Sicherheit) im Kernkraftwerk Leibstadt (KKL). Besonders die Atomkrise in Fukushima und die Folgewirkungen in Deutschland wie auch in der Schweiz haben sich in meinem Gedächtnis festgebrannt. Die Atomkonzerne standen unter extremsten Druck und dies beeinflusste meinen Vater natürlich auch. Zu Hause wurde damals viel darüber gesprochen, aber mit meinen 9 Jahren verstand ich nur das Unglück, doch die Folgen waren mir unklar. Da meine Familie väterlicherseits aus Deutschland stammt, wurde der Atomausstieg in Deutschland bei uns zu Hause intensiv diskutiert und mitverfolgt. Die Tatsache, dass Atomenergie in weiten Teilen der Gesellschaft stigmatisiert, bei mir daheim aber als etwas Notwendiges angesehen wird, hat bei mir immer wieder für Irritation

gesorgt. Unter diesen Voraussetzungen war es schwierig für mich, mir eine eigene unabhängige Meinung zur nuklearen Stromerzeugung zu bilden.

Nun, fast 10 Jahre nach dem Reaktorunfall in Fukushima möchte ich einen anderen Ansatz verfolgen und mir ein neues, eigenes Verständnis für den deutschen Atomausstieg und seinen Folgen verschaffen. Ziel dieser Arbeit ist es, die Zusammenhänge der wichtigsten Beschlüsse und Folgen zu identifizieren und mir am Ende eine eigene, differenzierte Meinung zu bilden, welche nicht beeinflusst ist durch meinen familiären Hintergrund. In meiner Arbeit werde ich im Wesentlichen die Periode von 2000 bis 2019/2020 untersuchen und analysieren. Für die Ursachen des Einstiegs in die nukleare Stromerzeugung und das wirtschaftliche Umfeld werde ich allerdings etwas weiter zurückgreifen müssen.

1.2 Danksagung

Als erstes möchte ich natürlich meinem Wirtschaftslehrer, Herrn Reto Ammann, dafür danken, dass er sich bereit erklärte, meine Maturitätsarbeit zu betreuen und mir während des Prozesses mit Rat und Tat zur Seite stand: Vielen Dank für das konstruktive Feedback und die hilfreichen Tipps. Auch möchte ich mich bei meiner Mutter bedanken, die mir ebenfalls während der Arbeit zur Seite stand und mich auf Passagen hinwies, die noch weiter ausgearbeitet werden mussten. Ich bin ihr sehr dankbar, dass ich einen Teil der Arbeit auf ihrem schnellen Computer bei ihr im Büro schreiben konnte. Meinem Vater danke ich für die Vermittlung des Kontaktes zu Dr. Stefan Hirschberg vom Paul-Scherrer-Institut und dass er mich im Zusammenhang mit meinen Abschätzungen beriet. Besonders dankbar bin ich dafür, dass mein Vater – trotz riesigem Wissens und seiner Erfahrung – zu keinem Zeitpunkt versuchte, mich zu beeinflussen, so dass ich selbständig arbeiten und zu meinen eigenen Schlüssen kommen konnte. Herrn Dr. Hirschberg danke ich für die ausführliche Beantwortung meiner Fragen, die Nennung von wichtigen Quellen und dass er sich Zeit für mich genommen hat.

2. Einleitung

Die Wirtschafts- und Industrienation Deutschland will bis zum 31.12.2022 den Atomausstieg und im Zusammenhang mit den Klimazielen bis 2038 auch den Ausstieg aus der Kohleverstromung vollzogen haben. Zudem verfolgt Deutschland das Ziel, bis 2050 CO_2 neutral zu sein. Im Gegensatz zur Schweiz ist die Stromerzeugung in Deutschland durch den hohen Anteil an Strom aus fossilen Energieträgern (in erster Linie in Deutschland abgebaute Braun- und Steinkohle sowie importiertes Öl und Gas) ausgesprochen CO_2 intensiv. Als Folge des Atomausstiegsbeschlusses von 2011 verfolgt die deutsche Politik eine neue Zusammensetzung des Strommixes und den verstärkten Ausbau der Neuen Erneuerbaren (NEE)[1].

2.1 Fragestellung:

In folgender Arbeit werde ich die Ursachen und die Entwicklung der Gesetzgebung untersuchen, welche zum endgültigen Beschluss des deutschen Atomausstiegs und zur sogenannten Energiewende geführt haben. Die Frage, weshalb sich ein Staat politisch für oder gegen bestimmte Stromerzeugungsformen ausspricht, kann nicht unabhängig von den jeweils herrschenden wirtschaftlichen Verhältnissen betrachtet werden. Aus diesem Grund beleuchte ich auch die wirtschaftliche Situation Deutschlands vom Atomeinstieg bis zum Beschluss des Atomausstiegs.

Weiter widme ich mich der Frage, wie sich der Atomausstieg und der Ausbau der NEE auf die Zusammensetzung des Strommixes und den Strompreis für Privathaushalte und Industrie auswirken. Wie hoch sind die Kosten und Folgekosten des Atomausstiegs bzw. der Energiewende?

In einem weiteren Kapitel beleuchte ich die Klimaziele Deutschlands und die wichtigsten Klimaabkommen. Im Hinblick auf die deutschen Ziele - Atomausstieg, Kohleausstieg, Klimaneutralität bis 2050 – versuche ich die Frage zu beantworten, was die Energiewende im Hinblick auf die CO2-Emissionen bis heute erreicht hat und ob die gewählte Reihenfolge – Atomausstieg vor Kohleausstieg - sinnvoll ist. Meine Absicht ist es, mir diese Fragen am Ende, durch die zusammengetragenen Informationen in dieser Arbeit, zu beantworten.

[1] Zu den neuen erneuerbaren Energien (NEE) zählen: Windenergie, Photovoltaik, Biomasse und Geothermie. Die vorliegende Arbeit befasst sich ausschliesslich mit der Windenergie und der Stromerzeugung aus Sonne (Photovoltaik) und verwendet dafür die Abkürzung NEE.

3. Die Nutzung der Atomenergie in Deutschland

3.1 Der Einstieg in die Nutzung der Atomenergie[2]

Nach der Entdeckung der Kernspaltung durch Fritz Strassmann und Otto Hahn (1938) wurde die Kernenergie vorerst nur für militärische Zwecke genutzt (Atombomben): In Hiroshima, wie auch in Nagasaki wurden 1945 die bisher einzigen Atombomben gezündet. Dabei fielen über 100`000 Menschen sofort den Explosionen zum Opfer, weitere 130`000 starben noch im selben Jahr an den Folgeschäden. Die umfassendsten Informationen im Hinblick auf Strahlenexposition und Krebsrisiko stammen von den – immer noch andauernden Studien – an Überlebenden der Atombombenabwürfe über Hiroshima und Nagasaki und deren Nachfahren.

Nach dem zweiten Weltkrieg wurde es Deutschland von den Siegermächten verboten, sich am Reaktorbau und an der Verarbeitung von Uran zu beteiligen. 1957 wurde der Euratom-Vertrag, welcher die friedliche Nutzung der Kernenergie garantieren sollte, zwischen Deutschland. Frankreich, Belgien, Italien, Luxembourg und Holland unterzeichnet. In München Garching wurde im Jahr 1957 der erste deutsche Forschungsreaktor, auch genannt das „Atom-Ei“, in Betrieb genommen. Zwischen 1967 und 1975 befand sich die Kernenergie in Deutschland in ihrer Durchbruchphase: Die beiden sozialdemokratischen Bundeskanzler Willy Brandt und Helmut Schmidt propagierten den Bau von 40 Kernreaktoren zur Stromerzeugung als Lösung für die Ölkrise von 1973.[3]

3.2 Widerstand gegen die Nutzung der Atomenergie

Drei Jahre nach dem Bau des ersten Forschungsreaktors im Jahr 1957 fand in Deutschland am 15.04.1960 der erste Protestmarsch gegen Atomkraft statt. Dieser stand unter dem Motto „Kampf dem Atomtod“, denn auch schon damals war man sich gewisser Gefahren bewusst: Aufgrund der Benützung von Kernspaltung als Atombomben im zweiten Weltkrieg, konnte man potentielle Gefahren bereits erkennen. Durch den Reaktorunfall in Tschernobyl wurde der Bevölkerung aufgezeigt, wie gross die potentielle Gefahr ist. [4]

3.2.1 Der Reaktorunfall in Tschernobyl

Am 25.04.1986 sollte in der Ukraine der Block 4 des Kernkraftwerks Tschernobyl heruntergefahren werden. Es stand ein Test aus, welcher bei der Inbetriebnahme des KKWs im Winter 1983 nicht erfolgreich abgelaufen war. Dabei sollte gezeigt werden, dass bei einem potentiellen Stromausfall die Kühlung des Reaktors sichergestellt sein würde, bis die Notstromerzeugungsanlage in Betrieb wäre. Aufgrund eines Schichtwechsels im Personal, welches auf eine Durchführung des Testes nicht speziell trainiert war, kam es zu gravierenden Fehlhandlungen. Schliesslich wurde die Prüfung durchgeführt, trotz des mittlerweile instabilen Zustands des Reaktors. Durch die Instabilität erhöhte sich die Leistung. Versuche des Personals, die Schnellabschaltung des Reaktors herbeizuführen, blieben erfolglos. Der enorme, unkontrollierbare Leistungsanstieg im Reaktor führte zur Explosion und Freisetzung von Radioaktivität. Durch die Explosion des Reaktorblocks gelangte radioaktive Strahlung in grossen Mengen in die Umgebung. Viel zu spät wurden die Bevölkerung der angrenzenden Stadt Prypiat evakuiert. Deshalb erkrankten Kinder und Jugendliche an Schilddrüsenkrebs. Die gesundheitlichen Folgen der Bevölkerung werden seitdem genau überwacht. Bis heute existiert noch immer eine Sperrzone, in die man nur kontrolliert und zeitlich begrenzt gelangen kann. Der Atomunfall in Tschernobyl und der radioaktive Niederschlag bis nach Deutschland und Schweden verstärkte in Deutschland die bereits bestehende Ablehnung gegen Atomtechnik markant. Die SPD formulierte noch im selben Jahr des Super-GAUs („Super-Grösster anzunehmender Unfall“) ein Kernenergieabwicklungsgesetz, welches den Atomausstieg innerhalb der nächsten Dekade

[2] Die Begriffe Kernenergie und Atomenergie bzw. Kernkraftwerk und Atomkraftwerk werden in der vorliegenden gleichwertig verwendet, wobei Kernenergie physikalisch der korrektere Terminus ist, da die Energie aus der Spaltung des Atomkerns kommt.
[3] Vgl. Steblau et al., 2014, Seite 20.
[4] Vgl. Steblau et al., 2014, Seite 20 - 21.

vorsah. Auch die Grünen arbeiteten an einem Entwurf zum Atomsperrgesetz, welches die Stilllegung der Atomkraftwerke innerhalb von 6 Monaten forderte. Auf den Atomausstieg einigte sich die Regierungskoalition der SPD und des Bündnis 90/ Die Grünen erstmals 1998. [5] [6]

3.2.2 Der Reaktorunfall in Fukushima:

Am 11.03.2011 um 14:46 Uhr japanischer Ortszeit kam es zu einem Erdbeben namens Tohoku, welches die Stärke 9.0 auf der Magnituden-Skala hatte. Das Epizentrum lag vor der Küste der Präfektur Miyagi und somit ca. 155 Kilometer vom Standort des Kernkraftwerks Fukushima Dai-ichi. Zu diesem Zeitpunkt waren von 6 Reaktorblöcken in Fukushima Dai-ichi die ersten 3 in Betrieb, die Blöcke 4 bis 6 waren für Revisionen abgeschaltet. Das Erdbeben löste eine automatische Schnellabschaltung der Blöcke 1 bis 3 aus und führte ebenfalls zum Zusammenbruch des öffentlichen Stromnetzes in der Region. Die Notstromdieselaggregate wurden zur Versorgung der Sicherheitssysteme automatisch gestartet.

Aufgrund des Epizentrums, welches sich im Meer befand, wurde zusätzlich ein Tsunami ausgelöst. Die Anlage des Kernkraftwerkes wurde vom Tsunami in weniger als einer Stunde nach dem Erdbeben, circa um 15:27 Uhr, erreicht. Das AKW war so gebaut, dass es Tsunamis bis zu 5.7 Metern Wellenhöhe widerstehen konnte. Allerdings erreichte der Tsunami an besagtem Tag eine Höhe von etwa 14 Metern. Durch die Überschwemmung des Anlagegeländes wurden viele Einrichtungen zerstört, auch die Notstromdieselaggregate fielen aus. Das Wasser erreichte auch Batterieräume, was zum Teil den Ausfall von „Mess- und Steuerungssystemen, Beleuchtung und Kommunikationssystemen“ zur Folge hatte. Die Überwachung der noch arbeitenden Notspeisesysteme war nun nicht mehr vollständig möglich. Die nötigen Entscheidungen zur Stabilisierung der Reaktoren mussten nun teilweise trotz fehlender Anlagedaten gefällt werden. So ging man zum Teil von falschen Gegebenheiten aus. Daraus resultierten Fehler und Zeitverzögerungen. Das Ansaugsystem für Kühlwasser wurde ebenfalls überflutet und fiel daraufhin aus. Somit konnte die Wärme nicht mehr abgeführt werden, welche nun durch die Nachzerfallsenergie immer weiter anstieg. In Block 2 und 3 funktionierten passive Notkühlsysteme noch eine gewisse Zeit lang und ermöglichten die Kühlung der Reaktorkerne. Im Reaktorblock 1 fiel das Notkühlsystem schon während des Tsunami aus. Das hatte die Verdampfung des Wassers im Reaktor zu Folge. Der Reaktorkern lag nun frei, und der Brennstoff begann sich schnellstens aufzuheizen und schliesslich zu schmelzen. Zu diesem Zeitpunkt war der Zugang zum Reaktor für das Kraftwerkspersonal aufgrund der enormen Hitze und der hohen radioaktiven Strahlung bereits nicht mehr möglich. Erst am nächsten Morgen um 05.46 Uhr konnte der zerstörte Reaktor von aussen gekühlt werden, doch der Reaktorkern war bereits grösstenteils geschmolzen. Bei der Kernschmelze, welche im Reaktor 1 stattgefunden hatte, war während einer chemischen Reaktion eine grosse Menge an Wasserstoffgas entstanden. Dadurch entstanden grosse Mengen an explosivem Knallgas. Am 12.03.2011 um 15:36 Uhr kam es zu einer Wasserstoffexplosion im Reaktorblock 1 mit weiterer Freisetzung von Radioaktivität. In den folgenden Tagen versagte die Notkühlung der Reaktorblöcke 2 und 3 mit anschliessendem Schmelzen des Kerns. Dies führte im Reaktor 3 zu einer Wasserstoffexplosion. Über gemeinsame Rohrleitungssysteme war Wasserstoff von Block 3 in Block 4 eingedrungen. Als Folge davon explodierte dieser einen Tag nach Block 3. Bei den Explosionen verbreiteten sich radioaktive Stoffe in der Umgebung. Die Behörde ordnete bereits einen Tag nach dem Erdbeben – also noch vor den Explosionen – die Evakuierung der Bevölkerung in einem Umkreis von 20 Kilometer um das Werk an. Ca. 80‘000 Menschen wurden evakuiert. Dieser frühzeitigen Evakuierung ist es zu verdanken, dass es bisher zu keinen Strahlenopfern und insbesondere – im Unterschied zu Tschernobyl – zu keinen Erkrankungen an Schilddrüsenkrebs bei Kindern und Jugendlichen kam.[7]

[5] Vgl. Neles et al., 2012, Seite 123 - 126.
[6] Vgl. Steblau et al., 2014, Seite 21 - 22.
[7] Vgl. Neles et al., 2012, Seite 129 - 130.

3.3 Beschluss über den Atomausstieg

In Deutschland kam es nach dem Unfall von Fukushima vermehrt zu Demonstrationen, welche sich gegen die Beschlüsse der Bundesregierung zu Laufzeitverlängerung der Atomkraftwerke wandten. Die Demonstranten forderten den sofortigen Ausstieg aus der Kernenergie. Die Bundesregierung spürte den Unmut der Bevölkerung und reagierte mit einem zunächst dreimonatigen Moratorium für den Betrieb der ältesten Atomkraftwerke. Dabei wurden die Kernkraftwerke „Brunsbüttel, Unterweser Biblis A, Biblis B, Phillipsburg 1 und Isar 1“ mit sofortiger Wirkung vom Netz genommen. Ein bereits durch negative Schlagzeilen behaftetes Atomkraftwerk wurde sogar stillgelegt. Am 29.05.2011 – 10 Wochen nach Fukushima – beschloss die Bundesregierung unter Bundeskanzlerin Angela Merkel den endgültigen Atomausstieg bis zum Jahresende 2022.[8]

Heute – Stand November 2020 – befinden sich noch sechs Atomkraftwerke in Betrieb: Brokdorf (1410 MW), Emsland (1335 MW), Grohnde (1360 MW), Gundremmingen C (1288 MW), Isar 2 (1410 MW) und Neckarwestheim 2 (1310 MW). Es befinden sich somit noch 8133 Megawatt installierte Atomkraftleistung am Netz.

[8] Vgl. Steblau et al., 2014, Seite 176 - 179.

4. Wirtschaftliche Situation Deutschlands vom Atomeinstieg bis zum Beschluss des Ausstiegs

„Von der Vollbeschäftigung zur Massenarbeitslosigkeit“, so beschreiben Hinrichs und Giebel-Felten in ihrem Arbeitspapier die Entwicklung des deutschen Arbeitsmarktes zwischen 1960 und 2001. In der Nachkriegszeit erholte sich die deutsche Wirtschaft sehr schnell und wuchs trotz Niederlage und dank Marshall-Plan stark an. Während 1950 bis 1960 betrug der Wachstumsdurchschnitt 8.2 Prozent.[9] [10]

In der Dekade von 1960 bis 1970 machten sich erstmals konjunkturelle Schwankungen bemerkbar: Das Wachstum flachte auf durchschnittliche 4.4 Prozent ab, wobei die Arbeitslosenquote von 1960 bis1966 zwischen 0.7 bis 0.8 Prozent betrug. Das Bruttoinlandprodukt (BIP) pro Kopf belief sich in Westdeutschland auf 11’241 Euro (umgerechnet aus DM). 1967 erlebte Deutschland eine erste Rezession. Das BIP pro Kopf sank auf 11’181 Euro. Die Arbeitslosenquote stieg auf 2.1 Prozent an. Einzig nach dieser Rezession konnte Deutschland die Arbeitslosenquote wieder auf das vorherige Niveau senken, dies war in nächsten Rezessionen nicht mehr möglich.

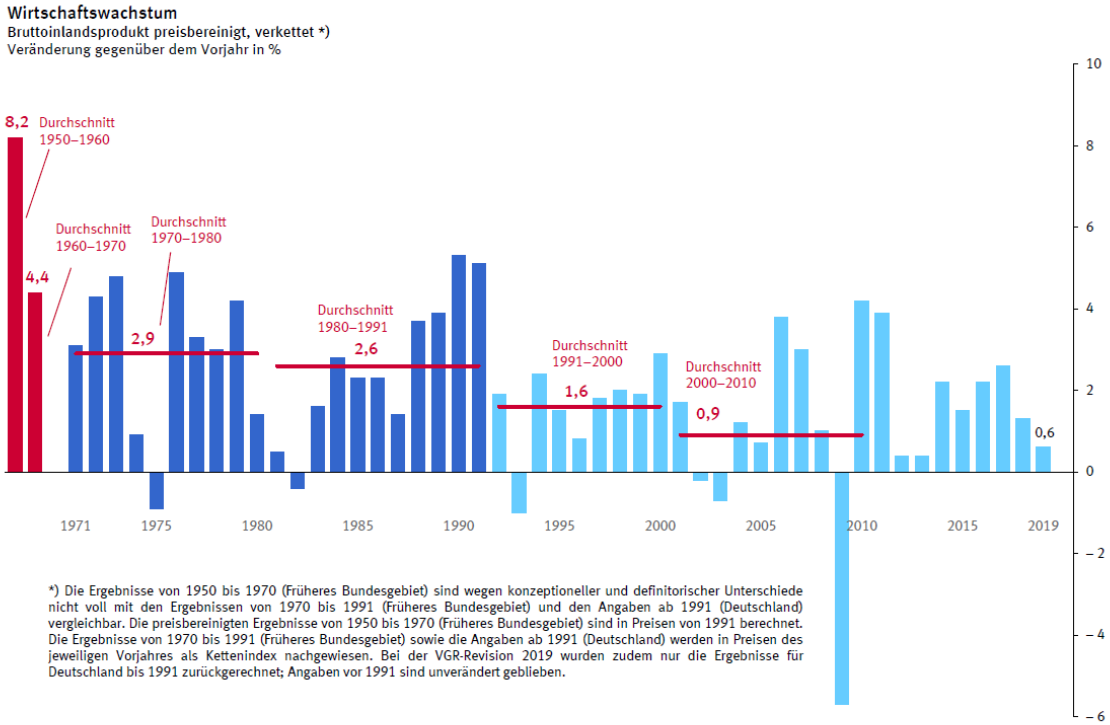


Abbildung 1 *- Sinkendes jährliches Wirtschaftswachstum in Deutschland in den Jahrzehnten von 1971 und 2019, Bruttoinlandprodukt preisbereinigt, verkettet*, Veränderungen gegenüber dem Vorjahr in %.(Quelle: Statistisches Bundesamt DSTATIS, 2019, S. 4).*
**) Die Ergebnisse von 1950 bis 1970 (früheres Bundesgebiet) sind wegen konzeptioneller und definitorischer Unterscheide nicht voll mit den Ergebnissen von 1970 bis 1991 (früheres Bundesgebiet) und den Angaben ab 1991 (Deutschland) vergleichbar. Die preisbereinigten Ergebnisse von 1950 bis 1970 (früheres Bundesgebiet) sind in Preisen von 1991 berechnet. Die Ergebnisse von 1970 bis 1991 (früheres Bundesgebiet) sowie die Angaben ab 1991 (Deutschland) werden in Preisen des jeweiligen Vorjahres als Kettenindex nachgewiesen. Bei der VGR-Revision 2019 wurden zudem nur die Ergebnisse für Deutschland bis 1991 zurückgerechnet; Angaben von 1991 sind unverändert geblieben.*

[9] Vgl Leibnitz Institut 2020, Seite 198 – 199. Screenshot siehe Kap. 11.4.1.
[10] Vgl. Hinrichs, Giebel-Felten, 2002, Seite 4.

In den Jahren 1970 bis 1980 wuchs die deutsche Wirtschaft mit 2.9 Prozent etwas verlangsamt weiter. 1975 gab es einen Ausreisser - eine Rezession. Auslöser dafür war die Ölkrise 1973, in der sich Rohstoffe schlagartig verteuerten. Dies führte dazu, dass die Energiekosten für Deutschland, wie auch für andere Länder stiegen. Um die Abhängigkeit von Erdöl zu reduzieren, beschlossen Länder wie Deutschland, Frankreich und die Schweiz den Ausbau der Kernenergie zur Stromerzeugung massiv zu intensivieren. Das Wirtschaftswachstum war in den negativen Bereich gefallen, es sank um ca. 1 Prozent. Im Jahr davor hatte die Arbeitslosenquote 2.6 Prozent betragen und das BIP pro Kopf 16'326 Euro (umgerechnet aus DM). 1975 stieg die Arbeitslosenquote bis auf 4.7 Prozent. In den nächsten Jahren, bis zur nächsten Rezession, erholte sich diese Quote allerdings nur um knapp 1 Prozent, der Minimalwert der Arbeitslosenquote betrug 3.8 Prozent. Das BIP pro Kopf sank um 112 Euro und betrug nun 16'214 Euro. Konjunkturelle Aufschwünge gab es durch Energieeinsparungen und die Erschliessung anderer Energiequellen.[11]

Zwischen 1980 und 1990 nahm das Wirtschaftswachstum geringfügig ab, es wurden immer noch 2.6 Prozent gemessen. Auch fand in dieser Periode die nächste Rezession statt. 1981-1985 nahm die Arbeitslosigkeit in Deutschland deutlich zu. 1981 betrug die Arbeitslosenquote 5.5 Prozent und wuchs die nächsten 4 Jahre weiter. 1982 betrug sie 7.5 Prozent, 1983 und 1984 mass man 9.1 Prozent.1985 belief sie sich auf ganze 9.3 Prozent. Diese hohe Arbeitslosigkeit konnte man in den darauffolgenden Jahren auf 6.4 Prozent senken, doch nahm diese in der nächsten Rezession nochmals weiter zu. Der Grossteil der deutschen Atomkraftwerke ging bis Mitte der achtziger Jahre ans Netz. Der weitere Ausbau der Atomenergie endete mit dem Atomunfall in Tschernobyl 1986.

1993 muss man die nächste Rezession verorten. Mittlerweile betrug das BIP pro Kopf 21'312 Euro (umgerechnet aus DM), 391 Euro weniger als im Jahr zuvor. Das Wirtschaftswachstum nahm auch in diesem Jahr nochmals um etwa 1 Prozent ab. Die Arbeitslosigkeit (Westdeutschland) stieg von 6.4 (1992) auf 8 Prozent an, während sich in ganz Deutschland die Arbeitslosenquote 1992 auf 8.2 Prozent belief und 1993 auf 9.8 Prozent anstieg. Bis 1997 steigen die Zahlen der Arbeitslosen weiterhin an. Höchstwerte wurden 1997 gemessen. 12.7 Prozent waren in Deutschland arbeitslos. In den westlichen Bundesgebieten belief sich die Arbeitslosenquote auf 10.8 Prozent, in den neuen Bundesländern sogar auf 19.1 Prozent. Die deutsche Wirtschaft wuchs in diesem Jahrzehnt (1990-2000) lediglich um 1,6 Prozent.

Interessant im Hinblick auf den deutschen Atomausstieg ist das Jahr 1998. Die Rezession war vorbei und ein Aufschwung war im Gange. Die SPD bilden zusammen mit dem Bündnis 90/Die Grünen erstmals eine Regierungskoalition und beschliessen den Atomausstieg. 2001 erfolgte eine unvorhersehbare Rezession, die durch die terroristischen Angriffe auf die Twin-Towers in Manhattan, ausgelöst wurde. Die als Folge von 9/11 einsetzende Rezession hatte auf den Wunsch des kostenintensiven Atomausstiegs wenig Wirkung.

Der letzte konjunkturelle Abschwung (vor COVID-19), welcher bei Weitem auch der schlimmste war, erfolgte 2009. Ursache war die weltweite Finanzkrise im Jahr 2008, welche durch den Bankrott der Lehman-Brothers-Bank ausgelöst worden war. Eine starke, langanhaltende Rezession nennt man Depression, wobei dieser Begriff durchaus auf die Rezession von 2009 passt. Im darauffolgenden Jahr beschloss die Bundesregierung die Verlängerung der AKW-Laufzeiten, was im Nachhinein durchaus verständlich ist, denn in einer tiefgreifenden Rezession bzw. Depression sind die finanziellen Mittel, um Projekte wie den Ausbau der NEE zu finanzieren, nicht vorhanden. 2011 als der Reaktorunfall in Fukushima passierte, hatte sich die deutsche Wirtschaft soweit erholt, dass ein Atomausstieg auch finanziell wieder möglich erschien und deshalb beschlossen wurde. Allgemein lässt sich sagen, dass die wirtschaftliche Lage den Atomausstieg als Randbedingung beeinflusst, denn je schlechter die wirtschaftliche

[11] Vgl. Süddeutsche Zeitung, 2010, Artikel vom 19. Mai 2010 – Screenshot siehe Kap. 11.4.1.

und soziale Lage (beispielsweise durch Arbeitslosigkeit), desto weniger stehen Umweltthemen an erster Stelle für Politik und Öffentlichkeit.[12]

[12] Vgl. Julia Steblau, 2014, Seite 27.

5. Übersicht über die wichtigsten Gesetze und Beschlüsse im Zusammenhang mit dem Ausbau der Neuen Erneuerbaren Energien, dem Atomausstieg und den Klimazielen

Tab. 1: Chronologische Darstellung der wichtigsten Gesetze und Beschlüsse zum Atomausstieg, der Klimapolitik und dem Kohleausstieg.

Jahr	Ereignis	Beschreibung
1990	Stromeinspeisegesetz für Ökostrom	Sichert den Erzeugern von Strom aus Erneuerbaren Zugang zum Netz und eine Mindestvergütung für den erzeugten Strom.[13]
1992	UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro	Aktionsprogramm Agenda 21 fordert von den Teilnehmerstaaten, darunter BRD, u.a. die Reduzierung der Treibhausgase[14]
1998	Energiepolitik der rot-grünen Bundesregierung	die Rot-Grüne-Bundesregierung beschliesst den schnellst möglichen Atomausstieg und die stärkere Förderung von Erneuerbaren Energien[15]
2000	Atomkonsens	Rot-Grüne-Bundesregierung einigt sich mit Betreibern der AKW auf Laufzeitbeschränkung von 32 Jahren nach Inbetriebnahme und verpflichtet sich zu Entschädigungszahlungen. Zu diesem Zeitpunkt bezieht BRD 30 Prozent des Stroms aus AKW.[16]
2000	Gesetz für den Vorrang Erneuerbaren Energien (Erneuerbares Energiegesetz = (EEG)	Löst das Stromeinspeisegesetz von 1990 ab. Gibt Einspeisevorrang für erneuerbare Energien (= garantierte Abnahme) und höhere garantierte Abnahmepreise.[17] 6 bis 9 Cent für 1 Kilowattstunde Windstrom, 48 bis 50 Cent für 1 Kilowattstunde Photovoltaikstrom.
2004	EEG[18]	Erste Novelle des EEG setzt den Ausbau der erneuerbaren Energien fest. (Bis 2010 soll der Prozentsatz der NEE am Primärenergieverbrauch von 4.2% auf 12.5% erhöht werden und bis 2020 mind. 20% ansteigen)[19]
2009	EEG	Die Novellierung fokussiert sich mehr auf den Klima- und Umweltschutz, deshalb wird festgelegt, dass der Anteil der NEE an der Stromversorgung bis 2020 auf mindestens 30% ansteigen soll.[20]
2010	Energiekonzept 2050	Bundesregierung legt das Energiekonzept 2050, Dekarbonisierung der Wirtschaft. Treibhausgas-Ausstoss soll bis 2020 um 40, bis 2030 um 55 und bis 2050 um 80 bis 95 Prozent sinken gegenüber dem Stand 1990.[21]
2010	Verlängerung der AKW-Laufzeiten	Ziel ist es eine strukturelle Neuordnung der Stromversorgung mit höherem Anteil an erneuerbaren Energien. Um dies wirtschaftlich zu bewerkstelligen sollen die Atomkraftwerke 12 weitere Jahre laufen und die

[13] Vgl. Illing, 2016, Seite 175 – 177.
[14] Vgl. Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung– Screenshot siehe Kap. 11.4.2.
[15] Vgl. Illing, 2016, Seite 191 – 192.
[16] Vgl. Illing, 2016, Seite 195 – 198.
[17] Vgl. Illing, 2016, Seite 201 – 204.
[18] Vgl. Gesetz über den Vorrang der Erneuerbaren Energien 2004 – Screenshot siehe Kap.11.4.2.
[19] Vgl. Illing, 2016, Seite 204 –208.
[20] Vgl. Illing, 2016, Seite 239 – 243.
[21] Vgl. Illing, 2016, Seite 266 – 267.

		abgeschöpften Zusatzgewinne aus der Kernbrennstoffsteuer werden in den Ausbau der regenerativen Energien investiert.[22]
2011	Atomausstieg nach Fukushima	Revision des Atomausstiegsbeschlusses: CDU/CSU und FDP beschliessen aufgrund des Atomunfalls in Fukushima den gesamten Ausstieg der Kernenergie bis zum Jahr 2022[23].
2012	EEG	Der Marktanteil von erneuerbaren Energien im Strombereich soll bis 2020 auf 35% bis 40% ansteigen, wobei die Vergütungen für den Strom aus Biomasse gesenkt werden (aufgrund der zu stark angestiegenen Differenzkosten). Durch die Einführung einer Marktprämie soll dazu beigetragen werden, dass der regenerative Strom direkt am Markt vertrieben werden kann.[24]
2014	EEG	Kostendynamik soll durch Novelle des EEG verändert werden, Technologieförderung rückt in den Hintergrund, während die Bezahlbarkeit der neuen Energiewirtschaft in den Fokus gerät.[25]
2016	EEG	Modellwechsel: Anstelle der Einspeisevergütung tritt das Ausschreibeverfahren: Die Regierung schreibt eine bestimmte Leistung aus. Der Anbieter mit dem günstigsten Angebot erhält den Zuschlag für den Bau des Windparks oder der Photovoltaikanlage.[26]
2018	Änderung Atomgesetz[27]	Regelt Entschädigungszahlungen des Bundes an die Betreiber von Atomkraftwerken wegen vorzeitiger Abschaltung.
2019	Klimaschutzgesetz[28]	Schreibt Klimaziele verbindlich fest.
2020	Kohleausstiegsgesetz[29]	Gesetz zur Reduzierung und zur Beendigung der Kohleverstromung und zur Änderung weiterer Gesetze
2020	Entscheid des Bundesverfassungsgerichts	Änderung des Atomgesetzes durch die Bundesregierung bezüglich Entschädigungszahlung ist unzureichend (höhere Entschädigungen notwendig für Betreiber)[30].

