

## Energiewende (Teil 1)



**Derzeit wird erkennbar, dass es in Zeiten immer noch wachsenden Energiehunger schwierig wird, die notwendige Energiewende sinnvoll zu gestalten. Daher werden wir künftig neben den Silhouetten von Schornsteinen der Kraftwerke oder von turmartigen Produktionskolonnen der Raffinerien hoffentlich zunehmend auch immer mehr die Silhouetten von modernen Generatoren und Windrädern zum Erzeugen von Energie aus erneuerbaren Quellen sehen. Ohne solche Anblicke wird die zum Begrenzen des Klimawandels erforderliche Energiewende nicht funktionieren.**

*Die Energiewende als eine Antwort auf den Klimawandel steht seit Jahren auf der globalen Agenda. Die überwiegende Mehrheit der Klimaforscher und inzwischen auch der Regierungen sind davon überzeugt, dass der Klimawandel nur dann noch auf ein Wachstum von höchstens 2 Grad Celsius gegenüber dem Stand von 1890 begrenzt werden kann, wenn energische und umgehende Maßnahmen ergriffen werden.*

*Die aktuelle Situation, eine Reihe möglicher Gegenmaßnahmen, ihre Vor- und Nachteile sowie eine Beurteilung aus ökologischer Sicht werden im folgenden Beitrag behandelt. Zunächst werden die wichtigsten konventionellen (fossilen und atomaren) sowie regenerativen Energieträger vorgestellt. Anschließend werden die jeweiligen Entwicklungspotenziale und -möglichkeiten der beiden Großgruppen – fossile und atomare beziehungsweise*

*regenerative Energieträger -angesprochen und unter verschiedenen Aspekten beurteilt. Im Abschlusskapitel „Zusammenfassender Ausblick“ werden die möglichen und erwartbaren Entwicklungen diskutiert.*

*Warum betreiben wir die Energiewende so nachlässig, obwohl wir doch wissen, dass dadurch nicht nur die Probleme des Klimawandels, sondern vor allem auch die Kosten dieser klimatischen Veränderungen in Zukunft global erheblich zunehmen werden?*

## **Inhalt: Energiewende - Teil 1**

<b>Der Wandel hat in Europa schon 1998 begonnen</b>	<b>Seite 2</b>
<b>Braunkohle</b>	<b>Seite 4</b>
<b>Steinkohle</b>	<b>Seite 7</b>
<b>Erdöl</b>	<b>Seite 9</b>
<b>Erdgas</b>	<b>Seite 11</b>
<b>Atomenergie</b>	<b>Seite 13</b>
<b>Erneuerbare Energien</b>	<b>Seite 17</b>
<b>Solarenergie</b>	<b>Seite 17</b>

---

**Energiewende – Teil 2** *bitte auf folgender Seite unten öffnen:*

<https://www.fiwiso-allianz.de/162>

**Energiewende – Teil 3** *bitte auf folgender Seite unten öffnen:*

<https://www.fiwiso-allianz.de/162>

**Energiewende – Teil 4 (mit Literaturhinweisen)** *bitte auf folgender Seite unten öffnen:*

<https://www.fiwiso-allianz.de/162>

---

## **Der Wandel hat in Europa schon 1998 begonnen**

Bei der Energiewende handelt es sich um ein außerordentlich schwieriges Vorhaben, das von jedem der unzähligen Beteiligten einschneidende Veränderungen auf den verschiedensten Gebieten einfordert. Schon im Jahr 2011 hat sich die deutsche Bundesregierung eindeutig für die Ausrichtung der Stromerzeugung auf erneuerbare Energien entschieden. Daher stellt sich heute nicht mehr die Frage, ob es überhaupt eine Energiewende in Deutschland geben soll. Es handelt sich nur noch um das „Wie“ sie gestaltet sein soll.

**Bis 2050 soll stufenweise der Anteil regenerativer Energieträger zu Lasten der fossilen Energieträger in allen Sektoren auf einen Anteil von 63 % gesteigert werden. Das deutsche Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) schuf dafür die Voraussetzungen.**

**Bisher war der Strommarkt in Deutschland im Wesentlichen von vier großen Konzernen (EnBW, Eon, RWE, Vattenfall) dominiert. Dass diese ihre beherrschende Position nicht kampflos aufgeben werden, war zu erwarten. Da sie auch von starken politischen Kräften und der Gewerkschaft unterstützt werden, ist inzwischen der Umbau der Stromerzeugung als Herzstück der Energiewende ins Stocken geraten.**

**Dennoch bleibt festzuhalten, dass sich der Strommarkt seit Beginn der 1990er für Europa beschlossenen Liberalisierung stark verändert hat. Es gibt immer mehr Stromanbieter und jeder Konsument hat in Deutschland inzwischen das Recht, seinen Stromanbieter frei zu wählen. Zudem wird derzeit in Brüssel als weitere Stütze eines für alle freien Strommarktes das „Clean Energy Package“ verhandelt. Damit sollen die Bürgerrechte europaweit um die Möglichkeiten erweitert werden, regenerativ erzeugten Strom entweder selbst zu nutzen oder über das Stromnetz zu verkaufen. Die Marktliberalisierungen hatten bisher und deren Fortsetzungen werden weiterhin einen großen Einfluss auf die Gestaltung des Strommarktes haben. Dies drückt sich in Deutschland vor allem in der zuletzt deutlichen Umgestaltung der bisher als die „Großen Vier“ bekannten Energiekonzerne aus.**

**Betrachtet man die Stromerzeugung in Deutschland, so hat sich seit 1990 eine damals kaum vorstellbare Entwicklung vollzogen. Im Jahr 1990 wurden noch mehr als 80 % der elektrischen Energie über die fossilen Energieträger Braunkohle, Steinkohle, und Kernenergie erzeugt. Auch die fossilen Energieträger Erdöl und Erdgas trugen nur etwa 8,5 % zur Stromerzeugung in Deutschland bei. Nur 3,6 % der Energie wurden über die Wasserkraft erzeugt – für andere Techniken zum Erzeugen erneuerbarer Energie gab es damals noch keine Angaben.**

**Demgegenüber zeigte sich im Jahr 2018 ein stark veränderter Strommix. Die fossilen Energieträger Braunkohle, Steinkohle, und Kernenergie lieferten in Deutschland im Jahr 2018 etwa 40 % weniger Strom, sodass derzeit nur noch etwa 47 % des erzeugten Stroms darauf entfallen. Allerdings hat der Stromanteil, der mit Hilfe der fossilen Energieträger Erdöl und Erdgas erzeugt wird, auf mehr als 13 % zugenommen. Bei den erneuerbaren Energien hat sich ebenfalls eine große Veränderung ergeben. Dabei werden inzwischen mehr als 35 % des in Deutschland erzeugten Stroms durch Windenergie (onshore und offshore), Photovoltaik, aus Biomasse, über Wasserkraft oder mit dem Verwerten des biogenen Anteils von Hausmüll erzeugt. Ob und inwieweit ein leichter Rückgang des Anteils der Wasserkraft auf klimatische Ursachen durch größere Trockenperioden in den letzten Sommern zurückgeführt werden muss, kann im Rahmen dieses Aufsatzes nicht untersucht werden. Bei der Stromerzeugung auf Grundlage erneuerbarer Energien dominiert mit mehr als 40 % die Windkraft. Hier wird erwartet, dass der weitere Ausbau auf dem Festland (onshore) nur noch langsam wachsen wird. Dagegen dürfte der Ausbau der Windenergie auf See (offshore) weiter zügig vorangehen.**

In der Übersicht einer Arbeitsgruppe des Bundesumweltamts (UBA) werden für das Jahr 2018 folgende Zahlen zusammengefasst: Annähernd 17 % des Endenergieverbrauchs in Deutschland, und damit insgesamt 427 TWh (1 Terawattstunde entspricht 1 Mrd. Kilowattstunden KWh) wurden über erneuerbare Energien bereitgestellt. Etwa 53 % davon - oder 224,7 TWh - und damit 37,8 % des Bruttostromverbrauchs wurden mit der Hilfe von Windrädern, Photovoltaikanlagen, aus Biomasse, über Wasserkraft und über geothermale Quellen als elektrischer Strom erzeugt. Ein Anteil von 14,2 % - oder 171 TWh - wurde aus Biomassen, über solarthermische Anlagen, über geothermische Anlagen und aus der Umweltwärme als Wärmeenergie bereitgestellt. Im Verkehrsbereich wurde ein Anteil von 5,7 % - oder umgerechnet knapp 32 TWh - in der Form von Biokraftstoffen verwendet. Diese an sich beachtliche Menge an Biokraftstoffen entspricht einem Anteil am gesamten verbrauchten Kraftstoff von nur wenig mehr als 8 %.

