

TOPIC

Lösen die erneuerbaren Energien die Klimaproblematik?

Hans-Jürgen Leist, Hannover

Die bislang wichtigste Strategie für den Klimaschutz in Deutschland ist die Energiewende. Darunter wird vor allem die umfassende Nutzung von erneuerbaren Energien verstanden, nicht nur im Strombereich. 92 % der Bevölkerung wünschen einen Ausbau der erneuerbaren Energien [19], die damit verbundenen Probleme werden aber in der Regel kaum wahrgenommen. Die vorliegende Analyse baut auf zwei Artikeln zu „Baustellen der Energiewende“ auf, die in dieser Zeitschrift 2015 erschienen sind [23, 24].

Treibhausgase und erneuerbare Energien

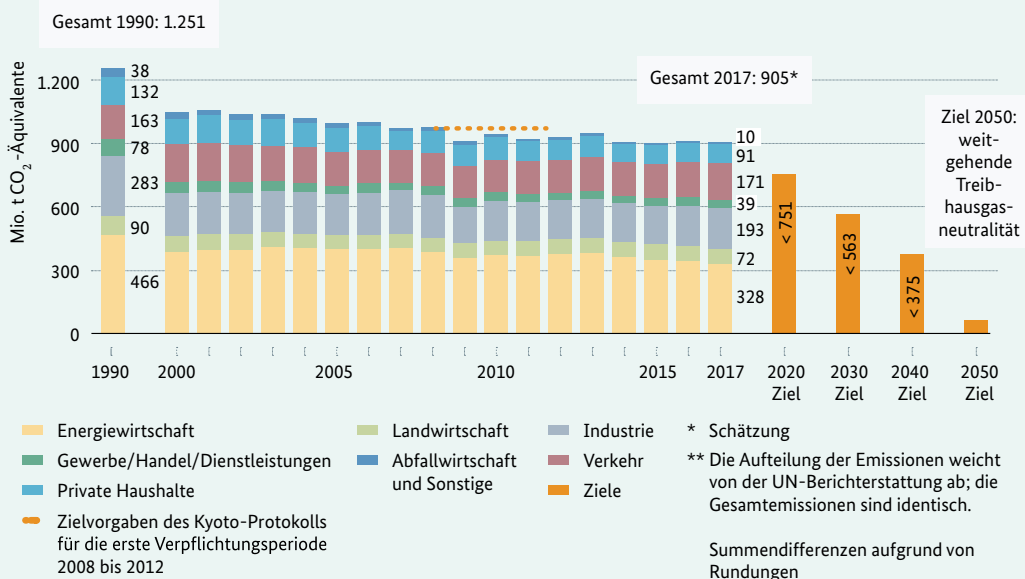
Referenzjahr für die Bewertung der Entwicklung der Treibhausgasemissionen ist in der Regel das Jahr 1990; das ist sozusagen ein „Glücksfall“ für Deutschland. Gerade wiedervereinigt konnte die Ex-DDR noch ihre hohen CO₂-Emissionen mit in die Ehe bringen, die vor allem auf der Nutzung von Braunkohle beruhten. Im Verlauf der 1990er Jahre wurden dann dort viele energieintensive Betriebe geschlossen und die

CO₂-Emissionen gingen steil nach unten – wie in anderen osteuropäischen Ländern. Demgegenüber blieben die CO₂-Emissionen in den alten Bundesländern in den 1990er Jahren nahezu unverändert hoch [32]. Da in der Folgezeit nur die Emissionen des nun vereinigten Deutschlands bewertet wurden und diese zwischen 1990 und 2000 von 1251 auf 1043 Mio. Tonnen Treibhausgase zurückgingen, also um rund 17%, konnte sich Deutschland gegenüber anderen Industrieländern als Klimaweltmeister idealisieren.

Das Emissionsniveau der Treibhausgase sank in den Jahren nach der Jahrtausendwende zwar weiter ab (Abb. 1) – zunehmend aber gebremst durch den beginnenden Ausstieg aus der Kernenergie, die im Jahr 2000 noch rund 30 % des Strombedarfs in Deutschland geliefert hatte.

Die Gesamtmenge der Treibhausgasemissionen im Jahr 2017 von 905 Mio. Tonnen wird dabei zu fast 90 % durch CO₂ gebildet. Daneben sind noch die Treib-

Abbildung 1. Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland nach Sektoren



hausgase Methan und Distickstoffoxid (Lachgas) zu erwähnen. Diese Gase werden vor allem in der Landwirtschaft freigesetzt. Die Klimawirkung der Gase ist unterschiedlich; zum besseren Vergleich werden sie alle in CO₂-Äquivalente (CO₂-eq) umgerechnet.

Dem Ausbau der erneuerbaren Energien kommt bei der notwendigen Energiegewende eine hohe Bedeutung zu. Dies gilt insbesondere für den Bereich der Elektrizitätserzeugung, da Strom auch in anderen Bereichen fossile Energien ersetzen soll – z. B. im Verkehr (Elektroautos) oder im Wärmebereich (elektrische Wärmepumpen). Zudem ist die Elektrizitätserzeugung immer noch für rund 33% der Treibhausgasemissionen verantwortlich.

Der deutliche Rückgang der Treibhausgasemissionen in Deutschland seit den 1990er Jahren ist vor allem auf die Schließung vieler Betriebe in der ehemaligen DDR zurückzuführen. CO₂ macht fast 90% der Treibhausgase aus.

Erneuerbare Energien in der Elektrizitätsversorgung

Strom wird in allen Sektoren genutzt:

- vor allem in der Industrie mit 45%,
- aber auch im Gewerbe, Handel und Dienstleistung mit 28%,
- in den Haushalten mit 25% und
- zu einem kleinen Teil auch im Verkehr mit 2%.

Historisch gesehen hat dabei vor allem der Strombedarf der Haushalte stark zugenommen: 1950 betrug der Anteil der Haushalte lediglich 7% [15].

Die erneuerbaren Energien können im Elektrizitätsbereich die meisten Fortschritte aufweisen. 2018 erfolgte eine

Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Höhe von 219 TWh (2017: 211 TWh) (vgl. Tab. 1). Dies entspricht einem Anteil von rund 40% an der Nettostromerzeugung in Höhe von 542 TWh. Bei den Erneuerbaren im Strombereich dominierte die Windenergie mit rund 50%, es folgten die Photovoltaik mit 21%, die Bioenergie knapp 21% (hauptsächlich Biogas, aber auch biogene Festbrennstoffe) und die Wasserkraft mit 8% [20]. Strom aus erneuerbaren Energien ist allerdings keineswegs CO₂-frei, bestenfalls kann er CO₂-arm sein.

