

FH JOANNEUM

Diplomarbeit

Gegenüberstellung der Nutzungsstrategie gängiger
nachhaltiger Energiequellen in Europa und den USA.

Diplomarbeit

Gegenüberstellung der Nutzungsstrategie gängiger nachhaltiger Energiequellen in Europa und den USA.

eingereicht an der
FH JOANNEUM Gesellschaft mbH
Fachhochschulstudiengang
Baumanagement und Ingenieurbau

vorgelegt von

Matthias Gruber, BSc

Gutenhofnerstraße 6
4300 Sankt Valentin

Betreuer

Prof. DI DDr. Adalbert Schönbacher

FH JOANNEUM, Graz

Prof. Barry Jones PhD, FASCE, FCIIOB

California Polytechnic State University, San Luis Obispo

Graz, am 01.03.2013

Unterschrift 

Kurzfassung

Eine der wichtigsten Herausforderungen, mit der sich die Regierungen der Europäischen Union und der Vereinigten Staaten von Amerika zurzeit konfrontiert sehen, ist die Entscheidung über die Art der zukünftigen Energieversorgung, denn die Bereitstellung günstiger Energie, ist für die Wirtschaft, und damit auch für die Bevölkerung, von größter Bedeutung.

Die gegenwärtige Energieversorgung in der EU und den USA wird zu 9/10 von fossilen Energieträgern abgedeckt. Diese waren bis jetzt die effizienteste und kostengünstigste Möglichkeit Energie für Strom, Wärme und Mobilität zu erzeugen. Jedoch zu den großen Nachteilen der fossilen Energieträger zählt, neben der Endlichkeit und des Preisanstieges, auch die Emission von klimaschädlichen Gasen, welche bei der Verbrennung erzeugt werden. Deswegen wird im Moment versucht die Abhängigkeit der Energieversorgung von Kohle, Gas und Öl zu verringern.

Bei der Lösung der Energiefrage werden erneuerbare Energien wie Wasserkraft, Sonnen- und Windenergie, Geothermie und Biomasse eine entscheidende Rolle spielen. Das Potential regenerativer Energieträger reicht auf beiden Kontinenten leicht aus, um den jährlichen Primärenergieverbrauch zu decken. Derzeit rechnen sich alternative Energiesysteme wirtschaftlich aber noch nicht immer und sind daher abhängig von politischen Förderungen. Die EU hat weltweit die ambitioniertesten Ausbauziele für regenerative Energien: Die Nutzung erneuerbaren Energiequellen, primär Wind, Sonne und Biomasse, soll bis 2020 auf 20 Prozent des Gesamtenergieverbrauchs erhöht werden. Umgesetzt wird dieses Ziel durch Förderungen, wie Einspeisevergütungen und einer Abnahmeverpflichtungen für erneuerbaren Energien. In den USA ist die Situation eine andere: Seit einigen Jahren wird sehr stark auf Schiefergas und Öl gesetzt, und erneuerbare Energien spielen keine große Rolle in der nationalen Energiepolitik. Einige Bundesstaaten haben aber Ziele zum Ausbau von erneuerbaren Energien definiert. Des Weiteren fördern die USA sehr stark die Forschung nachhaltiger Technologien und sind mittlerweile eines der interessantesten Länder für Investitionen in nachhaltige Energiesysteme.

Die Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien wird daher in Europa und in den Vereinigten Staaten in den nächsten Jahren deutlich zunehmen. Diese Arbeit soll einen Überblick über die aktuelle Situation nachhaltiger Energiesysteme geben und aufzeigen, wie eine mögliche Entwicklung in Zukunft in den USA und der EU aussehen kann und welche Chancen sich daraus ergeben.

Schlüsselwörter: Nachhaltige Energieversorgung, Erneuerbare Energien, Lösung der Energiefrage, Alternative Energiesysteme, Fossile Energieträger, Ausbauziele.

Abstract

The question about the future energy supply is one of the main challenges the governments of the European Union and the United States of America have to deal with right now. For the economy as well as for the inhabitants it is important to provide affordable energy. The present energy supply is 9/10 covered from fossil fuel. They are the cheapest and most efficient way to produce energy for heating, electricity and mobility. However, the big disadvantages are the finite nature of fossil fuel supply, the price increase and the emission of climate-wrecking gases. These are the reasons, why presently the EU and the USA try to reduce their dependency from coal, oil and gas.