Unter ökologischem Aspekt ist bei der Betrachtung der Energien besonders ihr Beitrag zum Klimawandel von Interesse, wobei das Hauptinteresse auf das Gas Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) gerichtet ist. Aber gerade hier wird von „Klimawandel-Gegnern“ immer wieder darauf verwiesen, dass der Mensch doch nur für 2 % des globalen CO<sub>2</sub> - Ausstoßes direkt verantwortlich sei. Deshalb würde eine Reduktion dieses minimalen Anteils nahezu folgenlos bleiben. Mojib Latif, der Leiter des Geomar-Helmholtz-Zentrums für Ozeanforschung in Kiel weist darauf hin, dass die großen CO<sub>2</sub>-Austauschmengen zwischen Land und Ozeanen ausbalanciert sind. Der Mensch stört dieses labile Gleichgewicht. „Derzeit sind es rund zehn Milliarden Tonnen, die durch den Menschen in die Luft ausgestoßen werden. Davon nehmen das Land und die Ozeane aber nur etwas mehr als die Hälfte auf. Der Rest bleibt für lange Zeit in der Atmosphäre, weswegen ihr CO<sub>2</sub>-Gehalt beständig zunimmt.“ In einer Übersicht des Bundesumweltamts (UBA) und in einer Publikation des Instituts Fraunhofer ISE werden die Mengen an CO<sub>2</sub> in Gramm je Kilowattstunde dargestellt, die im Durchschnitt bei den verschiedenen Kraftwerksanlagen in Deutschland freigesetzt werden.

Es lässt sich deutlich erkennen, dass - je nach Wirkungsgrad - Braunkohlekraftwerke durchschnittlich etwa 1.100 g CO<sub>2</sub> je erzeugter KWh ausstoßen - dagegen weisen Steinkohlekraftwerke entsprechend deren Wirkungsgrad im Mittel mit etwa 900 g deren höchsten Ausstoß an CO<sub>2</sub> je KWh auf. Vergleichsweise günstig schneiden mit 330 g/kWh moderne Gaskraftwerke ab. Dass bei der Stromerzeugung auf der Basis der regenerativen Energien die entsprechenden Werte deutlich günstiger ausfallen, ist nicht weiter verwunderlich. Allerdings sind die bei Bau, Transport und Aufstellen der Anlagen freierwerdenden Mengen an Kohlendioxid in den Angaben nicht berücksichtigt.

## Braunkohle

Braunkohle ist eine Form des natürlichen Prozesses zur Endlagerung von Kohlenstoff. Sie ist eine noch stark durch andere Inhaltsstoffe verunreinigte Form dieses Energierohstoffs Kohle.

**Braunkohle ist weltweit ein sehr wichtiger Energieträger. Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) schätzt die globalen Vorräte auf etwa 283 Mrd. t. Bei gleichbleibender Förderung könnten diese Vorräte noch 290 Jahre, in Deutschland etwa 210 Jahre reichen. Es werden global zur Zeit etwa 1,1 Mrd. t gefördert. Davon entfallen auf Deutschland 16,8 % (185 Mio. t). In Deutschland existieren nur noch drei große Fördergebiete, die alle im Tagebau betrieben werden: Das Rheinische Revier bei Köln, das Mitteldeutsche Revier bei Leipzig und das Lausitzer Revier bei Cottbus.**



*Der große Flächenverbrauch und der immense Eingriff in die natürliche Umgebung durch den Abbau von Braunkohle wird erst vom Rand eines Abbauräumes aus erkennbar. Nach der Renaturierung und dem Wiedereinbau der Sand- und Schichten bleiben dennoch oft große Löcher in der Landschaft bestehen, die dann vom Grundwasser gefüllt als Seen zurückbleiben. Rund um die Abbaugelände in der eher flachen Landschaft in Nordrhein-Westfalen werden – wie im Bild oben links erkennbar – auch Windkraftanlagen platziert, sodass hier eine Wende hin zu Energien aus erneuerbaren Quellen eingeleitet ist.*

**Braunkohle ist immer noch der wichtigste Energieträger für die Stromerzeugung in Deutschland. Der Beitrag der Braunkohle zur Bruttostromerzeugung in Deutschland lag 2016 bei etwa 150 TWh und damit bei 24 % der gesamten Stromerzeugung. Bei der Verstromung von Braunkohle werden die meisten Treibhausgase freigesetzt. Außerdem verbraucht die Förderung von Braunkohle im Tagebau enorme Flächen. Bisher wurden in Deutschland 2.400 km<sup>2</sup> – die vierfache Fläche des Bodensees – dafür in Anspruch genommen. Diese werden zwar nach der Auskohlung wieder weitgehend renaturiert, doch**

bleiben etwa ein Drittel als Betriebsfläche erhalten. Zudem mussten zahlreiche Orte, die zum Teil Jahrhunderte überdauert und zum Bestandteil der sozialen wie auch kulturellen Identität der Region geworden waren, geräumt und umgesiedelt werden. Dass durch den Tagebau auch die ursprünglich vorhandenen Ökosysteme unwiederbringlich zerstört wie auch das gesamte Grundwasserregime gestört werden, ist weitestgehend bekannt. Großflächiger Abbau von Braunkohle im Tagebau ist stets mit massiven Eingriffen in die Natur und entsprechenden ökologischen Schäden verbunden.

In der Förderung und Verstromung der Braunkohle arbeiteten 2016 noch etwa 20.000 Personen gegenüber 160.000 im Jahre 1990. Es hat im letzten Vierteljahrhundert ein rasanter Abbau an Arbeitsplätzen stattgefunden, der sich vermutlich fortsetzen dürfte.

Die Braunkohle-Verstromung ist von erheblicher Bedeutung für das Klima. Es werden nicht nur große Mengen an CO<sub>2</sub>, sondern vor allem auch an Wasserdampf freigesetzt. Beides sind Treibhausgase. Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß könnte nur durch eine Verbesserung des Wirkungsgrades der Verstromung reduziert werden, indem es gelänge, den Verbrauch an Braunkohle je kWh zu senken. Derzeit ist der Ausstoß von Kohlendioxid je erzeugter Kilowattstunde Braunkohlestrom etwa dreimal so hoch wie im Durchschnitt aller anderen Energieträger. Dennoch stellt das Umweltbundesamt (UBA) in verschiedenen Publikationen fest, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen je kWh bei der Stromerzeugung in Deutschland in den letzten Jahren ständig gefallen sind – dies wird aber auf ständig wachsende Anteile erneuerbarer Energien am deutschen Strommix zurückgeführt. So entfallen nach einer Studie des Naturschutzbunds Deutschland - NABU zwar nur 42 % der Stromerzeugung in Deutschland auf Braun- und Steinkohle, aber 80 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Nach einer Studie der Europäischen Umweltagentur (EEA, 2017) sind die Kohlekraftwerke nicht nur die größten „Klimakiller“, sondern belasten auch die Atmosphäre stärker als andere Anlagen wie Raffinerien, Chemie- oder Stahlwerke mit gesundheitsschädlichen Stoffen. Tatsächlich findet man unter den zehn besonders „klima-, umwelt- und gesundheitsschädlichen“ Anlagen in der EU fünf deutsche Braunkohlekraftwerke. Besonders im Hinblick auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoß zählen diese Kraftwerke zu den schlechtesten.