[22] Vgl. Illing, 2016, Seite 258 – 259.
[23] Vgl. Illing, 2016, Seite 259 – 262.
[24] Vgl. Illing, 2016, Seite 269 – 271.
[25] Vgl. Illing, 2016, Seite 295 – 299.
[26] Vgl. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/erneuerbare-energien.html .
[27] Vgl. Atomgesetz – siehe http://www.gesetze-im-internet.de/atg/index.html und Kap. 11.2.2.
[28] Vgl. Klimaschutzgesetz – siehe Kap. 11.2.2.
[29] Vgl. Gesetz zur Reduzierung und zur Beendigung der Kohleverstromung und zur Änderung weiterer Gesetze – siehe Kapitel 11.2.2.
[30] Handelsblatt, 2020 – Screenshot siehe Kap. 11.4.2.

6. Die Klimaziele Deutschlands:

6.1 Die Klimaabkommen von Rio de Janeiro, Kyoto und Paris

Deutschland als eines der 178 Länder, die an der Konferenz in Rio de Janeiro teilgenommen hatten, unterzeichnete unter anderem die UNO-Klimarahmenkonvention und verpflichtete sich zur Reduktion der Treibhausgase. Die Klimaschutzpolitik stützt sich im Wesentlichen auf diese UNO-Klimarahmenkonvention und auf deren Zusatzprotokolle, das Kyoto-Protokoll und das Übereinkommen von Paris. 2016 verabschiedete die Bundesregierung den Klimaschutzplan 2050: Deutschland will bis zum Jahr 2050 weitgehend treibhausgasneutral sein. [31] Das Klimaschutzgesetz vom Dezember 2019 legt die Klimaschutzziele Deutschlands fest: Bis zum Jahr 2020 sollen die Treibhausgas-Emissionen um mindestens 35 Prozent, bis zum Jahr 2030 um mindestens 55 Prozent gesenkt werden (gegenüber dem Stand von 1990) [32].

6.2 Deutschlands Treibhausgas-Emissionen

Deutschland trug im Jahr 2018 zwei Prozent zu den globalen Treibhausgas-Emissionen bei.[33] Wie aus Abb. 2 hervorgeht, war die Energiewirtschaft für ca. 40 Prozent der Emissionen verantwortlich.

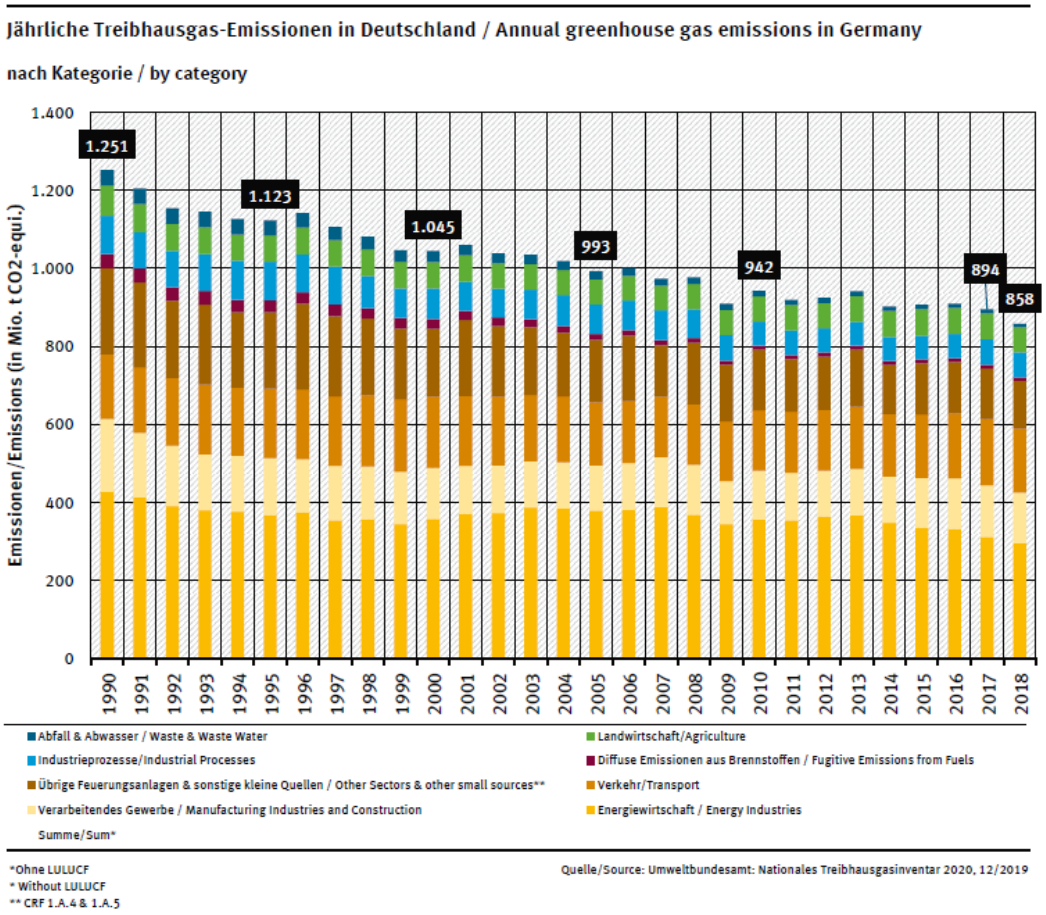


Abbildung 2 *- Die jährlichen Treibhausgas-Emissionen in Deutschland zwischen 1990 und 2018. Abgenommen hat der Anteil Treibhausgase in der Energiewirtschaft (orange) und der Gebäudeheizung (dunkelbraun), während Gewerbe (blassgelb), Verkehr (ocker)und Landwirtschaft (grün) sich wenig verändert haben. (Quelle: Umweltbundesamt 2020)[34].*

[31] Vgl. Die Bundesregierung, 2020 - Screenshot siehe Anhang Kap. 11.4.3.
[32] Vgl. Bundesministerium für Umweltschutz, 2019, Seite. 7.
[33] Vgl. Statista, Die zehn größten CO2-emittierenden Länder nach Anteil an den weltweiten CO_2-Emissionen im Jahr 2018 – Screenshot siehe Anhang Kap. 11.4.3.
[34] Vgl. Umweltbundesamt 2020 - Screenshot von https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen/emissionsquellen.

Neben CO_2 zählen Methan, Distickstoffmonoxid, Hydrofluorcarbon, Schwefelhexafluid und Perfluorcarbon zu den Treibhausgasen. Im Jahr 1990 stiess Deutschland 1251 Millionen Tonnen und im Jahr 2019 805 Millionen Tonnen Treibhausgase bzw. CO_2-Äquivalente aus.[35] Dies entspricht einer Reduktion von 35 Prozent. Um die Klimaziele 2030 zu erfüllen, müssen in den nächsten zehn Jahren über weitere 200 Millionen Tonnen Treibhausgase eingespart werden. Die Klimaziele 2030 sollen über den Einsatz erneuerbarer Energien für die Stromerzeugung, das schrittweise Abschalten der Kohlekraftwerke und die neue Bepreisung, d.h. durch die Verteuerung von CO_2 in den Bereichen Mobilität und Gebäudewärme erreicht werden.

Die folgenden Überlegungen und Berechnungen stützen sich ausschliesslich auf die CO_2-Emissionen, da CO_2 das wichtigste Treibhausgas darstellt.

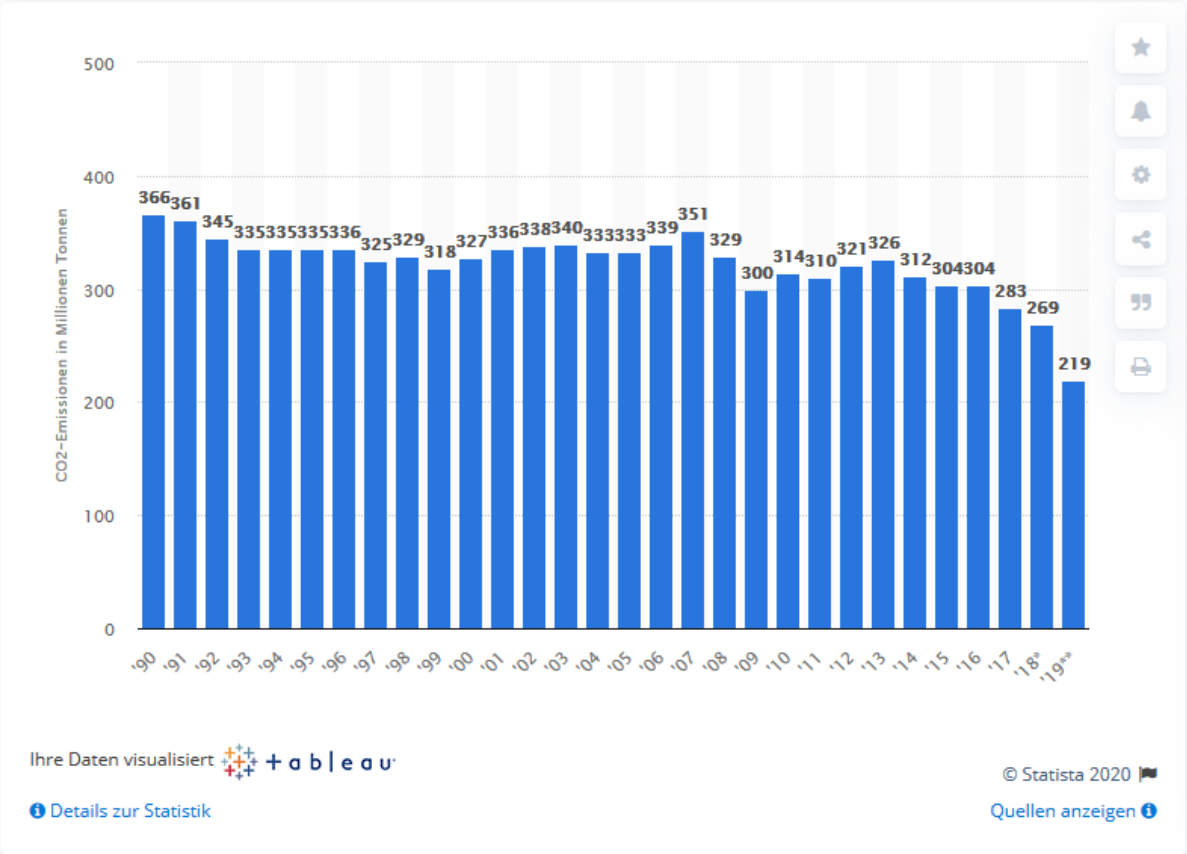


Abbildung 3 *- Entwicklung der CO_2-Emissionen durch die Stromerzeugung in Deutschland in den Jahren 1990 bis 2019 in Millionen Tonnen. (Quelle: Statista 2020 Höhe der CO_2-Emissionen durch die Stromerzeugung in Deutschland in den Jahren 1990 bis 2019 in Millionen Tonnen.)*[36]

Im Zeitraum 1990 bis 2019 sank der durch die Stromerzeugung verursachte CO_2-Ausstoss Deutschlands von 366 Millionen Tonnen auf 219 Millionen Tonnen, d.h. um rund 40 Prozent.[37] Die CO_2-Emissionen pro erzeugter Kilowattstunde Strom nahm von durchschnittlich 764 auf 401 Gramm ab.[38] Diese an sich beeindruckenden Werte werden angesichts der gesamthaften CO_2-Emissionen relativiert: Deutschland stiess 1990 total 1075 und im Jahr 2019 755 Millionen

[35] Vgl. Statista, Höhe der Treibhausgas-Emissionen in Deutschland in den Jahren 1990 bis 2019. Screenshot siehe Kap. 11.4.3.
[36] Vgl. Statista, Höhe der CO_2-Emissionen durch die Stromerzeugung in Deutschland in den Jahren 1990 bis 2019 in Millionen Tonnen. – Screenshot vom 18.10.2020.https://de.statista.com/statistik/daten/studie/38893/umfrage/co2-emissionen-durch-stromerzeugung-in-deutschland-seit-1990/#professional
[37] Eigene Berechnung.
[38] Vgl. Statista, Entwicklung des CO_2-Emissionsfaktors für den Strommix in Deutschland in den Jahren 1990 bis 2019 (in Gramm pro Kilowattstunde) – Screenshot siehe Kap. 11.4.3.

Tonnen CO_2 aus.[39] Dies entspricht einer Senkung von 30 Prozent. Der Anteil der Stromerzeugung an den gesamten CO_2-Emissionen sank demnach von 34 Prozent (1990) auf 28 Prozent (2019): Die gesamte bisherige Energiewende führte somit im Bereich der Stromerzeugung zur einer Reduktion von lediglich 6 Prozent gemessen am deutschen Gesamtausstoss an CO_2.[40]

6.3 Vergleich CO_2-Ausstoss von AKW, Kohle, Windenergie und Photovoltaik

Für die Beurteilung der Treibhausgasemissionen der verschiedenen Stromerzeugungsarten über den gesamten Lebenszyklus hinweg (d.h. Rohstoffgewinnung, Kraftwerksbau, -betrieb, und -rückbau) liegen Zahlen bzw. Bandbreiten für die Schweiz und Westeuropa vor –siehe Abb. 4. Die für die Schweiz ermittelten Werte lassen sich mit der nötigen Vorsicht auf die Stromproduktion Deutschlands übertragen. Bei der Erzeugung einer Kilowattstunde Strom aus Braun– bzw. Steinkohle und Erdöl fallen zwischen 1000 und 1200 Gramm Treibhausgase an. Deutlich tiefer ist die Treibhausgasemission bei gasbetriebenen Kraftwerken (ca. 400-700 Gramm). Am klimafreundlichsten ist die Stromerzeugung mit Wasserkraftwerken mit Werten 10 und 20 Gramm, gefolgt von Atomkraftwerken (24 Gramm) und Windenergie (24 Gramm). Bei Strom aus Photovoltaikanlagen liegen die Treibhausgasemissionen zwischen 45 und ca. 100 Gramm. Die Ökobilanz von Kohle- und Gaskraftwerken könnte mit einer kostenintensiven CO_2-Abscheidung verbessert werden und zwar auf Werte zwischen 50 und 200 Gramm (Kohle) bzw. um 100 Gramm (Gas) pro Kilowattstunde. In Europa existieren allerdings noch keine Kohle- oder Gaskraftwerke mit CO_2-Abscheidung.[41]

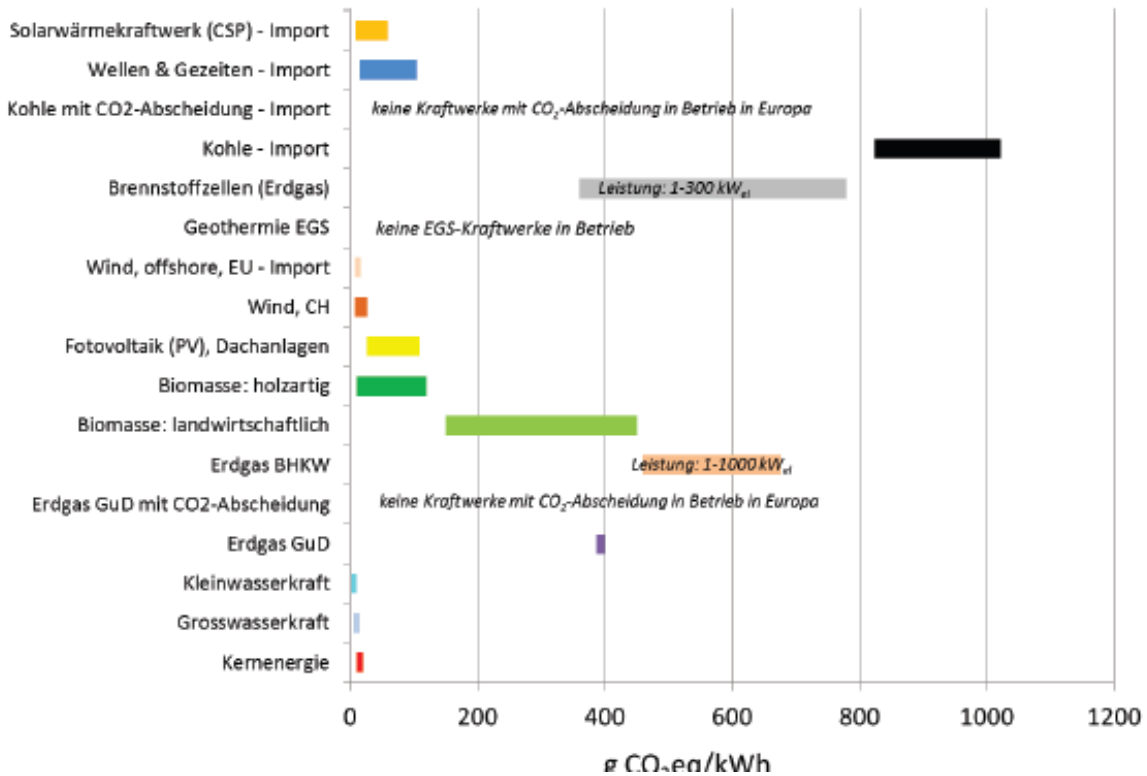


Abbildung 4 *- Die Bandbreiten der CO_2-Emissionen der verschiedenen Stromerzeugungsarten in Gramm pro erzeugter Kilowattstunde an elektrischem Strom.(Quelle: Hirschberg et al., 2017, Seite 94).*

[39] Vgl. Statista Höhe der CO2-Emissionen in Deutschland in den Jahren 1990 bis 2018. Screenshot siehe Kap. 11.4.3.
[40] Eigene Berechnungen auf Basis Zahlenmaterial Statista.
[41] Vgl. Hirschberg et al., 2017, Seite 93f.

6.4 Kohleausstieg und Klimaziele

Deutschland will bis 2038 sämtliche Kohlekraftwerke abgestellt haben und die betroffenen Gebiete gestützt auf das Strukturstärkungsgesetz mit 40 Milliarden Euro unterstützen.[42] Wie die obigen Berechnungen gezeigt haben, wird selbst mit dem vollständigen Kohleausstieg und der vollständigen Umstellung der Stromerzeugung auf Erneuerbare nur ein knappes Drittel der gesamten CO_2-Emissionen eingespart werden können. D.h. die ehrgeizigen Klimaziele Deutschlands lassen sich nicht allein über die Energiewende im Bereich Stromerzeugung erreichen, sondern erfordern künftig einschneidende Massnahmen im Verkehr und bei der Gebäudeheizung.

[42] Vgl. Die Bundesregierung, 2020 - Screenshot siehe Kap. 11.4.4.

7. Wind und Photovoltaik – realistischer Ersatz für konventionelle Stromerzeugung?

Der wichtigste Vorteil von Photovoltaik- und Windstrom sind die relativ geringen CO_2-Emissionen pro erzeugter Kilowattstunde Strom – siehe Abbildung 4 – und die zumindest bei der Photovoltaik hohe gesellschaftliche Akzeptanz. Dem steht eine Reihe von schwer bis technisch unlösbaren bzw. mit hohen Kosten verbundenen Problemen gegenüber.

7.1 Problem Verfügbarkeit

Im Jahr 2019 erzeugten in Deutschland 1470 Offshore- und 29'456 Onshore-Windenergieanlagen[43] insgesamt 125,9 Terawattstunden Strom[44]. Die installierte Onshore-Windenergieleistung betrug im gleichen Jahr 53'912 Megawatt[45,] jene der Offshore-Windenergieleistung 7500 Megawatt[46.] Die installierte Windleistung beläuft sich damit auf 61'412 Megawatt. Auf dieser Basis lässt sich die durchschnittliche Verfügbarkeit der Windenergieanlagen berechnen: Ein Jahr hat 8760 Stunden. Eine Verfügbarkeit von 100 Prozent bedeutet, dass das Kraftwerk an 8760 Stunden unter Volllast Strom erzeugt hat. Eine 100 Prozent Verfügbarkeit ist auch bei konventionellen Kraftwerken utopisch: Bei AKW's z.B. erfordern Revisionsarbeiten und Brennstoffwechsel einen jährlichen Stillstand von drei bis vier Wochen, was ihre tatsächliche Verfügbarkeit in einen Bereich von rund 90 Prozent bringt.

Bei einer 100 Prozent Verfügbarkeit der deutschen On- und Offshore-Windenergieanlagen hätten diese im Jahr 2019 538 Terawattstunden Windstrom erzeugen müssen[47]. Tatsächlich fällt die Stromproduktion mit 125,9 Terawattstunden deutlich tiefer aus. Diese entspricht einer durchschnittlichen Verfügbarkeit von 23.4 Prozent, also knapp einem Viertel der theoreitsch möglichen Stromproduktion. Um tatsächlich die installierte Nennleistung über die Gesamtzeit zu erreichen, müsste diese mindestens vierfach installiert werden (→ 4 x 61'412 Megawatt = ca. 245'000 Megawatt Windleistung). Bei der Photovoltaik verhält sich die Situation analog: Im Jahr 2019 erzeugten 49'016 Megawatt[48] installierte Photovoltaikleistung 46,4 Terawattstunden[49] Strom. Dies entspricht einer Verfügbarkeit von 10.8 Prozent.[50] Um tatsächlich die installierte Nennleistung über die Gesamtzeit zu erreichen, müsste diese mindestens zehnfach installiert werden (→ 10 x 49'016 Megawatt = ca. 490'000 Megawatt Photovoltaikleistung).

Die im Vergleich mit konventionellen Kraftwerken tiefe bis sehr tiefe Verfügbarkeit führt bei den NEE zwangsläufig zu hohen Gestehungskosten pro Kilowattstunde Strom. Ineffiziente Erzeugungsformen können sich auf einem freien Markt nicht halten: Entsprechend wird Strom aus NEE durch regulatorische Bevorzugung marktfähig gemacht: wie z.B. durch den Einspeisevorrang der NEE und die Einspeisevergütung von NEE-Strom zu garantieren Preisen sowie die künstliche Verteuerung von konventionell erzeugtem Strom durch Abgaben.

7.2 Problem wechselhafter, nicht-steuerbarer Produktion

Die Stromerzeugung aus Photovoltaik und Wind ist starken jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen – siehe Abb. 5: So trägt die Photovoltaik von Mitte Oktober 2019 bis Mitte März 2020 nur minimal zur Stromerzeugung bei. Die Windstromerzeugung ist im Winterhalbjahr deutlich höher als im Sommer, zeigt aber auch im Winter Einbrüche.

---

[43] Vgl. Bundesverband Windenergie, 2020. Screenshot siehe Kap. 11.4.4.
[44] Vgl. Statistisches Bundesamt DESTATIS, Bruttostromerzeugung in Deutschland 2016 bis 2019, Stand 2020. Screenshot siehe Kap. 11.4.4.
[45] Vgl. Bundesverband Windenergie, 2020. Screenshot siehe Kap. 11.4.4.
[46] Vgl. Windbranche.de 2020, Screenshot siehe Kap. 11.4.4.
[47] Eigene Berechnung.
[48] Vgl. Statista, Installierte Leistung (kumuliert) der Photovoltaikanlagen in Deutschland in den Jahren 2000 bis 2019. Screenshot siehe Kap. 11.4.4.
[49] Siehe Fussnote 44 – Bruttostromerzeugung 2016 bis 2019.
[50] 49016 Megawatt multipliziert mit 8760 Stunden (Anzahl Stunden pro Jahr) = 429 Terawattstunden Strom. 429 TWh = 100 %, 46,4 TWh = 10.8 %.

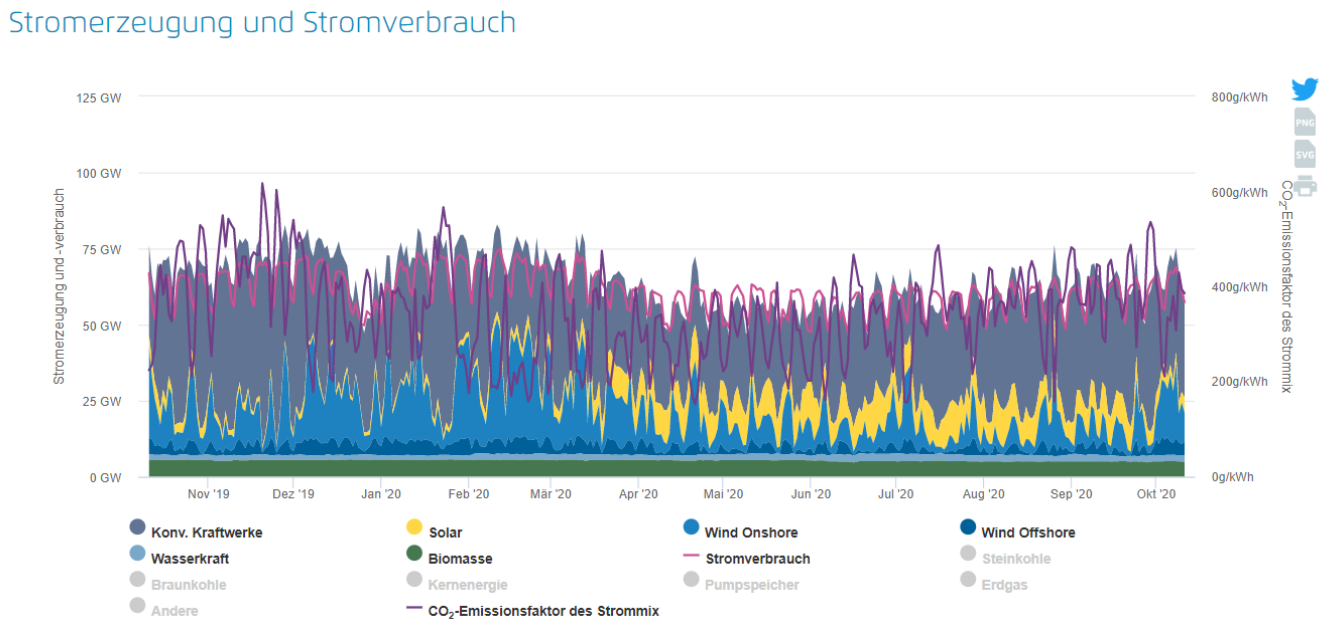


Abbildung 5 *- Stromerzeugung und Stromverbrauch (pinkfarbene Linie)von Mitte Oktober 2019 bis Mitte Oktober 2020.Deutlich erkennbar sind die geringe Ausbeute an Photovoltaik-strom (gelb) von November bis März sowie die stark schwankende Windstromproduktion (dunkelblau und blau) (Quelle: Agora Energiewende 2020a).* [51]*.*

Neben den durch die geographische Breite bedingten jahreszeitlichen Sonnenstunden-schwankungen folgt die Stromerzeugung aus Photovoltaik dem Tag- und Nachtrhythmus und wird auch durch Wolken beeinflusst. Aus Abb. 6 geht hervor, dass Wind- und Photovoltaik an Tagen mit wenig Wind und Sonne und in der Nacht immer noch weit davon entfernt sind, den benötigten Strom für Industrie und Haushalte zu liefern.

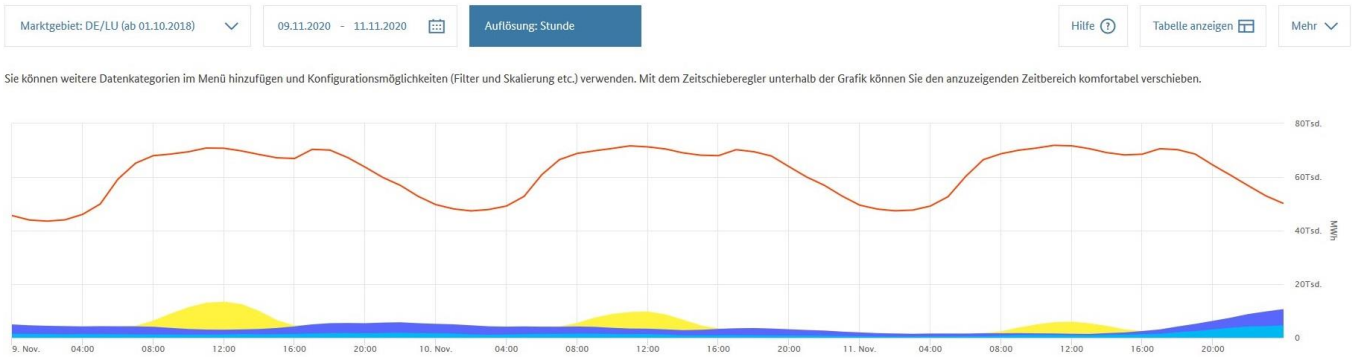


Abbildung 6 *- Stromverbrauch (rote Linie) und Stromerzeugung durch Photovoltaik (gelb), Wind Onshore (dunkelblau) und Offshore (hellblau) vom 9. bis 11. November 2020. (Auflösung stündlich). (Quelle: Bundesnetzagentur SMARD 2020a www.bundesnetzagentur.de).*

Wind und Sonne produzieren nicht dann Strom, wenn er von Industrie und Haushalten benötigt wird, sondern abhängig von den gerade herrschenden meteorologischen und tageszeitlichen-

[51] Vgl. Agora Energiewende, 2020a, Abbildung = Screenshot von https://www.agora-energiewende.de/service/agorameter/chart/power_generation/11.10.2019/11.10.2020/ .