Renewable energies like hydro power, solar energy, geothermal power, wind energy and biomass can help changing the energy supply. On both continents the potential of regenerative energy sources would easily cover the whole energy consumption. However, at the moment renewable energy sources are not always cost-effective and they need political support. The EU has the most ambitious targets to develop alternative energies worldwide: The use of renewable energy sources primary wind, solar, geothermal, hydro and biomass should increase up to 20 percent of the overall energy consumption until 2020. This target will be achieved with subventions like feed-in tariffs and acceptance duty for renewable energies. In the USA the situation is different: Natural Gas and oil production have been supported for a few years already and alternative energies are playing only a minor role. However, some states have provided own targets to develop renewable energies. The USA strongly supports the research of alternative technologies and presently they are very attractive for investments in renewable energy systems.

In Europe and in the United States the energy production from renewable energy sources will increase in the next few years. This paper should give an overview about the present situation of renewable energy and show a possible development in the EU and the U.S. and its chances in the future.

Key words: Alternative Energy Supply, Renewable Energy, Alternative Technologies, Fossil Fuel, Energy Production, Development Targets,

Eidesstattliche Erklärung

„Ich erkläre hiermit eidesstattlich, dass ich folgende Arbeit selbstständig angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken oder Formulierungen sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher an keiner anderen Bildungsinstitution vorgelegt und ist noch nicht veröffentlicht.“



.....
Matthias Gruber

Graz, am 01.03.2013

Danksagung

In erster Linie möchte ich meinen Eltern, die mich während meines Studiums stets begleitet, motiviert und unterstützt haben bedanken. Nur durch ihre Hilfe war es möglich mein Studium so zu gestalten, wie ich es erleben durfte.

Ebenfalls möchte ich mich bei den betreuenden Professoren, Adalbert Schönbacher (FH Joanneum, Graz) und Barry Jones (California Polytechnic State University, San Luis Obispo), recht herzlich für die fachliche Betreuung und deren anregenden Ideen bedanken. Zu guter Letzt seien auch noch all meine Professoren und Studienkollegen erwähnt, die dazu beigetragen haben, dass ich mich in Graz immer sehr wohl gefühlt habe.

Nochmals ein herzliches Dankeschön!

Inhalt

Kurzfassung	3
Abstract	4
Eidesstattliche Erklärung	5
Danksagung	6
Inhalt	7
1 Einleitung	10
1.1 Vorwort	10
1.2 Aufgabenstellung und Ziel	11
1.3 Aufbau der Arbeit	12
1.4 Abgrenzung der Arbeit	12
2 Energetische Ausgangssituation in der EU und den USA	13
2.1 Energiefluss	13
2.2 Primärenergieverbrauch und Energiemix	14
2.2.1 EU	15
2.2.2 USA	16
2.3 Aktuelle Energiestrategie	18
2.3.1 Aktuelle Energieproduktion	19
2.3.2 Energievorkommen und Energiereserven	21
2.3.2.1 Erdöl.....	21
2.3.2.2 Kohle	22
2.3.2.3 Gas.....	22
2.3.2.4 Uran	23
2.3.3 Import und Export	24
2.3.4 Aktuelle Energieträger zur Strom- und Wärmeerzeugung.....	25
2.3.5 Energieversorgung - Stromnetz.....	27
2.3.5.1 Europa	27
2.3.5.2 USA	28
2.3.6 Energieausblick	29
2.4 Gründe für eine nachhaltige Energieversorgung	30
2.4.1 CO ₂ -Ausstoß und dadurch bedingter Klimawandel	31
2.4.2 Verfügbarkeit fossiler Ressourcen	34
2.4.3 Umstellung auf Nachhaltige Energiesysteme	36
2.5 Energiepolitische Situation	37
2.5.1 EU	37
2.5.1.1 20-20-20 Ziele.....	37
2.5.1.2 EU –Richtlinie zur Förderung der Nutzung von erneuerbarer Energien.....	38
2.5.1.3 Nationale Aktionspläne.....	38