Wolfgang Huschner von der Gesundheits-NGO Heal stellt in einer Publikation der Allianz HEAL - einem Zusammenschluss verschiedener Nichtregierungsorganisationen (NGOs), der zum Themenkomplex Gesundheitsauswirkungen von Umweltverschmutzungen arbeitet - dazu fest: „Schwefeldioxid, Stickoxide und weitere Schadstoffe werden von den Kraftwerken emittiert. In der Atmosphäre verwandeln sich diese Stoffe in sekundären Feinstaub.“ Nach der Pneumologischen Gesellschaft ist dieser Feinstaub „zweifelsfrei als schädlich“ anzusehen. Er erhöht das Lungenkrebsrisiko bei Erwachsenen, führt zu Lungenentzündungen bei Kleinkindern und beeinträchtigt generell die Lungenfunktionen. Dabei stützt sich die Gesellschaft auf die Langzeitstudie ESCAPE (European Study of Cohorts for Air Pollution Effects).

In Deutschland erfordert der heutige Stand der Technik den Einbau von Rauchgasentschwefelungsanlagen für Schwefeldioxid und von Elektrofiltern für die Entfernung von Staub oder Flugasche aus der Abluft, sowie die katalytische oder nichtkatalytische Ent-

stickung von Stickoxiden  $\text{NO}_x$ . Selbst dann verbleibt neben dem Wasserdampf noch das Kohlendioxid als Treibhausgas in der Abluft sowie gesundheitsgefährdende Schadstoffe im Ausstoß über die Schornsteine. Dazu gehören krebserregende Schwermetalle wie Quecksilber in gasförmigem sowie Blei, Nickel und Cadmium in staubförmigem Zustand. Zwar beläuft sich dieser von Kohlekraftwerken emittierte Feinstaub nur auf 6 bis 9 % der gesamten Feinstaub-Emissionen (einschließlich dem Verkehr), doch bilden diese Stoffe zusammen mit dem ebenfalls emittierten Schwefeldioxid und den Stickoxiden die sekundären Feinstäube, die ebenfalls als gesundheitsgefährdend angesehen werden.

Erwähnenswert ist, dass dank der hohen Schornsteine die Schadstoffe nicht in der näheren Umgebung der Werke, sondern oft erst in einer Entfernung von mehr als 100 km zur vollen Entfaltung kommen. Durch Gesundheitsschäden infolge lungengängigem Feinstaub verursachte Kosten werden vom Umweltbundesamt auf 54.000 Euro je Tonne Feinstaub, 12.600 Euro pro Tonne Stickoxide und 11.900 Euro pro Tonne Schwefeldioxid geschätzt.

## Steinkohle

Auch Steinkohle ist ein Produkt des natürlichen Endlagerprozesses für Kohlenstoff. Dennoch gibt es, bedingt durch den Einfluss der jeweils lokal unterschiedlichen Prozessgrößen, viele verschiedene Steinkohletypen mit jeweils unterschiedlichen Gehalten an Kohlenstoff und anderen, teilweise auch giftigen Inhaltsstoffen. Allerdings hat Steinkohle als Energierohstoff einen insgesamt höheren Energiegehalt als Braunkohle.

Steinkohle ist weltweit der mit Abstand wichtigste Energieträger. Da Steinkohle in vielen Ländern im Tagebau gewonnen werden kann, ist ihr Einsatz zur Verstromung verhältnismäßig preisgünstig. In Deutschland wurde die Förderung aus wirtschaftlichen Gründen inzwischen aufgegeben, wobei die Ewigkeitskosten der ehemaligen Bergwerke, die durch die ständig erforderliche Überwachung der Grundwasserkörper in den Bergbauregionen entstehen, weiterhin immer getragen werden müssen. Importsteinkohle ist daher derzeit wesentlich billiger. Die weltweit förderfähigen Vorräte an Steinkohle liegen im Bereich von etwas mehr als 736 Mrd. Tonnen. Die größten Vorräte entfallen auf die USA mit 222 Mrd. t oder 31,9 %, China mit 124 Mrd. t oder 17,8 %, Indien mit 85 Mrd. t oder 12,2 %, Russland mit 69 Mrd. t oder 10% und Australien mit 62 Mrd. t oder 8,9 %. Nach Angaben der IEA (International Energy Agency) reichen diese Vorräte bei gleichbleibendem Abbau noch etwa 130 Jahre.

Weltweit wurden 2014 etwa 6,9 Mrd. t Steinkohle gefördert. Nach einer zwischenzeitlichen Abnahme der Förderung wuchs die globale Förderung im Jahr 2018 wieder auf 7,08 Mrd. t. Nach dem Weltenergiereport von BP aus dem Jahr 2012 sind die größten Kohleförderländer (in Prozentangaben bezogen auf die jährliche globale Fördermenge): China mit 47,5 %, USA mit 13,4 %, Australien mit 6,3 %, Indonesien mit 6,2 % und Indien mit etwa 6,0 %. In Deutschland wurden 2014 nur noch 8,3 Mio. Tonnen Steinkohle gefördert. Im Jahr 2018 hat sich Deutschland von der Steinkohleförderung verabschiedet – es wird jetzt keine Steinkohle mehr gefördert. In der EU sind im Jahr 2014 die wichtigsten För-

derländer Polen mit 73 Mio. t und Tschechien mit 8,3 Mio. t. Im Jahr 2018 waren die Förderraten in Polen auf 63 Mio. t und in Tschechien auf 4 Mio. t gesunken.

Die Bruttostromerzeugung aus Steinkohle lag in Deutschland 2016 bei 112,2 Terawattstunden (TWh) - im Jahr 2018 war sie auf 83,2 TWh gesunken. Im „Klimaplan 2050“ der Bundesregierung gibt es bisher kein konkretes Ausstiegsdatum für die Kohleverstromung. Es wird daher auch in Deutschland immer noch in den Ausbau von Kohlekraftwerken und dabei auch in einen Ausbau der Importabhängigkeit Deutschlands vom Rohstoff Steinkohle investiert. Weltweit scheint sich derzeit in vielen Ländern ein Boom beim Planen und Errichten neuer Kraftwerke für die Kohleverstromung zu entwickeln.



*Die großen Steinkohlekraftwerke liegen häufig an schiffbaren Flußläufen, damit die importierte Kohle mit dem Schiff antransportiert werden kann. Gleichzeitig liefern die Flüsse auch das zum Kraftwerksbetrieb erforderliche Wasser. Es wird nach der Kühlung wieder in den Fluß geleitet. Im Kraftwerk Staudinger am Main wird im Block 5 Steinkohle mit einem Zuschlag von 3 % lokaler Klärschlämme verfeuert. Block 4 wird mit Erdgas betrieben und steht nur der Bundesnetzagentur zum Erzeugen von Spitzenlaststrom für die Netzstabilität zur Verfügung. Die Blöcke 1 – 3 sind stillgelegt.*

**Der Ausstoß an klimaschädlichen Gasen ist je nach Kraftwerk und hier vor allem in Abhängigkeit vom Alter und der beim Bau verwendeten Technologie sehr unterschiedlich. Deutsche Steinkohlekraftwerke emittieren durchschnittlich etwa 900 g CO<sub>2</sub>/kWh, wobei die verschiedenen Kraftwerke im Bereich zwischen 750 und 1.100, g CO<sub>2</sub>/kWh emittieren. Auf die mit der Abgasreinigung zusammenhängenden Probleme und hier speziell auf die Feinstaub-Problematik wurde bereits im Abschnitt „Braunkohle“ eingegangen. Gleiches gilt sinngemäß für die Verstromung von Steinkohle.**

**Aufgrund der jeweils lokalen Entstehungs- und Ablagerungsbedingungen der Kohle ist es natürlich, dass in die entsprechenden Entstehungsgebiete auch radioaktive Mineralien eingetragen wurden. Daher spielen neben den Treibhausgasen im Ausstoß der Kohlekraftwerke auch radioaktive Emissionen eine nicht zu unterschätzende Rolle. So soll ihr gesamter Anfall bei der Verbrennung von Kohle in Deutschland bei 10.000 t Uran und 25.000 t Thorium liegen. Der Gehalt von Uran in der Asche von deutschen Kohlemeilern soll im Durchschnitt bei 210 ppm („parts per million“) und damit sogar über demjenigen mancher Uranerze liegen.**

**Ein weiteres ökologisches Problem ist in diesem Zusammenhang in der Erwärmung von Flüssen zu sehen, wenn diese direkt zur Kühlung der Meiler genutzt werden. Dies ist in vielen Ländern immer noch der Fall. Der in der Folge sinkende Sauerstoffgehalt des Flusswassers belastet die darauf angewiesenen Tiere erheblich und führt zur Veränderung der Ökosysteme mit negativen Folgen für die Biodiversität und die Wasserqualität. Daher wird in Deutschland die noch zulässige maximale Erwärmung des Flusswassers im Einzelfall behördlich festgelegt und kontrolliert.**