Bioenergie/Biogas: Das Nitrat- und Klima-Problem

Die Nutzung von Biomasse (Bioenergie) sollte Vorteile im Hinblick auf die Treibhausgasemissionen aufweisen, da das emittierte CO₂ wiederum in Pflanzen gebunden würde, also eine Art geschlossener Kreislauf entstehen würde. Theoretisch wären dann die zurechenbaren CO₂-Emissionen durch die Nutzung von Biomasse sehr gering. Praktisch ist dies aber nicht der Fall, da z. B. die Gewinnung von Biogas mit einer energieaufwendigen Kultivierung, Ernte und Verarbeitung der Energiepflanzen verbunden ist. Dadurch weist der produzierte Strom aus Biogasanlagen einen hohen spezifischen Emissionsfaktor von 400 g CO₂-eq/kWh

auf [29]. Dies ist der höchste Wert von allen erneuerbaren Energien und entspricht in etwa dem Emissionsfaktor von Strom aus Gaskraftwerken.

Für eine ökobilanzierende Betrachtung von Strom aus Biogasanlagen sind weitere Aspekte zu berücksichtigen, wie z. B. direkte und indirekte Landnutzungsänderungen. Der Anbau von nachwachsenden Rohstoffen und Energiepflanzen benötigt Land, viel Land. Inzwischen werden dafür rund 20% der landwirtschaftlichen Ackerflächen benötigt, vor allem für den Anbau von „Energimais“. Aufgrund der hohen Vergütung für „Biostrom“ von derzeit rund 19 Cent/kWh [7] wurden auch viele ehemals extensiv genutzten Grünland- und ungenutzte Brachflächen durch Pflügen in Ackerland umgewandelt. Ein Teil des im Boden vorhandenen organischen Stickstoffs wird durch das Pflügen in lösliches Nitrat oxidiert. Durch diese Mobilisation können die Nitratwerte im Grundwasser unter diesen Flächen extrem steigen – bis hin zu Konzentrationen von >2000 mg NO₃/l [28].

Um die nun fehlenden Flächen auszugleichen – vor allem für die Futtermittelproduktion – wird Tierfutter in Form von Soja aus Brasilien hinzugekauft; dafür muss dann dort oft der Regenwald

Tabelle 1. Gebräuchliche Dimensionen im Energiebereich

Leistung (z.B. installierte Kapazität)		Arbeit (z.B. produzierte Energiemenge)	
1 W (Watt)	1 W	1 Wh (Wattstunde)	1 Wh
1 kW (Kilowatt)	10 ³ W	1 kWh (Kilowattstunde)	10 ³ Wh
1 MW (Megawatt)	10 ⁶ W	1 MWh (Megawattstunde)	10 ⁶ Wh
1 GW (Gigawatt)	10 ⁹ W	1 GWh (Gigawattstunde)	10 ⁹ Wh
1 TW (Terawatt)	10 ¹² W	1 TWh (Terawattstunde)	10 ¹² Wh

weichen [39]. Deutschland besitzt eine Ackerfläche von rund 12 Mio. Hektar, nutzt global gesehen inzwischen aber eine Ackerfläche von rund 22 Mio. Hektar [4]. Durch den Import der Futtermittel bleibt aber die Gülle- und Nitratproblematik erhalten bzw. wird verschärft, da nun zusätzlich die hoch stickstoffhaltigen Gärreste der Biogasanlagen, sozusagen die Gülle der Bioenergie, auf den Äckern entsorgt werden. Neben dem Stickstoffanteil der Gülle aus der Tierhaltung von ungefähr 500.000 Tonnen/Jahr kommen nun noch zusätzlich nahezu 300.000 Tonnen Stickstoff/Jahr aus den Gärresten hinzu [14].

Derzeit geht zudem mengenmäßig etwa die Hälfte der Freisetzungen von wassergefährdenden Stoffen von den rund 9000 Biogasanlagen aus, z. B. durch undichte Gärrestelager [18]. Biogasanlagen produzieren Methan – dabei entweichen rund 5% unkontrolliert in die Atmosphäre, insgesamt sind dies ca. 7,5 Mio. Tonnen CO₂-eq bzw. 0,8% der deutschen Treibhausgasemissionen [18]. In der aktuellen Studie kommt das Umweltbundesamt zum Fazit: „Damit können Biogasanlagen in der Gesamtbetrachtung sogar eine negative Klimabilanz aufweisen, d.h. mehr Emissionen an klimaschädlichen Gasen verursachen als einsparen, was mit dem Sinn ihrer Förderung über das EEG, Treibhausgasemissionen zu reduzieren, unvereinbar ist.“ [18].

Strom aus Biogasanlagen weist einen ebenso hohen spezifischen Emissionswert für CO₂ wie Strom aus Gaskraftwerken auf. Er ist aber erheblich teurer und der hierfür nötige landwirtschaftliche Anbau der Pflanzen verursacht zahlreiche negative Folgewirkungen. Daher sollte Strom aus Biogasanlagen nicht länger subventioniert werden.



Wasserkraft: Nur begrenzt ausbaubar

Da die Anlagen sehr langlebig sind, weist die Wasserkraft von allen Erneuerbaren mit 4 g CO₂-eq/kWh die niedrigsten Emissionen auf [29]. Eine weitere Ausbaufähigkeit ist jedoch kaum gegeben. So wurden im Zeitraum 2000–2018 mehr als 4 Mrd. Euro in die Wasserkraft investiert, und die installierte Leistung stieg von 4,8 GW im Jahr 2000 auf 5,6 GW (2018). Doch bei der Stromerzeugung erfolgte dadurch keine Steigerung – sie schwankt seit 1990 in der Regel um 20 TWh pro Jahr [8].

Geothermie: Risikoreiche Erschließung

Bei der Geothermie kann zwischen einer tiefen und einer eher oberflächennahen Geothermie (v. a. Nutzung durch Wärmepumpen, s. unten) unterschieden werden. Ein Potenzial für Tiefen-Geothermie ist in Deutschland regional durchaus vorhanden. Allerdings ist die Erschließung in der Regel mit erheblichen Kosten und Risiken verbunden (z. B. Bodenhebungen und -senkungen, Erdbeben) [31]. Auch aufgrund von Bürgerprotesten werden

die hierdurch gewonnenen Energiemengen wahrscheinlich vernachlässigbar niedrig bleiben.