2.5.1.4	SET-Plan	39
2.5.1.5	Energiefahrplan 2050	39
2.5.2	USA	40
3	Nutzungsstrategie gängiger erneuerbarer Energiequellen in der EU und den USA	43
3.1	Sonnenenergie.....	46
3.1.1	Photovoltaik Anlagen	48
3.1.1.1	Photovoltaik in der EU.	50
3.1.1.2	Photovoltaik in den USA.	54
3.1.2	Solarthermie - Sonnenkollektoren	58
3.1.2.1	Sonnenkollektoren in der EU	61
3.1.2.2	Sonnenkollektoren in den USA	65
3.1.3	Solarthermie - Sonnenkraftwerke	66
3.1.3.1	Sonnenkraftwerke in der EU	69
3.1.3.2	Sonnenkraftwerke in den USA	73
3.2	Windenergie	74
3.2.1	Windenergieanlagen	76
3.2.2	Windenergie in der EU	83
3.2.3	Windenergie in den USA	89
3.3	Wasserkraft	93
3.3.1	Wasserkraftwerke	94
3.3.1.1	Energie aus dem Meer	97
3.3.2	Wasserkraft in der EU	99
3.3.3	Wasserkraft in den USA	101
3.4	Geothermie	104
3.4.1	Geothermische Systeme	104
3.4.2	Geothermie in Europa	108
3.4.3	Geothermie in den USA	110
3.5	Energie aus Biomasse	111
3.5.1	Biomasse Einsatz	112
3.5.2	Biomasse in der EU	115
3.5.3	Biomasse in den USA	117
4	Aussichten für nachhaltige Energiesysteme in der EU und den USA.....	118
4.1	Entwicklung nachhaltiger Energiesysteme	118
4.1.1	Photovoltaik	118
4.1.2	Solarthermie	118
4.1.3	Windenergie.....	119
4.1.4	Wasserkraft.....	119
4.1.5	Geothermie.....	119
4.1.6	Biomasse	120
4.2	Politische Maßnahmen für eine nachhaltige Energieversorgung.....	120
4.2.1.1	Politische Rahmenbedingungen müssen erstellt werden.....	120
4.2.1.2	Weiterentwicklung der Technologien	120
4.2.1.3	Weiterentwicklung und Erneuerung der Infrastruktur	121

4.3	Chancen einer nachhaltigen Energieversorgung.....	121
4.3.1.1	Volkswirtschaftlicher Nutzen.....	121
4.3.1.2	Senkung der Abhängigkeit von Importen.....	122
4.3.1.3	Senkung des CO ₂ -Ausstoßes	122
4.3.1.4	Verringerung der Umweltzerstörung.....	122
5	Anhang.....	123
5.1	Erläuterungen	123
5.2	Einheiten.....	124
5.3	Leitlinien für eine weltweite nachhaltige Energieversorgung.....	125
5.4	Ausbauziele für erneuerbare Energien der U.S. Bundesstaaten.....	126
6	Verzeichnisse	128
6.1	Abbildungsverzeichnis.....	128
6.2	Tabellenverzeichnis	130
6.3	Abkürzungsverzeichnis.....	131
6.4	Literaturverzeichnis	132

1 Einleitung

1.1 Vorwort

Energie ist der Lebenssaft unserer Wirtschaft. Das Wohlergehen unserer Bevölkerung, Industrie und Wirtschaft ist abhängig von sicherer, nachhaltiger und erschwinglicher Energie.¹ Jedoch gehen mit unserer aktuellen verwendeten Energieressourcen schwerwiegende Probleme, wie steigende Ölpreise, Umweltkatastrophen, Kriege um Ressourcen und der Klimawandel, einher. Ereignisse, wie die Explosion der Bohrinne „Deepwater Horizon“ im April 2010 oder die „Nuklearkatastrophe von Fukushima“ im März 2011 zeigen außerdem auf, wie gefährlich unsere aktuelle Energieversorgung für die Umwelt sowie die Menschheit sein kann. Dies sind gewiss einzelne Katastrophen, aber die steigenden Energiepreise sowie der Klimawandel werden immer mehr zu globalen Angelegenheiten.

Seit einigen Jahren rücken deswegen nachhaltige Energieträger immer mehr in den Fokus der Bevölkerung, Politik und Wirtschaft. Erneuerbare Energiequellen, wie Wind- und Wasserkraft, Biomasse, Sonnenenergie und Geothermie haben das Potenzial unsere Energieversorgung nachhaltig zu gestalten. Jedoch erfordert dies nicht nur ein Umdenken in der Bevölkerung, sondern vor allem eine ganz neue Energiepolitik.