**In vielen Ländern wird Steinkohle im Tagebau gewonnen. Auf die enormen ökologischen Folgen dieser Abbauweise wurde bereits im Abschnitt „Braunkohle“ eingegangen. Besonders rücksichtslos ist das in den USA angewandte „mountaintop removal mining“, bei dem ganze Bergkuppen mit den über der Kohle lagernden geologischen Schichten weggesprengt werden. Neben der landschaftlichen Verwüstung durch den meist rücksichtslosen Tagebau werden in erheblichen Mengen Schwermetalle wie Arsen oder Quecksilber freigesetzt. Die Abraumhalden bilden deshalb oft Giftberge. Auch sind die Auswirkungen eines Tagebaus auf das Wasserregime nicht zu übersehen. Es kommt zur Veränderung von Flussläufen was teilweise häufiger zu Überschwemmungen führt. Im Zusammenhang mit der Gewinnung von Kohle im Tagebau sind überdies zahlreiche Menschenrechtsverletzungen dokumentiert.**

## **Erdöl**

**Erdöl ist ein Produkt der natürlichen Veränderungsprozesse, denen die endgelagerten Formen von Kohlenstoff im Ablauf geologischer Zeiträume unterworfen werden. Erdöl ist daher ein mit der Zeit verändertes Produkt endgelagerten Kohlenstoffs, in dem der Kohlenstoff in der Form energiereicher Kohlenwasserstoff-Verbindungen erhalten ist.**

**Rohöl (Petroleum) wird nicht nur als Treibstoff oder Ausgangsstoff für die chemische Industrie, sondern auch als Energieträger zur Stromerzeugung eingesetzt. Nach einer Studie von BP aus dem Jahre 2013 wird das weltweit förderfähige Volumen einschließlich der Ölsande und Ölschiefer auf etwa 1.700 Mrd. Barrel geschätzt (1 Barrel - bbl - entspricht 159 l). Für die Jahreswende 2018/2019 wird im statistischen Überblick zur Welt-Energie der BP dieses Volumen mit 1.729,7 Mrd. bbl – oder 244,1 Mrd. t angegeben.**

**Das theoretisch mögliche Fördervolumen ist sehr schwer zu schätzen. Durch Einbeziehen unkonventionellen Erdöls wie Ölschiefer, Ölsande, Tief- und Tiefsee-Erdöl sowie Prognosen, dass große Ölfelder in absehbarer Zeit in den Ozeanen zu entdecken sind,**

werden sehr unterschiedliche Zahlen genannt. Einheitlich wird jedoch betont, dass der Gipfel der Ölförderung noch lange nicht erreicht sei, dass die USA durch das unkonventionelle Erdöl zum weltgrößten Produzenten und wahrscheinlich auch zum Land mit den größten Vorräten aufgestiegen sind, und dass die Karten auf diesem Gebiet derzeit generell neu gemischt würden. Vor allem durch die auch umstrittene Fördermethode des Frackings aus dichten Gesteinen (wie beispielsweise aus Ölschiefer) sind die USA zum „Weltmeister“ in Sachen Erdölförderung aufgestiegen. Diese Fördermethode ist wegen der Umweltrisiken und der nicht auszuschließenden Gesundheitsgefahren auch in einigen Staaten der USA - wie beispielsweise in Vermont oder New York - verboten.



*Das ständige Abfackeln von Begleitgasen bei der Verarbeitung von Erdöl stellt eine große Belastung der Atmosphäre dar. Dabei werden ständig Kohlendioxid, Schwefeldioxid und in großem Umfang auch Rußpartikel in großen Mengen in die Umgebung emittiert. Dies geschieht auch kurzzeitig an fündigen Erkundungsbohrungen, wenn die gefundenen Lagerstätten zur Vorbereitung von Förderungen getestet werden. Dabei wird der geförderte Gasstrom während der Fördertests vollständig abgefackelt.*

Nach einer weiteren BP-Studie lag der globale Verbrauch 2015 bei 96,3 Mio. Barrel pro Tag. Die größten Verbraucher waren: Die USA mit 18,9 Mio. bbl, China mit 10,8 Mio. bbl, Japan mit 4,6 Mio. bbl, und Indien mit 3,7 Mio. bbl. Deutschland liegt mit einem Tagesverbrauch von 2,4 Mio. Barrel auf Platz 11. Allerdings beträgt der Prokopfverbrauch in

China bei nur knapp 14 % und in Indien sogar bei nur 3 % des amerikanischen Durchschnittsverbrauchs. Dieses Verhältnis verschiebt sich langsam durch einen leicht rückläufigen Verbrauch in den Industrieländern und einen steigenden Verbrauch in den Schwellenländern China, Brasilien, Indien und Südafrika.

Erdöl wird in Deutschland nur in relativ geringem Maße zur Stromerzeugung eingesetzt: 2016 entfielen von der Bruttostromerzeugung lediglich 0,9 % oder 5,9 TWh auf Mineralölprodukte – im Jahr 2018 wurden in Deutschland aus Mineralölprodukten nur 5,2 TWh Strom erzeugt.

Erdöl und seine Produkte werden in nahezu allen Ländern stark subventioniert. Nach Informationen des Overseas Development Institutes (ODI, UK) belaufen sich die Subventionen für Erdöl und seine Produkte auf eine Gesamtsumme von etwa 71 Mrd. € pro Jahr. Im Herbst 2019 berichtet das Mediennetzwerk Euractiv, dass sich die staatlichen Förderungen für die Energierohstoffe Erdöl, Erdgas und Kohle in den G7-Staaten auf etwa 100 Mrd. US-\$ belaufen, obwohl das Subventionieren fossiler Brennstoffe nach einer Vereinbarung im Rahmen der G20-Staaten bis zum Jahr 2025 beendet sein soll.

Unter ökologischen Gesichtspunkten muss Erdöl als ein ausgesprochen problematischer Stoff betrachtet werden. Auf die Biosphäre wirkt es wie ein starkes Gift. Besondere Probleme treten bei der Förderung und dem Transport von Erdöl auf. Über die großen chronischen sowie akuten Gefahren und Belastungen bei der Offshore-Förderung von Erdöl wird im Aufsatz „[Rohstoffgewinnung aus den Meeren](#)“ unter dem Abschnitt „Maritime Ökologie“ berichtet. Über die dort beschriebenen Probleme hinaus, stellt die noch immer weit verbreitete Gewohnheit, Erdöl-Begleitgase abzufackeln, ein ökologisches Problem dar. Nach Schätzungen sollen – global betrachtet - hierbei jährlich bis zu 140 Mrd. m<sup>3</sup> Gas abgefackelt werden. Dabei werden mit dem Abfackeln nicht nur Energieressourcen sinnlos vergeudet, sondern zusätzlich wird auch die Atmosphäre aufgeheizt. Außerdem werden bei diesem Vorgang CO<sub>2</sub> sowie Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) und vor allem Rußpartikel in erheblichem Umfang in die Atmosphäre emittiert. Mit Ausnahme der beim Bohren durchgeführten Fördertests ließe sich solches Gas mit einem verhältnismäßig geringen Aufwand einer sinnvollen Verwendung zuführen.

Erdöl oder Erdgas selbst sind nicht radioaktiv. Im Zusammenhang mit der Förderung können allerdings Rückstände anfallen, die natürliche radioaktive Stoffe enthalten. Unter diesen aus den Lagerstätten mitgeförderten Rückständen werden vor allem die Radionuklide Radium-226, Radium-228 und Polonium 210 als Zerfallsprodukte der Uran-Radium oder der Thorium Zerfallsreihe gefunden. Dabei muss vor allem das mit einer Halbwertszeit von 1602 Jahren langlebige Isotop Radium-226 beachtet werden. Die Rückstände aus der Erdölförderung müssen daher entsprechend entsorgt und endgelagert werden.