Volatilität ist kaum auszugleichen

Mit Volatilität werden die (teils extremen) Schwankungen bei der Stromproduktion durch erneuerbare Energien bezeichnet. Die Volatilität hat unterschiedliche Dimensionen [23, 24]. So lieferte die Windenergie (on-shore und off-shore) im Januar 2018 nahezu 15 TWh Strom, während es im Februar 2018 nur rund 8 TWh Strom waren [10]. Bei der Photovoltaik sind die monatlichen Schwankungen primär vom Sonnenstand abhängig: Während sie im Juli 2018 nahezu 7 TWh Strom lieferte, waren es im Dezember 2018 nur ca. 0,5 TWh Strom [11]. Glücklicherweise findet im Jahresverlauf ein Ausgleich zwischen diesen beiden Energien statt, da die Windenergie in den Wintermonaten mehr Strom liefert.

Die Hoffnung, ein deutschlandweiter Ausbau der Windenergie würde die Volatilität glätten (Motto: „irgendwo weht immer Wind“), erwies sich als Trugschluss. Obwohl zwischen 2010 und 2016 die

installierte Leistung der Windenergie (on-shore und off-shore) von rund 27 GW auf 50 GW stieg, blieb die minimale Einspeisung im Jahresverlauf nahezu unverändert – 2010: 0,12 GW; 2016: 0,14 GW [26]. 99% der Windkraftkapazität müssen deshalb durch andere Kraftwerke oder Energiespeicher vorgehalten werden, um eine Versorgungssicherheit zu gewährleisten [26]. Normal sind zudem 10- bis 14-tägige Schwachwindphasen, in denen nur geringe Strommengen eingespeist werden [26].

Sogar bei einem europäischen Verbundsystem der Windparks müssten 94–95% der Leistung durch andere Kraftwerke oder Energiespeicher abgesichert werden. Zugleich würden sich die Transportverluste erhöhen, die allein innerhalb eines europäischen Landes im Mittel bei etwa 6,6% der eingespeisten Jahresenergie liegen. Dies zeigt aber auch: Mit Überschüssen und Mangelsituationen haben bei einem Ausbau der Windenergie alle europäischen Länder in Zukunft gleichzeitig zu rechnen [27].

Den Bedarf an gleichbleibenden Mengen an Strom kann die Windenergie selbst bei einem europaweiten Ausbau ohne weitere Neuerungen kaum ausgleichen, weil die Schwankungen in der Produktion zu groß sind.

Netzausbau und Speicherproblematik

Wie lässt sich die zunehmende Volatilität am besten managen? Eine Studie des Verbandes der Elektrotechnik (VDE) kommt zu folgender Reihenfolge:

1. Nutzung von Energieeffizienz-Potenzialen,
2. ein deutlicher Ausbau der Netze und
3. die Flexibilisierung vorhandener sowie der Zubau neuer thermischer Kraftwerke.

„Erst danach können verbleibende Probleme wirtschaftlich mit Speichern gelöst werden.“ [38].

Vor der Energiewende war das Stromnetz im Wesentlichen ausgebaut. Die Energiewende verändert dies nun radikal [23, 24]. So wird im Norden Deutschlands – sinnvollerweise – viel Windstrom erzeugt (off-shore und on-shore), der nun in die Verbrauchszentren im Süden transportiert werden muss, wo Atomkraftwerke vom Netz gehen. Insgesamt erhöhen sich sowohl die zu übertragenden Leistungen als auch die Übertragungsentfernungen, und damit auch die Energieverluste [9]. Die Rede von der Dezentralität der erneuerbaren Energien verschleiert dies.

Die größten Stromspeicher Deutschlands stellen die mehr als 30 Pumpspeicherkraftwerke dar, mit einer Leistung von ca. 6,5 GW und einer Speicherkapazität von rund 48 GWh, d.h. sie können knapp eine Stunde des Stromverbrauchs in Deutschland (ca. 50–75 GWh) speichern. Der Zykluswirkungsgrad liegt bei rund 80% [37]. Pumpspeicher dienen zum Ausgleich von Überschüssen/Defiziten im Stromsystem im Tagesverlauf. Der größte europäische Batteriespeicher (Lithium-Ionen) wurde 2018 im Norden Deutschlands in Betrieb genommen und hat eine Speicherkapazität von 0,05 GWh. Das Investitionsvolumen lag bei mehr als 30 Mio. Euro (= ca. 600 Euro/kWh Speicherkapazität); theoretisch könnte er rund 5000 Haushalte 24 Stunden mit Strom versorgen. Doch auch dieser Batteriespeicher dient vor allem zur Stabilisierung des Stromnetzes im Tagesverlauf [33].

Für alle Speicher gilt: Je länger eingespeichert werden soll, desto höher die Kosten, da die hohen fixen Kosten auf eine immer geringere Strommenge um-

gelegt werden müssen. Gleiches gilt im Übrigen auch für den „ökologischen Rucksack“ (Rohstoffe, CO₂). Deshalb werden für eine längere Speicherdauer von Tagen bis zu Monaten andere Lösungen geprüft, wie z.B. Power-to-Gas, die Produktion von Wasserstoff mittels elektrischer Hydrolyse von Wasser mit Wirkungsgraden von 70–80%. Aufgrund der überwiegend fixen Anlagenkosten setzt ein rentabler Betrieb aber eine hohe Ausnutzung voraus [16]. Eine weitere Option wäre Power-to-Heat, die Nutzung des Überschussstroms im Wärmebereich.

Die größten Stromspeicher Deutschlands, die Pumpspeicherkraftwerke, können derzeit nur die Menge Strom speichern, die in Deutschland in 1 Stunde verbraucht wird.

Stromqualität: Sekundenschnelle Anpassung an Bedarf

Öffentlichkeit und Medien unterschätzen meist die Komplexität der Elektrizitätsversorgung. So müssen Stromangebot und Strombedarf sozusagen sekundlich auf gleichem Niveau gehalten werden, sprich: Bei Minder- oder Mehrbedarf muss sofort eine Anpassung der eingespeisten Strommengen stattfinden. Um Schäden an elektronischen Bauteilen oder Geräten zu vermeiden, müssen Frequenz und Spannung äußerst stabil gehalten werden. Die fossilen Kraftwerke können dies problemlos sicherstellen, da z.B. die großen rotierenden Massen der Generatoren eine stabilisierende Wirkung ausüben. Zudem verfügen diese Kraftwerke über die Fähigkeit eines „Schwarzstarts“, d.h. sie können bei einem Zusammenbruch des Stromnetzes (Black-out) dieses wieder aufbauen. Viele dieser Aufgaben können von Wind- und Sonnenenergie nicht oder nur eingeschränkt übernommen werden.