Insbesondere die westlichen Staaten sind bestrebt ihre Energieversorgung in den kommenden Jahrzehnten nachhaltig zu gestalten. Die Europäische Union und die USA haben einen sehr hohen Energieverbrauch. Etwa 90 Prozent der Energie wird jedoch nicht nachhaltig produziert. Aufgrund mehrerer krisenhaften Erscheinungen wird die Umstellung auf eine nachhaltige Energieversorgung aber immer stärker vorangetrieben.

„Zum einen muss die Klimakrise durch einen anderen Umgang mit den weltweit verfügbaren Energieressourcen gelöst werden. Zum anderen soll die Energiekrise, die sich in der Verteuerung der traditionellen Energieträger äußert durch alternative Energien entgegengewirkt werden.“²

Durch den Verbrauch von den fossilen Energieträgern Kohle, Erdgas und Öl entstehen klimaschädliche Gase wie CO₂ und dies schadet, durch die Verstärkung des Treibhauseffekts, unserer Umwelt. Die energiebedingten CO₂-Emissionen tragen etwa 80% zum menschlich verursachten Treibhauseffekt bei und deswegen müssen, so die allgemeine Annahme, die regenerativen Energiequellen stark ausgebaut werden, um die Klimaschutzziele erreichen zu können.³ Gleichzeitig werden die fossilen Energieressourcen immer knapper. Dadurch steigen die Energiepreise und es entstehen Konflikte um die verbleibenden Rohstoffe. Gerade für die Europäische Union aber auch für die Vereinigten Staaten ist es wichtig, der Wirtschaft leistbare Energie zur Verfügung zu stellen, um als Industriestandort weiter attraktiv zu sein. Erneuerbare

¹ Mitteilung der Europäischen Kommission: Energie 2020 Eine Strategie für wettbewerbsfähige, nachhaltige und sichere Energie. Europäische Union, 2011.

² Seitz Bernhard, Desertec. Solarthermische Energie als gemeinsame Energiepolitische Strategie für Europa, Nordafrika und den Nahen Osten? Wien, 2010.

³ Europäische Union. Energie 2020, Seite 4.

Energien können und werden dabei in Zukunft eine ganz wichtige Rolle spielen. Die Energiefrage ist aus diesen Gründen eine der größten Herausforderungen, vor denen Europa und die USA stehen. Die EU und Amerika sind bestrebt ihre Energieerzeugung auf erneuerbare Quellen umzustellen. Das Ziel ist einerseits durch die Reduktion des CO₂-Ausstoßes dem Klimawandel entgegenzuwirken und andererseits durch die Umstellung auf *grüne* Energie die Abhängigkeit von Energieimporten zu verringern. Die Europäische Union und die Vereinigten Staaten von Amerika versuchen durch unterschiedliche Maßnahmen eine nachhaltige Energieversorgung einzuführen. Die EU hat 2011 eine Richtlinie verabschiedet, mit welcher die Umsetzung der klima- und energiepolitischen Ziele erfolgen soll. In den USA gibt es keine nationalen rechtlich gültigen Vorgaben, jedoch haben einige Bundesstaaten den Ausbau von regenerativen Energiequellen beschlossen. Die USA setzen sehr stark auf die Förderung der Entwicklung und Forschung von nachhaltigen Technologien, um sie so konkurrenzfähiger zu machen und den Markt zu stärken.

Erneuerbare Energien haben ein riesiges Potential und können unterschiedlich in der Energieversorgung genutzt werden. Beide Regionen, die EU sowie die USA, sind führend im Einsatz von regenerativen Energiesystemen, doch es wird bei weitem nicht die vorhandene Leistungsfähigkeit genutzt.

In dieser Arbeit wird festgestellt, wie die Nutzungsstrategie der einzelnen erneuerbaren Energiequellen erfolgt und auf welchem Weg, hin zu einer nachhaltigen Energieversorgung, sich die USA und die EU befinden. Dabei wird der aktuelle Einsatz von Wind-, Wasser-, Sonnenkraft, Biomasse und Geothermie in der Energieversorgung analysiert und durch die politischen Rahmenbedingungen, wie Förderungen und Ausbauziele eine mögliche Entwicklung bestimmt.