Verhältnissen. Die Differenz zwischen erzeugtem NEE-Strom und dem tatsächlichen Verbrauch wird heute vorwiegend durch Strom aus Kohle- und Atomkraftwerken gedeckt. Dank des Einspeisevorranges der NEE können diese ihren Strom jederzeit ins Netz einspeisen, während konventionelle Kraftwerke (insbesondere fossile Kraftwerke) ihre Stromproduktion diesen wechselhaften Bedingungen kurzfristig anpassen müssen und für die Nichtproduktion entschädigt werden (Umlage für abschaltbare Lasten – siehe Abb. 12 und 13).

7.3 Problem Netzstabilität

Neben den jahres- und tageszeitlich zu erwartenden Schwankungen (weniger Sonne im Winter als im Sommer) zeigt Abb. 7 für den Monat November 2019 riesige Schwankungsbreiten: Photovoltaik lieferte in diesem Monat minimal 14 (25.11.2019) und maximal 71 (14.11.2019) Gigawattstunden Strom. Die Produktion bzw. Einspeisung ins Netz schwankte somit um einen Faktor 5. Das Windenergie-Minimum lag bei 36 (20.11.2019), das Maximum bei 857 Gigawattstunden (27.11.2019). Dies entspricht einer Schwankung um den Faktor 24.[52]

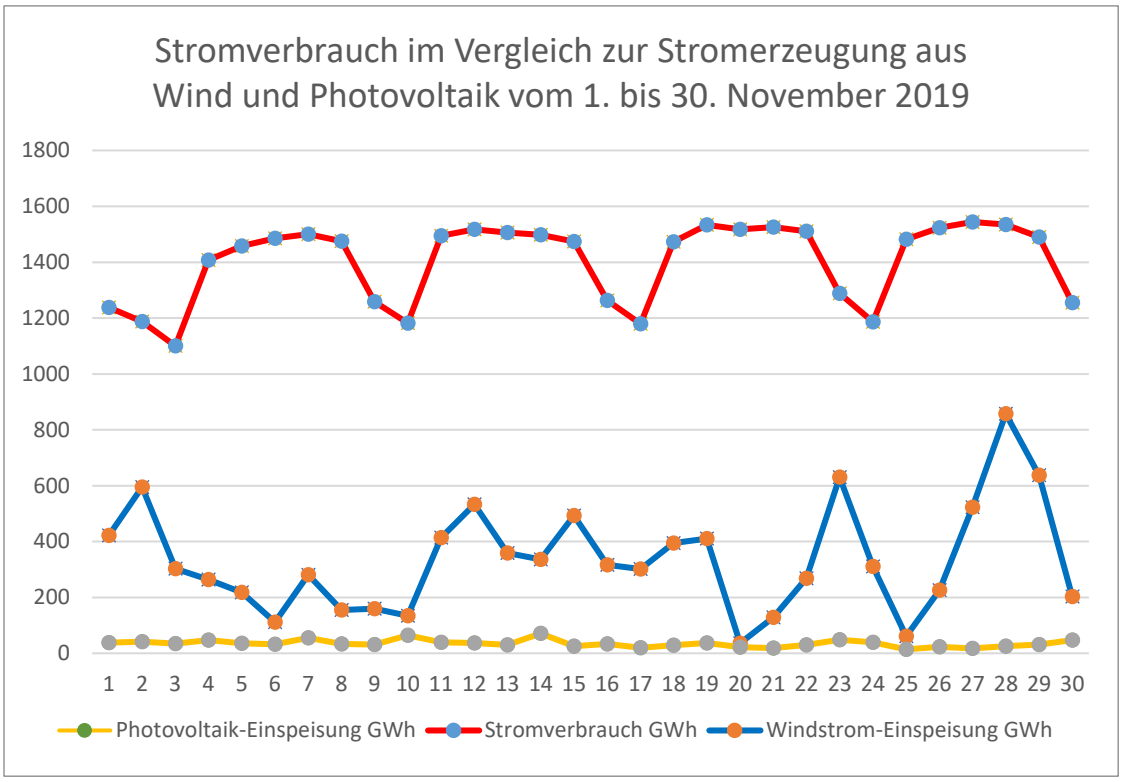


Abbildung 7 *- Stromverbrauch im November 2019, deutlich erkennbar der Einbruch des Verbrauchs an den Wochenenden. Im Vergleich dazu von Wind (blau) und Photovoltaik (gelb) erzeugter und ins Netz eingespeister Strom. (Grafische Umsetzung von Zahlenmaterial der Bundesnetzagentur SMARD 2020b – siehe Kap. 11.5).*

Im Sommerhalbjahr präsentiert sich die Situation unterschiedlich, wie aus Abb. 8 für den Monat Mai 2020 hervorgeht: Der Stromverbrauch ist gegenüber dem Wintermonat November tiefer. Dies hängt mit der wärmeren Jahreszeit und den längeren Tagen zusammen. Im Jahr 2020 kam noch der tiefere Verbrauch durch den Corona-Lockdown dazu. Wie aus Abb. 8 ersichtlich, schwankt die Stromerzeugung aus Photovoltaik um das Dreifache, jene aus Wind um das 14fache. Die für die Stromversorgung problematische Zeit ist somit das Winterhalbjahr mit seiner tiefen Solarstromproduktion und den unvorhersehbaren Wechseln zwischen riesigen Windspitzen und Flauten.

[52] Eigene Darstellung auf Basis Zahlenmaterial der Bundesnetzagentur SMARD, 2020b.

Das westeuropäische 380-Kilovolt-Stromverbundnetz, an welchem auch Deutschland angeschlossen ist, wird mit einer Frequenz von 50 Hertz betrieben.[53] Damit Frequenz und Spannung und damit das Netz stabil bleiben, müssen sich die Produktion von elektrischem Strom und dessen Verbrauch in jedem Moment die Waage halten. Üblicherweise bewegt sich die Netzfrequenz in einem schmalen Band zwischen 49,99 und 50,01 Hertz. Unvorhergesehene Frequenzschwankungen – verursacht z.B. durch riesige Stromspitzen oder plötzliche Windstille oder Wolkendurchzug – müssen durch Regelleistungen aus konventionellen Kraftwerken kompensiert werden, da sie sonst zu Blackouts führen können.

Die Eingriffe zur Stabilisierung des Stromnetzes haben in Deutschland mit dem Ausbau der NEE massiv zugenommen. 2008 betrugen die Kosten für Netzeingriffe 1 Euro pro erzeugter MWh-Strom, im Jahr 2019 lagen sie bei 6.4 Euro pro MWh-Strom.[54] Das anvisierte Ziel von 1 Euro/MWh im Jahr 2030 wird im McKinsey 2020 Energiewende-Index als unrealistisch eingestuft.

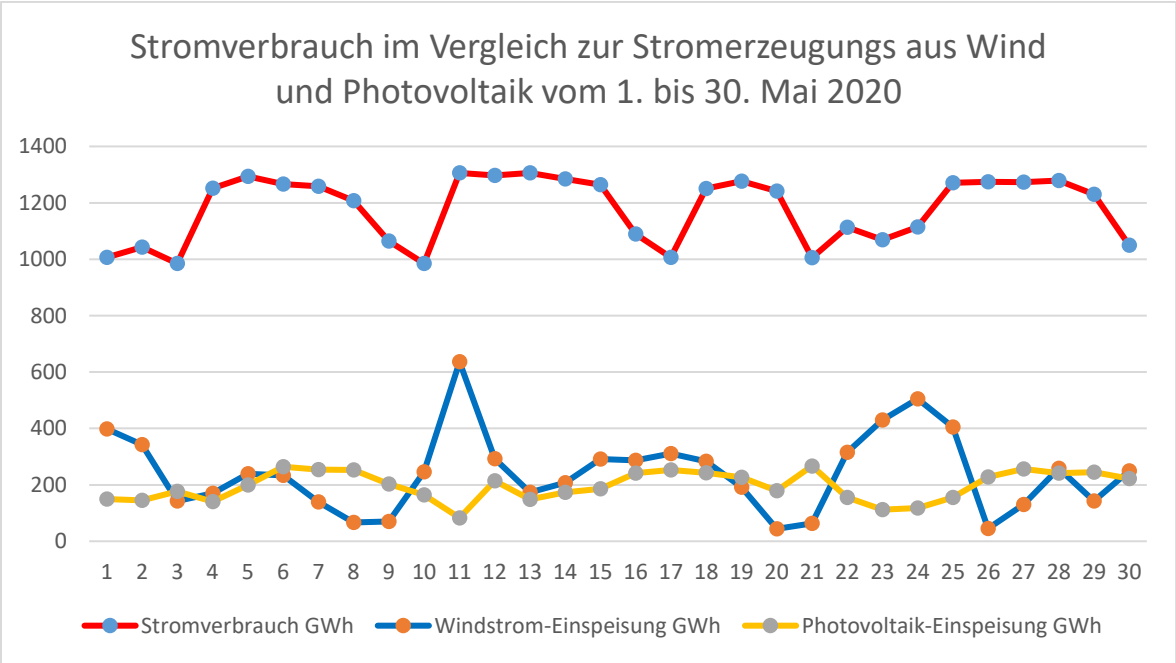


Abbildung 8 *- Stromverbrauch im Mai 2020 während des Coronavirus-Lockdowns, deutlich erkennbar der Einbruch des Verbrauchs an den Wochenenden. Am Donnerstag 21. Mai war ein bundesweiter gesetzlicher Feiertag, der zu einem langen Wochenende genutzt wurde und zu einem tieferen Stromverbrauch führte. Im Vergleich dazu von Wind (blau) und Photovoltaik (gelb) erzeugte und ins Netz eingespeiste Strom. (Grafische Umsetzung von Zahlenmaterial der Bundesnetzagentur SMARD 2020c– siehe Kap 11.5).*

7.4 Problem Stromspeicherung

Um in Deutschland eine Stromversorgung rein auf Basis von Erneuerbaren (Wasser, Wind, Photovoltaik und Biomasse) zu errichten, müsste nachdem eben Gesagten elektrischer Strom aus der unplanmässig anfallenden Produktion aus Wind- und Photovoltaik-Anlagen über Wochen gespeichert werden können. Nur so liessen sich jahreszeitlich auftretende Windflauten und sonnenarme Wintermonate überbrücken. Dies würde Speicherkapazitäten im Terawattstundenbereich erfordern. Stauseen wären die einzige grossmassstäblich machbare Möglichkeit, Strom in diesen riesigen Mengen für Wochen bis Monaten zu speichern und bei Bedarf

[53] Vgl. Swissgrid 2020 - Screenshot siehe Kap.11.4.4.
[54] Vgl. McKinsey 2020, Kosten Netzeingriffe. Screenshot siehe Kap. 11.4.4.

ins Netz einzuspeisen. Die topografischen Voraussetzungen für Stauseen sind in Deutschland bei weitem nicht ausreichend: In Mittel- und Norddeutschland fehlen ausreichend grosse unbesiedelte Gebirgstäler, die durch Staumauern abgeschlossen werden könnten. Die heute und in naher Zukunft erhältlichen Batterien können bestenfalls von Privathaushalten (Kilowattstundenbereich) und der öffentlichen Hand (Megawattstundenbereich) zur Stromspeicherung vom Tag in die darauf folgende Nacht eingesetzt werden.

7.5 Problem Netzausbau

Mit dem Wegfall der Atomkraftwerke im stark industrialisierten Süden und dem verstärkten Ausbau von Offshore-Windparks in der Nord- und Ostsee wird der Stromtransport vom Norden nach Süden nötig. Um die Energiewende realisieren zu können, will Deutschland bis 2030 das Stromnetz um 7987 Kilometer ausbauen. Auch hier stuft der McKinsey 2020 Energiewende-Index die Erreichung des gesteckten Ziels als unrealistisch ein, konnten doch davon bis 2020 aufgrund heftiger Bürger- und Kommunenproteste lediglich 1340 Kilometer realisiert werden. [55]

[55] Vgl. McKinsey, 2020 Ausbau Transportnetze 2019/2020. Screenshot siehe Kap. 11.4.4.

8. Elektrizitätsbedarf und Elektrizitätsproduktion (2000-2020)

8.1 Entwicklung des Strommixes (Fokus auf die Anteile AKW, KKW, NEE):

Wie aus Abb. 9 hervorgeht, hat sich der Anteil der Erneuerbaren Energieträger (Wasser, Wind, Biomasse, Photovoltaik) an der Gesamtproduktion zwischen 2000 bis 2019 vervierfacht bzw. zwischen dem Jahr 2008 und 2019 verdoppelt. In Deutschland trägt die Verstromung von Wasser mit einem Anteil von 2.6 Prozent (Jahr 2018) lediglich zu einem geringen Teil zur Bruttostromerzeugung bei.[56] Die Zunahme ist im wesentlichen auf den massiven Zubau bei den NEE – Wind und Photovoltaik - zurückzuführen. Auf diesen Umstand ist auch die für den gleichen Zeitraum festzustellende Versechsfachung der Kosten für Netzeingriffe zurückzuführen - siehe Kapitel 7.3.

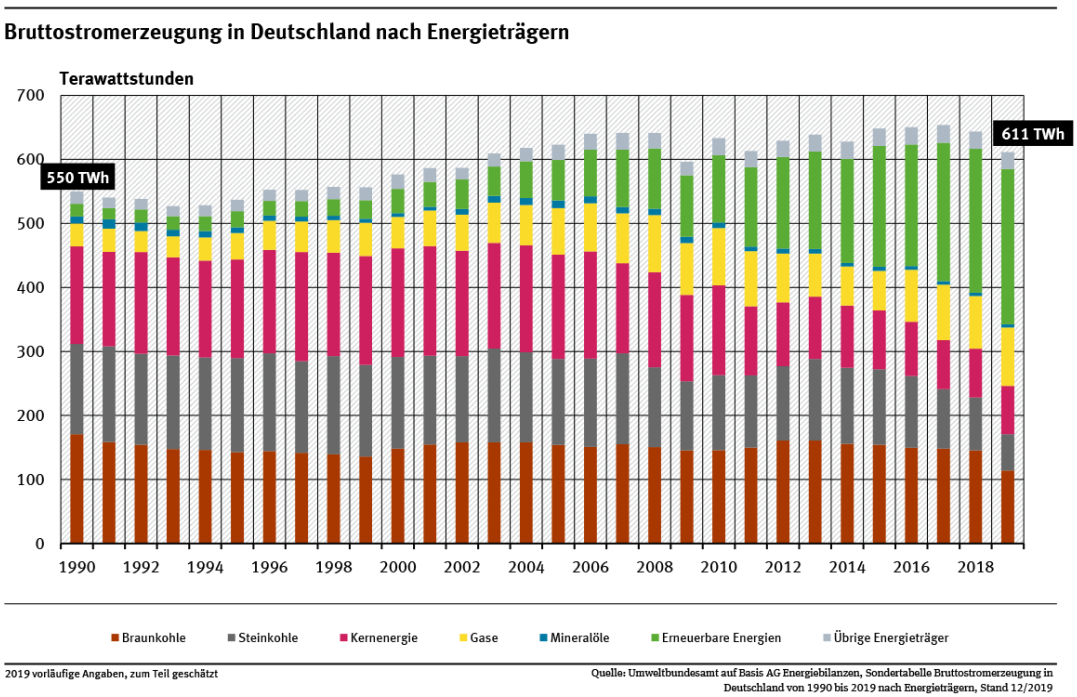


Abbildung 9 *- Die Bruttostromerzeugung in Deutschland nach Energieträgern für die Jahre 1990 bis 2019. Braun: Braunkohle, Dunkelgrau: Steinkohle, Rot: Kernenergie, Gelb: Gase, Blau: Mineralöle, Grün: Erneuerbare Energien, Hellgrau: übrige Energieträger. (Quelle: Umweltbundesamt 12/2019).*[57]

Gegenüber 2010 halbierte sich der Anteil der Kernenergie an der Bruttostromerzeugung bis 2019. Abgenommen haben seit 2015 auch der Anteil des Stroms aus Steinkohle bzw. seit 2019 der Anteil der Braunkohle. Diese letzte Entwicklung ist im Zusammenhang mit den Klimazielen zu betrachten, wobei Kohle (Braun- und Steinkohle) mit 35.4 Prozent weiterhin den grössten Anteil an der Stromerzeugung stellen. Verdoppelt hat sich im Zeitraum 1990 bis 2019 dagegen der Anteil von Gas an der Bruttostromerzeugung. Es ist somit eine klare Tendenz zu erkennen, dass AKW's und Kohlekraftwerke mit ihrer planbaren Produktion insbesondere durch den Zubau von Gaskraftwerken und NEE ersetzt werden sollen.

[56] Vgl. DSTATIS 2020: Prozentuale Anteile Bruttostromerzeugung: Braunkohle 22.5 Prozent, Steinkohle 12.9 Prozent, Erdgas 12.9 Prozent, Kernenergie 11.8 Prozent, Wasser 2.6 Prozent, Wind 17.3 Prozent, Biomasse + Photovoltaik je 7.1 Prozent, übrige 5.9 Prozent. Screenshot siehe Kap. 11.4.5.

[57] Vgl. Umweltbundesamt 12/2019 – Screenshot von https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/erneuerbare-konventionelle-stromerzeugung#zeitliche-entwicklung-der-bruttostromerzeugung

8.2 Entwicklung Bruttostromerzeugung und Bruttostromverbrauch

Wie aus Abbildung 10 hervorgeht, standen noch bis ins Jahr 2005 Erzeugung und Verbrauch etwa im Gleichgewicht, d.h. Angebot und Nachfrage hielten sich die Waage und entwickelten sich parallel. Die geringfügige Überproduktion trug zur Versorgungssicherheit bei. Ab 2006 und insbesondere nach dem Atomausstiegsbeschluss 2011 und dem damit verbundenen forcierten Ausbau der NEE ist eine zunehmende, aber nicht planbare Überproduktion an Strom festzustellen. Diese steht einem heute noch stagnierenden bzw. leicht fallenden Verbrauch im Inland gegenüber, der aber künftig durch den geplanten Ausbau der Elektromobilität und der Wärmepumpenheizungen markant ansteigen wird.

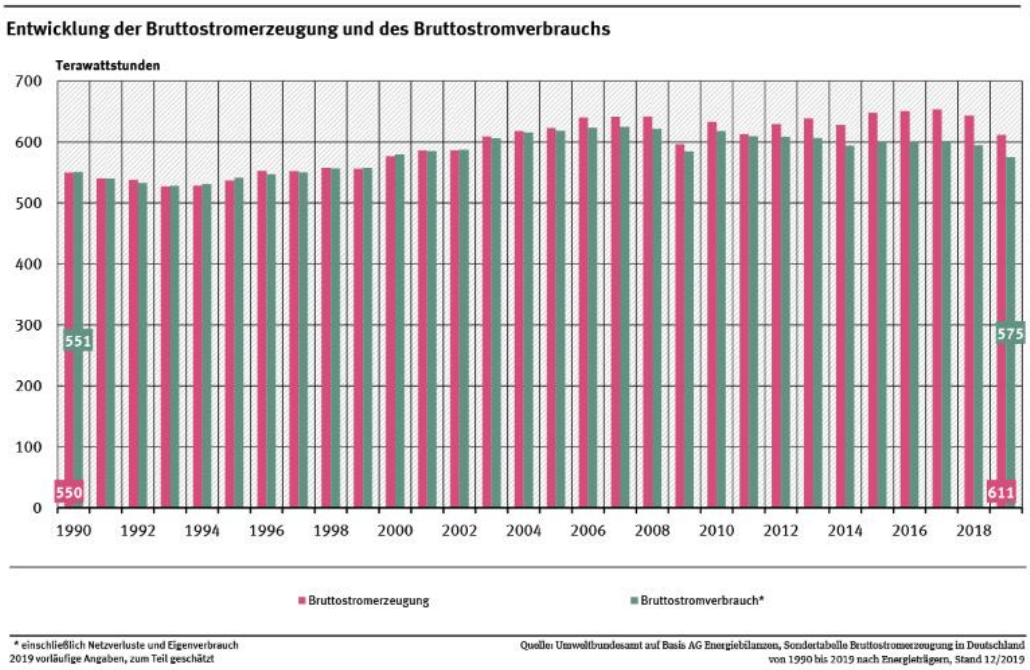


Abbildung 10 *- Die Entwicklung der Bruttostromerzeugung und des Bruttostromverbrauchs in Deutschland zwischen 1990 und 2019. Auffallend ist die ab 2012zum Verbrauch deutlich überschiessende Erzeugung, die im Zusammenhang mit dem verstärkten Zubau von Windenergie steht. Rot: Bruttostromerzeugung, Grau: Bruttostromverbrauch. (Quelle: Umweltbundesamt, 12/2019).* [58]

8.3 Die Entwicklung des Strommarktpreises

Wie aus Abb. 11 hervorgeht, ist der Preis für eine Megawattstunde Strom auf dem europäischen Strommarkt extremen Schwankungen ausgesetzt: Zwischen November 2019 und Oktober 2020 schwankte der Strompreis zwischen den Maximalwerten von 50 Euro und minus 15 Euro pro Megawattstunde. Negative Strompreise – also wenn der Abnehmer für die Übernahme des Stroms bezahlt wird – treten vorwiegend dann auf, wenn ein tiefer Bedarf (vorwiegend an Wochenenden) und Spitzenwerte bei der Stromerzeugung aus Erneuerbaren zusammenfallen – z.B. im Dezember 2019.

[58] Vgl. Umweltbundesamt, 12/2019 – Screenshot von https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/erneuerbare-konventionelle-stromerzeugung#zeitliche-entwicklung-der-bruttostromerzeugung

Selbst wenn man von den Phasen mit negativen Strommarktpreisen absieht, bleibt wegen der Abnahmegarantie und des Einspeisevorrangs der NEE und ihrer schwankenden Stromerzeugung eine enorme preisliche Schwankungsbreite bestehen: Unkontrollierte Peakproduktionen der Erneuerbaren sorgen jeweils für tiefe Strommarktpreise in Folge eines Überangebots.

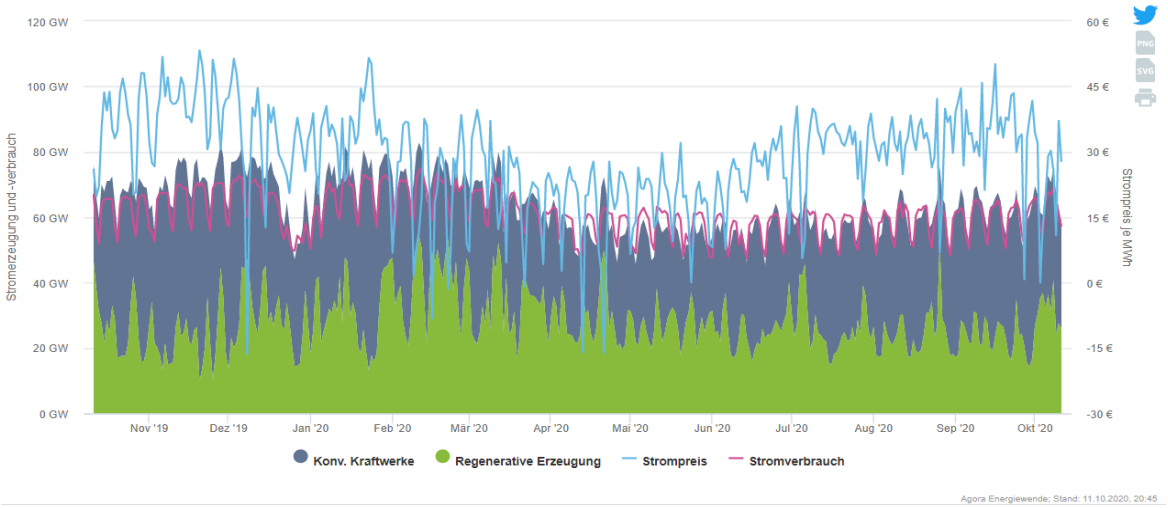


Abbildung 11 *- Die Entwicklung des Strommarktpreises (hellblaue Linie): im Zeitraum November 2019 bis Oktober 2020. Die Extremausschläge beim Preis korrelieren mit den Produktionsspitzen und Flauten der Erneuerbaren. (Quelle Agora Energiewende 2020b).* [59]

8.4 Entwicklung der Strompreise für Privathaushalte:

Wie aus Abb.12 hervorgeht, ist im Zeitraum von 1998 bis 2020 für die Haushalte der Preis für eine Kilowattstunde Strom von 17.11 auf 31.37 Cent gestiegen. Dies entspricht einer Preissteigerung von insgesamt 83 Prozent (preisbereinigt: 37 Prozent[60]). Die Kosten für den eigentlichen Strom (Beschaffung, Vertrieb, Netz) verteuerten sich um 14 Prozent (preisbereinigt: minus 15 Prozent). Die massive Verteuerung von elektrischem Strom für die Haushalte ist in erster Linie auf die Einführung von Abgaben/Steuern und EEG-Umlagen zurückzuführen: Steuern, Abgaben und die diversen EEG-Umlagen stiegen im beobachteten Zeitraum um 305 Prozent (preisbereinigt: 201 Prozent) – siehe Abbildung Kap. 11.2.1. Für einkommensschwache Haushalte stellt dies eine erhebliche finanzielle Zusatzbelastung dar.

[59] Vgl. Agora Energiewende, 2020b, – Screenshot https://www.agora-energiewende.de/service/agorameter/chart/power_generation_price/11.10.2019/11.10.2020/
[60] Vgl. BDEW 2020, Seite 22. https://www.bdew.de/media/documents/20200107_BDEW-Strompreisanalyse_Januar_2020.pdf

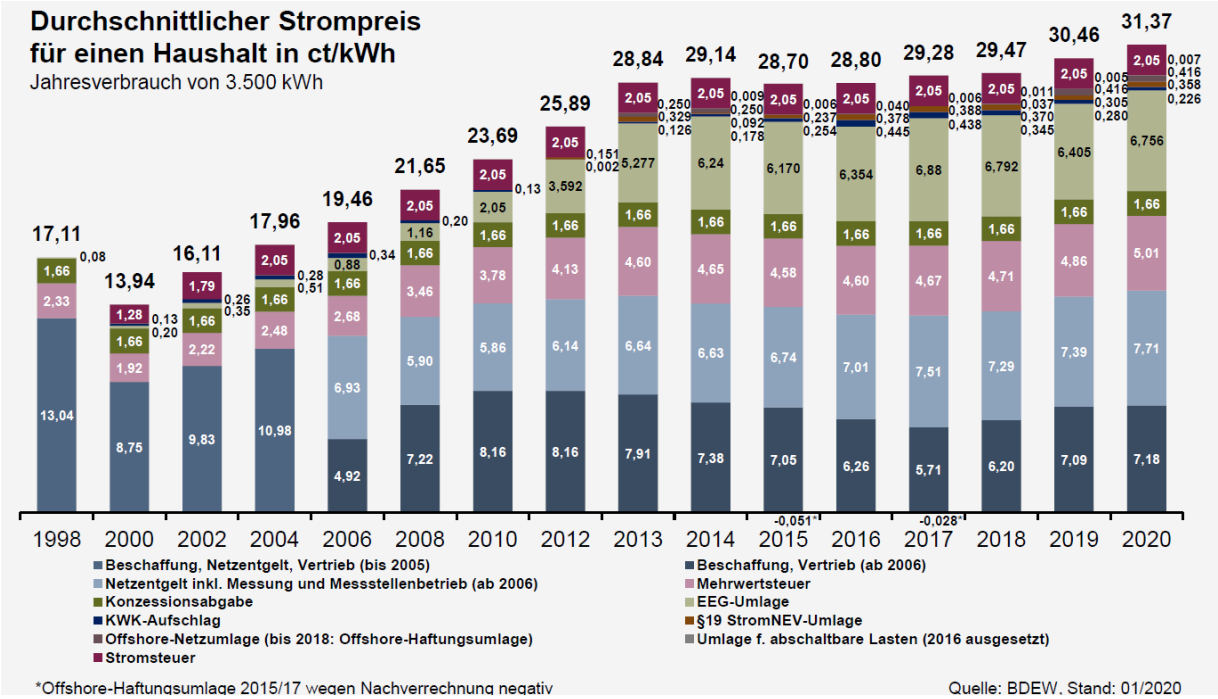


Abbildung 12 *- Die Entwicklung des durchschnittlichen Strompreises für einen Haushalt zwischen 1998 und 2020 in Cent für eine Kilowattstunde Strom. Die beiden untersten Segmente der Säulen entsprechen den eigentliche Stromkosten (Erzeugung und Netz), die darüber liegenden Segmente entsprechen Abgaben. Die Mehrwertsteuer wird pink ausgewiesen, die übrigen Segmente sind im Umlagen und Abgaben im Zusammenhang mit der Energiewende zu sehen. (Quelle: BDEW 2020, Seite 7).* [61]

8.5 Entwicklung der Strompreise für die Industrie:

Für industrielle Verbraucher richten sich die Strompreise nach der Höhe des Verbrauchs. Abhängig vom Verbrauch sind bei der Stromsteuer und im EEG verschiedene Entlastungsmechanismen vorgesehen. Im Jahr 2018 konnten gemäss den Berechnungen des Bundesverbands der Energie- und Wasserwirtschaft rund 4 Prozent der Industriebetriebe, die für 44 Prozent des jährlichen Stromverbrauchs der deutschen Industriebetriebe verantwortlich sind, von besonderen Ausgleichsregelungen profitieren.[62] Wie aus Abb. 13 hervorgeht, hat sich der Strompreis für Abnehmer von 160'000 bis 20 Millionen Kilowattstunden im Zeitraum 1998 bis 2020 verdoppelt. Interessanterweise ist in diesem Zeitraum der eigentliche Strompreis (Beschaffung, Netz, Vertrieb) im Wesentlichen gleichgeblieben. Verteuert wird der Industriestrom in erster Linie durch die EEG-Umlage. Für eine Exportnation wie Deutschland sind wettbewerbsfähige Strompreise für die Industrie unabdingbar.

[61] Vgl. BDEW 2020, Seite 7. https://www.bdew.de/media/documents/20200107_BDEW-Strompreisanalyse_Januar_2020.pdf)
[62] Vgl. BDEW, Seite 30 - 36 https://www.bdew.de/media/documents/20200107_BDEW-Strompreisanalyse_Januar_2020.pdf .