Auch aus diesem Grund sind einfache Preisvergleiche (Tenor: „Windstrom ist schon günstiger als fossiler Strom...“) nicht sinnvoll, unabhängig von dem fast „unbezahlbaren“ Aspekt der gesicherten (witterungsunabhängigen) und regelbaren Elektrizitätsbereitstellung.

Fossile Kraftwerke können Stromspannung und -frequenz sekunden-schnell anpassen und auch nach Zusammenbruch des Stromnetzes die Produktion wieder starten. Beides ist bei erneuerbaren Energien kaum oder gar nicht möglich.

Zukünftige Unwägbarkeiten

Ab dem Jahr 2020 endet für viele Anlagen ihre 20 Jahre laufende Förderung aus dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG). Bei der Windenergie sind bis 2025 Anlagen mit einer Gesamtleistung von rund 17 GW davon betroffen – also etwa ein Drittel des derzeitigen Bestandes [40]. Ein Repowering, also der Neubau einer Anlage mit neuer Förderung, wird maximal bei der Hälfte der Anlagen erlaubt sein. Ist dies nicht möglich, weil sich z. B. die Zulassungsvorschriften an dem Standort geändert haben, so muss zumindest die Standsicherheit der alten Anlage vor dem Weiterbetrieb überprüft werden [40].

Bei der Windenergie beginnen zudem die Flächen knapp zu werden – derzeit werden rund 20% aller Anlagen in Waldflächen errichtet; pro Anlage werden dafür bis zu 1 ha Wald gerodet [17]. Damit sind jedoch erhebliche Probleme verbunden [25]. Auch aus diesem Grund wehren sich inzwischen mehr als 1000 Bürgerinitiativen gegen einen Ausbau der Windenergie, aber auch wegen Einflüssen auf die Immobilienpreise [21] oder aufgrund der kontrovers diskutierten Infraschallproblematik [2].

Ausblick: Notwendige Erzeugungs- und Speicherkapazitäten bis 2050

Drei unabhängig voneinander erstellte Studien zur Situation im Jahr 2050 kommen zum Ergebnis, dass bei einer damals geplanten Reduktion der Treibhausgase in Höhe von 80–95% über alle Sektoren, also auch Wärme und Verkehr, die installierte Leistung von Windenergie und Photovoltaik-Anlagen von derzeit 105 GW auf mindestens 250 GW und bis zu 600 GW erhöht werden muss. Dabei sind 600 GW erforderlich, wenn keine Importe von synthetischen erneuerbaren Energieträgern erfolgen sollen. Um eine kurzfristige Flexibilität sicherzustellen, sind zudem Batteriespeicher mit einer Leistung (!) von 10 GW bis 190 GW erforderlich.

Zur Überbrückung von längeren Zeiträumen ohne Wind und Sonne sind weiterhin – je nach Kapazitätsausbau dieser beiden Energien – 2050 zwischen 66 und 137 GW an regelbaren Kraftwerkskapazitäten notwendig. 2018 waren 100 GW in Deutschland vorhanden. Dafür sollen vor allem flexible Gaskraftwerke und Gasturbinen zum Einsatz kommen, die dann allerdings nur noch mit einer sehr geringen Auslastung betrieben werden und entsprechend vergütet werden müssen [13].

Erneuerbare Energie im Bereich Wärme

In dem sektorenübergreifenden Bereich Wärme und Kälte war im Jahr 2017 ein Endenergiebedarf in Höhe von 1457 TWh erforderlich [12] – dies sind rund 57% des gesamten Endenergiebedarfs von rund 2591 TWh. Diese Energienutzung war ungefähr, genaue Zahlen fehlen hier, mit einem CO₂-Ausstoß von rund 300 Mio. Tonnen verbunden.

Die Nutzung der Wärme wird dominiert von den Haushalten mit 44%, es folgt die Industrie mit 39% und Gewerbe, Handel und Dienstleistung (GHD) mit 17%. Die Art der Wärmenutzung verteilt sich auf [12]:

- 48% für die Raumwärme,
- 39% für die Prozesswärme,
- 9% für Warmwasser und
- 4% für Klima- und Prozesskälte.

Im gesamten Bereich betrug der Einsatz erneuerbarer Energien im Jahr 2017 rund 171 TWh; dies entspricht einem Anteil von rund 12%. Allerdings wurde dieser Wert schon 2010 erreicht und hat sich seitdem kaum verändert [12]. Beim Einsatz von erneuerbaren Energien stammen ca. 147 TWh aus dem Einsatz von biogenen Brennstoffen (vor allem Holz), 15 TWh aus der Nutzung von Umweltwärme (Wärmepumpen) und 9 TWh aus der Solarthermie. Fast zwei Drittel der erneuerbaren Wärme wurde dabei im Bereich der Haushalte genutzt, wo inzwischen (2017) ca. 1 Mio. Wärmepumpen und 2,3 Mio. solarthermische Anlagen installiert sind [12].

