

Globale und nationale Herausforderungen bei der Umsetzung der Energiesystemtransformation



Wuppertal Institut
Dr. Sascha Samadi
sascha.samadi@wupperinst.org



Wuppertal Institut
Prof. Dr. Manfred Fischedick
manfred.fischedick@wupperinst.org

DLR
Dr. Thomas Pregger
thomas.pregger@dlr.de

Dr. Thomas Vogt
t.vogt@dlr.de

Fraunhofer ISE
Prof. Dr. Hans-Martin Henning
hans-martin.henning@ise.fraunhofer.de

Fraunhofer IEE
Prof. Dr. Clemens Hoffmann
clemens.hoffmann@iee.fraunhofer.de

Prof. Dr. Kurt Rohrig
kurt.rohrig@iee.fraunhofer.de

IZES
Juri Horst
horst@izes.de

Eva Hauser
hauser@izes.de

KIT
Prof. Dr. Veit Hagenmeyer
veit.hagenmeyer@kit.edu

Dr. Witold-Roger Pogonietz
pogonietz@kit.edu

Steigender globaler Handlungsdruck

Die Erkenntnisse der Klimaforschung sind eindeutig: Um das im Pariser Klimaabkommen vereinbarte Ziel der Begrenzung der Erderwärmung auf „deutlich unter 2°C“ noch einhalten zu können, müssen die globalen Treibhausgasemissionen umgehend ihren Scheitelpunkt erreichen und anschließend kontinuierlich und steil zurückgehen (UNEP 2019, Figueres et al. 2017). Dies gilt umso mehr für die ebenfalls im Pariser Klimaabkommen vereinbarte Absicht, die Erwärmung möglichst sogar unter 1,5°C zu halten. Durch eine entsprechende Begrenzung der Erderwärmung kann nach aktuellem Wissensstand die Gefahr des Auslösens gefährlicher Kippunkte (Lenton et al. 2019) und einer sich selbst verstärkenden Erwärmung (Steffen et al. 2018) deutlich vermindert werden.

Bisher jedoch steigen die globalen Treibhausgasemissionen weiter (► *Abbildung 1*). Zwischen 1990 und 2017 sind sie im Durchschnitt um jährlich 1,5% gestiegen (PBL 2018, Friedlingstein et al. 2019), von 2017 bis 2018 nach ersten Schätzungen sogar um 2% (UNEP 2019). Auch bei ausschließlicher Betrachtung der CO₂-Emissionen aus der Nutzung fossiler Energieträger im Energiesystem und der Industrie zeigt sich in den letzten Jahren ein weiterer Anstieg. Diese CO₂-Emissionen machen mit rund zwei Dritteln den größten Teil der globalen Treibhausgasemissionen aus. Nach Berechnungen der UNEP (2019) müssten die globalen Treibhausgasemissionen zwischen 2020 und 2030 um durchschnittlich 2,7% pro Jahr sinken, um die Erderwärmung wahrscheinlich unter 2°C zu halten, und sogar um 7,6% pro Jahr, um wahrscheinlich eine Begrenzung unter 1,5°C erreichen zu können.

Sowohl vielversprechende als auch ernüchternde Entwicklungen zu beobachten

In den vergangenen Monaten und Jahren hat es hinsichtlich der Perspektiven für den dringend benötigten Trendwechsel im internationalen Klimaschutz weltweit sowohl vielversprechende als auch ernüchternde Entwicklungen gegeben.

Vielversprechend waren und sind unter anderem die folgenden Entwicklungen:

- Das Bewusstsein um die Gefahren des Klimawandels und die Notwendigkeit von ambitioniertem Klimaschutz hat in vielen Gesellschaften der Welt in den letzten Jahren zugenommen (siehe u.a. Europäische Kommission 2019, Leiserowitz et al. 2018). Insbesondere die junge Generation fordert zum Beispiel im Rahmen der „Fridays for Future“-Bewegung ein deutlich entschiedeneres politisches Handeln beim Klimaschutz.
- Einige große Unternehmen haben in den vergangenen Monaten Strategien formuliert, wie und bis wann sie Klimaneutralität erreichen wollen (siehe u.a. thyssenkrupp 2019, Daimler 2019, Bosch 2019).
- In den vergangenen Jahren haben Dutzende global agierende Banken und Versicherer eine immer restriktivere Politik rund um Kohlekraftwerke und Kohleförderung betrieben (siehe u.a. Norges Bank 2016, Allianz 2018, Munich Re 2018).
- In den letzten Jahren haben mehrere europäische Länder jeweils für sich konkrete Zeitpunkte zum Erreichen von Klimaneutralität gesetzlich festgelegt (Darby 2019). So soll Norwegen dieses Ziel bereits bis 2030 erreichen, Schweden bis 2045 und Frankreich und Großbritannien bis 2050. Ebenfalls haben viele europäische Länder den Ausstieg aus der Kohleverstromung bis spätestens 2030 angekündigt (u.a. Frankreich, Großbritannien, Niederlande) (Europe Beyond Coal 2019) und mehrere Länder haben sich für ein Verbot des Verkaufs von Autos mit Benzin- oder Dieselmotoren bis ebenfalls spätestens 2030 ausgesprochen (Hampel 2019).
- Im Dezember 2019 hat die neue EU-Kommission ihren „European Green Deal“ vorgestellt und darin das Ziel formuliert, die EU bis zum Jahr 2050 klimaneutral zu machen. Zudem werden zentrale Strategien und Maßnahmen zur Zielerreichung dargestellt und die baldige Vorlage eines Klimaschutzgesetzes angekündigt. Auf dem Treffen des Europäischen Rats im gleichen Monat haben die Staats- und Regierungschefs der EU – zunächst noch mit Ausnahme Polens – ihre Unterstützung für das Ziel der Klimaneutralität bis 2050 bekundet
- Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien hat in den letzten Jahren ihren langfristigen Trend der deutlichen Kostensenkung weiter fortgesetzt und stellt mittlerweile in vielen Regionen die günstigste Art der Stromerzeugung dar (IRENA 2019).

Gleichzeitig gibt es eine Reihe gegenläufiger Entwicklungen, die globalem Klimaschutz entgegenwirken:

- Die USA, als derzeit zweitgrößte Emittenten von Treibhausgasemissionen, haben ihren Ausstieg aus dem Pariser Klimaschutzabkommen eingeleitet (DW 2019).
- In zentralen Schwellenländern (z.B. in China und Indien) findet nach wie vor ein deutlicher Zubau von Kohlekraftwerken statt, wenn auch langsamer als noch vor einigen Jahren erwartet (Shearer et al. 2019).
- Der globale Flugverkehr erfährt weiterhin starke Wachstumsraten (ICAO 2018) und seine Klimawirkung wird nach wie vor nicht oder nur unzureichend eingepreist (Bannon 2018).
- Weltweit findet nach wie vor eine Subventionierung fossiler Energieträger statt, die in den letzten Jahren nicht umfassend reduziert werden konnte (Coady et al. 2019).

Unzureichende Fortschritte in Deutschland

In Deutschland hat das Thema „Klimaschutz“ seit etwa 2018 im öffentlichen Diskurs wieder eine deutlich prominentere Rolle eingenommen. Dies hängt sicherlich unter anderem mit den zwei ungewöhnlich trockenen Jahren 2018 und 2019 zusammen (DWD 2019), aber auch mit der in Deutschland besonders stark mobilisierenden „Fridays for Future“-Bewegung. Diese Bewegung wiederum erhält in Deutschland auch deshalb Zulauf, weil es in den letzten Jahren immer deutlicher wurde, dass Deutschland sein selbst gestecktes THG-Minderungsziel für das Jahr 2020 (Minderung um 40% gegenüber 1990) voraussichtlich deutlich

verfehlen wird (BMU 2019). Zudem drohen Deutschland zusätzliche Kosten in zweistelliger Milliardenhöhe (Agora Energiewende/Agora Verkehrswende 2018), da nach aktuellen Projektionen das auf EU-Ebene vereinbarte Minderungsziel in den nicht-ETS-Sektoren für die Periode 2021 bis 2030 sehr wahrscheinlich verfehlt wird.