1.2 Aufgabenstellung und Ziel

Ziel dieser Arbeit ist es, herauszufinden, wie die derzeitige Energiesituation in der EU und den USA aussieht und wie sich diese in den nächsten 20 Jahren entwickeln wird. Dazu wird am Beginn der Arbeit, die energetische Ausgangssituation der beiden Regionen erläutert. Es werden die aktuell verfolgte Energiestrategie sowie die politischen Rahmenbedingungen für den Ausbau von erneuerbaren Energiequellen näher betrachtet. Es wird auch dargelegt warum auf die Energieversorgung auf erneuerbare Energien umgestellt werden muss.

Im Hauptteil wird geklärt, wie die nachhaltigen Energiesysteme in den USA und der EU eingesetzt werden und welche Ausbauziele verfolgt werden. Dabei werden folgende erneuerbaren Energiequellen beschrieben:

- Sonnenenergie,
- Windenergie,
- Wasserkraft,
- Geothermie und
- Biomasse.

Im letzten Teil der Arbeit wird der aktuelle und zukünftige Anteil von erneuerbare Energien aufgezeigt. Es werden die politischen Maßnahmen, die für einen rascheren Ausbau notwendig

sind sowie die Chancen, die sich aus dem Einsatz nachhaltiger Energiesysteme ergeben beleuchtet. Aus dem Ergebnis dieser Forschung soll ersichtlich werden, welche Rolle erneuerbare Energiequellen in Zukunft in der EU und den USA spielen werden.

1.3 Aufbau der Arbeit

Diese Arbeit ist in drei grobe Abschnitte unterteilt.

Im ersten Abschnitt *Energetische Ausgangssituation in der EU und den USA* werden der aktuelle Energiemix und die Gründe, welche für den Einsatz von erneuerbaren Energiequellen sprechen, erläutert. Außerdem werden die energiepolitischen Ziele und Fördermaßnahmen in der EU und den USA beschrieben.

Der zweite Abschnitt *Nutzungsstrategie gängiger erneuerbarer Energiequellen in der EU und den USA* unterteilt sich in die fünf wesentlichen erneuerbaren Energiequellen (Wind, Wasser, Sonne, Geothermie und Biomasse). Es wird kurz die Funktionsweise der Energiegewinnung beschrieben. Danach wird der aktuelle Einsatz aufgezeigt und dies soll Rückschlüsse auf die zukünftige Verwendung zulassen.

Im letzten Teil *Aussichten für nachhaltige Energiesysteme in der EU und den USA* wird auf Basis der in den vorigen Kapiteln gesammelten Informationen abgeleitet, wie der zukünftige Einsatz von erneuerbaren Energiequellen aussehen wird und welche Chancen sich daraus ergeben.

1.4 Abgrenzung der Arbeit

Das Themengebiet *nachhaltige Energieversorgung* ist sehr umfangreich und beinhaltet verschiedenste Einflussfaktoren. Die Arbeit befasst sich speziell mit einer nachhaltigen Energiestrategie in Europa und Amerika und mit welchen erneuerbaren Energiequellen dies erreicht werden soll. Es wird mit den technischen Möglichkeiten der Systeme und den politischen, geographischen und wirtschaftlichen Gegebenheiten geklärt, wie ein Einsatz in Zukunft erfolgen kann. Durch die große Anzahl erneuerbaren Energiesystemen kann nicht jede im Einzelnen behandelt werden. Die Arbeit beschränkt sich somit auf die fünf gängigen Energiesysteme Sonnen-, Windenergie, Wasserkraft, Geothermie und Biomasse.

Kernenergie wäre ebenfalls eine kohlenstofffreie Stromerzeugung, jedoch überwiegen im Vergleich zu erneuerbaren Energien die Risiken und Gefahren. Zusätzlich dazu ist diese Form durch den anfallenden Atommüll keine nachhaltige Lösung und wird deshalb in dieser Arbeit nicht berücksichtigt.⁴ Durch eine erhöhte Energieeffizienz wird eine nachhaltige Energiezukunft ebenfalls erreicht. Doch die Reduktion des Energieverbrauchs wird in dieser Arbeit nicht behandelt. Ebenso werden soziale Aspekte, wie gesellschaftliche Akzeptanz nicht berücksichtigt

⁴ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Erneuerbare Energien Innovation für die Zukunft, Berlin 2011.