## Erdgas

Es gibt Erdgas-Lagerstätten, in die das Gas vom Entstehungsort hineinmigriert ist, es gibt Erdgaslagerstätten oberhalb von Erdöl-Lagern, bei denen aufgrund der Umge-

**bedingungsbedingungen das Gas aus dem Öl ausgegast ist und es gibt Erdgaslagerstätten, bei denen das Gas und auch Erdöl aufgrund der kaum durchlässigen Entstehungsgesteine in diesen gefangen bleibt, da es nicht herausmigrieren kann. Dies bedeutet, dass es Erdgaslager gibt, aus denen nur Gas gefördert wird, dass es Erdgasquellen gibt, die mit darunterliegenden Öllagern zusammenhängen, dass es aber auch Erdgas- und Erdöllager im Entstehungsgestein der Rohstoffe gibt, bei denen das dichte Gestein der Lagerstätte zur Förderung erst zerbrochen werden muss (Fracking), um die Inhalte überhaupt fördern zu können.**

**Erdgas besteht überwiegend aus Methan ( $\text{CH}_4$ ) und kann – je nach Lagerstätte – verschiedene weitere Kohlenwasserstoffe als Gaskomponenten enthalten. Darunter kommen Ethan ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), Propan ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ), Butan ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ) und Ethen ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ) vor. Den jeweiligen Umgebungsbedingungen entsprechend, können in Erdgasen auch weitere Gaskomponenten wie Schwefelwasserstoff ( $\text{H}_2\text{S}$ ) und Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) enthalten sein. Methan und Kohlendioxid sind Klimagase, wobei Methan eine besonders starke Klimawirkung zeigt. Schwefelwasserstoff ist in Konzentrationen von 10 ppm („parts per million“) an giftig und wirkt in höheren Konzentrationen tödlich.**

**Nach einer Studie der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) aus dem Jahr 2018 betragen die weltweiten Erdgasreserven etwa 199 Bill.  $\text{m}^3$ . Fackelgas, Recyclegas und noch nicht einschätzbare Vorkommen an Gashydratvorkommen in tieferen Meeresbereichen sind in dieser Angabe nicht enthalten. Die Reichweite dieser derzeit bekannten Vorräte wird – einer oft unterschiedlichen Beurteilung einzelner Faktoren entsprechend – von verschiedenen Stellen sehr unterschiedlich eingeschätzt. Die entsprechenden Angaben differieren daher oft stark. Sie beziehen sich zwar meist auf einen gleichbleibenden Verbrauch, aber dennoch werden – den verschiedenartigen Betrachtungen entsprechend – die Reichweiten von Erdgas auf Zeiträume zwischen 54 und 260 Jahren geschätzt. Die statistische Reichweite auf der Basis der geschätzten derzeit gewinnbaren Reserven wird mit etwa 60 Jahren angegeben.**

**Die wichtigsten Erdgasförderländer waren im Jahr 2017 Russland mit etwa 734,5 Mrd.  $\text{m}^3$ , die USA mit etwa 635,6 Mrd.  $\text{m}^3$ , der Iran mit etwa 223,9 Mrd.  $\text{m}^3$ , Kanada mit etwa 176,3 Mrd.  $\text{m}^3$  und Qatar mit etwa 175,7 Mrd.  $\text{m}^3$ . In Deutschland wurde 2017 mit 6,4 Mrd.  $\text{m}^3$  nur noch in geringem Umfang Erdgas gefördert.**

**Global wurden im Jahr 2017 etwa 3.723,7 Mrd.  $\text{m}^3$  Erdgas verbraucht. Diese Menge entspricht etwa einem Viertel des globalen Energieverbrauchs. Allerdings weist die Internationale Energieagentur (IAEA) darauf hin, dass sich der Anteil am Gesamtenergieverbrauch in den nächsten Jahrzehnten stetig erhöhen dürfte.**

**Im Jahr 2017 waren die wichtigsten Erdgasexportländer Russland mit 224,2 Mrd.  $\text{m}^3$ , Qatar mit 126,7 Mrd.  $\text{m}^3$  und Norwegen mit 122 Mrd.  $\text{m}^3$ . Unter den Erdgasimportländern war im Jahr 2017 Deutschland mit einer Menge von 125,7 Mrd.  $\text{m}^3$  das wichtigste Importland, gefolgt von Japan mit 115,3 Mrd.  $\text{m}^3$  und China mit 94,6 Mrd.  $\text{m}^3$ . Diese Zahlen zeigen, dass die im Bau befindliche und umstrittene Erdgasleitung „Nordstream-2“ für den**

**Erdgasimport nach Deutschland und nach Westeuropa eine strategische Bedeutung für die Energieversorgung in Europa erlangen kann.**

**Der überwiegende Teil des Erdgases wird in Deutschland für die Erzeugung von Nutzwärme in der Industrie und im Privatsektor eingesetzt. Zunehmend wird aber auch Erdgas als Treibstoff für Kraftfahrzeuge verwendet. Gegenüber Erdöl weist es den ökologisch wichtigen Vorteil auf, dass es sauberer verbrennt und einen deutlich geringeren CO<sub>2</sub>-Ausstoß verursacht.**

**Dies wird beim Vergleich der Stromerzeugung deutlich. Während Braunkohlekraftwerke im Durchschnitt 1.100 g und Steinkohlekraftwerke 900 g CO<sub>2</sub> je erzeugter kWh emittieren, liegen diese Werte bei Gaskraftwerken deutlich niedriger. Bei aktuellen Werken beträgt dieser Ausstoß nur 330 g CO<sub>2</sub> je kWh. Nach Angaben des statistischen Bundesamts (Destatis) trug im Jahr 2018 das in Deutschland eingesetzte Erdgas mit 83,4 TWh etwa 12,9 % zur Bruttostromerzeugung bei.**

**In der Mehrzahl der Fälle wird Erdgas über Pipelines zu den Verbrauchern transportiert. Allerdings gewinnt der Transport mit Spezialschiffen zunehmende Bedeutung. Diese LNG-Schiffe transportieren das bei -160 °C verflüssigte Erdgas von entfernt und für den Pipeline-Transport ungünstig liegenden Ländern zu Spezialterminals in den Industrieländern.**

**Aus ökologischer Sicht betrachtet wird positiv gesehen, dass das Erdgas für die Umwelt weniger belastend ist als Mineralöl und beim Verbrennen auch einen deutlich geringeren Ausstoß an CO<sub>2</sub> verursacht. Daher muss in dieser Betrachtung auch die Abschaltung von Gaskraftwerken zugunsten kostengünstigerer, bilanztechnisch abgeschriebener (Braun-)Kohlekraftwerke als ausgesprochen negativ angesehen werden. Dies ist eines von vielen Beispielen, in denen die rein ökonomischen Betrachtungen als wichtiger gewertet werden, als die derzeitigen Erfordernisse zum Erhalten unseres Heimatplaneten als lebenswerte Welt für die Menschen und alle anderen Lebewesen.**

**Allerdings sollte man bei der Bewertung von Gaskraftwerken berücksichtigen, dass durch lange Transportwege erhebliche Mengen an Methan und CO<sub>2</sub> freigesetzt werden. Zur ökologischen Bewertung von Energieträgern muss immer eine Gesamtrechnung aufgemacht werden. Da Erdgas zunehmend auch durch Fracking gefördert wird, fällt diese Gesamtrechnung zunehmend schlechter aus, denn es gelten alle für dieses Verfahren geäußerten Bedenken. Sie werden im Aufsatz „[Die knappe Ressource Trinkwasser](#)“ (S. 4) im Abschnitt „Fluviatile Ökologie“ auf dieser Webseite genauer beschrieben.**

## **Atomenergie**

**Das Erzeugen elektrischer Energie mit Hilfe der Kernkraft erfordert hohe Investitionen und ist ein ausgesprochen kapitalintensiver Prozess, bei dem der radioaktive Zerfall zum Erzeugen von Dampf für das Antreiben von Turbinen benutzt wird. Dementsprechend werden zum Betreiben der Kernreaktoren radioaktive Substanzen in den Brennelementen benötigt, die später auch entsprechend entsorgt und für die Umwelt gefahrlos endgelagert werden müssen.**

Im Jahr 2010 waren in 27 Mitgliedsstaaten der EU 143 Kernreaktoren unterschiedlichster Bauart in Betrieb und vier im Bau. Im Jahr 2010 waren in Deutschland 17 Kernreaktoren in Betrieb, die etwa 140,6 TWh Atomstrom erzeugten. Dies waren 22,6% der damals in Deutschland benötigten elektrischen Energie. Die gesamte installierte Leistung betrug 21,49 GW. Unter „installierter Leistung“ wird der Energiebetrag verstanden, den ein Atomkraftwerk (AKW) theoretisch maximal bei Dauerleistung liefern könnte. In der Realität kann dieser Wert natürlich niemals erreicht werden, da vielerlei Unterbrechungen der Produktion – beispielsweise für Wartung oder Erneuerung der Brennelemente – selbst im Normalbetrieb auftreten.