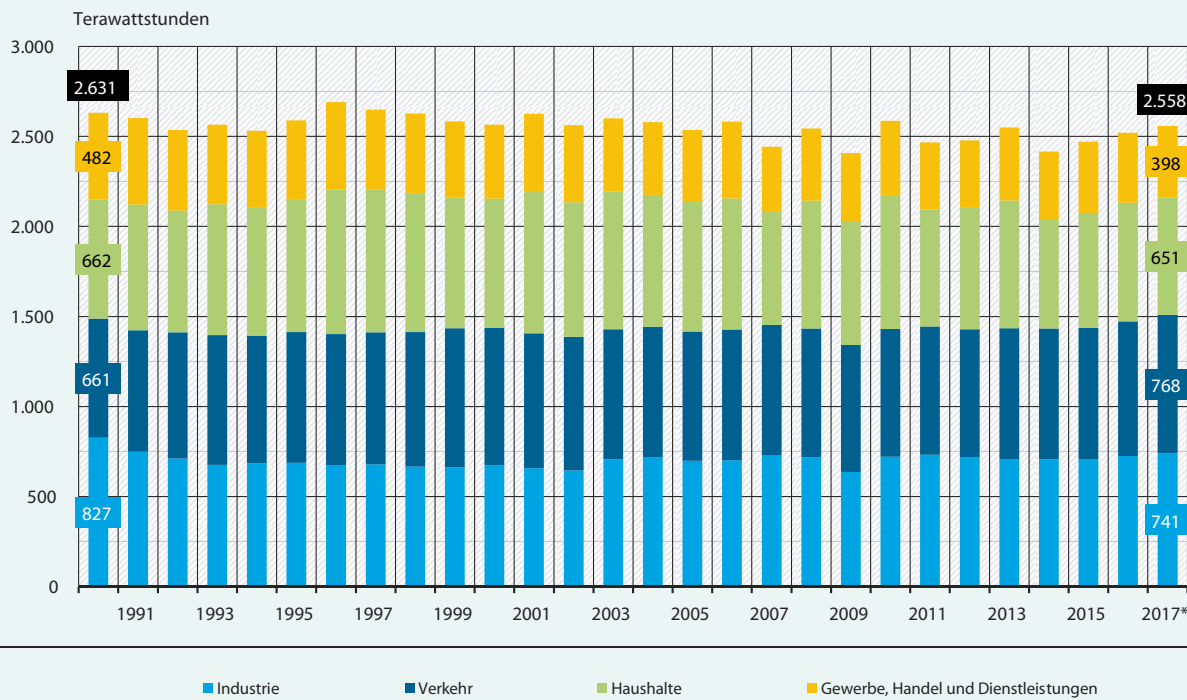
Während die energetische Nutzung von Holz (in geschlossenen Feuerungsanlagen) und die Solarthermie nur Emissionsraten von etwas über 20 g CO₂-eq/kWh aufweisen, betragen diese bei der oberflächennahen Geothermie und der Umweltwärme (Wärmepumpen) 191 g CO₂-eq/kWh [29].

Im Bereich Wärme liefern erneuerbare Energien einen Anteil von 12%; dies ist unverändert seit 2010.

Erneuerbare Energien im Verkehr

Der Verkehr hat „Gas“ gegeben. Seit 1990 ist hier der Endenergieverbrauch stark gestiegen (Abb. 2). Mit einem Endenergiebedarf von 765 TWh 2017 ist es nun

Abbildung 2. Entwicklung des Endenergiebedarfs einzelner Bereiche in Deutschland



* vorläufige Angaben

mit frdl. Genehmigung des Umweltbundesamts [35]

zudem der Sektor mit dem höchsten Endenergiebedarf und einem Anteil von nahezu 30%.

2017 betragen die Treibhausgasemissionen des Verkehrsbereichs 167 Mio. Tonnen CO₂-eq; dies entspricht einem Anteil von mehr als 18% an den Gesamtemissionen (907 Mio. Tonnen) [36]. Der Anteil der mehr als 45 Mio. Pkw an diesen Emissionen betrug 2015 etwa 61% [5].

Die Nutzung von erneuerbaren Energien ist im Verkehrsbereich mit einem Anteil von 5,6% (etwa 43 TWh) sehr niedrig und hat sich in den vergangenen 10 Jahren kaum verändert. Dabei überwiegt die Nutzung von Biokraftstoffen, der Einsatz von erneuerbarer elektrischer Energie hat nur einen geringen Anteil [34]. Die spezifischen Emissionen für Biodiesel und Bioethanol liegen bei 50–60 g CO₂-eq/kWh [7] – ohne die Auswirkungen der direkten

und indirekten Landnutzungsänderungen (s. Biogas). Aufgrund der schlechten Bilanzen ist europaweit eine Abkehr von Biokraftstoffen festzustellen [3].

In Zukunft sollen die Elektromobilität und der Einsatz strombasierter Kraftstoffe den Verkehrssektor langfristig treibhausgasneutral gestalten. Dazu sind aber enorme Elektrizitätsmengen erforderlich: 2030 rund 200 TWh, 2040 fast 700 TWh und 2050 dann rund 1200 TWh pro Jahr. Dabei zeichnet sich ab: „Das inländische Potenzial für die Erzeugung von Strom aus Sonne, Wind und Wasserkraft ist im Verhältnis zu den für die Kraftstoffproduktion benötigten Mengen begrenzt – das gilt mit Blick auf gesellschaftliche Akzeptanz, aber auch mit Blick auf die Wirtschaftlichkeit der Standorte. In Zukunft könnten daher strombasierte Flüssigkraftstoffe im Ausland kostengünstiger produziert und nach Deutschland importiert werden.“ [3].

Der Verkehr verursacht mehr als 18% der gesamten Treibhausgasemissionen. Erneuerbare Energien machen hier seit rund 10 Jahren gleichbleibend nur 5,6% aus, die größte Rolle spielen dabei Biokraftstoffe. E-Mobilität und strombasierte Flüssig-Kraftstoffe sollen Emissionen einsparen.

Defizite bei Effizienzsteigerung und Einsparung

Die Energiewende kann nur funktionieren, wenn zugleich eine Effizienzsteigerung, aber auch Einsparung beim Energieverbrauch erfolgt. Außerdem ist eine möglichst hohe Anpassung des Energiebedarfs an Zeiten eines hohen Energieaufkommens notwendig, d.h., in allen Bereichen ist auch eine Flexibilisierung des Energiekonsums anzustreben. Diese

Ziele wurden bisher nur in Ansätzen erreicht, die geplanten Energie-Einsparungen weitestgehend verfehlt. Dies gilt insbesondere für die Bereiche Verkehr und Haushalte, wie die Abb. 2 erkennen lässt. Rebound-Effekte, wie beispielsweise der Anstieg der Wohnfläche je Einwohner haben die Einsparungen beim Heizbedarf je Quadratmeter weitgehend wieder aufgehoben [22].

Geplante und notwendige Einsparungen von Energie wurden vor allem im Bereich Haushalt und Verkehr in Deutschland bisher nicht erzielt.

Zusammenfassende Bewertung des Einsatzes von erneuerbaren Energien

Während im Strombereich der **Ausbau der erneuerbaren Energien** zügig vorangeschritten ist, stagniert er in den anderen Bereichen seit rund einem Jahrzehnt. Bezogen auf den gesamten Endenergieverbrauch in Deutschland in Höhe von 2591 TWh (2017, s. Abb. 2) haben die erneuerbaren Energien mit etwa 425 TWh einen Anteil von rund 16%.