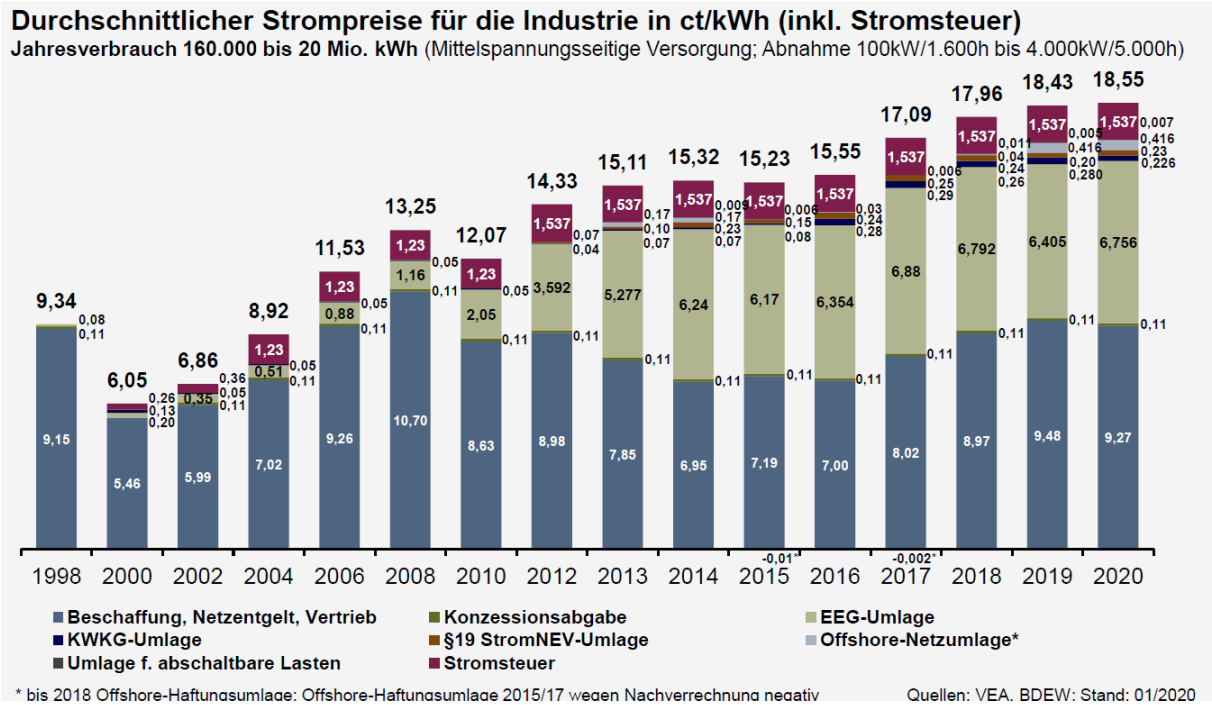


Abbildung 13 *- Die Entwicklung des durchschnittlichen Strompreises zwischen 1998 und 2020 für industrielle Abnehmer. Das unterste Segement in den Säulen entspricht den Kosten des eigentlichen Stroms (Erzeugung und Netz), darüberliegende Segmente stehen im Zusammenhang mit der Energiewende. (Quelle: BDEW 2020, Seite 38).* [63]

8.6 Kosten der Energiewende:

In einem 2016 erstellten Gutachten beziffert das Institut für Wettbewerbsökonomie der Heinrich Heine Universität Düsseldorf die Kosten der Energiewende für die Zeit von 2000 bis 2015 auf 150 Milliarden Euro ohne Berücksichtigung der Netzausbaukosten.[64] Für den Zeitraum 2000 bis 2025 müssen gemäss des Gutachtens mit Kosten für die Energiewende von rund 520 Milliarden Euro inklusive Netzausbau gerechnet werden. Der grosse Teil der Kosten (370 Milliarden Euro) fällt gemäss Studie im Zeitraum 2015 bis 2025 an – d.h. pro Jahr 37 Milliarden Euro. Gemäss Berechnungen der Studie bedeutet dies bei einer Einwohnerzahl von 82 Millionen Menschen, dass eine vierköpfige Familie zwischen 2015 bis 2025 rund 18'000 Euro an die Energiewende zu bezahlen hat.

[63] Vgl. BDEW 2020, Seite 38, https://www.bdew.de/media/documents/20200107_BDEW-Strompreisanalyse_Januar_2020.pdf
[64] Vgl. DICE 2016 https://www.insm.de/fileadmin/insm-dms/text/soziale-marktwirtschaft/eeg/INSM_Gutachten_Energiewende.pdf .

9. Diskussion: Chancen und Risiken des Atomausstiegs im Lichte der Klimapolitik

9.1 Ist ein weiterer Ausbau der NEE möglich und klimapolitisch sinnvoll?

Die deutsche Energiewende beruht auf drei Pfeilern: Auf dem Einsatz von regenerativen Erzeugungsformen von Strom, dem Ausbau der Netzkapazität und intelligenten Netzen sowie der Speicherung von elektrischem Strom. Gemessen an diesen drei Grössen zeigt sich, dass die Energiewende bis dato nur im ersten Bereich vorangekommen ist. Werden auch noch die Klimaziele miteinbezogen, zeigt sich, dass noch ein sehr weiter Weg zurückzulegen ist: Unter massiven Eingriffen in den Markt und hohen finanziellen Belastungen für Haushalt und Industrie sind die CO_2-Emissionen im Bereich der Stromerzeugung gerade um 6 Prozent gesenkt worden.

Photovoltaik trägt momentan 7.1 Prozent zur Stromerzeugung bei. Um nennenswert zur Stromerzeugung beizutragen, müsste die installierte Leistung mindestens verdreifacht werden, wobei die grundsätzliche Problematik punkto schwankender Produktion ungelöst bliebe. Photovoltaik-Anlagen stossen weitherum auf gesellschaftliche Akzeptanz. Aus ökologischer Sicht ist dagegen die Lebensdauer (ca. 25 Jahre) sowie die Produktion und Entsorgung der Panels nicht unproblematisch.

Das gleiche gilt auch für die Windstromerzeugung, die momentan übers Jahr 17.3 Prozent zur Stromerzeugung beiträgt. Windenergie ist gesellschaftlich breit akzeptiert, dennoch regt sich in den Dörfern und Kommunen bei jedem neu projektierten Windpark ein starker Widerstand der Anwohner. Der weitere Zubau von Onshore-Windenergie kommt daher kaum noch voran. Ein Nachteil der Windenergie ist der hohe Flächenbedarf: Pro Windrad muss bei einer Onshore-Windkraftanlage mit einem dauerhaften Flächenbedarf von 0.2 bis 0.4 Hektaren und einer dauerhaft versiegelten Bodenfläche von 350 Quadratmetern ausgegangen werden.[65] Als störend werden von den Anwohnern insbesondere auch die Geräusche der Rotoren – im Standardbetrieb ca. 105 Dezibel[66] – empfunden. Die massiven optischen Eingriffe in die Landschaft und die Auswirkungen auf die Tierwelt – Abertausende Vögel, Fledermäuse und Insekten werden von den Windrädern jährlich getötet – verstärken den Widerstand gegen Windparks.

Der Atomausstieg und die Energiewende schienen bis zum klimapolitisch bedingten Kohleausstiegsbeschluss bzw. dem Kohleausstiegsgesetz vom Juli 2020 sehr teuer, aber doch irgendwie machbar. Der beschlossene Kohleausstieg verschärft die Problematik in zwei Bereichen: Angesichts der wirtschaftlichen Situation im Zusammenhang mit COVID-19 und der hohen Staatsverschuldung stellt sich die Frage, welche finanziellen Zusatzabgaben Industrie und Haushalte noch aufgebürdet werden können, um die weitere Energiewende zu finanzieren. Mit dem Kohleausstieg wird der zweite zentrale Träger für die planbare Stromerzeugung, die Netzstabilität und die Versorgungssicherheit wegfallen. Bis 2030 soll gemäss neuerer Planung die installierte Kraftwerksleistung im Bereich Braunkohle von 20'400 Megawatt auf 9000 Megawatt, im Bereich Steinkohle von 24'500 Megawatt auf 8000 Megawatt reduziert werden - siehe Abb. 14 in Kap. 11.2.1. Deutschland muss somit innerhalb zehn Jahren total 35'100 Megawatt Kraftwerksleistung ersetzen (27'400 Megawatt Kohle plus 8'100 Megawatt Kernenergie).

Um die Versorgungssicherheit auch bei tiefer Produktion der NEE gewährleisten zu können, will Deutschland auf Stromimporte und den Zubau von Gaskraftwerken setzen.[67] Verglichen mit den CO_2-Emissionen von Kohlekraftwerken stellen Gaskraftwerke eine klimafreundlichere Option der Stromerzeugung dar und haben typischerweise installierte Leistungen zwischen

[65] Vgl. Prowindkraft Niederhausen, 2020 – www.prowindkraft-niederhausen.de, Screenshot siehe Kap. 11.4.6.
[66] Vgl. Umweltbundesamt 2013, Seite 16. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/potenzial_der_windenergie.pdf .
[67] Vgl. Bundesministerium für Umwelt 2020 Screenshot siehe Kap.11.4.6.

100 und 600 Megawatt.[68] Um die wegfallende Kernenergie- und Kohlekraftwerksleistung sicher zu ersetzen, müssten in den kommenden Jahren mehrere Dutzend Gaskraftwerke der 500 Megawattklasse gebaut werden.

In Anbetracht der Klimaziele Deutschlands stellt sich die Frage, ob der Atomausstieg tatsächlich sinnvoll ist, da Atomstrom neben Wasserstrom die klimafreundlichste Stromerzeugungsform ist. Eine weitere Problematik der Gasverstromung hängt damit zusammen, dass Deutschland keine eigenen Gasvorkommen besitzt. Bereits heute ist Deutschland der grösste ausländische Abnehmer von russischem Erdgas. Mit dem Bau zusätzlicher Gaskraftwerke wird diese Auslandabhängigkeit weiter verstärkt.[69] In der Vergangenheit hat sich Russland die Abhängigkeit anderer Staaten von seinem Gas verschiedentlich politisch zu Nutze gemacht.[70] Zudem kommt es in Russland immer wieder zur Verletzung von Menschenrechten und zu Einschränkungen der Pressefreiheit, so dass bei der Abhängigkeit von russischem Erdgas durchaus ethische Bedenken angebracht sind.

9.2 Energiewende unter Einbezug der Kernenergie?

Der deutsche Atomausstieg per Ende 2022 ist nicht mehr umkehrbar, auch wenn mittlerweile sogar frühere Mitglieder der Antiatom-Bewegung - wie z.B. die bekannte Technikhistorikerin Anna Veronika Wendland - die aktuelle Energiewende für nicht praktikabel halten und sich aus Klimaschutzgründen für eine Energiewende unter Einbezug der Kernenergie aussprechen. Selbst wenn die Politik für die letzten sechs noch am Netz verbleibenden AKW's eine Laufzeitverlängerung sprechen würde, würden diese nicht mehr als 12 Prozent zur Stromerzeugung beitragen können. Der Neubau von AKW's ist zurzeit nicht als realistisch einzuschätzen. Das Bewilligungsverfahren und die Bauzeit liegen deutlich über zehn Jahren. Sollte Deutschland den Wiedereinstieg in die Kernenergie in Erwägung ziehen, müssten die Vor- und Nachteile dieser Stromerzeugungsform innerhalb der Gesellschaft breit diskutiert und die Probleme sehr zügig gelöst werden.

9.2.1 Pro und Kontra Kernenergie-Ausstieg

Für eine Energiewende unter Einbezug der Kernenergie spricht angesichts der Klimaziele Deutschlands, dass Atomkraftwerke neben Wasserkraftwerken die niedrigsten CO_2-Emissionen pro Kilowattstunde Strom erzeugen und somit zu den klimafreundlichsten Stromerzeugungsformen gehören. Ein weiterer Vorteil von Atomstrom hängt mit der sehr hohen Energiedichte von Uran zusammen: Für die Erzeugung von riesigen Strommengen wird verhältnismässig wenig Uran benötigt.[71] Dies wirkt sich auch auf die Strompreise aus: Wirtschaft und Haushalte profitieren gleichermassen von tiefen Strompreisen. Während bei Wind- und Solarenergie der riesige Verbau von Flächen kritisiert wird, haben Atomkraftwerke nur einen sehr geringen Flächenbedarf. Ein weiteres wichtiges Argument, welches für die Kernenergie spricht, ist ihr Beitrag zur Versorgungssicherheit und die Unabhängigkeit von importiertem Erdöl und Erdgas. Die Stromerzeugung von Atomkraftwerken ist planbar und unabhängig von der Jahres- bzw. Tageszeit. Steblau et al. betonen ebenfalls, dass die heute vorhandenen regenerativen Energien nicht in der Lage sind, den hohen weltweiten Bedarf zu decken, sprich weitere Stromerzeugungsformen sind nötig. Ausserdem sind die Sicherheitsstandards der deutschen Atomkraftwerke gemäss Steblau et al. hoch.[72]

Gegen die Nutzung der Atomenergie sprechen gemäss Steblau et al. insbesondere die gesundheitlichen Risiken für Mensch und Natur aufgrund radioaktiver Strahlung bei einer nuklearen Katastrophe.[73] Weiter vertritt sie die Ansicht, dass Kernkraftwerke potenzielle Ziele für

[68] Vgl. BDEW 2017, Seite 1ff. https://www.bdew.de/media/documents/170424-bdew-kraftwerksliste.pdf
[69] Vgl. www.gazprom.deGazprom betreibt die Nordstream Gaspipeline und ist gemäss eigener Aussage der grösste ausländische Abnehmer von russischem Erdgas — Screenshot siehe Kap. 11.4.6.
[70] Russland drehte der Ukraine u.a. im Jahr 2009, 2014 und 2015 das Gas ab – google Suche siehe Screenshot im Anhang.
[71] Vgl. Kernenergie.ch 2020 – Screenshot siehe Kap. 11.4.6.
[72] Vgl. Steblau et al. Seite. 14.
[73] Vgl. Steblau et al., Seite 15.

terroristische Anschläge darstellen können und ein erfolgreicher Angriff zur Freisetzung von Radioaktivität führen kann. Sie hält die Versicherung nuklearer Katastrophen bzw. die erforderlichen Staatsgarantieren für inakzeptabel. Laut Steblau et al. und Neles sprechen insbesondere die radioaktiven Abfälle und die in Deutschland noch nicht gelöste Endlagerung für hochaktive Abfälle gegen die Nutzung der Atomenergie.[74] Steblau et al. erwähnen weiter, dass die Nutzung der Atomenergie die erneuerbaren Energien verdränge, wie auch die diesbezügliche Forschung und Weiterentwicklung verhindere. Gegen die Nutzung der Atomenergie wird verschiedentlich auch die Tatsache angeführt, dass Europa keine eigenen Uranvorkommen besitzt, den Brennstoff für die Reaktoren also aus dem Ausland importieren muss. Weiter wird darauf hingewiesen, dass die Uranvorkommen endlich seien.

Im Zusammenhang mit der Endlichkeit der Uranvorkommen ist zu erwähnen, dass bereits heute Thorium als Brennstoff für Kugelhaufen- und Salzschmelzreaktoren diskutiert wird. Der Einsatz von Thorium hat zudem den Vorteil, dass hochaktive Abfälle während weniger als 1000 Jahren gelagert werden müssen, d.h. es fallen keine extrem langlebigen Abfälle mehr an.[75] Uranvorkommen gibt es u.a. in geopolitisch stabilen Regionen wie Kanada, USA, Australien, Schweden.[76] Diese Länder sind demokratisch regiert, so dass die Nutzung des Urans, sofern es aus solchen Regionen bezogen wird, ohne ethische Bedenken erfolgen kann. Neben der Verwendung als Brennstoff in Kernreaktoren wird Uran aufgrund seiner hohen Dichte und seines Gewichts lediglich in Schiffskielen, als Gegengewicht in Flugzeugen und zur Abschirmung radioaktiver Strahlung verwendet.[77] Dafür kann jedoch auch Blei verwendet werden, d.h. Uran hat ein sehr begrenztes Einsatzgebiet – Kernspaltung – und kann im Gegensatz zu Erdöl nicht für chemische Synthesen etc. verwendet werden.

Exkurs: Die Problematik der radioaktiven Abfälle genauer erläutert
Neben der potentiellen Gefahr eines Reaktorunfalls, besteht ein weiteres Problem: Die Entsorgung der radioaktiven Abfälle. Dabei muss man zwischen Betriebs- und Stilllegungsabfällen unterscheiden. Die Stilllegungsabfälle enthalten am wenigsten Radioaktivität, dennoch muss der Abfall immer auf das Radioaktivitätsniveau geprüft werden. Durch die Strahlenschutzverordnung wurde eine Befreiungsgrenze bestimmt. Halten die Messwerte diese ein, wird das geprüfte Material freigegeben. Nun kann es wiederverwendet oder konventionell entsorgt werden. Halten die Abrissabfälle die Befreiungsgrenze nicht ein, so werden sie zusammen mit den Betriebsabfällen zu den radioaktiv zu entsorgenden Abfällen gezählt. Betriebsabfälles ind generell nur wenig-mittel (radio-)aktiv, sie haben eine geringere Zerfallswärmeleistung als Abfälle mit hoher radioaktiver Strahlung. Sie werden zuerst zwischengelagert. Sicherheitstechnisch hat die Zwischenlagerung keinen Vorteil, allerdings können gewissen Abfallarten nach einigen Jahrzehnten Lagerzeit wieder freigegeben werden, die anderen werden in das Endlager Konrad (Endlager für vernachlässigbare Wärmeentwicklung) gebracht. Die letzte Sorte besteht aus abgebrannten Brennelementen, welche eine hohe Radioaktivität aufweisen, oder aus Betriebsabfällen mit hoher radioaktiver Strahlung. Diese werden zuerst für zwanzig bis dreissig Jahre zwischengelagert, da sich so die ins spätere Endlager eingebrachte Wärmeleistung deutlich verringert. Doch nach dieser Zeit im Zwischenlager ist die Wärmeleistung so stark abgeklungen, so dass sich die finale Endlagerung möglich wäre. Doch hier stellt sich eine Frage: Wohin mit den noch immer hochaktiven Abfällen? Die Antwort dazu wäre ein Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle. Deutschland hat – im Gegensatz zu Finnland, das bereits am Bau eines Endlagers für hochaktive Abfälle ist[78] – noch keinen Standort für ein Endlager, sondern hat erst Gebiete ausgeschieden, die näher geprüft werden sollen.[79] Somit müssen die Abfälle in Deutschland weiterhin zwischengelagert werden. Den massgeblichen Schutz vor

[74] Vgl. Neles et al., Seite. 161.
[75] Vgl. Prasser, 2014, S. 30f.
[76] Vgl. Statista, Menge des weltweit geförderten Urans nach Ländern in den Jahren 2010 bis 2019 (in Tonnen) Menge des weltweit geförderten Urans in den Jahren 2010 bis 2019, https://de.statista.com/statistik/daten/studie/13486/umfrage/produktion-von-uran-nach-laendern-weltweit/ .
[77] Vgl. World Nuclear Organization 2020, https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/introduction/what-is-uranium-how-does-it-work.aspx .
[78] Vgl. FA, 2020 - Screenshot siehe Kap. 11.4.6.
[79] Vgl. Nuklearforum Schweiz 2020 – www.nuklearforum.ch Screenshot siehe Kap. 11.1.6.

Strahlung gewährleistet der Einschluss des Abfalls im Zwischenlager. Hier tritt ein weiteres Risiko auf: Die Zeit. Ein langfristiger Betrieb eines Zwischenlagers - zum Beispiel über Jahrhunderte - hat die Verschlechterung des Abfallbehälters, des Abfallproduktes und somit auch des sicheren Einschlusses der radioaktiven Stoffe zur Folge. Die Lagerung des radioaktiven Abfalls birgt somit Risiken und natürlich muss auch hier mit menschlichen Fehlern gerechnet werden. Deshalb hat sich die Antiatombewegung schon oft darüber ausgesprochen und forderte wiederholt den Ausstieg aus der Kernenergie.[80] Auch nach erfolgtem Atomausstieg muss die Endlagerproblematik gelöst und ein Endlager gebaut werden.

[80] Vgl. Neles et al., 2012, Seite 161-172.

10. Fazit

10.1 Schlussfolgerungen aus meiner Arbeit

In Anbetracht, dass Deutschland 2020 den Kohleausstieg beschlossen hat und bis 2050 klimaneutral sein will, erweist sich der Atomausstiegbeschluss bzw. der weitgehend umgesetzte Atomausstieg heute als problematisch. Dies umso mehr als dass dem Land aufgrund der COVID-19 Situation wirtschaftlich anspruchsvolle Zeiten bevorstehen. Um bis 2030 den Wegfall von 35'100 Megawatt konventioneller Kraftwerksleitung zu kompensieren, muss Deutschland ungefähr 47 Prozent Strom aus planbarer Erzeugung ersetzen. Die Kosten für die Ausserbetriebnahme der Kohlekraftwerke sowie der Bau von zusätzlichen Gaskraftwerken werden die Strompreise für Haushalte und Industrie weiter in die Höhe treiben. Die gesamte Energiewende wird somit deutlich kostspieliger als von der Regierung ursprünglich prognostiziert. Im Hinblick auf die anvisierten Klimaziele ist der Ausstieg aus der Kohleverstromung sinnvoll. Um im Fall von Deutschland im Sektor der Stromerzeugung eine optimale Klimabilanz zu erreichen, wäre ein Strommix aus Kernenergie und NEE am sinnvollsten.

Die Reaktorkatastrophe von Fukushima – verursacht durch ein Erdbeben der Stärke 9 vor der Küste Japans mit nachfolgendem Tsunami – führte in Deutschland zu einem panikartigen Atomausstiegsbeschluss. Die deutschen AKW's gehören mit zu den am sichersten betriebenen Kernenergieanlagen weltweit. In Deutschland ist das Risiko für die Freisetzung radioaktiver Strahlung als Folge einer Naturkatastrophe wie z.B. eines starken Erdbebens oder Flutwellen äusserst gering. Sofern Atomkraftwerke auf dem höchsten Sicherheitsstandard betrieben werden und die Abfallproblematik durch den Bau eines Endlagers und die Verkürzung der Endlagerzeiten durch den Einsatz neuer Reaktoren (Thorium) gelöst wird, halte ich die Kernenergie für eine Stromerzeugungsform mit hohem Potenzial, die durch Forschung weiterentwickelt und optimiert werden sollte.

10.2 Persönliches Fazit

«Viel Wind um nichts? Der deutsche Atomausstieg im Lichte der Klimapolitik» - als ich das Konzept für meine Maturitätsarbeit erstellte, befürchtete ich, dass ich mein Thema zu stark eingegrenzt hätte und zu wenig Informationen für die Arbeit finden würde. Während der Recherche und des Schreibprozesses stellte sich diese Angst als völlig unbegründet heraus: Ich fühlte mich zum Teil sogar überfordert, da ich von einer riesigen Menge an Informationen förmlich überflutet wurde. Dadurch habe ich die Recherchezeit stark unterschätzt – die Recherche entpuppt sich als ein fortlaufender Prozess. Weitere Schwierigkeiten hatte ich mit den Funktionen des Wordprogramms, wie auch mit dem Zehnfingersystem. Erschwerend kamen die vielen Prüfungen in der Schlussphase der Arbeit hinzu. Ich hatte mich zwar mit einem Wochenplan gut vorbereitet, leider konnte ich diesen nicht immer gut einhalten und musste gegen Ende der Arbeit noch Einiges erledigen und v.a. Screenshots von früher besuchten Webseiten erstellen.

Ansonsten hat mich die von mir gewählte Thematik bis zum Schluss sehr interessiert, aufgrund dessen möchte ich mich auch nach der Abgabe der Arbeit weiter damit beschäftigen. Besonders fasziniert haben mich die beiden Reaktorunfälle in Fukushima und Tschernobyl. Hätte ich nochmals die Chance eine solche Arbeit zu schreiben, würde ich mich sehr wahrscheinlich auf diese beiden Vorfälle eingrenzen, denn dazu habe ich sehr interessante Informationen gefunden, die leider in dieser Arbeit nicht annähernd noch Platz gefunden haben. Das Ziel, mir mit dieser Arbeit eine eigene, differenzierte Meinung und ein vertieftes Wissen zu verschaffen, empfinde ich als erreicht.

11. Anhang

11.1 Glossar

Begriff	Erklärung
Installierte Leistung	Kennzeichnet die maximale Leistung (Nennleistung) eines Kraftwerks oder eines Windrads. Sie wird in der Regel in Megawatt angegeben.
Kernenergie	Die Energie, die aus der Atomkernspaltung freigesetzt und in Kernkraftwerken zur Erzeugung von Strom genutzt wird.
Kernreaktor	Der Kernreaktor ist das Herzstück eines Kernkraftwerks. Im Reaktor werden unter kontrollierten Bedingungen Uran^{235} Atome gespalten. Mit der dabei freiwerdenden Wärmenergie wird im Reaktor Wasser verdampft. Dieser Wasserdampf treibt eine Turbine an. Im daran angeschlossenen Generator wird aus dieser Energie elektrischer Strom erzeugt.
Kernspaltung	Bei der Kernspaltung nimmt ein Atomkern – z.B. Uran^{235} Neutronen auf – und wird dadurch instabil und zerfällt unter Aussendung von radioaktiver Strahlung in kleinere Kerne. Dabei wird Energie – Wärme frei.
Kilowattstunde, Megawattstunde, Gigawattstunde, Terawattstunde,	Eine Kilowattstunde (kWh) ist die Energiemenge, die bei einer Leistung von einem Kilowatt innerhalb von einer Stunde in einem Kraftwerk erzeugt wird. Eine Kilowattstunde entspricht 3 600 000 Joule. 1000 Kilowattstunden (kWh) = 1 Megawattstunde (MWh) 1000 MWh = 1 Gigawattstunde (1 GWh) 1000 GWh = 1 Terawattstunde (= 1 Milliarde kWh) (Quelle: https://www.energie-lexikon.info/kilowattstunde.html)
Notstromdieselaggregate	Kernkraftwerke besitzen mehrere unabhängige Dieselmotoren, die einen Generator antreiben.

11.2 Quellenverzeichnis

11.2.1 Zitierte Literatur und Webseiten

Agora Energiewende 2020a – Agora Energiewende, Agorameter, Stromerzeugung und Verbrauch vom 11.10.2019 bis zum 11.10.2020 – Screenshot siehe Seite 19. https://www.agora-energiewende.de/service/agorameter/chart/power_generation/11.10.2019/11.10.2020/ .

Agora Energiewende, 2020b – Agorameter,Strompreis, Stromerzeugung und Stromverbrauch vom 11.10.2019 bis 11.10.2020 – Screenshot https://www.agora-energiewende.de/service/agorameter/chart/power_generation_price/11.10.2019/11.10.2020/

BDEW 2017 - Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.; BDEW , BDEW Kraftwerksliste, In Bau oder Planung befindliche Anlagen ab 20 Megawattleistung, 2017, https://www.bdew.de/media/documents/170424-bdew-kraftwerksliste.pdf

BDEW 2020 - Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.; BDEW-Strompreisanalyse Januar 2020, Haushalte und Industrie, Berlin 2020 https://www.bdew.de/media/documents/20200107_BDEW-Strompreisanalyse_Januar_2020.pdf

Bundesverband Windenergie; 2020 - Bundesverband Windenergie, Windenergie in Deutschland: Zahlen und Fakten. https://www.wind-energie.de/themen/zahlen-und-fakten/deutschland/#:~:text=In%20Deutschland%20standen%20Ende%202019%20insgesamt%2029.456%20Onshore%2DWindenergieanlagen.&text=325%20neue%20Onshore%2

DWindenergieanlagen%20mit,Onshore%2DWindener-
gie%20betr%C3%A4gt%2053.912%20MW. – Webseite besucht am 21.11.2020 und am 25.11.2020, Screenshot siehe Kap. 11.4.4.

DICE 2016 – DICE Consult GmbH; Kosten der Energiewende. Untersuchung der Energiewendekosten im Bereich der Stromerzeugung in den Jahren 2000 bis 2025 in Deutschland. Ein Gutachten im Auftrag der Initiative neue soziale Marktwirtschaft, Düsseldorf, 2016 https://www.insm.de/fileadmin/insm-dms/text/soziale-marktwirtschaft/eeg/INSM_Gutachten_Energiewende.pdf

FA, 2020 - Frankfurter Allgemeine; Unser Endlager ist bald fertig, 14.6.2020. https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/klima-energie-und-umwelt/atom-pionier-finnland-unser-endlager-ist-bald-fertig-16802295.html - Webseite besucht am 23.11.2020, Screenshot siehe Kap. 11.1.6.

Hinrichs, Giebel Felten, 2002 – Jutta Hinrichs, Elvira Giebel-Felten; Die Entwicklung des Arbeitsmarktes 1962-2001, Hrsg. Konrad Adenauer Stiftung, Sankt Augustin, 2002.

Hirschberg et al., 2017 – Bauer, Christian, Hirschberg, Stefan, et al.; Potenziale, Kosten und Umweltauswirkungen von Stromproduktionsanlagen, Bundesamt für Energie BFE, Sektion Energieversorgung und Monitoring, Bern, 2017, https://www.psi.ch/sites/default/files/import/ta/PublicationTab/Final-Report-BFE-Project.pdf

Illing, 2016 - Illing, Falk; Energiepolitik in Deutschland. Die energiepolitischen Massnahmen der Bundesregierung 1949 bis 2015, 2. Auflage, Nomos Verlag, Baden-Baden, 2016.

Kernenergie.ch,2020 – Kernenergie, Rohstoff Uran. https://www.kernenergie.ch/de/rohstoff-uran-_content---1--1085.html - Webseite besucht am 22.11.2020, Screenshot siehe Kap. 11.4.6.

Leibnitz Institut, 2020 - Leibnitz Institut für Sozialwissenschaften, Abteilung Soziale Indikatoren; Globale Wohlfahrtsmasse, Seite. 198 – 199. https://www.gesis.org/fileadmin/upload/dienstleistung/daten/soz_indikatoren/Schluesselindikatoren/M001.pdf?download=true – Webseite besucht am 20.11.2020, Screenshot siehe 11.4.1.

McKinsey, 2020 – McKinsey, Energiewende-Index, Halbjahr 272019, Halbjahr 1/2020.https://www.mckinsey.de/branchen/chemie-energie-rohstoffe/energiewende-index# - Webseite besucht am 21.11.2020, Screenshot siehe 11.4.5.

Neles et al., 2012 – Neles, Julia Mareike, Pistner, Christoph; Kernenergie – eine Technik für die Zukunft? Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2012.

Nuklearforum Schweiz, 2020 - Nuklearforum Schweiz, Deutschland Zwischenbericht zur Standortauswahl für Endlager, 30.9.2020. https://www.nuklearforum.ch/de/aktuell/e-bulletin/deutschland-zwischenbericht-zur-standortauswahl-fuer-endlager - Webseite besucht am 23.11.2020, Screenshot siehe Kap. 11.1.6.

Prasser, 2014 - Prasser, Horst-Michael, Innovation bei Kernreaktoren: Kugelhaufen, Salzschmelze, Thorium: Erhöhung der Sicherheit und der Nachhaltigkeit als Ziel, Bulletin 11, Nuklearforum Schweiz, 2014, S. 28 - 31.

Prowindkraft Niederhausen, 2020 – Prowindkraft Niederhausen, Flächenbedarf, Boden, Geologie. https://www.prowindkraft-niedernhausen.de/niedernhausen/fl%C3%A4chenbedarf/ - Webseite besucht am 22.11.2020 Screenshot siehe Kap. 11.4.6.