Es gibt in der EU allerdings sehr große Unterschiede zwischen den Staaten. Während im Jahr 2016 in Frankreich 58 Reaktoren etwa 403 TWh als Bruttostrom erzeugten und damit 72 % des produzierten Stroms als Atomstrom erzeugt wurde, waren in Deutschland nur noch 8 Kraftwerke in Betrieb, die etwa 84,6 TWh erzeugten und etwa 13 % zur Bruttostromerzeugung beitrugen. Damit hatte Frankreich den weltweit höchsten Anteil an nuklear erzeugtem Strom. Dies führte dazu, dass Frankreich damit auch zum größten Energieexporteur in Europa wurde.

Stromimporte nach Deutschland gibt es aus verschiedenen Ländern, in die umgekehrt aber auch Strom aus Deutschland exportiert wird. Dementsprechend zeigt erst der Austausch von Strom mit den verschiedenen Nachbarländern an, aus welchen Ländern Deutschland Strom wirklich importiert. Dies waren in den letzten Jahren nur Frankreich und Schweden. Bei den Importen aus Frankreich muss damit gerechnet werden, überwiegend Atomstrom zu importieren. Da die Stromproduktion in Schweden zu annähernd 75 % aus regenerativen Quellen erfolgt, kann damit gerechnet werden, von dort auch überwiegend Strom aus erneuerbaren Quellen zu importieren. Insgesamt betrachtet hat Deutschland aber seit dem Jahr 2003 in der Summe mehr Strom in die Nachbarländer exportiert, als von dort importiert.

Die Bundesregierung hat beschlossen, dass bis 2022 alle AKWs in Deutschland abgeschaltet werden müssen. Der Bau neuer Kernkraftwerke ist nicht mehr zugelassen. Derzeit sind noch sieben Reaktoren in Betrieb.

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) führt in ihrer Energiestudie 2018 die derzeit global förderfähigen Uranreserven, die mit Gewinnungskosten von bis zu 80 US-\$ je kg Uran abgebaut werden können, mit 1,236 Mio. t auf. Uranlagerstätten finden sich vor allem in Kasachstan (mit 258.000 etwa 20 % des globalen Vorrates), Kanada (mit 228.000 t etwa 18,5 % des globalen Vorrats) und Südafrika (mit 168.000 t etwa 13,6 % des globalen Vorrats). Gefördert wird Uran vor allem im Tagebau unter Einsatz großtechnischer Anlagen. Diese Tagebaue weisen nicht selten Durchmesser von einigen Kilometern und Tiefen bis 1.000 m auf. In wachsendem Umfang wird dabei auch auf den „Lösungsbergbau“ gesetzt. Bei dieser Vorgehensweise wird der Untergrund mit Bohrungen aufgeschlossen und anschließend verdünnte Schwefelsäure eingeleitet. Dieses als „in-situ leaching“ (ISL) bezeichnete Verfahren ist zwar aus ökologischer Sicht negativ zu bewerten, jedoch ausgesprochen kostengünstig.

Nach Angaben der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe wurden 2017 weltweit 59.600 t Uran gefördert. Die wichtigsten Förderländer waren Kasachstan mit einem Anteil von 39,3 % an der Gesamtförderung, Kanada mit 22 %, Australien mit 9,9 %, Namibia mit 7,1 % und Niger mit 5,8 %.

Großverbraucher an Uran waren dieser Studie entsprechend im Jahr 2017 die USA mit 19.000 t oder 29,2 % am globalen Uranverbrauch, Frankreich mit 9.500 t oder 14,6 %, China mit 8.290 t oder 12,7 %, Russland mit 5.380 t oder 8,3 % und Südkorea mit 4.730 t oder 7,3 %. Alle diese Länder sind auf den Import von Uran angewiesen.



*Das stillgelegte Kernkraftwerk Biblis war das zweitertragreichste Kernkraftwerk in Deutschland. Seit 1975 mit Block A und seit 1977 mit Block B wurden zwei Druckwasserreaktoren bis zum März 2011 betrieben. Es wurde im Zusammenhang mit der Nuklearkatastrophe in Fukushima (Japan) vom Netz genommen und wird seit Juni 2017 zurückgebaut.*

Von interessierter Seite wird immer wieder darauf hingewiesen, dass die Kernkraft unter dem Aspekt „Emission von Treibhausgasen“ besonders günstig abschneidet. Tatsächlich werden für jede erzeugte Kilowattstunde lediglich zwischen 10 und 30 g CO<sub>2</sub> emittiert. Allerdings wird bei dieser Betrachtungsweise der Abbau, die Förderung und der Transport von Uran, sowie die Errichtung, der Betrieb wie auch der Abbau von Reaktoren, Wiederaufarbeitungsanlagen und Endlagern für langfristig radioaktiv strahlendes Material nicht berücksichtigt.

Immer wieder wird betont, dass die deutschen AKWs besonders sicher seien und dass deshalb die aus anderen Ländern bekannten Supergaus sich hier nicht ereignen könnten. Tatsächlich ist bisher auch kein wirklich schwerer Unglücksfall in Deutschlands Reaktoren vorgekommen. Allerdings wird dies von Seiten der Gegner dieser Energieerzeugung vor allem darauf zurückgeführt, dass man einfach Glück gehabt habe. So entspricht bei-

**spielsweise das Notkühlsystem beider Reaktoren des AKW Gundremmingen von Anfang an nicht den gesetzlichen Anforderungen und könnte bei einer schweren Erschütterung jederzeit versagen. Auch ist das AKW Philippsburg-2 nicht – wie gesetzlich vorgeschrieben – gegen den Absturz kleiner Flugzeuge geschützt. Kein einziges AKW in Deutschland ist hinreichend vor dem Absturz eines großen Passagierflugzeuges oder gegen ein schweres Erdbeben gesichert. Und sollte es zu einem größeren Unfall kommen, sind die Auswirkungen im dicht besiedelten Deutschland kaum auszudenken. Die Versicherungssummen für AKWs sind daher auch bei vergleichsweise sehr niedrigen Schadensbeträgen gedeckelt.**

**Dass in den direkt an der Staatsgrenze zu Deutschland oder in der Nähe von größeren Städten liegenden Meilern der Schweiz, Frankreichs oder Belgiens die Sicherheitsverhältnisse deutlich schlechter als in deutschen AKWs sind, wurde von der zuständigen deutschen Behörde schon mehrfach angesprochen. Auch wurde schon die Schließung alter Reaktoren wie Fessenheim oder eine grundsätzliche Überholung von Reaktoren in Tihange verlangt – bisher allerdings ohne Erfolg. Nicht übersehen werden können jedoch die Gefährdungen im laufenden Betrieb. So kommt es relativ häufig zu Zwischenfällen und technischen Fehlern, die aber bisher alle glimpflich abgelaufen sind.**

**Ein weiteres Problem der AKWs ist aus ökologischer Sicht die Lagerung der radioaktiven Abfälle, die zeitlich begrenzt in Zwischenlagern und/oder in entsprechend sicher errichteten und betriebenen Endlagern vorgesehen sein muss.**

**Kann man tatsächlich sicherstellen, dass diese hochgefährlichen Materialien über „mindestens eine Million Jahre“ sicher verwahrt werden können, wie es die ehemalige Bundesumweltministerin Barbara Hendricks verlangte? Man bedenke: Nur vor etwa 600.000 Jahren begann die erste Eiszeit, der vier weitere folgten. Was für Zeiträume in Relation zu einem Menschenalter! Können wir alle mit solchen globalen Veränderungen einhergehenden Einwirkungen auf ein Endlager tatsächlich vorhersehen? Zu den nicht abschätzbaren Problemen die die Entsorgung des radioaktiven Abfalls und der verbrauchten Brennelemente aufwerfen, kommt die Schwierigkeit der Entsorgung der kontaminierten Teile der abzubauenen Mäiler.**