Die **Volatilität** der Stromversorgung und die damit verknüpften Probleme werden zunehmen, da nur noch sehr witterungsabhängige Windenergie und Solarenergie sinnvoll ausbaufähig sind.

Die **Produktion von Strom aus Wind und Sonne** ist kostengünstiger geworden, dafür nehmen die Kosten (aber auch die Klimaauswirkungen) in anderen Bereichen nun stetig zu: Netzausbau, Speicherproblematik etc. Der zukünftige Ausbau ist zudem mit Unsicherheiten (Akzeptanz etc.) verbunden.

Reduktion der Treibhausgase: Was ist bisher passiert?

Erneuerbare Energien sind in der Regel nicht CO₂-frei, bestenfalls CO₂-arm wie Wasserkraft oder die Windenergie (11 g CO₂-eq/kWh). So hat die Photovoltaik (67 g CO₂-eq/kWh) 2017 rund 2,7 Mio. Tonnen Treibhausgase produziert, zugleich aber rund 26,9 Mio. Tonnen vermieden, da sie Emissionen im fossilen Kraftwerksbereich von 681 g CO₂-eq/kWh ersetzt. Daraus resultiert eine Treibhausgaseinsparung von ca. 24 Mio. Tonnen [29]. Insgesamt wurden im Strombereich 135 Mio. Tonnen Treibhausgase vermieden [29]. Die genauen Zahlenangaben geben die Realität nur teilweise wieder. So fallen fast die gesamten CO₂-Emissionen bei Wind- und Sonnenenergie schon bei der Produktion und Errichtung der Anlagen an und werden dann rechnerisch auf die Kilowattstunde verteilt. Die Minderung von 15 Mio. Tonnen CO₂ je Jahr aus der Wasserkraft war bereits 1990 weitgehend vorhanden.

Im Bereich Wärme wurden rund 35 Mio. Tonnen und im Verkehr ca. 7 Mio. Tonnen

Treibhausgase vermieden. Die Gesamteinsparung durch die Erneuerbaren beträgt somit rund 177 Mio. Tonnen CO₂-eq im Jahr 2017 [29].

Eine zusätzliche Reduktion von Treibhausgasen erfolgte durch den Anstieg der Stromproduktion aus Erdgas von 49 TWh im Jahr 2000 auf 87 TWh im Jahr 2017, während sie zugleich bei der Steinkohle von 143 TWh auf 93 TWh zurückging [1]. Da bei der Nutzung von Erdgas etwa 470 g CO₂/kWh weniger gegenüber Steinkohle emittiert werden, ergibt sich eine Treibhausgasreduktion in Höhe von ca. 18 Mio. Tonnen.

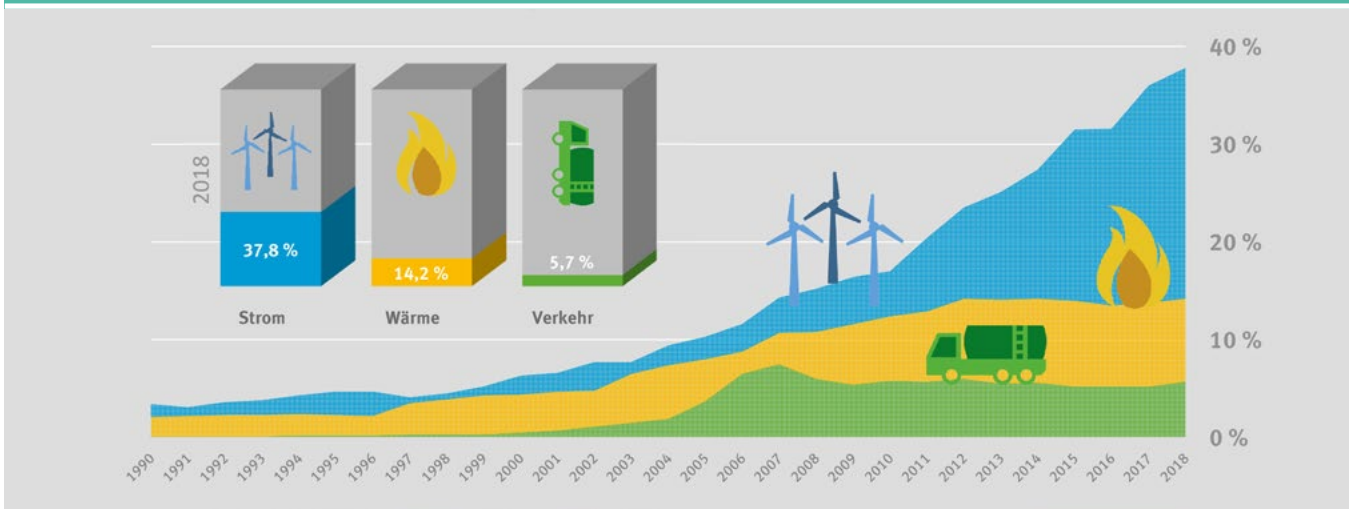
Aufgrund dieser Entwicklungen hätten rein rechnerisch im Strombereich rund 195 Mio. Tonnen Treibhausgase zwischen 2000 und 2017 eingespart worden sein müssen, es ist jedoch nur ein Rückgang von rund 61 Mio. Tonnen (von 386 auf 325 Mio. Tonnen) zu verzeichnen [6].

Der Hauptgrund für diese Differenz liegt darin, dass **im Jahr 2000 noch rund 170 TWh Strom aus der Atomenergie** bereitgestellt wurden, **2017 waren es noch 76 TWh**. Da die Kernenergie mit Emissionen von 32 g CO₂-eq/kWh [30] weitgehend den Grundlaststrom aus Braunkohle (ca. 1000 g CO₂-eq/kWh) verdrängt, entsprechen die 170 TWh Atomstrom einer jährlichen Treibhausgasreduktion von ca. 165 Mio. Tonnen – mit abnehmender Tendenz bis 2022, dann geht das letzte Kernkraftwerk vom Netz.

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass der gesamte Ausbau der erneuerbaren Energien bis 2017 im Hinblick auf die Treibhausgase nur den schon erfolgten bzw. den zukünftigen Wegfall der Atomenergie kompensiert hat – nicht weniger, aber auch nicht mehr.



Abbildung 3. Anteile erneuerbarer Energien in den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr



mit frdl. Genehmigung des Umweltbundesamts; Quelle: [↗ Erneuerbare Energien in Zahlen](#), 2019.