Diese (absehbaren) Zielverfehlungen sind Folge der unzureichenden Fortschritte bei der Umsetzung der Energiewende. Die „Stellungnahme zum zweiten Fortschrittsbericht der Bundesregierung für das Berichtsjahr 2017“ der Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft“ (Löschel et al. 2019) hat diesen mangelnden Fortschritt zuletzt noch einmal deutlich aufgezeigt. Auf Grundlage der bisherigen Entwicklungen schätzen die Experten nicht nur die Erfüllung des 2020-Minderungsziels bei den Treibhausgasemissionen als „unwahrscheinlich“ ein, sondern auch die 2020-Ziele zur Reduktion des Primärenergieverbrauchs und zum Ausbau der Übertragungsnetze. Wie weit die Maßnahmen des im Herbst 2019 beschlossenen „Klimapakets“ Deutschland in den nächsten Jahren näher in Richtung der Erfüllung der mittel- bis langfristigen Energiewende-Ziele bringen werden, soll eine von der Bundesregierung in Auftrag gegebene wissenschaftliche Untersuchung ergeben, die Anfang 2020 vorliegen soll. In diesem Zusammenhang sollte nicht unerwähnt bleiben, dass die derzeitigen THG-Minderungsziele der Bundesregierung offenbar nicht ausreichend ambitioniert sind, um einen angemessenen Beitrag Deutschlands zum Erreichen des im Pariser Klimaschutzabkommen formulierten 1,5-Grad-Ziels zu beschreiben (Höhne et al. 2019, du Pont et al. 2017). Bei dem Ziel der Erhöhung des Anteils Erneuerbarer am Bruttoendenergieverbrauch befindet sich Deutschland der Analyse von Löschel et al. (2019) zufolge

Jülich
Dr. Martin Robinius
m.robinius@fz-juelich.de

UFZ
Prof. Dr. Erik Gawel
erik.gawel@ufz.de

Martin Rojas Arboleda
martin.rojas@ufz.de

ZSW
Maike Schmidt
maike.schmidt@zsw-bw.de

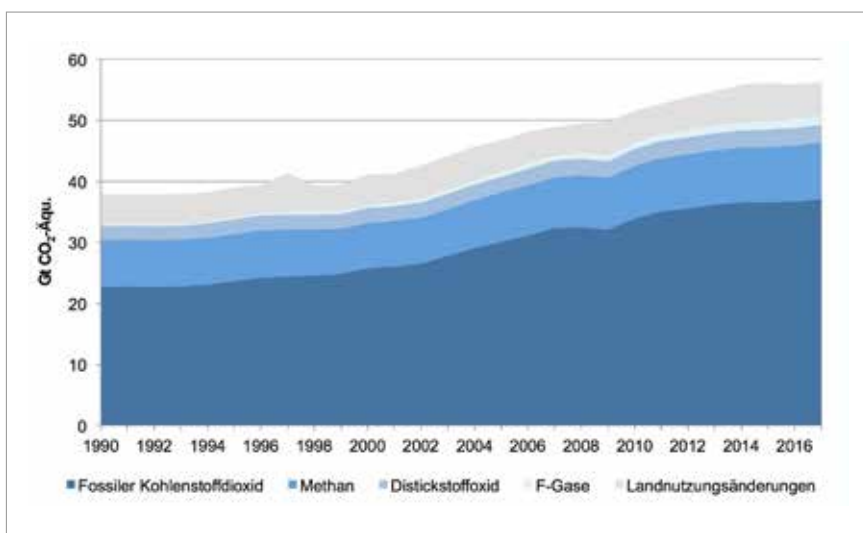


Abbildung 1
Entwicklung der globalen Treibhausgasemissionen von 1990 bis 2017 (in CO₂-Äquivalent mit einem Treibhauspotenzial von 100 Jahren).
Datenquellen: PBL (2018) und Friedlingstein et al. (2019, für Emissionen der Landnutzungsänderungen).

zwar „wahrscheinlich“ noch auf einem Zielerfüllungspfad, die aktuellen Zubauzahlen bei der Onshore-Windenergie (Fachagentur Windenergie an Land 2019) lassen aber befürchten, dass ein ausreichender weiterer Ausbau der erneuerbaren Energien im Stromsystem in den kommenden Jahren möglicherweise nicht stattfinden wird.

Deutliche Fortschritte in verschiedenen Handlungsfeldern nötig

Ein Vergleich der bisherigen Fortschritte bei der Realisierung der Energiewende in Deutschland mit den in vorliegenden Klimaschutzszenarien (z.B. BDI 2018, dena 2018, UBA 2019) beschriebenen Entwicklungen der nächsten Jahre und Jahrzehnte führt zu der Erkenntnis, dass in verschiedenen Handlungsfeldern (weiterhin) dringender Handlungsbedarf besteht, um die Energiewende mindestens in der von der Bundesregierung derzeit geplanten Geschwindigkeit erfolgreich umsetzen zu können. Zu diesen Handlungsfeldern gehören unter anderem die folgenden:

• Stromwende energisch fortsetzen:

Der Ausbau der erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung muss fortgesetzt und gegenüber den letzten Jahren noch beschleunigt werden (► *Abbildung 2* in Hinblick auf Onshore-Windenergie und Photovoltaik), auch weil CO₂-frei erzeugter Strom in bedeutenden Mengen für Klimaschutz im Verkehrssektor, bei der Raumwärmebereitstellung und für Industrieprozesse benötigt wird. Ein entsprechender Ausbau der erneuerbaren Energien muss einhergehen mit einem zügigen Ausstieg aus der besonders CO₂-intensiven Kohle-Verstromung, flankiert durch Maßnahmen zur Vermeidung strukturpolitischer und sozialer Verwerfungen.

• Umfassende Mobilitätswende einleiten:

Die bisherige Fokussierung auf Elektromobilität bei der Diskussion in Gesellschaft und Politik um eine Mobilitätswende greift zu kurz. Neben der Förderung der Elektromobilität sind weitere Maßnahmen notwendig, um den Verkehrssektor bis spätestens Mitte des Jahrhunderts klimaneutral gestalten zu können. Unter anderem bestehen erhebliche Klimaschutzpotenziale durch Verkehrsvermeidung und -verlagerung (UBA 2019). So sollten beispielsweise die Attraktivität des öffentlichen Personenverkehrs sowie auch der Fuß- und Radverkehr gestärkt werden. Da zudem voraussichtlich auch langfristig bestimmte Verkehre nicht direkt mit Strom betrieben werden können (v.a. der Schwerlastverkehr und der Schiffs- und Flugverkehr), sollte gleichzeitig an der Erforschung und Einführung alternativer Kraftstoffe gearbeitet werden.

• Umsetzungsdefizit bei der Wärmewende überwinden:

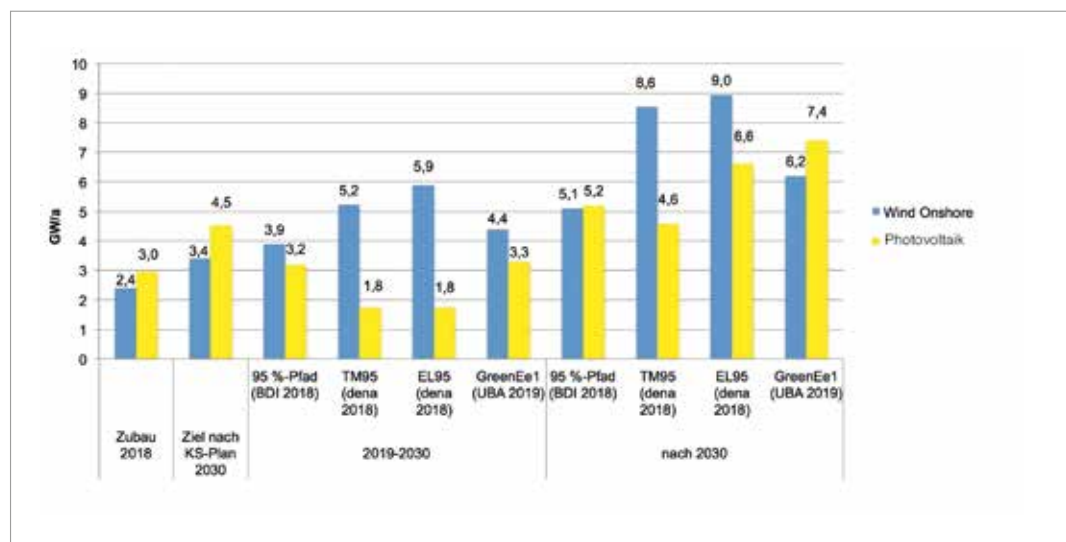
Vorliegende Klimaschutzszenarien gehen durchgängig davon aus, dass die energetischen Sanierungsraten des deutschen Gebäudebestands in den kommenden Jahren und Jahrzehnten deutlich erhöht werden müssen, von derzeit geschätzten rund 1% pro Jahr (Cischinsky/Diefenbach 2018) auf mindestens rund 2% und bis zu 3%. Neben einer so erreichbaren deutlichen Minderung des Energiebedarfs für Raumwärme können zudem gut durchdachte Versorgungskonzepte u.a. für Quartiere sowohl die Nutzung erneuerbarer Energien als auch die Nutzung von Abwärmequellen maximieren. Insbesondere in diesem Bereich der (Raum-) Wärmewende liegen die notwendigen Technologien und Konzepte grundsätzlich vor. Es bedarf in den nächsten Jahren endlich einer Überwindung des lange bestehenden Umsetzungsdefizits.