**Greifbarer als das Entsorgungsproblem ist die Landschaftszerstörung, die beim Uranabbau im Tagebau entsteht. Dieser findet meist in abgelegenen Regionen der Erde statt. Infolge dessen sind oft „nur“ (Ur)Einwohner von der Zerstörung ihrer Lebensräume betroffen, denn 70 % des Uranabbaus findet auf indigenem Land statt. Die betroffenen Völker haben meist keine Stimme und keine Möglichkeit des Protests. Dabei verlieren sie nicht „nur“ ihr Land. Der chemisch vergiftete und radioaktiv verseuchte Abraum, schafft eine langfristige Gefahr für alles Leben in diesem Gebiet. Auch wird bei der Urangewinnung als Zerfallsprodukt nicht selten das Edelgas Radon freigesetzt. Es belastet vor allem die Lungen und gilt als krebserregend („Schneeberger Krankheit“). Radionuklide und giftige Metallverbindungen werden als Staub durch den Wind verbreitet und belasten das Trinkwasser und die gesamte Biosphäre.**

Diese vorprogrammierten Umweltschäden werden in manchen Fällen durch Unfälle verstärkt. Beispielsweise kann durch einen Dammbbruch mit Schadstoffen aus dem Abraum belastetes Wasser in Vorfluter gelangen und im Abstrom alles vergiften.

## Erneuerbare Energien

Von den vielen verschiedenen Techniken, mit deren Hilfe regenerative Energien gewonnen werden, sollen in den folgenden Abschnitten folgende Energieprodukte betrachtet werden: Solarenergie (Strom und Wärme), Windenergie an Land und auf See, Bioenergie, Biodiesel, Wasserkraft an Land, Meeresenergie und Geothermie. Die Wasserstofftechnologien werden auf dieser Webseite im Aufsatz „[Verkehrswende 3](#)“ beschrieben.

## Solarenergie

Energie aus der Sonneneinstrahlung kann in technischen Prozessen einerseits als Elektrizität und andererseits als Wärme gewonnen werden. Über Solarzellen wird Sonnenlicht zum Erzeugen von elektrischem Strom verwendet (Photovoltaik) und über Sonnenkollektoren wird aus dem Sonnenlicht Wärmeenergie gewonnen (Solarthermie). Eine weitere Sektion stellen Solarkraftwerke dar, in denen sowohl Elektrizität, als auch Wärmeenergie gewonnen werden kann. Derzeit hat das Erzeugen von elektrischem Strom aus der Sonnenstrahlung für die Energiewende die weitaus größte Bedeutung. Daher konzentrieren sich die Ausführungen in diesem Aufsatz auch auf das Erzeugen von elektrischer Energie aus dem Sonnenlicht.

Die von der Sonne ausgestrahlte Energiemenge, die als Licht auf die Erde gelangt, entspricht etwa dem 15.000-fachen des derzeitigen globalen Energieverbrauchs. Anders ausgedrückt könnte man auch sagen, dass die Sonne stündlich mehr Energie auf die Erde einstrahlt, als die Menschheit derzeit global in einem Jahr verbraucht. Nimmt man die technischen Daten der uns derzeit zur Verfügung stehenden Solarzellen an, könnte man den derzeit global benötigten Strom mit solchen Solarmodulen auf einer Fläche von etwa 500.000 km<sup>2</sup> erzeugen. Dies entspricht etwa der Fläche Spaniens. Würde man diese Fläche auf die Kontinente verteilen und dabei auch den jeweils lokalen Strombedarf bedenken, muss eine globale Versorgung der Menschheit mit elektrischem Strom von der Sonne als möglich betrachtet werden. Wir bekämen die Energie, die wir als Menschheit benötigen, sogar über die Sonneneinstrahlung geschenkt und müssten dafür nur die entsprechend großen Solaranlagen einrichten und betreiben!

Die Intensität der Einstrahlung auf dem Globus ist regional stark unterschiedlich. Zudem macht der Tag-/Nachtwechsel bei der Stromerzeugung durch Sonneneinstrahlung grundsätzlich ein Zusammenwirken mit anderen Energiequellen erforderlich. Dies können entweder andersartige Techniken zur Stromerzeugung oder auch entsprechend dimensionierte Stromspeicher sein. Aus diesem Grunde wird zur Zeit intensiv an verschiedenen Technologien für das Speichern von Energie gearbeitet, insbesondere auch an intelligenter Software, die es ermöglicht, eine stabile Stromversorgung als zeitgesteuerter

**Mix aus unterschiedlichen Energiequellen zu gewährleisten. Dabei konkurrieren zentrale und dezentrale Lösungen.**

**In Deutschland liegt die Sonneneinstrahlung an wolkenlosen Tagen selbst im Sommer im Bereich von etwa 1.000 Watt je m<sup>2</sup>. In den nördlichen Breiten, in denen sich die wichtigsten Industriestaaten befinden, ist Solarenergie meist keine verlässliche Energiequelle, da sich dort der Himmel manchmal auch tagelang wolkenverhangen und ohne direkten Sonnenschein zeigt.**

**Im Jahr 2016 waren in Deutschland mehr als 1,62 Mio. und im Jahr 2018 mehr als 1.76 Mio. Photovoltaikanlagen installiert. Im Jahr 2016 betrug die damit installierte Leistung 40.679 MW<sub>peak</sub> und im Jahr 2018 sogar 45.277 MW<sub>peak</sub>. Im Jahr 2016 wurden damit 38,098 Mrd. kWh Solarstrom in das öffentliche Stromnetz eingespeist, obwohl das Wetter im Sommer alles andere als optimal war. Dies entsprach einem Anteil am Strommix von rund 6 %. Damit konnte die Emission von etwa 24 Mio. t CO<sub>2</sub> eingespart oder verhindert werden. Die Zahlen zur Stromeinspeisung 2018 waren beim Redaktionsschluss für diesen Aufsatz noch nicht publiziert.**



*Große Solarkraftwerke werden derzeit vor allem in Wüsten- oder in wüstenähnlichen Gebieten aufgebaut und betrieben. Dabei werden derzeit photovoltaische und solarthermische Kraftwerke aufgebaut und getestet. In Chile soll mit der entsprechend hohen Energiedichte ein Preis von etwa 2,5 ¢ / kWh erreicht werden. Das Bild zeigt ein photovoltaisches Solarkraftwerk.*

**In den Regionen der Welt, wo die Sonneneinstrahlung stärker und die jährliche Bedeckung durch Wolken wesentlich geringer ist als in Deutschland, wird Sonnenstrom inzwischen kostengünstig in großtechnischen Anlagen erzeugt. Dies geschieht derzeit beispielsweise in Indien, in Chile und in Marokko.**

Obwohl die Module und verschiedenen Technologien immer günstiger geworden sind, ist seit der Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) im Jahr 2013 ein starker Rückgang des Ausbaus der Photovoltaik in Deutschland zu verzeichnen. Parallel dazu wurden inzwischen auch fast dreiviertel der in der Solarindustrie noch im Jahr 2011 vorhandenen Arbeitsplätze abgebaut.

Nach einem Bericht des Infografikdienstes „Stromreport“ wurden im Jahr 2016 nur noch 1,53 Gigawatt Photovoltaik-Leistung installiert. In den Folgejahren stieg die jährlich dazugebaute Leistung zwar langsam wieder an, doch erreicht der zuletzt noch nicht abschließend erfasste Zubau des Jahres 2018 wahrscheinlich immer noch nicht die für die Energiewende inzwischen von der Bundesregierung als erforderlich bezeichnete Zubaurate von 2,4 bis 2,6 GW. Insgesamt bewegen sich die Zubauraten im Größenordnungsbe- reich von etwa 20 % bezogen auf den Höhepunkt der Neuinvestitionen im Jahr 2011.

Im Jahr 2007 wurde der mit Photovoltaik produzierte Strom noch mit 49,2 ct/KWh geför- dert. Nur damit konnte der politisch erwünschte rasche Ausbau dieser regenerativen Energiequelle erreicht werden.