Steblau et al., 2014 – Steblau, Julia, Blinn, Haike, Nagel, Henrik, Henze, Tobias, Kreysch, Marcus; Atomausstieg? Ja bitte! Gründe und Folgen einer Abkehr von der Atomenergie in Deutschland, Science Factory, Nordstedt, 2014.

Süddeutsche Zeitung, 2010 - Süddeutsche Zeitung, Deutschland erlebte bisher vier Rezessionsjahre, Artikel vom 19. Mai 2010 https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/hintergrund-deutschland-erlebte-bisher-vier-rezessionsjahre-1.900031 .

Swissgrid 2020 - Swissgrid; Netzbetrieb, Steuerung, Frequenz, https://www.swissgrid.ch/de/home/operation/regulation/frequency.html .Webseite besucht am 21.11.2020, Screenshot Kap. 11.4.4.

Windbranche.De 2020 - Windbranche.De, Das Branchenportal rund um die Windenergie, Offshore Windenergie in Deutschland legt 2019 leicht zu - Einbruch folgt 2020, Artikel vom 23.1.2020. https://www.windbranche.de/news/nachrichten/artikel-36527-offshore-windenergie-in-deutschland-legt-2019-leicht-zu-einbruch-folgt-2020 .Webseite besucht am 21.11.2020, Screenshot Kap. 11.4.

World Nuclear Organization 2020 - World Nuclear Organization, What is Uranium, how does it work? https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/introduction/what-is-uranium-how-does-it-work.aspx Webseite besucht am 25.11.2020, Screenshot Kap.11.4.6.

11.2.2 Zitierte Bundesministerien, Bundesämter, Gesetzesbeschlüsse und Bundesprogramme

Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung - Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, Die Rio Konferenz. http://www.bmz.de/de/themen/2030_agenda/historie/rio_plus20/umweltgipfel/index.html Webseite besucht am 21.11.2020, Screenshot siehe Kapitel 11.4.2.

Bundesnetzagentur SMARD 2020a - Bundesnetzagentur SMARD 2020a Strommarktdaten für den 9. bis 11. November 2020, www.bundesnetzagentur.de .

Bundesnetzagentur SMARD 2020b – Bundesnetzagentur SMARD, Die Stromerzeugung im Oktober und November 2019, https://www.smard.de/page/home/topic-article/444/15098 .

Bundesnetzagentur SMARD 2020c – Bundesnetzagentur SMARD, Marktdaten visualisieren, Zeitraum 1. Mai bis 31. Mai 2020. https://www.smard.de/home/marktdaten?marketDataAttributes=%7B%22resolution%22:%22day%22,%22from%22:1588284000000,%22to%22:1590962399999,%22moduleIds%22:%5B1004066,1001226,1001225,1004067,1004068,1001228,1001224,1001223,1004069,1004071,1004070,1001227%5D,%22selectedCategory%22:null,%22activeChart%22:true,%22style%22:%22color%22,%22region%22:%22DE%22%7D .

Die Bundesregierung 2020 - Die Bundesregierung; Neue Perspektiven im Klimaschutz. Klimapolitik, Energiewende, Mobilität. Was tut die Bundesregierung für den Klimaschutz? https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/bundesregierung-klimapolitik-1637146 - Webseite besucht am 21.11.2020 – Screenshot siehe Kap. 11.4.3.

Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz vor ihren Gefahren, (Atomgesetz) http://www.gesetze-im-internet.de/atg/index.html - Screenshot siehe Kap. 11.4.2.

Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien vom 21. Juli 2004, https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&jumpTo=bgbl104s1918.pdf#__bgbl__%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl104s1918.pdf%27%5D__1606377443543 – Screenshot siehe Kap. 11.4.2.

Gesetz zur Einführung eines Bundes-Klimaschutzgesetzes und zur Änderung weiterer Vorschriften vom 12. Dezember 2019 https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl#__bgbl__%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl119s2513.pdf%27%5D__1606379320172 – Screenshot siehe 11.4.2.

Gesetzesbeschluss des Deutschen Bundestages; Gesetz zur Reduzierung und zur Beendigung der Kohleverstromung und zur Änderung weiterer Gesetze (Kohleausstiegsgesetz), Drucksache 392/20, Berlin, 3.7.2020 http://dipbt.bundestag.de/dip21/brd/2020/0392-20.pdf

Bundesministerium für Umweltschutz 2019 - Bundesministerium für Umweltschutz Naturschutz und nukleare Sicherheit; Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050, Berlin 2019. https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975226/1679914/e01d6bd855f09bf05cf7498e06d0a3ff/2019-10-09-klima-massnahmen-data.pdf.

Bundesministerium für Umweltschutz 2020 - Bundesministerium für Umweltschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit; FAQ «Wie sieht es nach dem Kohleausstieg mit der Versorgungssicherheit aus?», https://www.bmu.de/faq/wie-sieht-es-nach-dem-kohleausstieg-mit-der-versorgungssicherheit-aus/ Webseite besucht am 22.11.2020, Screenshot siehe Kap.11.4.

Statistisches Bundesamt DSTATIS 2019 - Statistisches Bundesamt DSTATIS Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen Bruttoinlandsprodukt, Bruttonationaleinkommen, Volkseinkommen, Lange Reihen ab 1925, Berlin 2019. https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Volkswirtschaftliche-Gesamtrechnungen-Inlandsprodukt/Tabellen/inlandsprodukt-volkseinkommen1925-pdf.pdf?__blob=publicationFile .

Statistisches Bundesamt DSTATIS 2020 - Bruttostromerzeugung in Deutschland für 2016 bis 2018, Stand September 2020, https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Energie/Erzeugung/Tabellen/bruttostromerzeugung.html;jsessionid=1EFF23DDFE0A2C0ACFEDBD83A471134B.internet8731 .Webseite besucht am 21.11.2020, Screenshot Kap. 11.4.4.

Umweltbundesamt 2013 – Potenzial der Windenergie an Land, Studie zur Ermittlung des bundesweiten Flächen- und Leistungspotenzial der Windenergienutzung an Land, Desslau-Rossau, 2013, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/potenzial_der_windenergie.pdf

Umweltbundesamt 1/2019 – Umweltbundesamt, Kraftwerke: Konventionelle und erneuerbare Energieträger, Stand 01/2019, https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/kraftwerke-konventionelle-erneuerbare#kraftwerke-auf-basis-erneuerbarer-energien

Umweltbundesamt 12/2019 – Umweltbundesamt, Bruttostromerzeugung in Deutschland nach Energieträgern, Stand 12/2019 – Screenshot von https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/erneuerbare-konventionelle-stromerzeugung#zeitliche-entwicklung-der-bruttostromerzeugung

Umweltbundesamt 2020 – Umweltbundesamt, Nationales Treibhausgasinventar 2020, 12/2019 - https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen/emissionsquellen

11.2.2 Zitierte Statistiken

Alle Statistiken in der Reihenfolge, wie sie in der Arbeit erscheinen bzw. erwähnt werden:

Statista; Die zehn größten CO_2-emittierenden Länder nach Anteil an den weltweiten CO_2-Emissionen im Jahr 2018. https://de.statista.com/statistik/daten/studie/179260/umfrage/die-zehn-groessten-c02-emittenten-weltweit/ . Webseite besucht am 21.11.2020, Screenshot siehe Kap. 11.4.3.

Statista; Höhe der Treibhausgas-Emissionen in Deutschland in den Jahren 1990 bis 2019. https://de.statista.com/statistik/daten/studie/76558/umfrage/entwicklung-der-treibhausgasemissionen-in-deutschland/#:~:text=Die%20Treibhausgasemissionen%20nahmen%20in%20Deutschland,805%20Millionen%20Tonnen%20CO2%2D%C3%84quivalente . Webseite besucht am 21.11.2020, Screenshot siehe Kap 11.4.3.

Statista; Höhe der CO_{2-} Emissionen durch die Stromerzeugung in Deutschland in den Jahren 1990 bis 2019. https://de.statista.com/statistik/daten/studie/38893/umfrage/co2-emissionen-durch-stromerzeugung-in-deutschland-seit-1990/#professional .Webseite besucht am 21.11.2020, Screenshot siehe Kap. 11.4.3.

Statista; Höhe der CO2-Emissionen in Deutschland in den Jahren 1990 bis 2018. https://de.statista.com/statistik/daten/studie/2275/umfrage/hoehe-der-co2-emissionen-in-deutschland-seit-1990/ . Webseite besucht am 21.11.2020, Screenshot siehe Kap. 11.4.3.

Statista; 2020 Installierte Leistung (kumuliert) der Photovoltaikanlagen in Deutschland in den Jahren 2000 bis 2019 (in Megawattpeak). https://de.statista.com/statistik/daten/studie/13547/umfrage/leistung-durch-solarstrom-in-deutschland-seit-1990/ . Webseite besucht am 21.11.2020, Screenshot Kap. 11.4.4.

Statista; Menge des weltweit geförderten Urans nach Ländern in den Jahren 2010 bis 2019 (in Tonnen) https://de.statista.com/statistik/daten/studie/13486/umfrage/produktion-von-uran-nach-laendern-weltweit/ Webseite besucht am 21.11.2020.

11.3 Abbildungen

11.3.1 Zusätzliche Abbildungen

Titelbild: Ohne Abbildungsnummer: Kernenergie und erneuerbare Energiequellen: Stockfoto. ©: iStock ID.1253468749, gekauft am 25.11.2020.

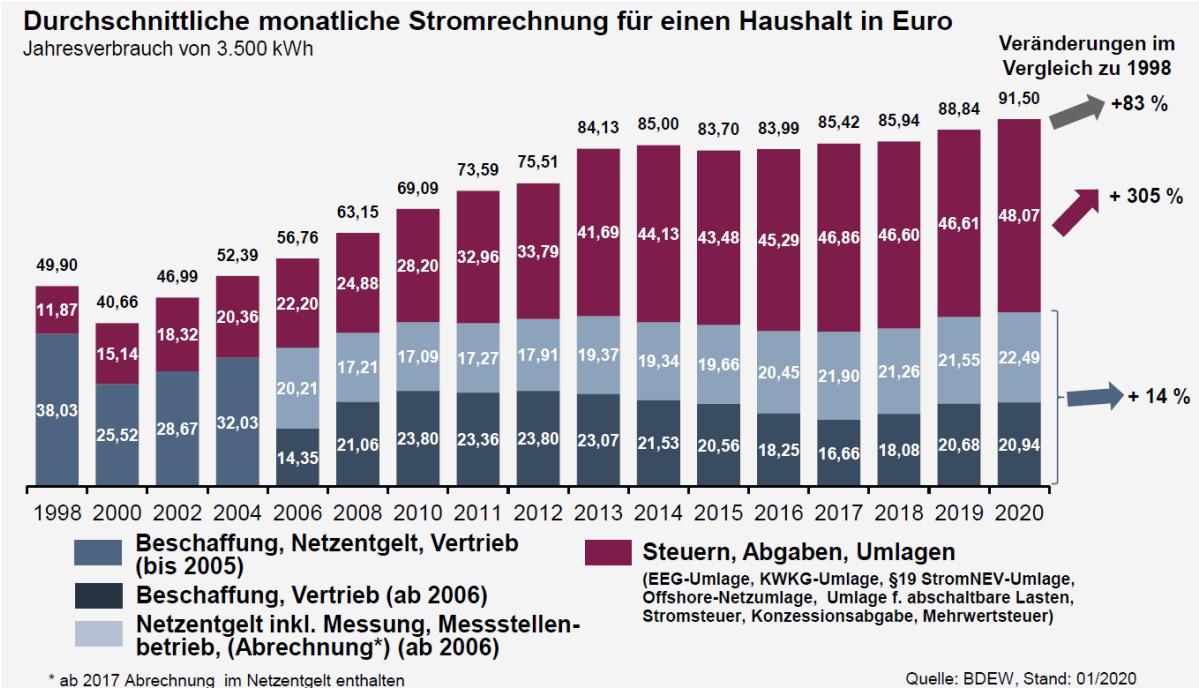


Abbildung 14 *- Durchschnittliche Entwicklung des Anteils an Steuern, Abgaben und Umlagen an der Stromrechnung für Haushalte bei einem Jahresverbrauch von 3500 Kilowattstunden. (Quelle: BDEW, 2020, Seite 14). https://www.bdew.de/media/documents/20200107_BDEW-Strompreisanalyse_Januar_2020.pdf*

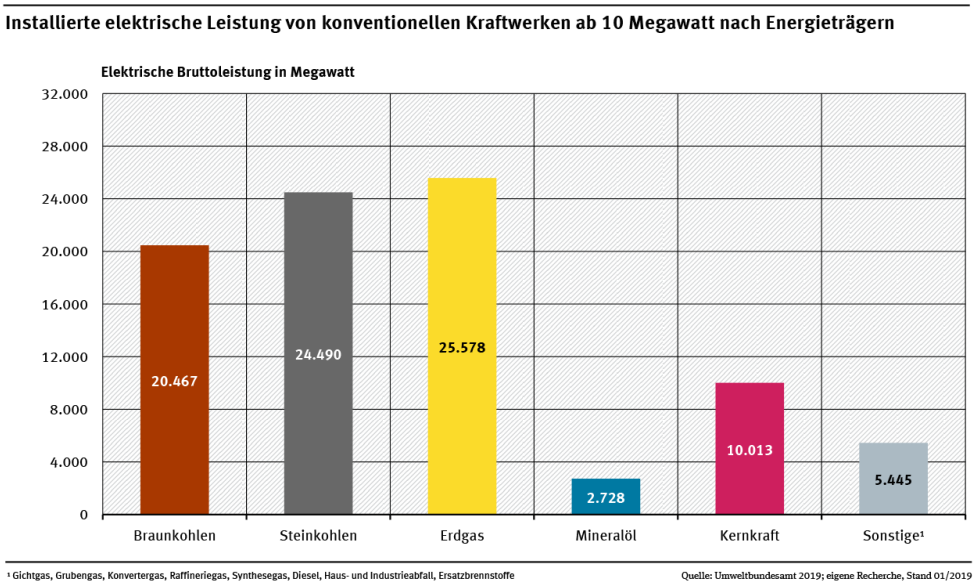


Abbildung 15 *- Installierte elektrische Leistung von konventionellen Kraftwerken ab 10 Megawatt nach Energieträgern. (Quelle: Umweltbundesamt 01/2019). https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/kraftwerke-konventionelle-erneuerbare#kraftwerke-auf-basis-erneuerbarer-energien – Webseite besucht am 26.11.2020.*

11.3.2 Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1 - Sinkendes jährliches Wirtschaftswachstum in Deutschland in den Jahrzehnten von 1971 und 2019, Bruttoinlandprodukt preisbereinigt, verkettet*, Veränderungen gegenüber dem Vorjahr in %.(Quelle: Statistisches Bundesamt DSTATIS, 2019, S. 4). *) Die Ergebnisse von 1950 bis 1970 (früheres Bundesgebiet) sind wegen konzeptioneller und definitorischer Unterscheide nicht voll mit den Ergebnissen von 1970 bis 1991 (früheres Bundesgebiet) und den Angaben ab 1991 (Deutschland) vergleichbar. Die preisbereinigten Ergebnisse von 1950 bis 1970 (früheres Bundesgebiet) sind in Preisen von 1991 berechnet. Die Ergebnisse von 1970 bis 1991 (früheres Bundesgebiet) sowie die Angaben ab 1991 (Deutschland) werden in Preisen des jeweiligen Vorjahres als Kettenindex nachgewiesen. Bei der VGR-Revision 2019 wurden zudem nur die Ergebnisse für Deutschland bis 1991 zurückgerechnet; Angaben von 1991 sind unverändert geblieben. 9

Abbildung 2 - Die jährlichen Treibhausgas-Emissionen in Deutschland zwischen 1990 und 2018. Abgenommen hat der Anteil Treibhausgase in der Energiewirtschaft (orange) und der Gebäudeheizung (dunkelbraun), während Gewerbe (blassgelb), Verkehr (ocker)und Landwirtschaft (grün) sich wenig verändert haben. (Quelle: Umweltbundesamt 2020). 14

Abbildung 3 - Entwicklung der CO_2-Emissionen durch die Stromerzeugung in Deutschland in den Jahren 1990 bis 2019 in Millionen Tonnen. (Quelle: Statista 2020 Höhe der CO_2-Emissionen durch die Stromerzeugung in Deutschland in den Jahren 1990 bis 2019 in Millionen Tonnen.) 15

Abbildung 4 - Die Bandbreiten der CO_2-Emissionen der verschiedenen Stromerzeugungsarten in Gramm pro erzeugter Kilowattstunde an elektrischem Strom.(Quelle: Hirschberg et al., 2017, Seite 94). 16

Abbildung 5 - Stromerzeugung und Stromverbrauch (pinkfarbene Linie)von Mitte Oktober 2019 bis Mitte Oktober 2020.Deutlich erkennbar sind die geringe Ausbeute an Photovoltaikstrom (gelb) von November bis März sowie die stark schwankende Windstromproduktion (dunkelblau und blau) (Quelle: Agora Energiewende 2020a). 19

Abbildung 6 - Stromverbrauch (rote Linie) und Stromerzeugung durch Photovoltaik (gelb), Wind Onshore (dunkelblau) und Offshore (hellblau) vom 9. bis 11. November 2020. (Auflösung stündlich). (Quelle: Bundesnetzagentur SMARD 2020a www.bundesnetzagentur.de). 19

Abbildung 7 - Stromverbrauch im November 2019, deutlich erkennbar der Einbruch des Verbrauchs an den Wochenenden. Im Vergleich dazu von Wind (blau) und Photovoltaik (gelb) erzeugter und ins Netz eingespeister Strom. (Grafische Umsetzung von Zahlenmaterial der Bundesnetzagentur SMARD 2020b – siehe Kap. 11.5). 20

Abbildung 8 - Stromverbrauch im Mai 2020 während des Coronavirus-Lockdowns, deutlich erkennbar der Einbruch des Verbrauchs an den Wochenenden. Am Donnerstag 21. Mai war ein bundesweiter gesetzlicher Feiertag, der zu einem langen Wochenende genutzt wurde und zu einem tieferen Stromverbrauch führte. Im Vergleich dazu von Wind (blau) und Photovoltaik (gelb) erzeugte und ins Netz eingespeiste Strom. (Grafische Umsetzung von Zahlenmaterial der Bundesnetzagentur SMARD 2020c– siehe Kap 11.5). 21

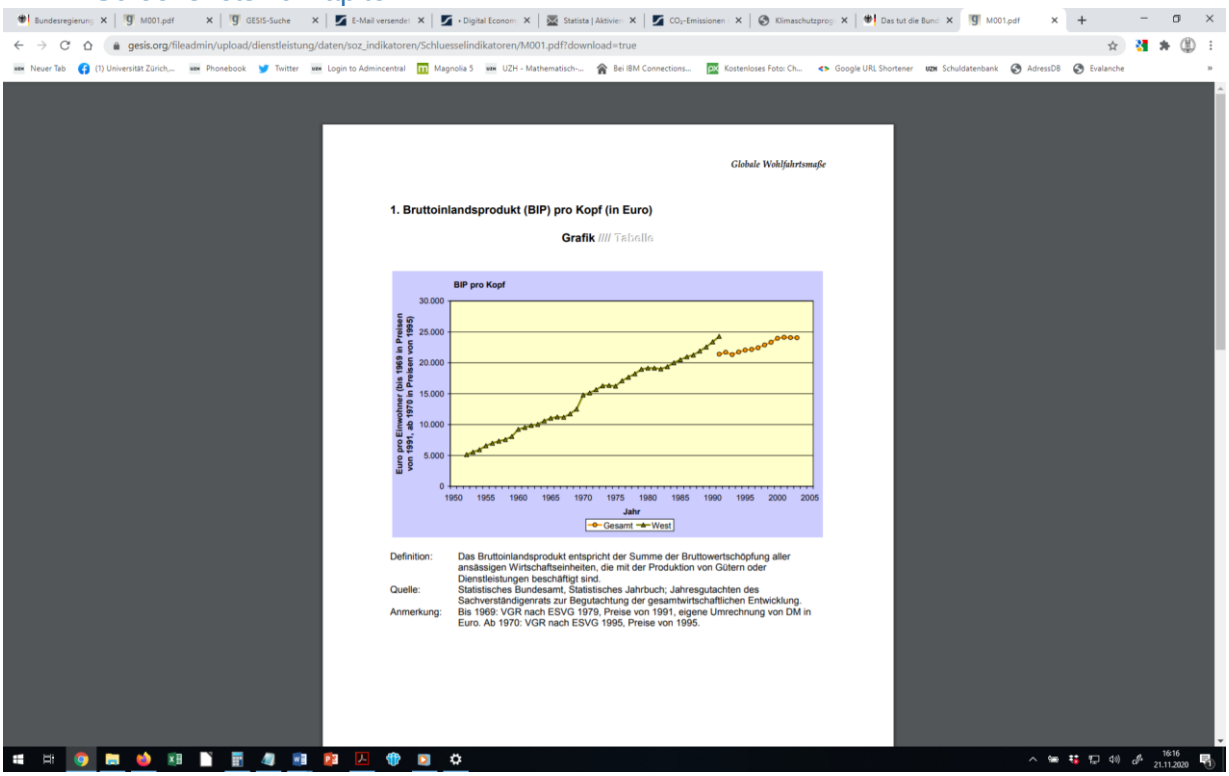
Abbildung 9 - Die Bruttostromerzeugung in Deutschland nach Energieträgern für die Jahre 1990 bis 2019. Braun: Braunkohle, Dunkelgrau: Steinkohle, Rot: Kernenergie, Gelb: Gase, Blau: Mineralöle, Grün: Erneuerbare Energien, Hellgrau: übrige Energieträger. (Quelle: Umweltbundesamt 12/2019). 23

Abbildung 10 - Die Entwicklung der Bruttostromerzeugung und des Bruttostromverbrauchs in Deutschland zwischen 1990 und 2019. Auffallend ist die ab 2012zum Verbrauch deutlich überschiessende Erzeugung, die im Zusammenhang mit dem verstärkten Zubau von Windenergie steht. Rot: Bruttostromerzeugung, Grau: Bruttostromverbrauch. (Quelle: Umweltbundesamt, 12/2019). 24

Abbildung 11 - Die Entwicklung des Strommarktpreises (hellblaue Linie): im Zeitraum November 2019 bis Oktober 2020. Die Extremausschläge beim Preis korrelieren mit den Produktionsspitzen und Flauten der Erneuerbaren. (Quelle Agora Energiewende 2020b).... 25
Abbildung 12 - Die Entwicklung des durchschnittlichen Strompreises für einen Haushalt zwischen 1998 und 2020 in Cent für eine Kilowattstunde Strom. Die beiden untersten Segmente der Säulen entsprechen den eigentliche Stromkosten (Erzeugung und Netz), die darüber liegenden Segmente entsprechen Abgaben. Die Mehrwertsteuer wird pink ausgewiesen, die übrigen Segmente sind im Umlagen und Abgaben im Zusammenhang mit der Energiewende zu sehen. (Quelle: BDEW 2020, Seite 7). 26
Abbildung 13 - Die Entwicklung des durchschnittlichen Strompreises zwischen 1998 und 2020 für industrielle Abnehmer. Das unterste Segement in den Säulen entspricht den Kosten des eigentlichen Stroms (Erzeugung und Netz), darüberliegende Segmente stehen im Zusammenhang mit der Energiewende. (Quelle: BDEW 2020, Seite 38)..... 27
Abbildung 14 - Durchschnittliche Entwicklung des Anteils an Steuern, Abgaben und Umlagen an der Stromrechnung für Haushalte bei einem Jahresverbrauch von 3500 Kilowattstunden. (Quelle: BDEW, 2020, Seite 14). https://www.bdew.de/media/documents/20200107_BDEW-Strompreisanalyse_Januar_2020.pdf..... 38
Abbildung 15 - Installierte elektrische Leistung von konventionellen Kraftwerken ab 10 Megawatt nach Energieträgern. (Quelle: Umweltbundesamt 01/2019). https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/kraftwerke-konventionelle-erneuerbare#kraftwerke-auf-basis-erneuerbarer-energien – Webseite besucht am 26.11.2020. 38

11.4 Screenshots von besuchten Webseiten

11.4.1 Screenshots zu Kapitel 4



Globale Wohlfahrtsmaße

1. Bruttoinlandsprodukt (BIP) pro Kopf (in Euro)

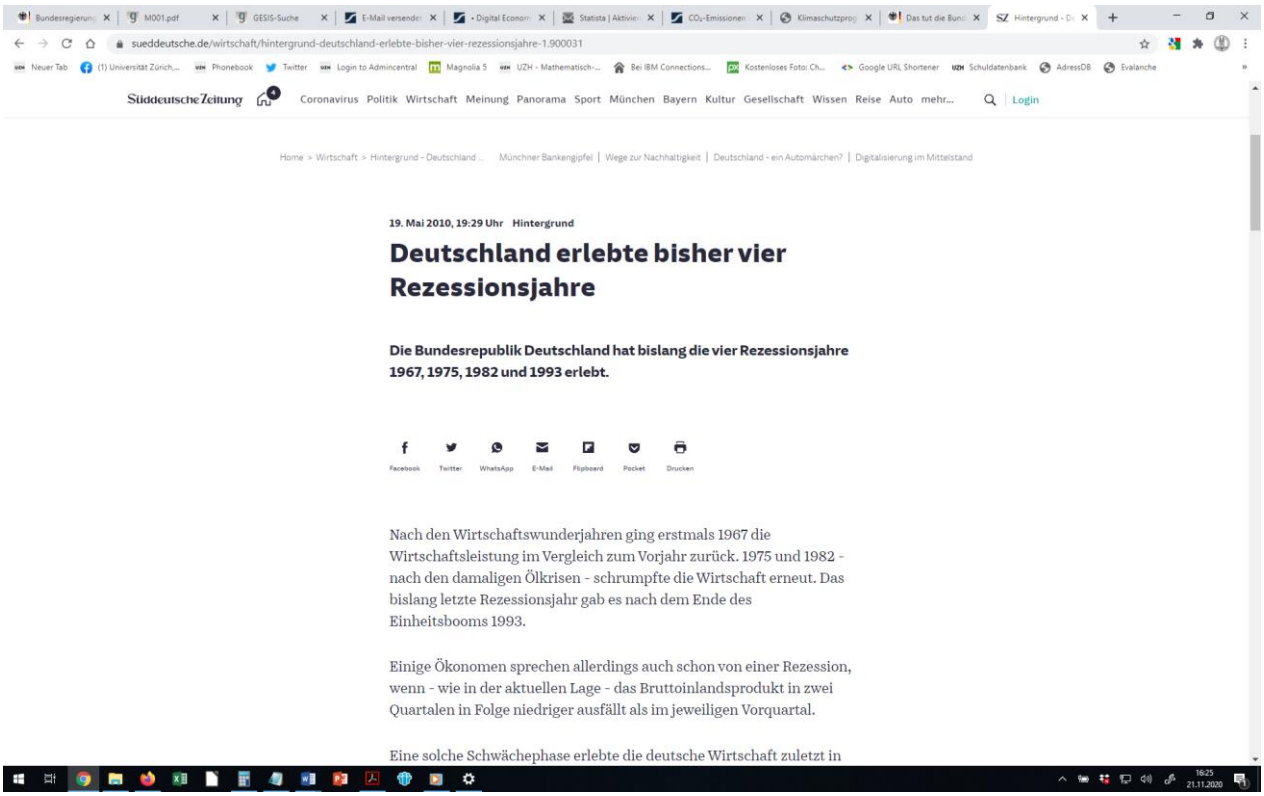
Grafik //// Tabelle

Definition: Das Bruttoinlandsprodukt entspricht der Summe der Bruttowertschöpfung aller ansässigen Wirtschaftseinheiten, die mit der Produktion von Gütern oder Dienstleistungen beschäftigt sind.

Quelle: Statistisches Bundesamt, Statistisches Jahrbuch; Jahresgutachten des Sachverständigenrats zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung.

Anmerkung: Bis 1969: VGR nach ESVG 1979, Preise von 1991, eigene Umrechnung von DM in Euro. Ab 1970: VGR nach ESVG 1995, Preise von 1995.

https://www.gesis.org/fileadmin/upload/dienstleistung/daten/soz_indikatoren/Schluesselindikatoren/M001.pdf?download=true – Webseite besucht am 20.11.2020.



Süddeutsche Zeitung

Coronavirus Politik Wirtschaft Meinung Panorama Sport München Bayern Kultur Gesellschaft Wissen Reise Auto mehr... Login

Home > Wirtschaft > Hintergrund - Deutschland ... Münchner Bankengipfel | Wege zur Nachhaltigkeit | Deutschland - ein Automärchen? | Digitalisierung im Mittelstand

19. Mai 2010, 19:29 Uhr Hintergrund

Deutschland erlebte bisher vier Rezessionsjahre

Die Bundesrepublik Deutschland hat bislang die vier Rezessionsjahre 1967, 1975, 1982 und 1993 erlebt.

Facebook Twitter WhatsApp E-Mail Flipboard Pocket Drucken

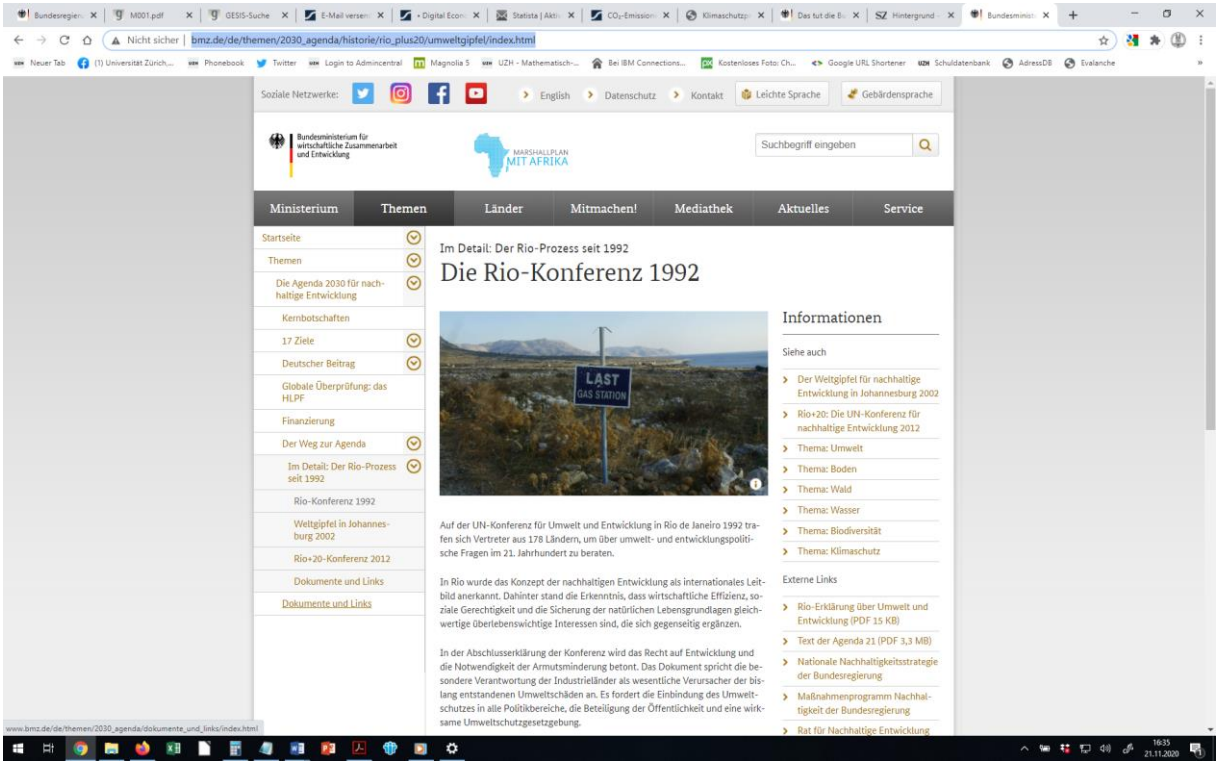
Nach den Wirtschaftswunderjahren ging erstmals 1967 die Wirtschaftsleistung im Vergleich zum Vorjahr zurück. 1975 und 1982 - nach den damaligen Ölkrisen - schrumpfte die Wirtschaft erneut. Das bislang letzte Rezessionsjahr gab es nach dem Ende des Einheitsbooms 1993.