Abbildung 2:

Jährlicher Bruttozubau von Onshore-Windenergieanlagen und Photovoltaikanlagen (in GW):

- tatsächlicher Zubau 2018
- derzeitige Ausbauziele der Bundesregierung
- laut verschiedenen Klimaschutzszenarien notwendiger durchschnittlicher jährlicher Bruttozubau (bis bzw. nach 2030)

Datenquellen: Bundesregierung (2019), UBA (2019) und eigene Berechnungen auf Grundlage von BDI (2018) und dena (2018) sowie angenommenen technischen Lebensdauern von 20 (Windenergieanlagen) beziehungsweise 25 Jahren (Photovoltaikanlagen)



• Bedingungen für weitgehende Elektrifizierung schaffen:

Der Anteil von Strom am gesamten Endenergieverbrauch steigt vorliegenden Szenarien zufolge von 21% im Jahr 2018 (AG Energiebilanzen 2019) auf mindestens 34% und bis zu 63% im Jahr 2050 in einem CO₂-neutralen Energiesystem (► *Tabelle 1*). Zusätzlich wird in diesen Szenarien eine inländische elektrolytische Erzeugung von Wasserstoff unterstellt, welcher dann in den Endenergiesektoren und/oder im Umwandlungssektor Verwendung findet. Um diese direkte und indirekte Elektrifizierung realisieren zu können, bedarf es einer stärkeren Kopplung des Stromsystems mit dem Verkehr und dem Raum- sowie Prozesswärmeverbrauch. Hierfür sind neben neuen Technologien (z.B. Elektrolyseure, Elektroautos, Wärmepumpen) und Infrastrukturen (z.B. Wasserstoffspeicher und -pipelines) auch neue Rahmenbedingungen notwendig, die eine baldige Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen zur Sektorenkopplung unterstützen.

Zentrale Baustellen für die Energieforschung

Die Energieforschung kann durch die Weiterentwicklung von Technologien, das Aufzeigen von Lösungsoptionen und die Erforschung von Potenzialen zur Überwindung bestehender Hindernisse wichtige Beiträge zur notwendigen Beschleunigung der Energiewende liefern. Konkret sind für die Unterstützung einer solchen Beschleunigung Fortschritte in den folgenden Feldern der Energieforschung von hoher Relevanz:

- Weiterentwicklung der Technologien für die Nutzung erneuerbarer Energiequellen. Zu den wichtigen Zielen gehören dabei eine weitere Kostensenkung, längere Lebensdauern sowie das Erreichen geschlossener Wertstoffkreisläufe.
- Weiterentwicklung des Energie- und Strommarktdesigns, um optimale Bedingungen für fluktuierende erneuerbare Energien als zentrale Säule zu schaffen
- Weiterentwicklung von Technologien für die Sektorenkopplung, Netze und Speicher sowie Maßnahmen zur Flexibilisierung der Nachfrage
- Weiterentwicklung neuartiger Technologien und Prozesse für eine THG-neutrale energieintensive Industrie und Gestaltung einer Kreislaufwirtschaft

- Digitalisierung als Schlüsseltechnologie für das intelligente Management des zukünftigen Energiesystems
- Überwindung des NIMBY-Effektes und Lösen von Zielkonflikten mit dem Naturschutz

In dem vorliegenden Tagungsband werden viele aktuelle Forschungsprojekte vorgestellt, die unser Verständnis dieser zentralen Forschungsfelder verbessern.

Quellen:

- AG Energiebilanzen (2019): Auswertungstabellen, <https://ag-energiebilanzen.de/10-0-Auswertungstabellen.html>
- Agora Energiewende/Agora Verkehrswende (2018): Die Kosten von unterlassenem Klimaschutz für den Bundeshaushalt – Die Klimaschutzverpflichtungen Deutschlands bei Verkehr, Gebäuden und Landwirtschaft nach der EU-E ort-Sharing-Entscheidung und der EU-Climate- Action-Verordnung, https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2018/Non-ETS/142_Nicht-ETS-Papier_WEB.pdf
- Allianz (2018): Allianz treibt den Wandel zur kohlenstoffarmen Wirtschaft mit ambitioniertem Klimaschutzpaket voran, <https://www.allianz.com/de/presse/news/geschaeftsfelder/versicherung/180504-klimaschutz-wandel-zur-kohlenstoffarmen-wirtschaft.html>
- Bannon, E. (2018): Aviation: 2 to 3 times more damaging to the climate than industry claims, <https://www.transportenvironment.org/news/aviation-2-3-times-more-damaging-climate-industry-claims>
- BDI – Bundesverband der Deutschen Industrie (2018): Klimapfade für Deutschland, https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2018/Januar/Klimapfade_fuer_Deutschland_BDI-Studie_/Klimapfade-fuer-Deutschland-BDI-Studie-12-01-2018.pdf
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2019): Projektionsbericht 2019 für Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013, https://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art04-13-14_lcds_pams_projections/projections/envxnw7wq/Projektionsbericht-der-Bundesregierung-2019.pdf
- Bosch (2019): Klimaschutz: Bosch ab 2020 weltweit CO₂-neutral, <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/de/klimaschutz-bosch-ab-2020-weltweit-co2-neutral-188800.html>
- Bundesregierung (2019): Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050, <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975226/1679914/e01d6bd855f09bf05cf7498e06d0a3ff/2019-10-09-klima-massnahmen-data.pdf?download=1>
- Cischinsky, H./Diefenbach, N. (2018): Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016 – Datenerhebung zu den energetischen Merkmalen und Modernisierungsraten im deutschen und

Tabelle 1:
Stromanteil am gesamten Endenergieverbrauch in Deutschland im Jahr 2018 und nach verschiedenen Szenarien im Jahr 2050
Datenquellen: AG Energiebilanzen (2019), BDI (2018), dena (2018) und UBA (2019).

2018	2050			
Statistik	95%-Pfad (BDI 2018)	EL95 (dena 2018)	TM95 (dena 2018)	GreenEe1 (UBA 2019)
21%	34%	63%	35%	51%