Nach einer Information der Bundesnetzagentur – BNetzA und des Bundesverbands Solar- wirtschaft - BSW-Solar, die ebenfalls vom Bundesministerium für Wirtschaft und Ener- gie - BMWi im April 2016 publiziert wurde, belief sich die finanzielle Förderung 2007 noch auf 49,2 ct/KWh. Diese Förderung wurde im Jahr 2010 auf 35,4 ct/KWh gesenkt und auf Druck der Energiekonzerne im Jahr 2014 durch die große Koalition auf 12,7 ct/KWh abge- schmolzen. Nur durch diese Förderung mit nichtöffentlichem Geld konnte der politisch erwünschte rasche Ausbau dieser regenerativen Energiequelle erreicht werden. Auf- grund der Subventionskürzungen sank dann die Anzahl der in Deutschland in der Solar- energiebranche Beschäftigten wieder von 110.900 im Jahr 2011 auf nur noch 31.600 oder 28 % im Jahr 2015. Obwohl diese Subventionen nicht von der Bundesregierung bezahlt werden und den Bundeshaushalt nicht belasten, wurden sie von den Energiekonzernen als „Störung im System“ angesprochen, da damit die Stromerzeugung dezentralisiert wird und es künftig viele lokale Stromerzeuger gibt. Für diese Subventionen zahlen alle Stromverbraucher in die EEG-Umlage ein, damit die Stromerzeuger ihren Strom zu den über die Umlage finanzierten höheren Strompreisen an das Stromnetz verkaufen können.

Gleichzeitig wurden am Markt die Preise der angebotenen Solarmodule durch Solarzel- len aus chinesischer Fertigung gedrückt. Dies führte zusätzlich zu einem rascheren Sub- ventionsabbau und damit zum Abbau von Arbeitsplätzen und zu einem entsprechenden Firmensterben in der deutschen Solarindustrie. Die chinesischen Hersteller konnten aufgrund des chinesischen Lohnniveaus wesentlich billiger produzieren und daher auch den deutschen und den europäischen Markt mit ihren Produkten überfluten. Pläne deutscher Produzenten die Produktion von Solarzellen nach China zu verlagern, kamen aufgrund der chinesischen Vorgaben für europäische Investoren nicht zum Tragen.

Aus ökologischer Sicht weist Photovoltaik nur wenig Nachteile auf. Für die Gesamtbi- lanz werden zwar Emissionen von 50 – 100 g CO<sub>2</sub> je KWh erzeugten Solarstroms be-

nannt, aber diese werden nahezu ausschließlich den Prozessen bei Herstellung und Installation der Anlagen geschuldet. Neben der geringen CO<sub>2</sub> Emission ist die Solarzellenherstellung jedoch mit einem vergleichsweise hohen Einsatz an Energie verbunden. Je nach Bauart der Module werden etwa 1,5 bis 3,5 Betriebsjahre benötigt, um die für die Modulherstellung aufgebrauchte Energie wieder zu erzeugen. Bei einer Lebensdauer der Solarmodule von 20 bis 40 Jahren ist daher die Energiebilanz insgesamt deutlich positiv.

Die Herstellung von Solarzellen ist auch sehr materialintensiv. In diesen chemischen Prozessen werden sowohl gasförmige, flüssige und feste Substanzen eingesetzt. Es werden Ätzlösungen eingesetzt, müssen chemische Prozessrückstände regelmäßig entfernt und verschiedene Reinigungsgase eingesetzt werden. Als Materialien zur Herstellung der Solarzellen werden - dem jeweiligen Zelltyp entsprechend - etwa 7 bis 16 g Silizium je W der Leistung einer Solarzelle benötigt. Da die Siliziumscheiben je nach Zelltyp auch mit unterschiedlichen Metalldotierungen bedampft sind, werden zusätzlich diese Metalle als Material zur Zellenherstellung benötigt. Das Aufdampfen dieser Metalldotierungen erfordert Metallmengen zwischen 30 und 50 g je m<sup>2</sup> Zellenfläche. Für solche Dotierungen oder zum Aufbringen von dünnen Schichten auf die Oberfläche der Siliziumscheibe werden – je nach Zellentyp – die Elemente Indium (In), Gallium (Ga), Tellur (Te), Selen (Se), Titan (Ti), Cadmium (Cd) und/oder Arsen (As) verwendet.

Beim Reinigen der Produktionsmaschinen werden Reinigungsgase eingesetzt, die als starke Treibhausgase bekannt sind. Sie könnten durch das zwar giftige, aber nicht als Treibhausgas wirkende Fluor (F) als Reinigungsgas ersetzt werden, welches auch leicht zurückgewonnen werden könnte. In diesem Zusammenhang ist interessant, dass nach der Aufgabe der Solarzellenproduktion in Europa und deren Verlagerung nach Asien erst kürzlich ein starker Anstieg des als starkes Treibhausgas wirkenden Reinigungsgases Stickstofftrifluorid (NF<sub>3</sub>) in der Hochatmosphäre über Ost- und Südostasien festgestellt wurde. Dieser Anstieg kann auf das Entweichen der Reinigungsgase in die Umwelt beim Produktionsprozess der Hersteller in Asien zurückgeführt werden. Es ist daher dringend erforderlich, Mensch und Umwelt bei der Produktion zu schützen. Produktionsrückstände und Reinigungsgase müssen in der Fabrik verbleiben. Außerdem müssen die Solarmodule wiederaufbereitet werden können. Es ist jedoch zu vermuten, dass wegen der rasanten Entwicklung auf diesem Gebiet der Einsatz von Energie und Materialien weiter verringert werden kann. Weiterhin bleibt zu hoffen, dass durch neue Erkenntnisse auch die Produktionsprozesse hin zum Verwenden unkritischer Materialien verändert werden können.

Zum Beginn des Jahres 2017 waren weltweit Solarthermieanlagen mit einer Gesamtleistung von etwa 456 GW<sub>thermisch</sub> installiert. 325 GW<sub>th</sub>, also etwa 71 % davon waren allein in China montiert. Diese dienen in erster Linie der Warmwassergewinnung. Das global installierte Arbeitsvermögen dieser einfachen Anlagen, die vor allem für den Privatgebrauch und für kleinere Unternehmen bestimmt sind, wird auf etwa 375 TW<sub>th</sub> geschätzt.

Zusätzlich waren zu diesem Zeitpunkt auch verschiedenartige Sonnenwärmekraftwerke errichtet, um mit der Sonnenwärme elektrischen Strom zu erzeugen. Solche Kraftwerke

arbeiten häufig noch im Versuchsstadium und unter wissenschaftlicher Beobachtung, um diese Technologien weiter zu entwickeln. Dabei werden zur Zeit folgende Kraftwerkstypen unterschieden: Solarturm-Kraftwerk, Fallwind-Kraftwerk, Parabolrinnen-Kraftwerk, Paraboloid-Kraftwerk und Solarteich-Kraftwerk. Diese Kraftwerke waren zum Beginn des Jahres 2017 mit einer globalen Gesamtleistung von 4,8 GW<sub>el</sub> aufgeführt. Solche Kraftwerke werden derzeit in folgenden Ländern betrieben: Chile, Deutschland, Frankreich, Marokko, Spanien, Südafrika, USA und in den Vereinigten Arabischen Emiraten (VAE).

Diese Form des Gewinnens thermischer Energie gilt als ausgesprochen wirtschaftlich. Nach bereits 12 bis 24 Monaten ist die für Herstellung und Installation aufgewandte Energie wieder amortisiert. Die Lebensdauer der Anlagen wird mit rund 30 Jahren angegeben.

Aus ökologischer Sicht sind hier kaum Einwände geltend zu machen. Es sei jedoch darauf verwiesen, dass für die Herstellung Kupfer und Aluminium in nicht unerheblichem Umfang benötigt werden. Außerdem können die verwendeten Parabolspiegel Luft im Umfeld der Anlage stellenweise auf nahezu 1.000 °C aufheizen, so dass Vögel im Flug verbrennen. Es muss daher nach Lösungen gesucht werden, wie der gefährliche Luftraum gesperrt werden kann.

---

FiWiSo-Allianz

sls im November 2019

Bilder: copyright rnl

---

Fortsetzung in: Energiewende – Teil 2 *(bitte auf folgender Seite unten öffnen)*  
<https://www.fiwiso-allianz.de/162>