Einige Ökonomen sprechen allerdings auch schon von einer Rezession, wenn - wie in der aktuellen Lage - das Bruttoinlandsprodukt in zwei Quartalen in Folge niedriger ausfällt als im jeweiligen Vorquartal.

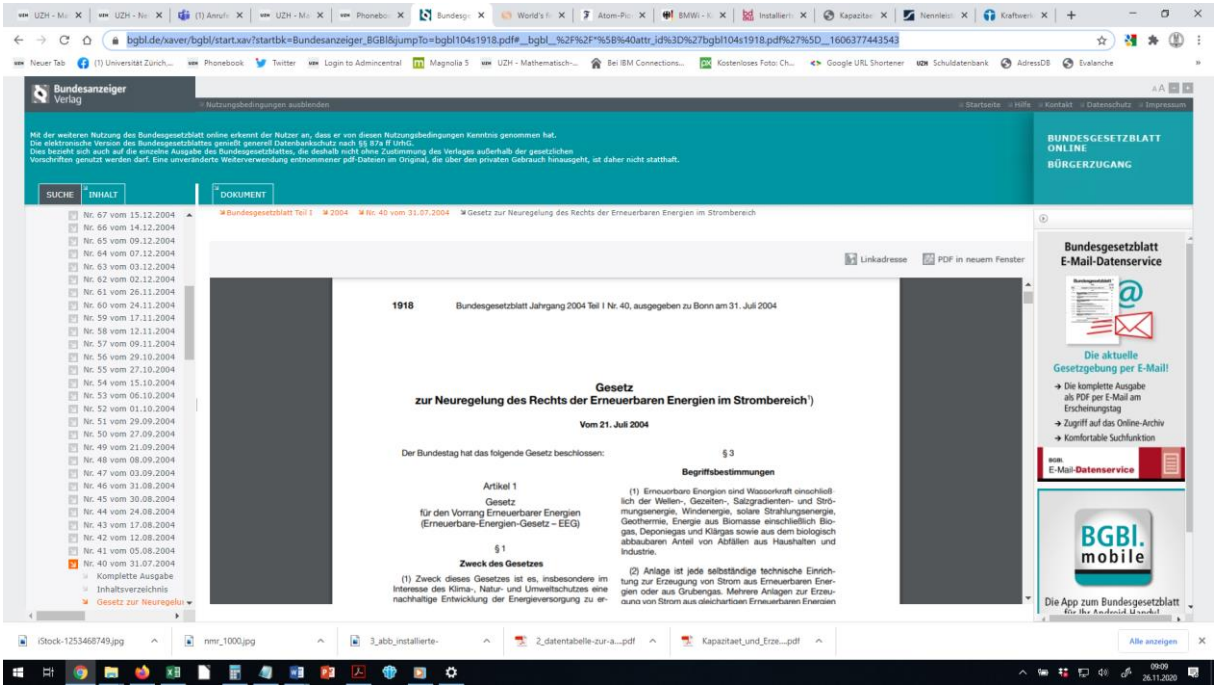
Eine solche Schwächephase erlebte die deutsche Wirtschaft zuletzt in

https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/hintergrund-deutschland-erlebte-bisher-vier-rezessionsjahre-1.900031 - Webseite besucht am 21.11.2020.

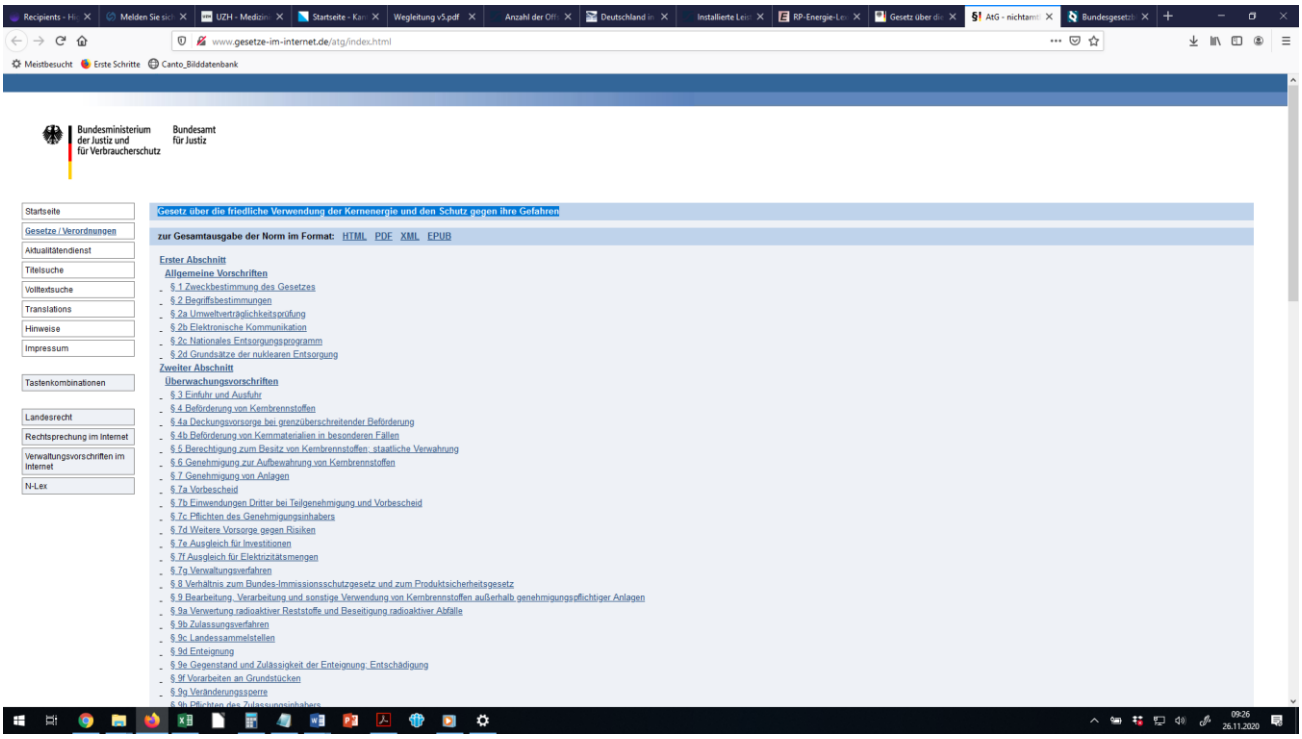
11.4.2 Screenshots zu Kapitel 5



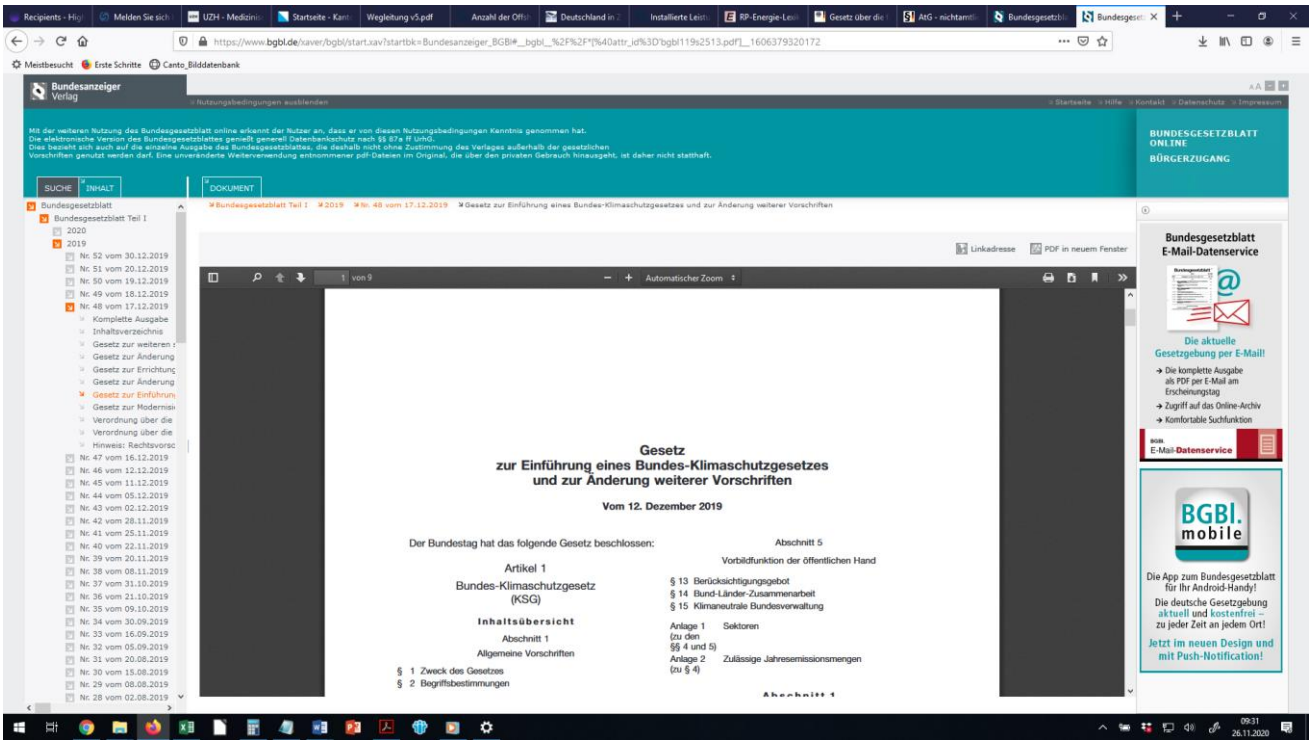
http://www.bmz.de/de/themen/2030_agenda/historie/rio_plus20/umweltgipfel/index.html - Webseite besucht am 21.11.2020



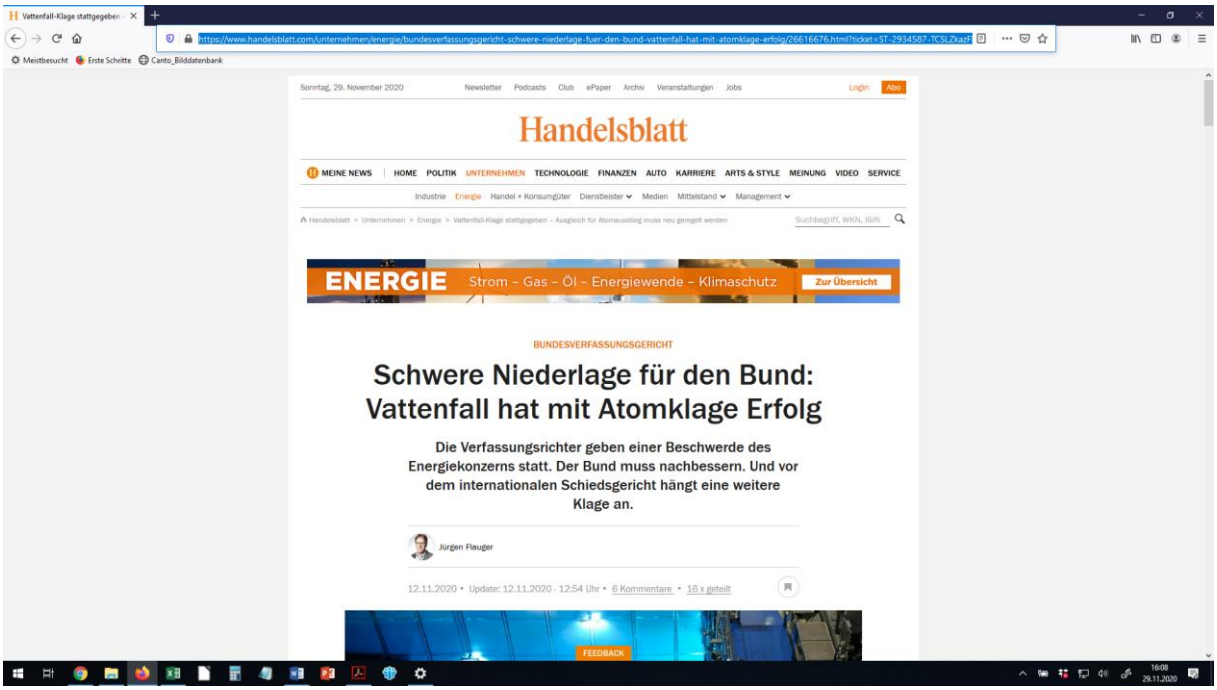
Erneuerbare Energien Gesetz https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&jumpTo=bgbl104s1918.pdf#__bgbl__%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl104s1918.pdf%27%5D__1606377443543 – Webseite besucht am 26.11.2020.



Atomgesetz: http://www.gesetze-im-internet.de/atg/index.html Webseite besucht am 26.11.2020.



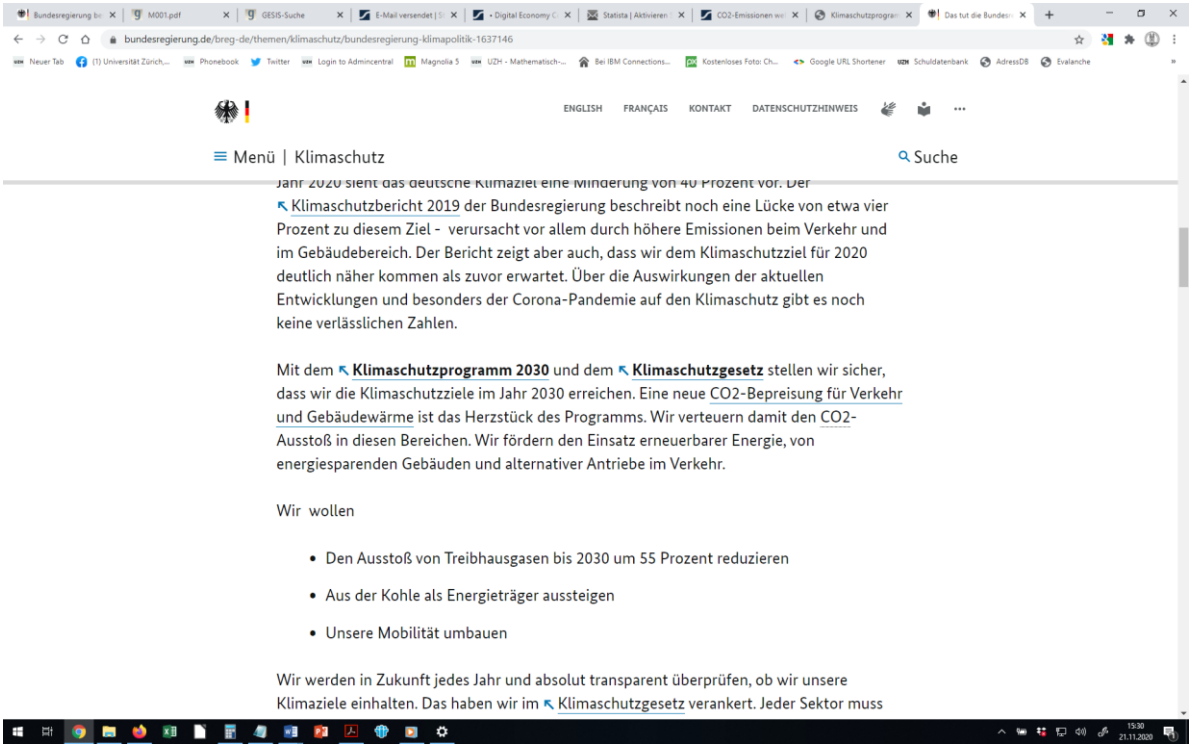
https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl#__bgbl__%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl119s2513.pdf%27%5D__1606379320172 - Webseite besucht am 26.11.2020.



https://www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/bundesverfassungsgericht-schwere-niederlage-fuer-den-bund-vattenfall-hat-mit-atomklage-erfolg/26616676.html?ticket=ST-2934587-TCSLZkazFKSasKlHciOT-ap3

11.4.3 Screenshots zu Kapitel 6

https://de.statista.com/statistik/daten/studie/179260/umfrage/die-zehn-groessten-c02-emittenten-weltweit/ Webseite besucht am 21.11.2020



ENGLISH FRANÇAIS KONTAKT DATENSCHUTZHINWEIS

≡ Menü | Klimaschutz

Suche

Jahr 2020 sieht das deutsche Klimaziel eine Minderung von 40 Prozent vor. Der Klimaschutzbericht 2019 der Bundesregierung beschreibt noch eine Lücke von etwa vier Prozent zu diesem Ziel - verursacht vor allem durch höhere Emissionen beim Verkehr und im Gebäudebereich. Der Bericht zeigt aber auch, dass wir dem Klimaschutzziel für 2020 deutlich näher kommen als zuvor erwartet. Über die Auswirkungen der aktuellen Entwicklungen und besonders der Corona-Pandemie auf den Klimaschutz gibt es noch keine verlässlichen Zahlen.

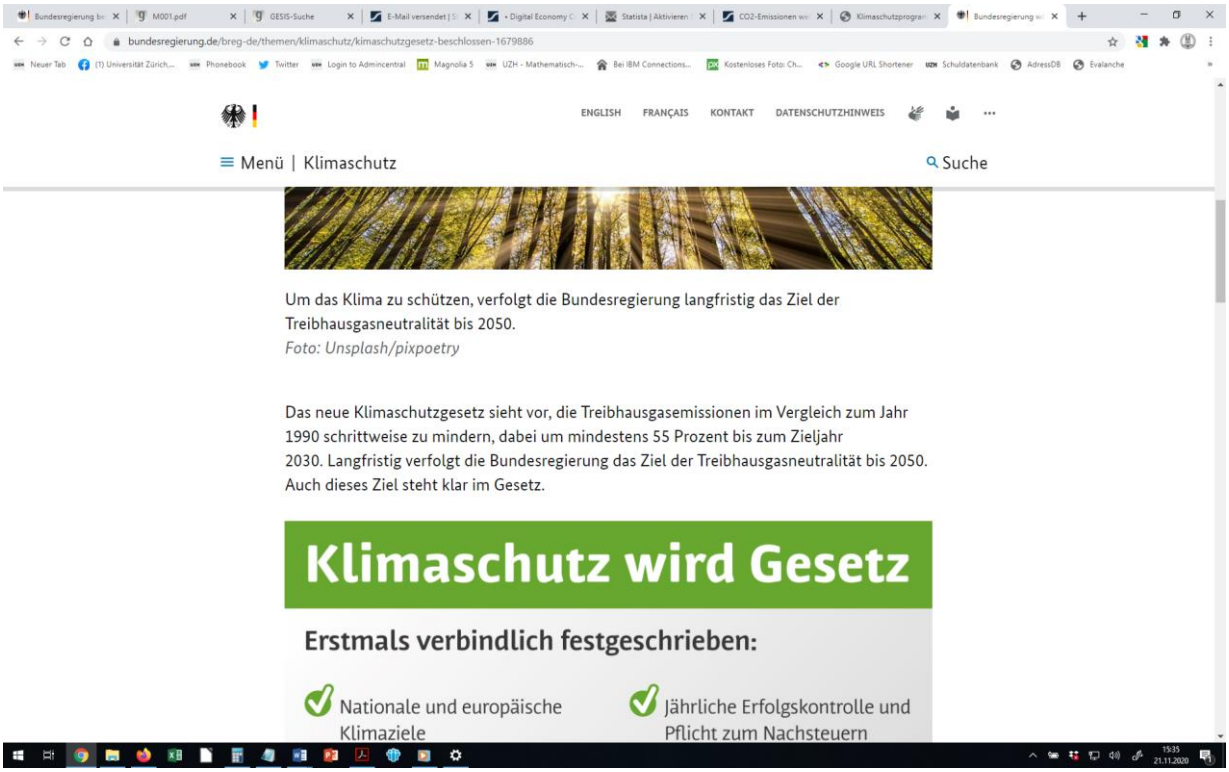
Mit dem **Klimaschutzprogramm 2030** und dem **Klimaschutzgesetz** stellen wir sicher, dass wir die Klimaschutzziele im Jahr 2030 erreichen. Eine neue CO2-Bepreisung für Verkehr und Gebäudewärme ist das Herzstück des Programms. Wir verteuern damit den CO2-Ausstoß in diesen Bereichen. Wir fördern den Einsatz erneuerbarer Energie, von energiesparenden Gebäuden und alternativer Antriebe im Verkehr.

Wir wollen

- Den Ausstoß von Treibhausgasen bis 2030 um 55 Prozent reduzieren
- Aus der Kohle als Energieträger aussteigen
- Unsere Mobilität umbauen

Wir werden in Zukunft jedes Jahr und absolut transparent überprüfen, ob wir unsere Klimaziele einhalten. Das haben wir im Klimaschutzgesetz verankert. Jeder Sektor muss

https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/bundesregierung-klimapolitik-1637146 - Webseite besucht am 21.11.2020. 2



ENGLISH FRANÇAIS KONTAKT DATENSCHUTZHINWEIS

≡ Menü | Klimaschutz

Suche

Um das Klima zu schützen, verfolgt die Bundesregierung langfristig das Ziel der Treibhausgasneutralität bis 2050.
Foto: Unsplash/pixpoetry

Das neue Klimaschutzgesetz sieht vor, die Treibhausgasemissionen im Vergleich zum Jahr 1990 schrittweise zu mindern, dabei um mindestens 55 Prozent bis zum Zieljahr 2030. Langfristig verfolgt die Bundesregierung das Ziel der Treibhausgasneutralität bis 2050. Auch dieses Ziel steht klar im Gesetz.

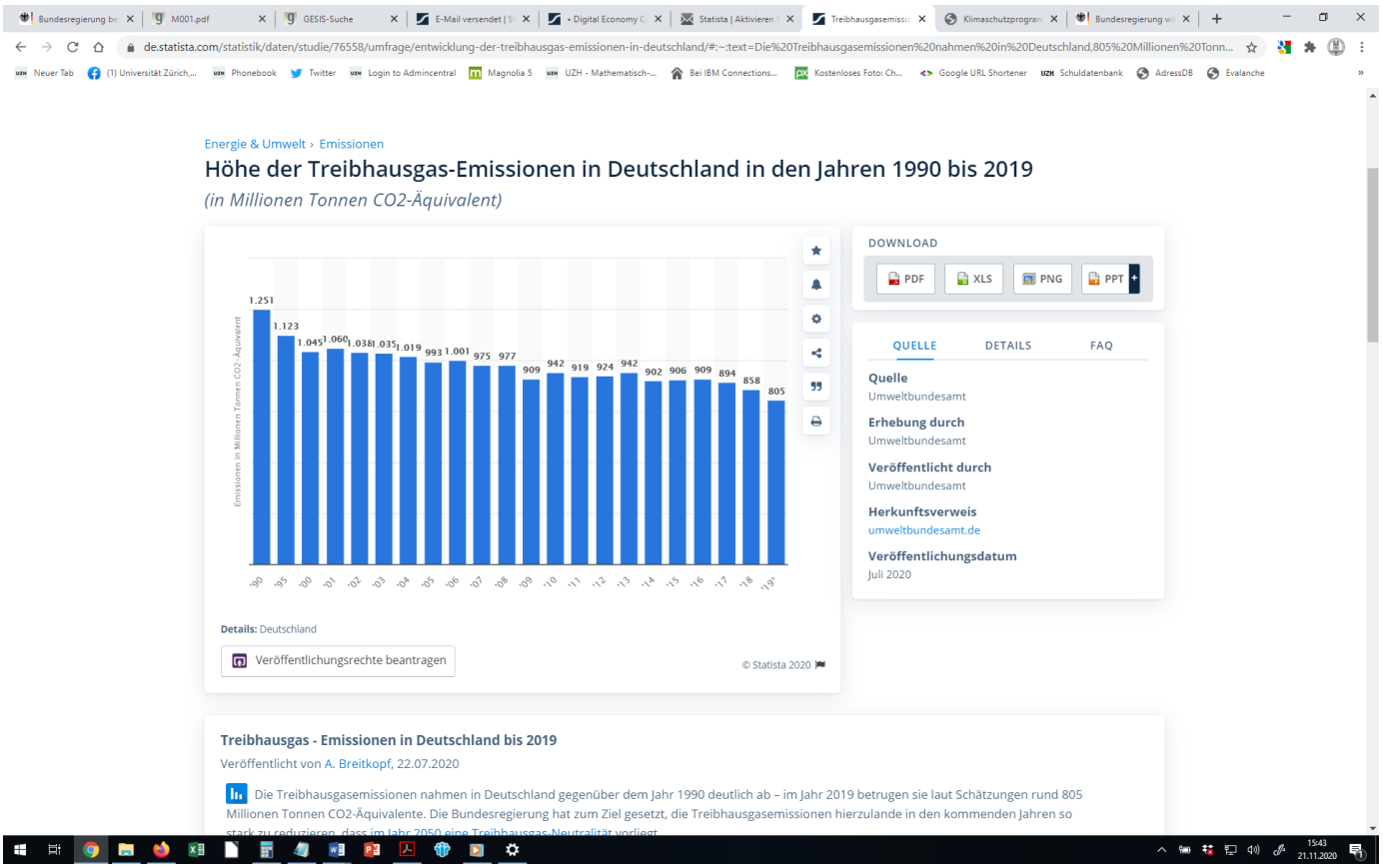
Klimaschutz wird Gesetz

Erstmals verbindlich festgeschrieben:

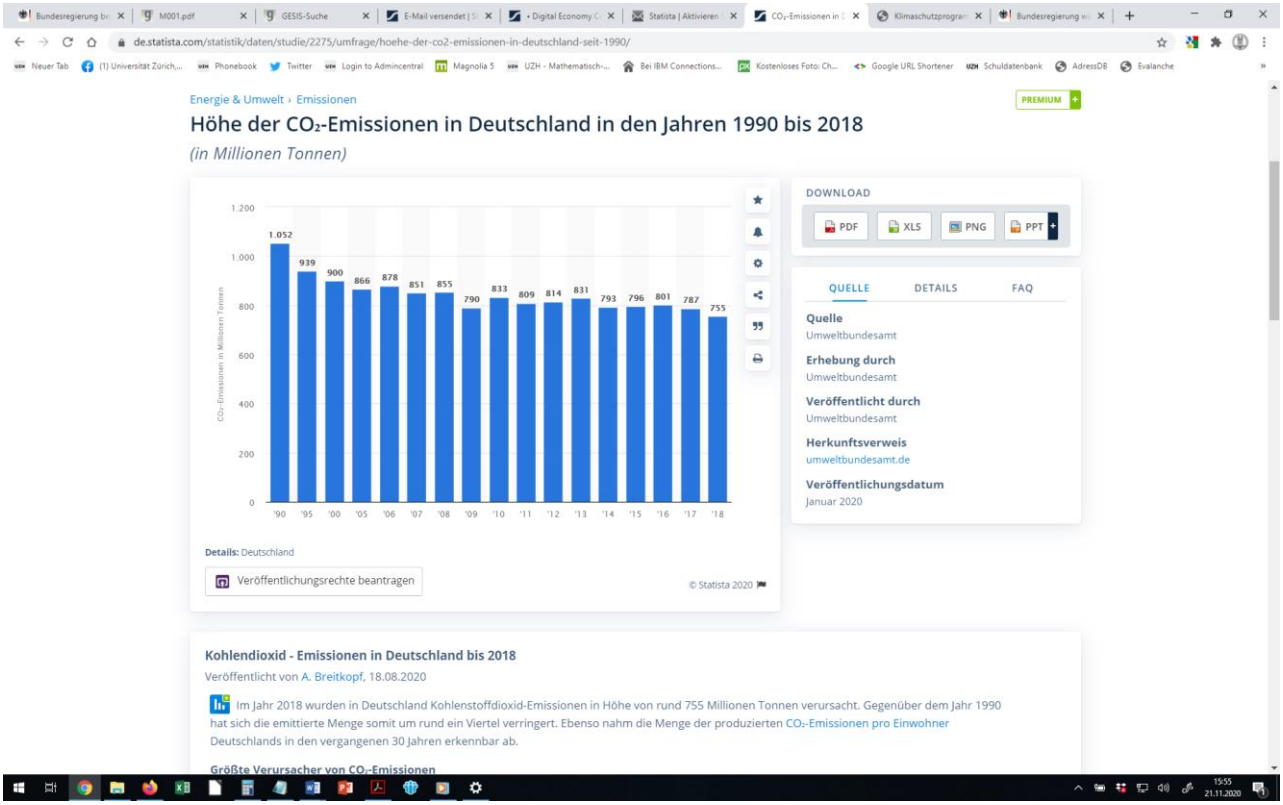
Nationale und europäische Klimaziele

Jährliche Erfolgskontrolle und Pflicht zum Nachsteuern

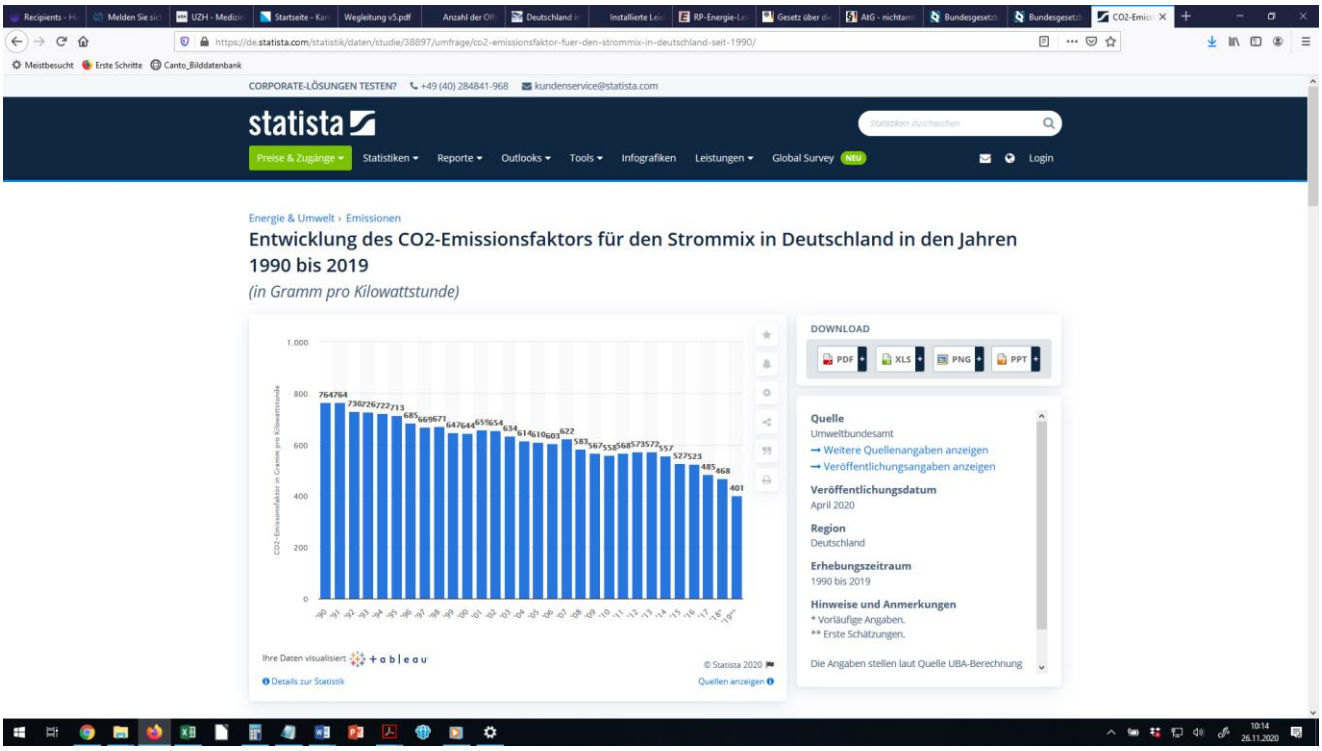
https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/kimaschutzgesetz-beschlossen-1679886 - Webseite besucht am 21.11.2020