CO₂-Reduktion und die Kosten

Ist die Reduktion von CO₂-Emissionen durch den Einsatz von erneuerbaren Energien im Strombereich effizient? Kostspielig ist sie allemal. So betragen 2017 allein die Kosten für die Subventionierung der erneuerbaren Energien auf Basis des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG-Umlage) rund 24 Mrd. Euro [7]. Bezogen auf die Reduktion von 177 Mio. Tonnen im Jahr 2017 ergibt sich ein jährlicher Vermeidungspreis von ca. 136,00 €/Tonne CO₂. Zum Vergleich: Im europäischen Emissionshandel kostet die Tonne CO₂ derzeit etwas mehr als 20,00 €. Dieser wird aber in den kommenden Jahren mit hoher Wahrscheinlichkeit steigen, sodass die Differenz geringer wird.

Auch im Jahr 2050 sind hohe konventionelle Stromerzeugungskapazitäten notwendig. Diese könnten zum Teil mit importierten erneuerbaren Energieträgern betrieben werden, ebenso Teile des Verkehrs. Die energetische Importabhängigkeit Deutschlands bleibt damit erhalten, dies gilt auch für den Import von knappen Rohstoffen (Kupfer, Lithium etc.).

Fazit

Die Analyse zeigt: Sich als Klimaweltmeister zu fühlen, beruhte für Deutschland weitgehend auf einem Glücksfall der Geschichte. Und der Ausbau der erneuerbaren Energien ist im Vergleich zum gesamten Energiebedarf gering, und relativiert sich nochmals im Hinblick auf den Klimaschutz durch den Ausstieg aus der Kernenergie.

Aber Deutschland ist ein Land, welches Illusionen liebt. Es liebt Autos, die immer größer und stärker – und auf dem Papier auch immer „umweltfreundlicher“ werden. Die Betrügereien der Automobilindustrie konnten auch deshalb stattfinden, weil die meisten Konsumentinnen und Konsumenten diese Illusionen gerne glauben wollten. Es hat den Anschein, dass sich im Hinblick auf die erneuerbaren Energien wieder etwas Ähnliches abspielt. Mehr als 90% der Bevölkerung sind für einen Ausbau der erneuerbaren Energien, ohne eine Vorstellung davon zu haben, wie begrenzt derzeit die dadurch gewonnenen Energiemengen sind und welche enormen Probleme mit einem weiten Ausbau verbunden sind. Aber es

wäre doch so schön: Wir brauchen uns nicht zu ändern, sondern nur ein paar Windräder und Solardächer mehr aufzustellen, deren Strom zudem immer günstiger wird. Dabei geraten die anderen wichtigen Aufgabenstellungen der Energiewende – Steigerung der Energieeffizienz und Einsparung von Energie – zunehmend aus dem Blickwinkel.

Es ist auch eine Illusion zu glauben, Deutschland könne die Energiewende autark stemmen – dazu fehlen einfach die Flächen. Letztlich werden die Importe von fossilen Energien zukünftig mehr und mehr durch Importe von Energie bzw. Energieträgern mit einem geringen CO₂-Ausstoß sowie von begrenzt vorhandenen Metallen und Rohstoffen ersetzt werden. Nachhaltigkeit sieht eigentlich anders aus.