- hessischen Wohngebäudebestand, https://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/gebaeudebestand/prj/Endbericht_Datenerhebung_Wohngeb%C3%A4udebestand_2016.pdf
- Coady, D.; Parry, I; Le, N.-P., Shang, B. (2019): Global Fossil Fuel Subsidies Remain Large: An Update Based on Country-Level Estimates, IMF Working Paper, <https://www.imf.org/~media/Files/Publications/WP/2019/WPIEA2019089.ashx>
 - Daimler (2019): „Ambition2039“: Unser Weg zu nachhaltiger Mobilität, <https://www.daimler.com/investoren/berichte-news/finanznachrichten/20190513-ambition-2039.html>
 - Darby, M. (2019): Which countries have a net zero carbon goal?, <https://www.climatechangenews.com/2019/06/14/countries-net-zero-climate-goal/>
 - dena – Deutsche Energie-Agentur (2018): dena-Leitstudie Integrierte Energiewende – Impulse für die Gestaltung des Energiesystems bis 2050, https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9261_dena-Leitstudie_Integrierte_Energiewende_lang.pdf
 - du Pont, Y. R., Jeffery, M. L., Gütschow, J., Rogelij, J., Christoff, P., Meinshausen, M. (2017): Equitable mitigation to achieve the Paris Agreement goals, in: Nature Climate Change 7, 38-43.
 - DW – Deutsche Welle (2019): US begins withdrawal from Paris climate accord, <https://p.dw.com/p/3SSqx>
 - DWD – Deutscher Wetterdienst (2019): Trockenheit – Die Schattenseite des Hochdruckwetters, https://www.dwd.de/DE/wetter/thema_des_tages/2019/9/20.html
 - Europäische Kommission (2019): Special Eurobarometer 490, April 2019, “Climate Change”, <https://ec.europa.eu/commfrontoffice/publicopinion/index.cfm/ResultDoc/download/DocumentKy/87643>
 - Europe Beyond Coal (2019): Overview: National coal phase-out announcements in Europe, Status – October 2019, <https://beyond-coal.eu/wp-content/uploads/2019/10/Overview-of-national-coal-phase-out-announcements-October-2019.pdf>
 - Fachagentur Windenergie an Land (2019): Ausbausituation der Windenergie an Land im Herbst 2019 – Auswertung windenergiespezifischer Daten im Marktstammdatenregister für den Zeitraum Januar bis September 2019, https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/Veroeffentlichungen/Analysen/FA_Wind_Zubauanalyse_Wind-an-Land_Herbst_2019.pdf
 - Figueres, C.; Schellnhuber, H. J., Whiteman, G., Rockström, J., Hobley, A., Rahmstorf, S. (2017): Three years to safeguard our climate, in: Nature 546, 593-595.
 - Friedlingstein, P., Jones, M. W., O’Sullivan, M., Andrew, R. M., Hauck, J., Peters, G. P., Peters, W., Pongratz, J. et al. (2019): Global Carbon Budget 2019, in: Earth System Science Data 11, 1783-1838.
 - Hampel, C. (2019): Sweden to ban sales of fossil-fuel powered cars by 2030, <https://www.electrive.com/2019/01/22/sweden-joins-nations-dropping-combustion-engines-target-2030/>
 - Höhne, N., Emmrich, J., Fekete, H., Kuramochi, T. (2019): 1,5°C: Was Deutschland tun muss, https://newclimate.org/wp-content/uploads/2019/03/Deutschland_1.5_Web.pdf
 - ICAO – International Civil Aviation Organization (2018): Solid passenger traffic growth and moderate air cargo demand in 2018, <https://www.icao.int/Newsroom/Pages/Solid-passenger-traffic-growth-and-moderate-air-cargo-demand-in-2018.aspx>
 - IRENA – International Renewable Energy Agency (2019): Renewable Power Generation Costs in 2018, https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/May/IRENA_Renewable-Power-Generations-Costs-in-2018.pdf
 - Leiserowitz, A., Maibach, E., Rosenthal, S., Kotcher, J., Ballew, M., Goldberg, M., Gustafson, A. (2018): Climate change in the American mind: December 2018. Yale University and George Mason University. New Haven, CT: Yale Program on Climate Change Communication.
 - Lenton, T. M., Rockström, J., Gaffney, O., Rahmstorf, S., Richardson, K., Steffen, W., Schellnhuber, H. J. (2019): Climate tipping points – too risky to bet against – The growing threat of abrupt and irreversible climate changes must compel political and economic action on emissions, in: Nature 575, 592-595.
 - Löschel, A., Erdmann, G., Staiß, F., Ziesing, H.-J. (2019): Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft“ – Stellungnahme zum zweiten Fortschrittsbericht der Bundesregierung für das Berichtsjahr 2017, <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/ewk-stellungnahme.pdf?blob=publicationFile&v=4>
 - Munich RE (2018): Munich Re erklärt Klimastrategie und Umgang mit dem Kohle-Sektor, <https://www.munichre.com/de/unternehmen/corporate-responsibility/news/2018/2018-11-29-news.html>
 - Norges Bank (2016): Exclusion of coal companies from the fund, <https://www.nbim.no/en/the-fund/news-list/2016/exclusion-of-coal-companies-from-the-fund/>
 - Olivier, J. G. J., Peters, J. A. H. W. (2018): Trends in Global CO2 and Total Greenhouse Gas Emissions, https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2018-trends-in-global-co2-and-total-greenhouse-gas-emissions-2018-report_3125_0.pdf
 - Shearer, C., Yu, A., Nace, T. (2019): Out of Step – China is Driving the Continued Growth of the Global Coal Fleet, <https://endcoal.org/wp-content/uploads/2019/11/Out-of-Step-English-final.pdf>
 - Steffen, W., Rockström, J., Richardson, K., Lenton, T. M., Folke, C., Liverman, D., Summerhayes, C. P., Barnosky, A., et al. (2018): Trajectories of the Earth System in the Anthropocene, in: PNAS 115 (33), 8252-8259.
 - thyssenkrupp (2019): thyssenkrupp gibt sich klare Ziele: Konzern will bis 2050 klimaneutral sein – für 2030 bereits 30 Prozent weniger Emissionen geplant, <https://www.thyssenkrupp.com/de/newsroom/pressemeldungen/thyssenkrupp-gibt-sich-klare-ziele--konzern-will-bis-2050-klimaneutral-sein---fuer-2030-bereits-30-prozent-weniger-emissionen-geplant-12803.html>
 - UBA – Umweltbundesamt (2019): Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität – RESCUE-Studie, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/rescue_studie_cc_36-2019_wege_in_eine_ressourcenschonende_treibhausgasneutralitaet.pdf
 - UNEP – United Nations Environmental Programme (2019): Emissions Gap Report 2019, <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30797/EGR2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>