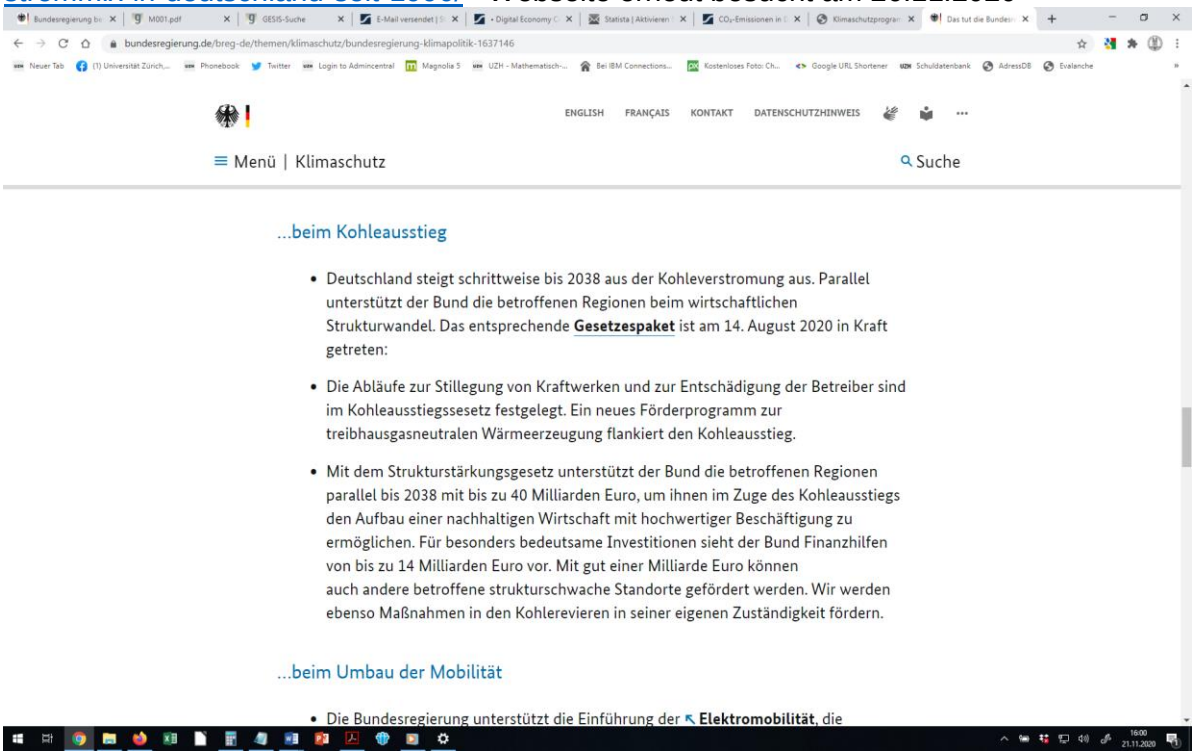
https://de.statista.com/statistik/daten/studie/76558/umfrage/entwicklung-der-treibhausgas-emissionen-in-deutschland/#:~:text=Die%20Treibhausgasemissionen%20nahmen%20in%20Deutschland,805%20Millionen%20Tonnen%20CO2%2D%C3%84quivalente – Webseite besucht am 21.11.2020



https://de.statista.com/statistik/daten/studie/2275/umfrage/hoehe-der-co2-emissionen-in-deutschland-seit-1990/ - Webseite besucht am 21.11.2020.



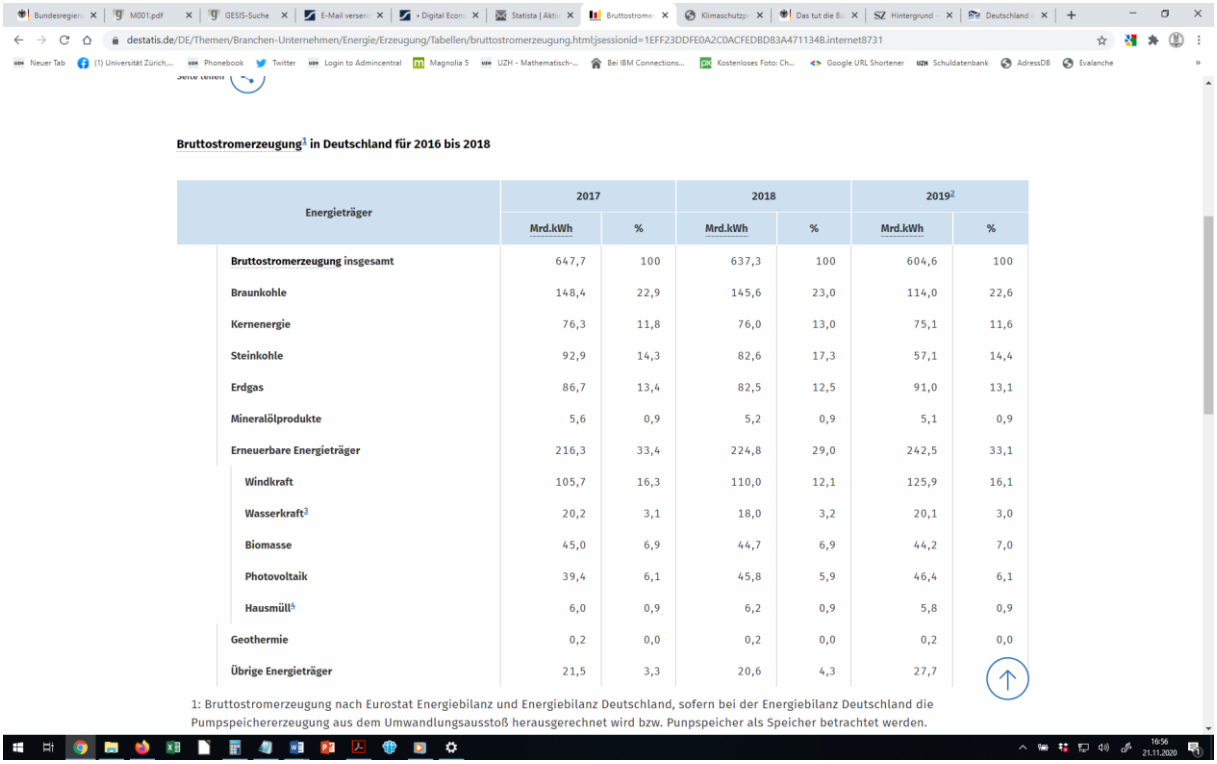
https://de.statista.com/statistik/daten/studie/38897/umfrage/co2-emissionsfaktor-fuer-den-strommix-in-deutschland-seit-1990/ - Webseite erneut besucht am 26.11.2020



https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/bundesregierung-klimapolitik-1637146 - Webseite besucht am 21.11.2020

11.4.4 Screenshot zu Kapitel 7

https://www.wind-energie.de/themen/zahlen-und-fakten/deutschland/#:~:text=In%20Deutschland%20standen%20Ende%202019%20insgesamt%2029.456%20Onshore%2DWindenergieanlagen.&text=325%20neue%20Onshore%2DWindenergieanlagen%20mit,Onshore%2DWindenergie%20betr%C3%A4gt%2053.912%20MW. – Webseite besucht am 21.11.2020

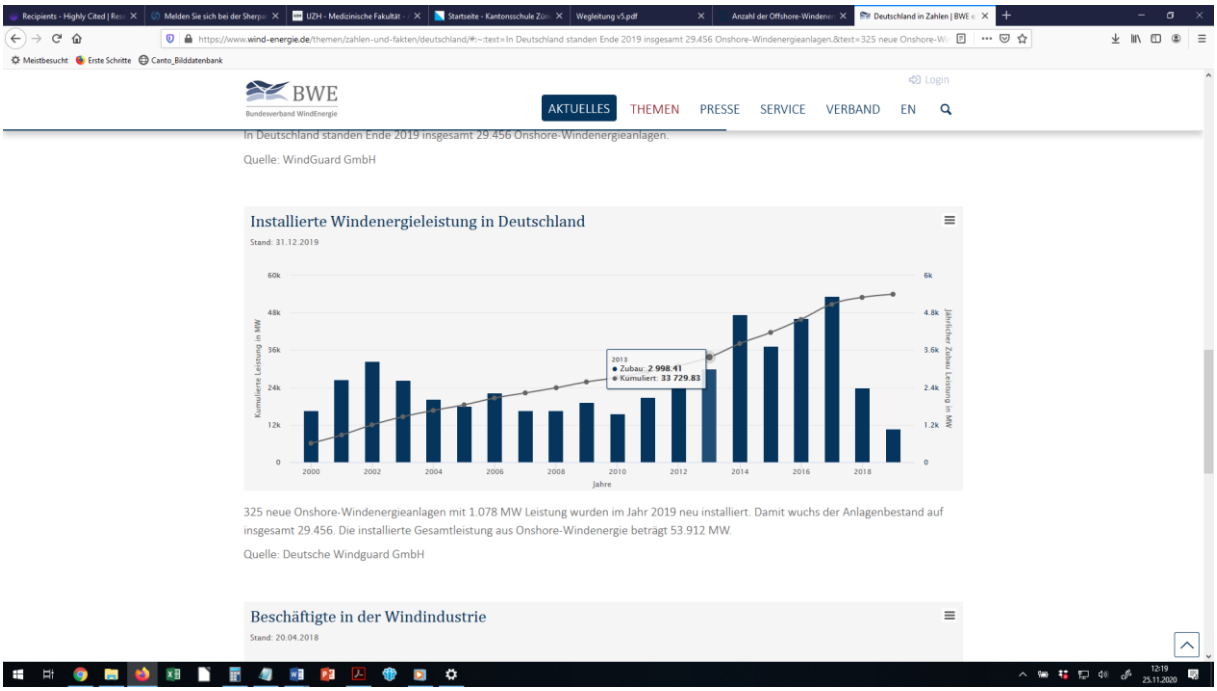


Bruttostromerzeugung[1] in Deutschland für 2016 bis 2018

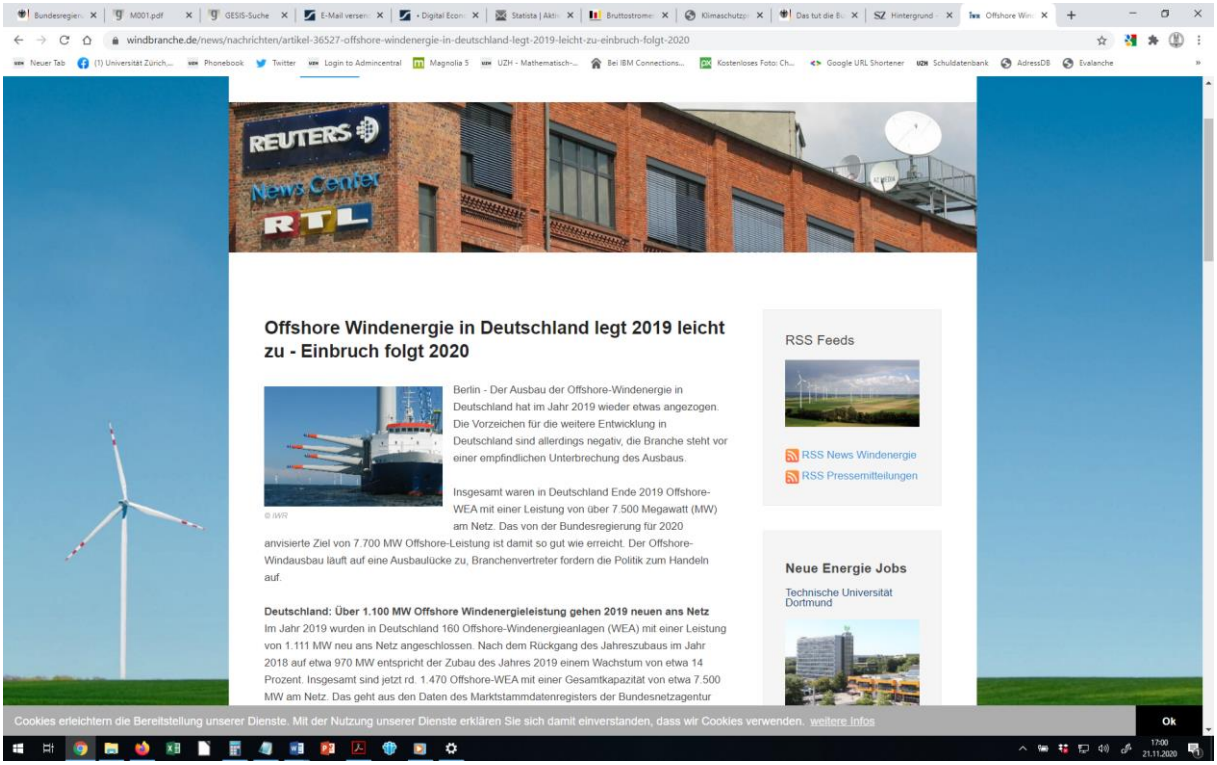
Energieträger	2017		2018		2019[2]	
	Mrd.kWh	%	Mrd.kWh	%	Mrd.kWh	%
Bruttostromerzeugung insgesamt	647,7	100	637,3	100	604,6	100
Braunkohle	148,4	22,9	145,6	23,0	114,0	22,6
Kernenergie	76,3	11,8	76,0	13,0	75,1	11,6
Steinkohle	92,9	14,3	82,6	17,3	57,1	14,4
Erdgas	86,7	13,4	82,5	12,5	91,0	13,1
Mineralölprodukte	5,6	0,9	5,2	0,9	5,1	0,9
Erneuerbare Energieträger	216,3	33,4	224,8	29,0	242,5	33,1
Windkraft	105,7	16,3	110,0	12,1	125,9	16,1
Wasserkraft[3]	20,2	3,1	18,0	3,2	20,1	3,0
Biomasse	45,0	6,9	44,7	6,9	44,2	7,0
Photovoltaik	39,4	6,1	45,8	5,9	46,4	6,1
Hausmüll[4]	6,0	0,9	6,2	0,9	5,8	0,9
Geothermie	0,2	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0
Übrige Energieträger	21,5	3,3	20,6	4,3	27,7	

1: Bruttostromerzeugung nach Eurostat Energiebilanz und Energiebilanz Deutschland, sofern bei der Energiebilanz Deutschland die Pumpspeichererzeugung aus dem Umwandlungsausstoß herausgerechnet wird bzw. Punpspeicher als Speicher betrachtet werden.

https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Energie/Erzeugung/Tabellen/bruttostromerzeugung.html;jsessionid=1EFF23DDFE0A2C0ACFEDBD83A471134B.internet8731 – Webseite besucht am 21.11.2020

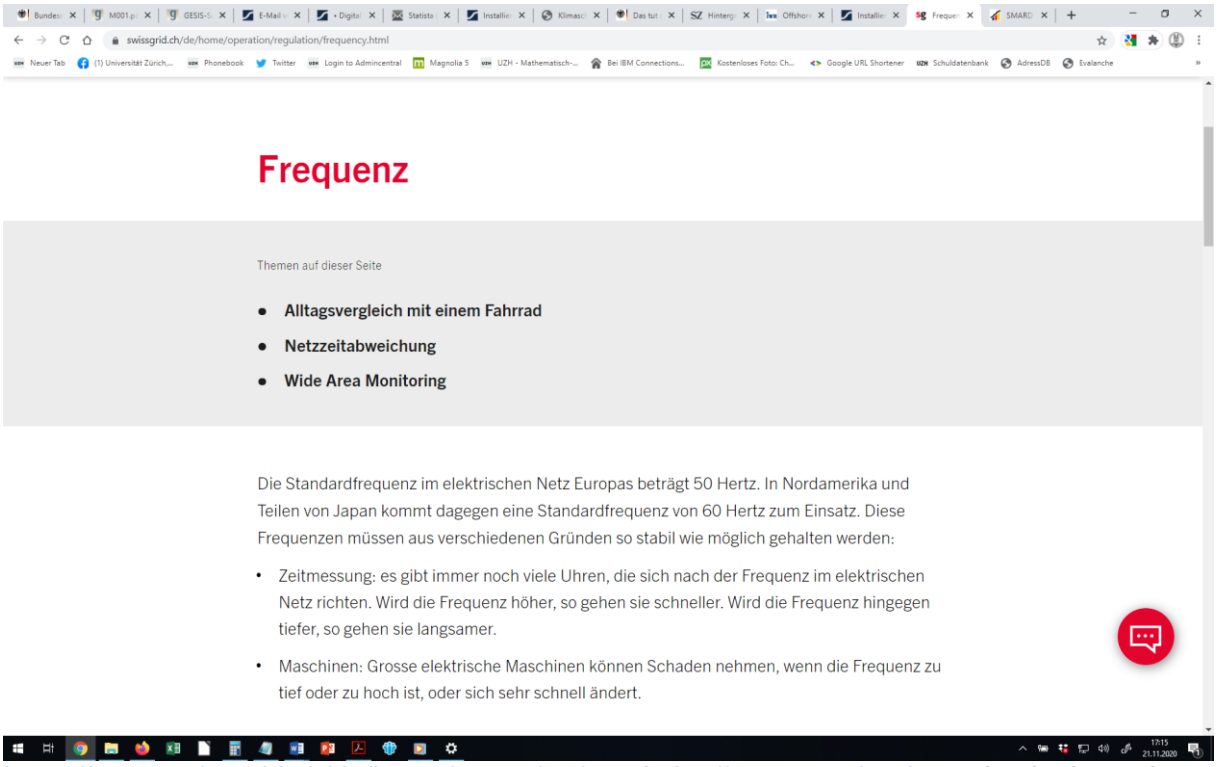


https://www.wind-energie.de/themen/zahlen-und-fakten/deutschland/#:~:text=In%20Deutschland%20standen%20Ende%202019%20insgesamt%2029.456%20Onshore%2DWindenergieanlagen.&text=325%20neue%20Onshore%2DWindenergieanlagen%20mit,Onshore%2DWindenergie%20betr%C3%A4gt%2053.912%20MW. Webseite besucht am 25.11.2020.

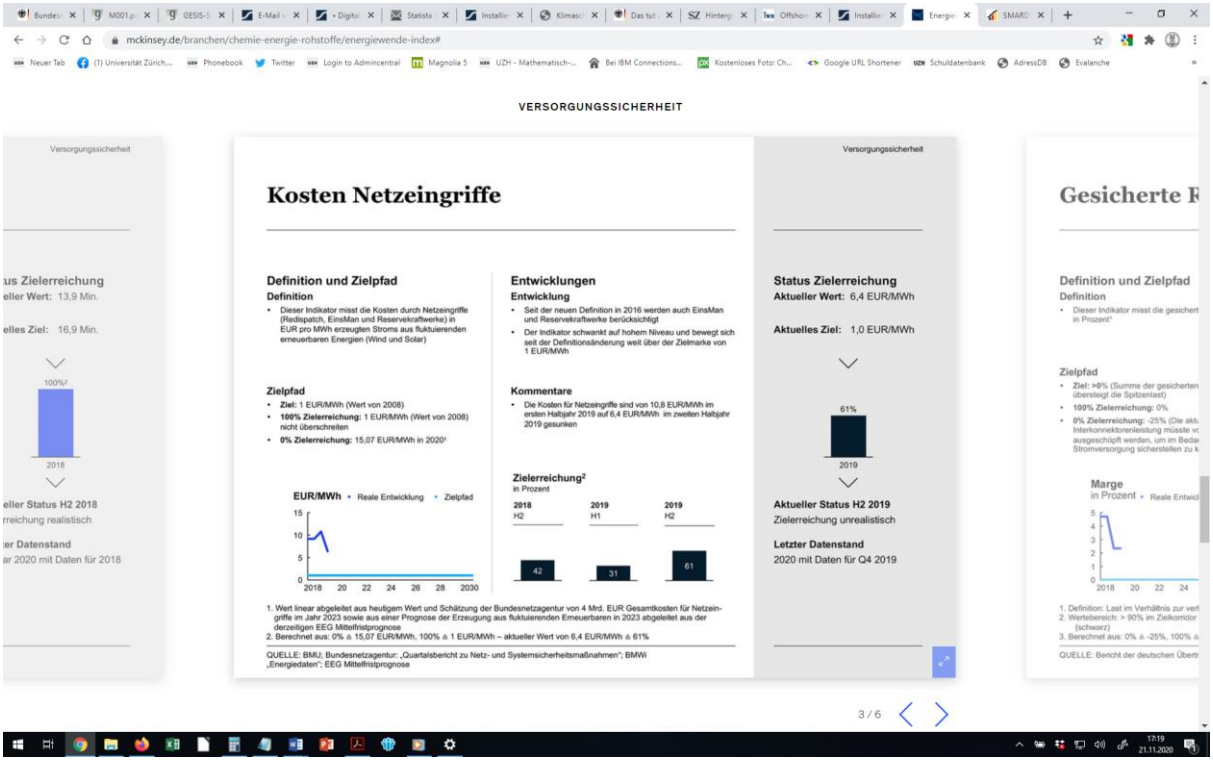


https://www.windbranche.de/news/nachrichten/artikel-36527-offshore-windenergie-in-deutschland-legt-2019-leicht-zu-einbruch-folgt-2020 - Webseite besucht am 21.11.2020

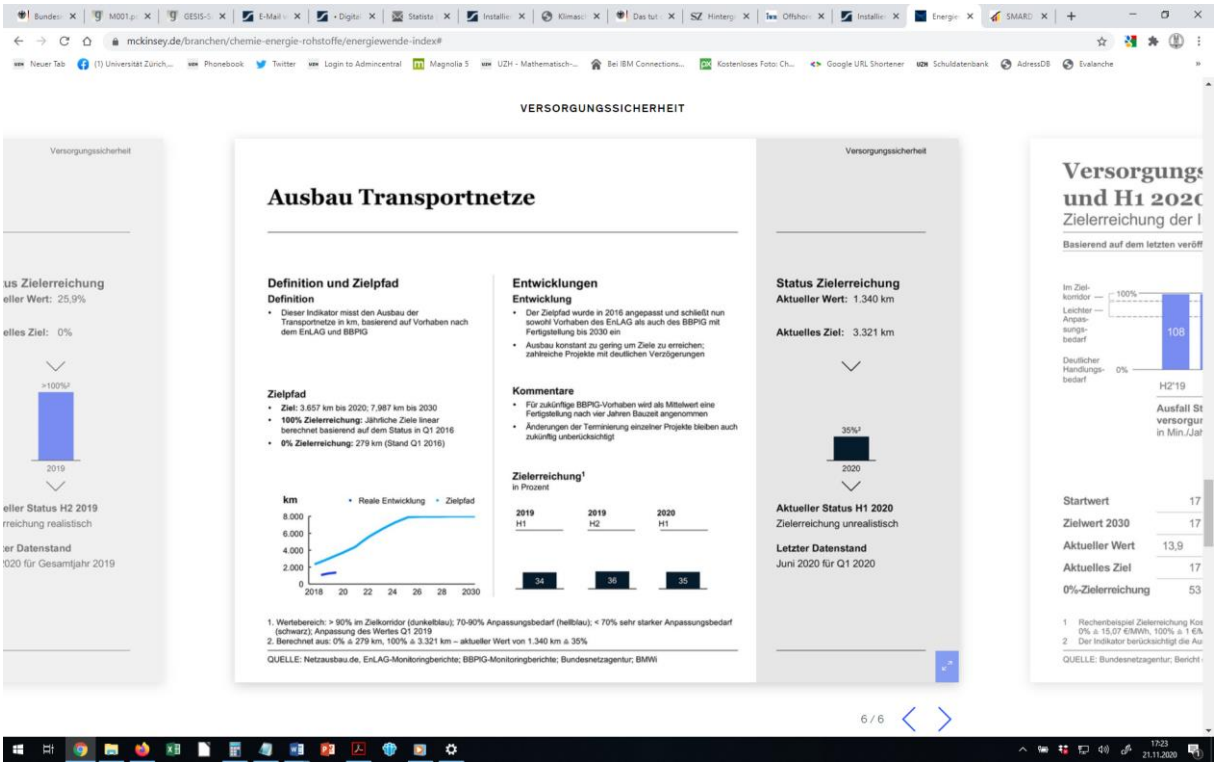
https://de.statista.com/statistik/daten/studie/13547/umfrage/leistung-durch-solarstrom-in-deutschland-seit-1990/ - Webseite erneut besucht am 26.11.2020.



https://www.swissgrid.ch/de/home/operation/regulation/frequency.html - Webseite besucht am 21.11.2020.

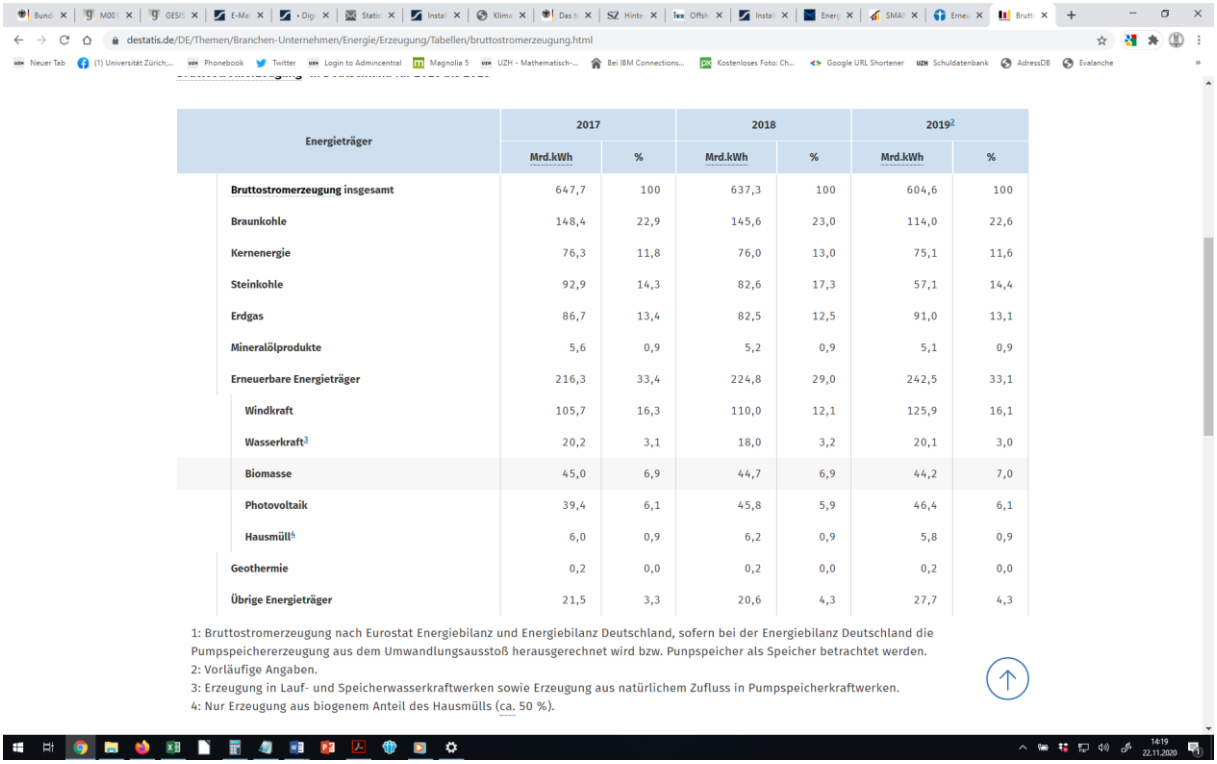


https://www.mckinsey.de/branchen/chemie-energie-rohstoffe/energiewende-index# - Webseite besucht am 21.11.2020.



https://www.mckinsey.de/branchen/chemie-energie-rohstoffe/energiewende-index# - Webseite besucht am 21.11.2020.