Dr. Hans-Jürgen Leist

Am Leinewehr 29
30519 Hannover
mail@hans-juergen-leist.de

Der Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

- 1 AG Energiebilanzen. Stromerzeugung nach Energieträgern. 2019. https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=20181214_brd_stromerzeugung1990-2018.pdf (20.6.2019)
- 2 Ärzte für Immissionsschutz. Positionspapier zu Gesundheitsrisiken beim Ausbau der Erneuerbaren Energien. 2015. <https://aefis.jimdo.com/downloads/> (1.7.2019)
- 3 Bergk F, Knörr W, Lambrecht U et al. Klimaschutz im Verkehr: Neuer Handlungsbedarf nach dem Pariser Klimaabkommen. Umweltbundesamt Berlin. Texte 45/2017: 18. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-07-18_texte_45-2017_paris-papier-verkehr_v2.pdf (20.6.2019)
- 4 Bruckner M, Giljum S, Fischer G et al. Entwicklung von konsumbasierten Landnutzungsindikatoren. Umweltbundesamt Berlin, Texte 81/2017: 20. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/entwicklung-von-konsumbasierten> (13.6.2019)
- 5 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2018): Klimaschutz in Zahlen. Berlin; 2018: 24. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/klimaschutz_in_zahlen_2018_bf.pdf (20.6.2019)
- 6 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2018). https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Bilder/Infografiken/treibhausgasemissionen_2018.jpg (15.6.2019)
- 7 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. EEG in Zahlen: Vergütungen, Differenzkosten und EEG-Umlage 2000 bis 2019. Berlin 2018. https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/eeg-in-zahlen-pdf.pdf%3F__blob%3DpublicationFile (1.7.2019)
- 8 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. Berlin 2019. https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-1990-2018.pdf?__blob=publicationFile&v=20 (17.6.2019)
- 9 Bundesnetzagentur. Bericht zur Auswertung der Netzzustands- und Netzausbauberichte der dt. Übertragungsnetzbetreiber. Bonn 2011: 39. <https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/Berichte/2011/20110314BerichtNetzzustandNetzausbaupdf.html> (1.7.2019)
- 10 Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) 2019. <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/stromerzeugung-windkraftanlagen-gesamt/> (17.6.2019)
- 11 Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) 2019. <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/stromerzeugung-photovoltaikanlagen/> (20.6.2019)
- 12 Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) Entwicklung des Wärmeverbrauchs in Deutschland. Berlin 2019. https://www.bdew.de/media/documents/20190529_Waermeverbrauchsanalyse-Foliensatz-2019_42008Va.pdf (20.6.2019)
- 13 Deutsche Energie-Agentur et al. Expertise bündeln, Politik gestalten – Energiewende jetzt! Essenz der drei Grundsatzstudien zur Machbarkeit der Energiewende bis 2050 in Deutschland. Berlin 2019. https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Themen_und_Projekte/Energiesysteme/dena-Leitstudie/Expertise_buendeln_Studienvergleich.pdf (16.6.2019)
- 14 Deutscher Bauernverband. Faktencheck Stickstoff, Landwirtschaft und Umwelt. Berlin 2017: 4. <https://media.repro-mayr.de/65/705565.pdf> (16.6.2019)
- 15 Ehrhardt H. (2012): Energiebedarfsprognosen. In: Ehrhardt H, Kroll T, Hrsg. Energie in der modernen Gesellschaft. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht; 2012: 212 (193-222)
- 16 Elsner P, Fishedick M, Sauer DU. Flexibilitätskonzepte für die Stromversorgung 2050. acatech, Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft. München; 2015: 40. <https://www.acatech.de/publikation/flexibilitaetskonzepte-fuer-die-stromversorgung-2050-technologien-szenariensystemzusammenhaenge/> (16.6.2019)
- 17 Fachagentur Windenergie an Land. Entwicklung der Windenergie im Wald. Berlin; 2018: 12. https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/Windenergie_im_Wald/FA-Wind_Analyse_Wind_im_Wald_3Auflage_2018.pdf (18.6.2019)
- 18 Fendler R, Herrmann T, Reuter M et al. Biogasanlagen – Sicherheitstechnische Aspekte und Umweltauswirkungen. Umweltbundesamt Dessau-Roßlau; 2019: 6. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/2019_04_10_uba_hg_biogasanlagen_bf_300dpi.pdf (16.6.2019)
- 19 Finanz Nachrichten vom 4.7.2019. Online: <https://www.finanznachrichten.de/nachrichten-2019-07/47113605-umfrage-mehrheit-sieht-zu-wenig-engagement-beim-klimaschutz-003.htm> (4.7.2019)
- 20 Fraunhofer ISE. Öffentliche Nettostromerzeugung 2018. Pressemitteilung 2019. <https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/news/2018/nettostromerzeugung-2018.html> (5.9.2019)
- 21 Frondel M, Kussel G, Sommer S, Vance C. Local Cost for Global Benefit: The Case of Wind Turbines. Ruhr Universität Bochum 2019. https://www.researchgate.net/publication/331935648_Local_Cost_for_Global_Benefit_The_Case_of_Wind_Turbines (1.7.2019)
- 22 Leist H-J. Wie effizient ist die Energieeffizienz wirklich? Pädiatrische Allergologie und Umweltmedizin in Klinik und Praxis 2014; 1: 24. https://www.gpau.de/fileadmin/user_upload/GPA/dateien_indiziert/Sonstiges/Paed_Allergologie_1-2014_Umwelt.pdf (4.9.2019)
- 23 Leist J. Baustellen der Energiewende Teil 1. Pädiatrische Allergologie in Klinik und Praxis 2015; 2: 30–35. https://www.gpau.de/media/2015/pdfs/PaedAll_2_2015_Umwelt.pdf
- 24 Leist J. Baustellen der Energiewende Teil 2. Pädiatrische Allergologie in Klinik und Praxis 2015; 3: 40 https://www.gpau.de/media/2015/pdfs/Paed_All_eJournal_3_2015_Umweltmedizin.pdf (4.6.2019)
- 25 Lingenhöhl, D. Windkraft im Wald – Mehr Schaden als Nutzen. spektrum.de vom 12.1.2016. <https://www.spektrum.de/kolumne/windkraft-im-wald-mehr-schaden-als-nutzen/1392939> (18.6.2019).
- 26 Linnemann T, Vallana GS. Windenergie in Deutschland und Europa – Teil 1. VGB Power Tech 2017; 6: 65–75. <https://www.vgb.org/vgbmultimedia/PT201706LINNEMANN.pdf> (18.6.2019)
- 27 Linnemann T, Vallana, GS. Windenergie in Deutschland und Europa – Teil 2. VGB Power Tech 2018; 10: 68–86 https://www.vgb.org/studie_windenergie_deutschland_europa_teil2.html?dfid=93715 (18.6.2019)
- 28 Magoulas G, Leist J, Grote U. Ökologisch orientierter Grund- und Trinkwasserschutz. München; Oldenbourg Verlag; 1996: 189
- 29 Memmler M, Lauf T, Schneider S. Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger. Umweltbundesamt Dessau-Roßlau; 2018: 33. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-10-22_climate-change_23-2018_emissionsbilanz_erneuerbarer_energien_2017_fin.pdf (13.6.2019)
- 30 Öko-Institut. Treibhausgasemissionen und Vermeidungskosten der nuklearen, fossilen und erneuerbaren Strombereitstellung. Darmstadt; 2007. <https://www.oeko.de/oekodoc/318/2007-008-de.pdf> (20.6.2019)
- 31 Ponstingl J. Ist die Angst vor der Geothermie berechtigt? Süddeutsche Zeitung vom 15.11.2017. <https://www.sueddeutsche.de/wissen/geothermie-unter-unseren-fuessen-1.3747216> (17.6.2019)
- 32 Quaschnig V. Ziel verfehlt. Sonne Wind & Wärme 2006; 6: 32–36. <https://www.volker-quaschnig.de/artikel/Klima2006/index.php> (17.6.2019)
- 33 Schmid A. Europas größter Batteriespeicher geht ans Netz. Edison-Handelsblatt vom 26.6.2018. <https://edison.handelsblatt.com/erklaren/europas-groesster-batteriespeicher-geht-ans-netz/22736988.html> (1.7.2019)
- 34 Umweltbundesamt. Energieverbrauch für erneuerbare Kraftstoffe. 2019. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-fuer-erneuerbare-kraftstoffe> (20.6.2019)
- 35 Umweltbundesamt. Energieverbrauch nach Energieträgern, Sektoren und Anwendungen. 2019. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-nach-energetraegern-sektoren> (20.6.2019)
- 36 Umweltbundesamt. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Bilder/Infografiken/treibhausgasemissionen_2018.jpg (3.9.2019)
- 37 Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. (VDE). Energiespeicher für die Energiewende. Frankfurt/Main 2012. <https://www.vde.com/de/etg/publikationen/studien/etg-vde-studie-energiespeicher-fuer-die-energie-wende> (1.7.2019)
- 38 Verband der Elektrotechnik. Elektrische Energieversorgung auf dem Weg nach 2050. Frankfurt/Main 2013: 18. <https://shop.vde.com/de/vde-leitfaden-elektrische-energieversorgung-auf-dem-weg-nach-2050-7> (16.6.2019)
- 39 Viering K. Auf dem Weg in die Maiswüste? Spektrum – Die Woche 2016; 37. <https://www.spektrum.de/news/bioenergie-aus-mais-ist-umweltschaedlich/1422993> (18.6.2019)
- 40 Wetzel D. Der letzte Schrei der Ökostromszene. Die Welt vom 13.9.2018