11.4.5 Screenshots zu Kapitel 8

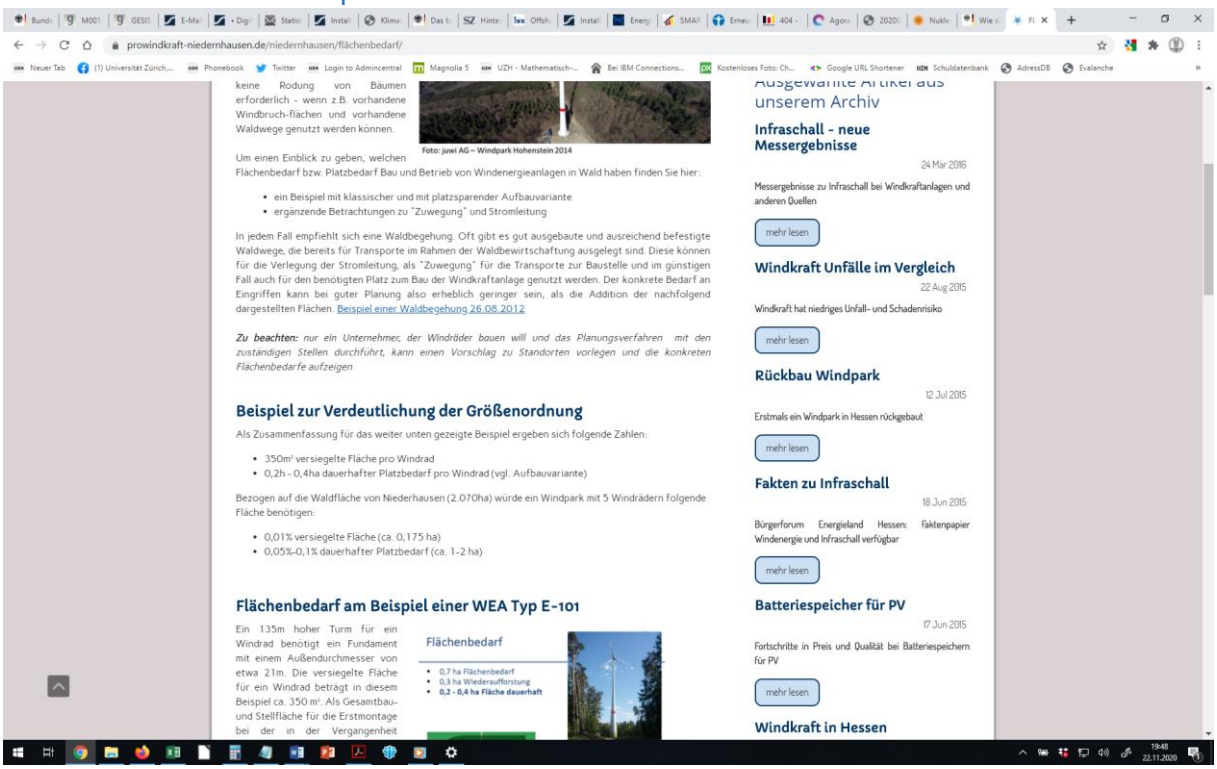


Energieträger	2017		2018		2019[2]	
	Mrd.kWh	%	Mrd.kWh	%	Mrd.kWh	%
Bruttostromerzeugung insgesamt	647,7	100	637,3	100	604,6	100
Braunkohle	148,4	22,9	145,6	23,0	114,0	22,6
Kernenergie	76,3	11,8	76,0	13,0	75,1	11,6
Steinkohle	92,9	14,3	82,6	17,3	57,1	14,4
Erdgas	86,7	13,4	82,5	12,5	91,0	13,1
Mineralölprodukte	5,6	0,9	5,2	0,9	5,1	0,9
Erneuerbare Energieträger	216,3	33,4	224,8	29,0	242,5	33,1
Windkraft	105,7	16,3	110,0	12,1	125,9	16,1
Wasserkraft[3]	20,2	3,1	18,0	3,2	20,1	3,0
Biomasse	45,0	6,9	44,7	6,9	44,2	7,0
Photovoltaik	39,4	6,1	45,8	5,9	46,4	6,1
Hausmüll[4]	6,0	0,9	6,2	0,9	5,8	0,9
Geothermie	0,2	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0
Übrige Energieträger	21,5	3,3	20,6	4,3	27,7	4,3

1: Bruttostromerzeugung nach Eurostat Energiebilanz und Energiebilanz Deutschland, sofern bei der Energiebilanz Deutschland die Pumpspeichererzeugung aus dem Umwandlungsausstoß herausgerechnet wird bzw. Punpspeicher als Speicher betrachtet werden.
2: Vorläufige Angaben.
3: Erzeugung in Lauf- und Speicherwasserkraftwerken sowie Erzeugung aus natürlichem Zufluss in Pumpspeicherkraftwerken.
4: Nur Erzeugung aus biogenem Anteil des Hausmülls (ca. 50 %).

https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Energie/Erzeugung/Tabellen/bruttostromerzeugung.html - Webseite besucht am 22.11.2020.

11.4.6 Screenshots zu Kapitel 9



keine Rodung von Bäumen erforderlich - wenn z.B. vorhandene Windbruch-flächen und vorhandene Waldwege genutzt werden können.

Foto: juwi AG – Windpark Hohenstein 2014

Um einen Einblick zu geben, welchen Flächenbedarf bzw. Platzbedarf Bau und Betrieb von Windenergieanlagen in Wald haben finden Sie hier:

- ein Beispiel mit klassischer und mit platzsparender Aufbauvariante
- ergänzende Betrachtungen zu "Zuwegung" und Stromleitung

In jedem Fall empfiehlt sich eine Waldbegehung. Oft gibt es gut ausgebaute und ausreichend befestigte Waldwege, die bereits für Transporte im Rahmen der Waldbewirtschaftung ausgelegt sind. Diese können für die Verlegung der Stromleitung, als "Zuwegung" für die Transporte zur Baustelle und im günstigen Fall auch für den benötigten Platz zum Bau der Windkraftanlage genutzt werden. Der konkrete Bedarf an Eingriffen kann bei guter Planung also erheblich geringer sein, als die Addition der nachfolgend dargestellten Flächen. Beispiel einer Waldbegehung 26.08.2012

Zu beachten: *nur ein Unternehmer, der Windräder bauen will und das Planungsverfahren mit den zuständigen Stellen durchführt, kann einen Vorschlag zu Standorten vorlegen und die konkreten Flächenbedarfe aufzeigen*

Beispiel zur Verdeutlichung der Größenordnung

Als Zusammenfassung für das weiter unten gezeigte Beispiel ergeben sich folgende Zahlen:

- 350m² versiegelte Fläche pro Windrad
- 0,2h - 0,4ha dauerhafter Platzbedarf pro Windrad (vgl. Aufbauvariante)

Bezogen auf die Waldfläche von Niederhausen (2.070ha) würde ein Windpark mit 5 Windrädern folgende Fläche benötigen:

- 0,01% versiegelte Fläche (ca. 0,175 ha)
- 0,05%-0,1% dauerhafter Platzbedarf (ca. 1-2 ha)

Flächenbedarf am Beispiel einer WEA Typ E-101

Ein 135m hoher Turm für ein Windrad benötigt ein Fundament mit einem Außendurchmesser von etwa 21m. Die versiegelte Fläche für ein Windrad beträgt in diesem Beispiel ca. 350 m². Als Gesamtbau- und Stellfläche für die Erstmontage bei der in der Vergangenheit

Flächenbedarf

- 0,7 ha Flächenbedarf
- 0,3 ha Wiederaufforstung
- 0,2 - 0,4 ha Fläche dauerhaft

unserem Archiv

Infraschall - neue Messergebnisse
24 Mar 2016
Messergebnisse zu Infraschall bei Windkraftanlagen und anderen Quellen
mehr lesen

Windkraft Unfälle im Vergleich
22 Aug 2015
Windkraft hat niedriges Unfall- und Schadenrisiko
mehr lesen

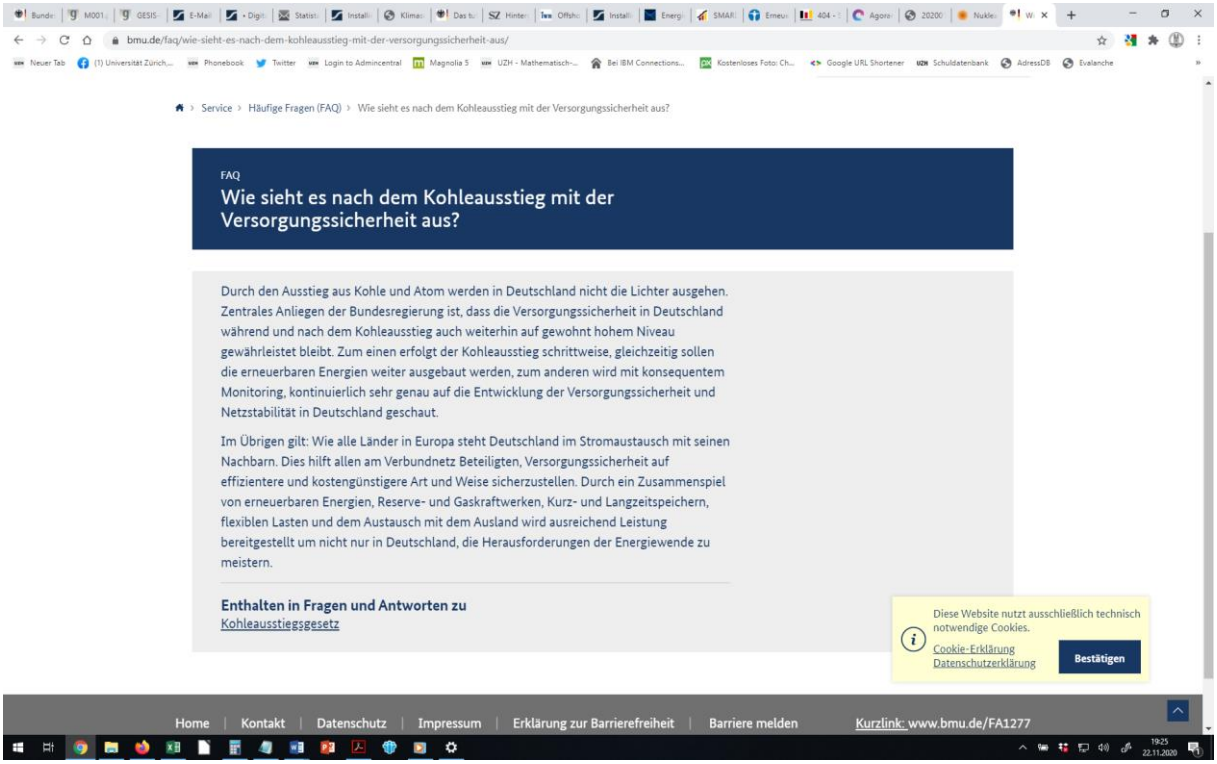
Rückbau Windpark
12 Jul 2015
Erstmals ein Windpark in Hessen rückgebaut
mehr lesen

Fakten zu Infraschall
18 Jun 2015
Bürgerforum Energieland Hessen: Faktenpapier Windenergie und Infraschall verfügbar
mehr lesen

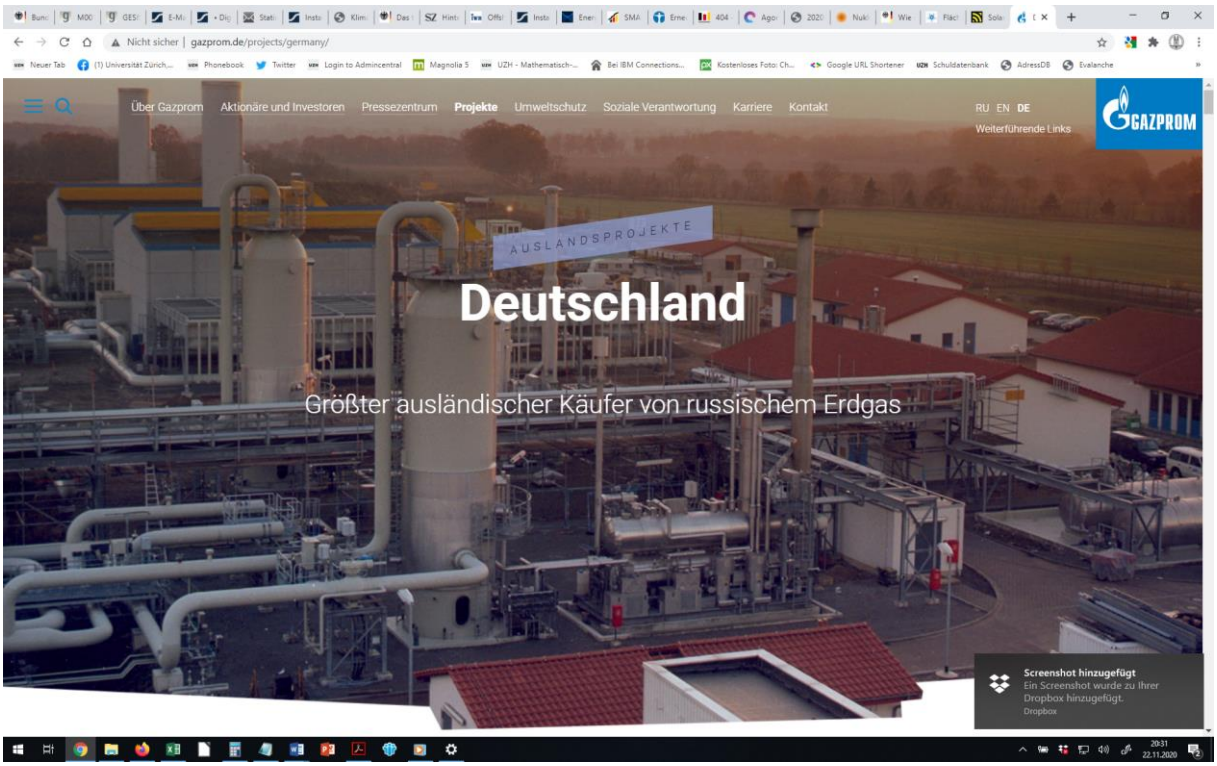
Batteriespeicher für PV
17 Jun 2015
Fortschritte in Preis und Qualität bei Batteriespeichern für PV
mehr lesen

Windkraft in Hessen

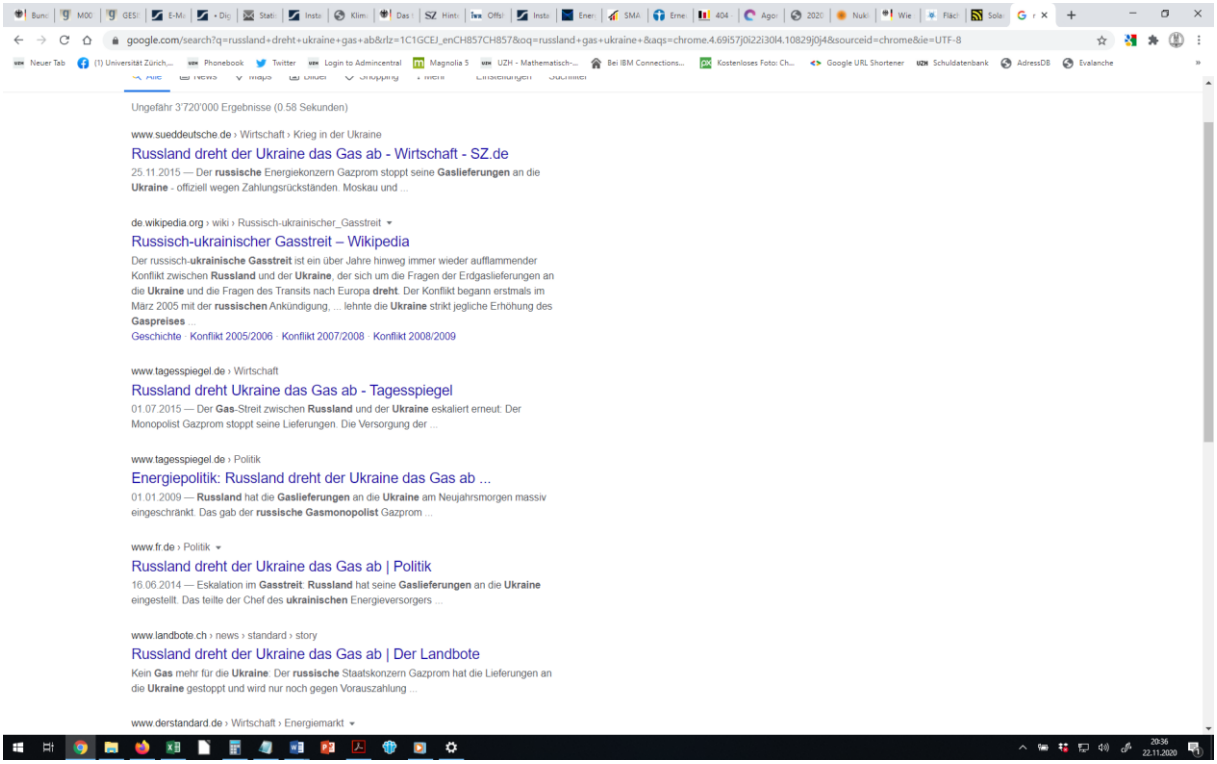
https://www.prowindkraft-niedernhausen.de/niedernhausen/fl%C3%A4chenbedarf/ - Webseite besucht am 22.11.2020



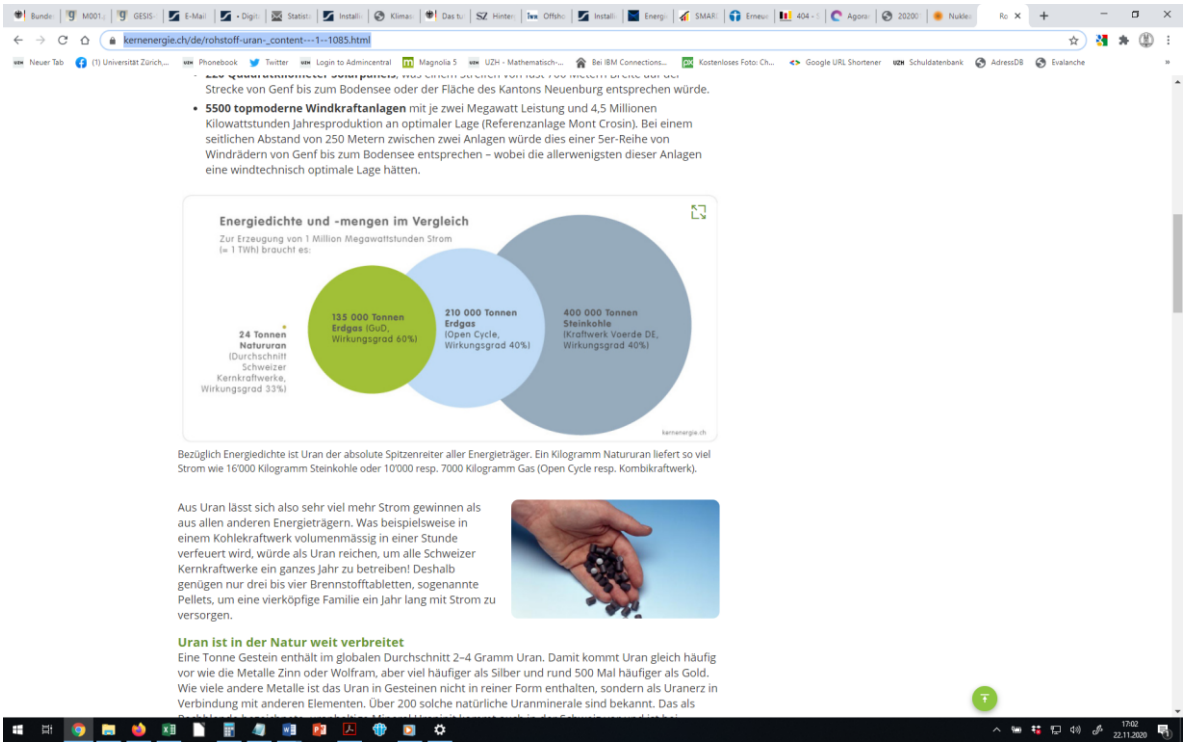
https://www.bmu.de/faq/wie-sieht-es-nach-dem-kohleausstieg-mit-der-versorgungssicherheit-aus/ - Webseite besucht am 22.11.2020



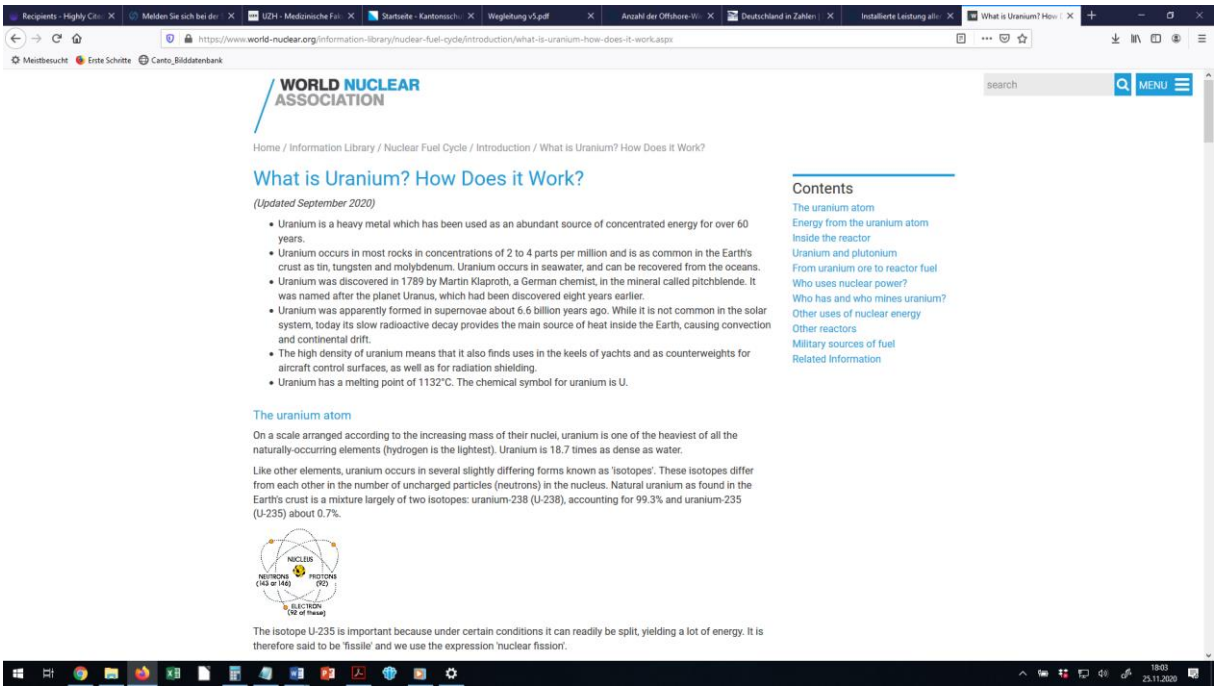
http://www.gazprom.de/projects/germany/ Webseite besucht am 22.11.2020.



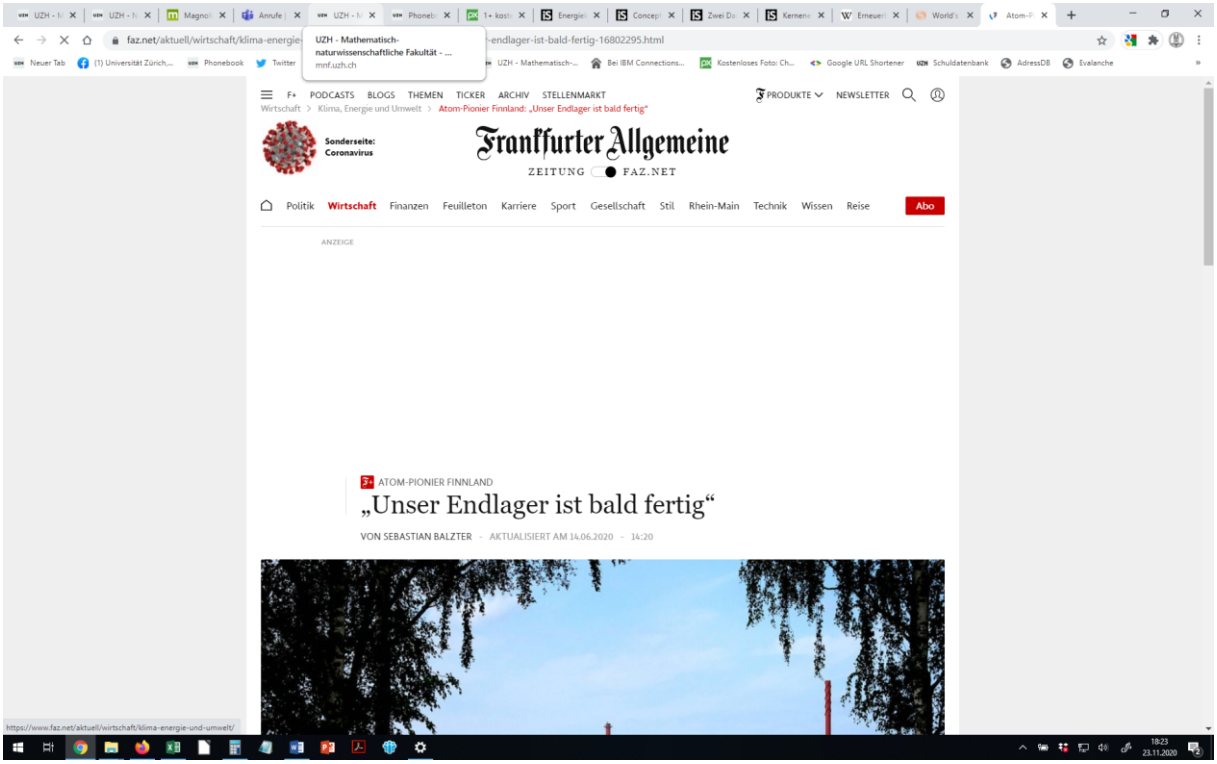
https://www.google.com/search?q=russland+dreht+ukraine+gas+ab&rlz=1C1GCEJ_enCH857CH857&oq=russland+gas+ukraine+&aqs=chrome.4.69i57j0i22i30l4.10829j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8 – Webseite besucht am 22.11.2020.



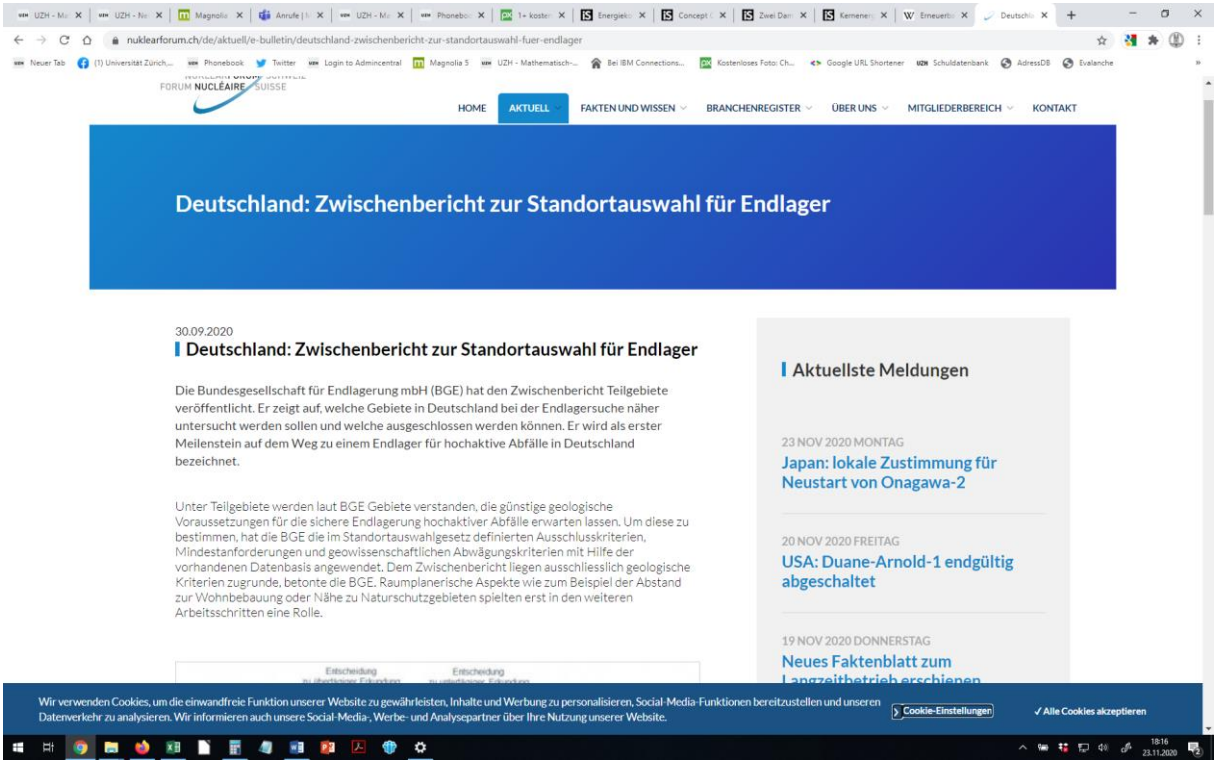
https://www.kernenergie.ch/de/rohstoff-uran-_content---1--1085.html - Webseite besucht am 22.11.2020.



https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/introduction/what-is-uranium-how-does-it-work.aspx Webseite besucht am 25.11.2020.



https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/klima-energie-und-umwelt/atom-pionier-finnland-unser-endlager-ist-bald-fertig-16802295.html - Webseite besucht am 23.11.2020, 18.24 Uhr.



https://www.nuklearforum.ch/de/aktuell/e-bulletin/deutschland-zwischenbericht-zur-standort-auswahl-fuer-endlager - Webseite besucht am 23.11.2020.

11.5 Zahlenmaterial für eigene Grafiken

Zu Kapitel 7.3, Abb. 7:
Zeitraum 1. bis 30. November 2019, Zahlenmaterial der Bundesnetzagentur, SMARD.
https://www.smard.de/page/home/topic-article/444/15098

Stromverbrauch GWh	1238	1188	1100	1408	1458
Windstrom-Einspeisung GWh	422	595	303	264	218
Photovoltaik-Einspeisung GWh	38	41	35	47	36
Jahr 2019	01. Nov	02. Nov	03. Nov	04. Nov	05. Nov

1485	1500	1475	1258	1182	1495	1518	1506
111	281	155	159	134	414	533	359
32	55	33	31	64	39	37	30
06. Nov	07. Nov	08. Nov	09. Nov	10. Nov	11. Nov	12. Nov	13. Nov

1498	1474	1263	1179	1473	1533	1518	1526
336	493	317	302	395	411	36	129
71	25	33	20	29	37	22	19
14. Nov	15. Nov	16. Nov	17. Nov	18. Nov	19. Nov	20. Nov	21. Nov

1511	1288	1186	1482	1523	1544	1535	1490
268	630	311	61	226	523	857	637
30	48	39	14	23	17	25	31
22. Nov	23. Nov	24. Nov	25. Nov	26. Nov	27. Nov	28. Nov	29. Nov

1255
203
47
30. Nov

Zu Kapitel 7.3, Abb. 8:
Zeitraum 1. bis 30. Mai 2020.
Zahlenmaterial der Bundesnetzagentur SMARD https://www.smard.de/home/marktdaten?marketDataAttributes=%7B%22resolution%22:%22day%22,%22from%22:1588284000000,%22to%22:1590962399999,%22moduleIds%22:%5B1004066,1001226,1001225,1004067,1004068,1001228,1001224,1001223,1004069,1004071,1004070,1001227%5D,%22selectedCategory%22:null,%22activeChart%22:true,%22style%22:%22color%22,%22region%22:%22DE%22%7D

Stromverbrauch GWh	1007	1043	985	1252	1294
Windstrom-Einspeisung GWh	398	343	143	170	239
Photovoltaik-Einspeisung GWh	150	145	177	140	200
Jahr 2020 (Lockdown)	01. Mai	02. Mai	03. Mai	04. Mai	05. Mai

1267	1259	1207	1065	985	1306	1297	1306
234	139	67	70	246	636	293	173
264	254	253	203	164	83	214	148
06. Mai	07. Mai	08. Mai	09. Mai	10. Mai	11. Mai	12. Mai	13. Mai

1113	1069	1115	1271	1274	1273	1279	1230
315	430	505	405	45	130	258	143
155	112	118	155	228	256	242	245
22. Mai	23. Mai	24. Mai	25. Mai	26. Mai	27. Mai	28. Mai	29. Mai

1050
250
222
30. Mai