2 Energetische Ausgangssituation in der EU und den USA

Das folgende Kapitel gibt, als Einstieg in diese Arbeit, einen Überblick über die aktuelle Energiesituation in Europa und Amerika. Es werden der momentane Energieverbrauch und die aktuelle Energiestrategie, sowie die Gründe, warum auf eine nachhaltige Energieversorgung umgestellt werden muss, aufgezeigt. Am Ende dieses Kapitels wird die energiepolitische Situation beschrieben und es werden die Richtlinien und Initiative, die zu einer nachhaltigen Energiezukunft führen sollen, erläutert.

2.1 Energiefluss

Der Energiefluss zeigt den Verlauf von der Produktion bis zum Verbrauch der Energie und die dazugehörigen Komponenten. Die nachfolgenden Darstellungen des gesamten Energieflusses sollen einen Überblick über den Energieverlauf in der EU und den USA geben.

Die zwei wichtigsten Quellen der Energiebereitstellung sind die Energieproduktion und die Importe. Die gesamte Energieversorgung soll den Primärenergieverbrauch und die Exporte abdecken. Für den Betrag des finalen Primärenergieverbrauches werden noch alle Verluste und der Energieverbrauch der Produktion abgezogen. Diese beiden Verluste betragen etwa 35% des Primärenergieverbrauchs⁵. Der Energieverbrauch teilt sich dann auf die verschiedenen Sektoren auf. Die nachfolgenden Grafiken zeigen den Energiefluss in der EU (2010) und den USA (2011) in Megatonnen – Öläquivalent (Mtoe).

- Energiefluss EU-27(in Mtoe).⁶

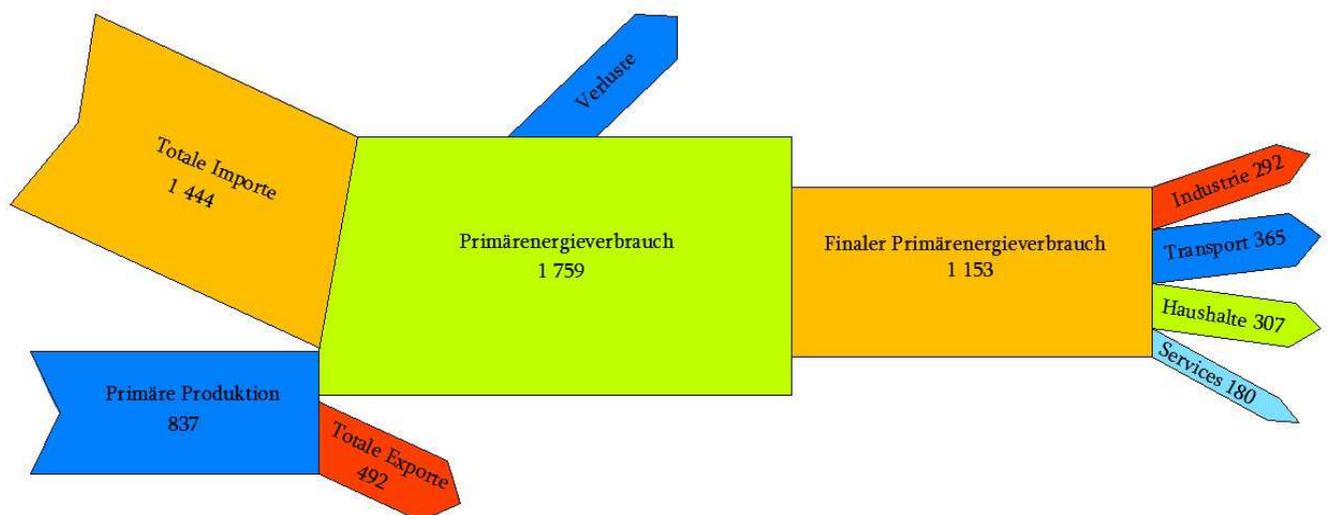


Abbildung 1: EU-27, Energiefluss (in Mtoe), (2010).

⁵ European Commission: EU energy in figures, Statistical Pocketbook 2012, European Union, 2012

⁶ Ebda, Seite 14.

- Energiefluss USA (in Mtoe).⁷

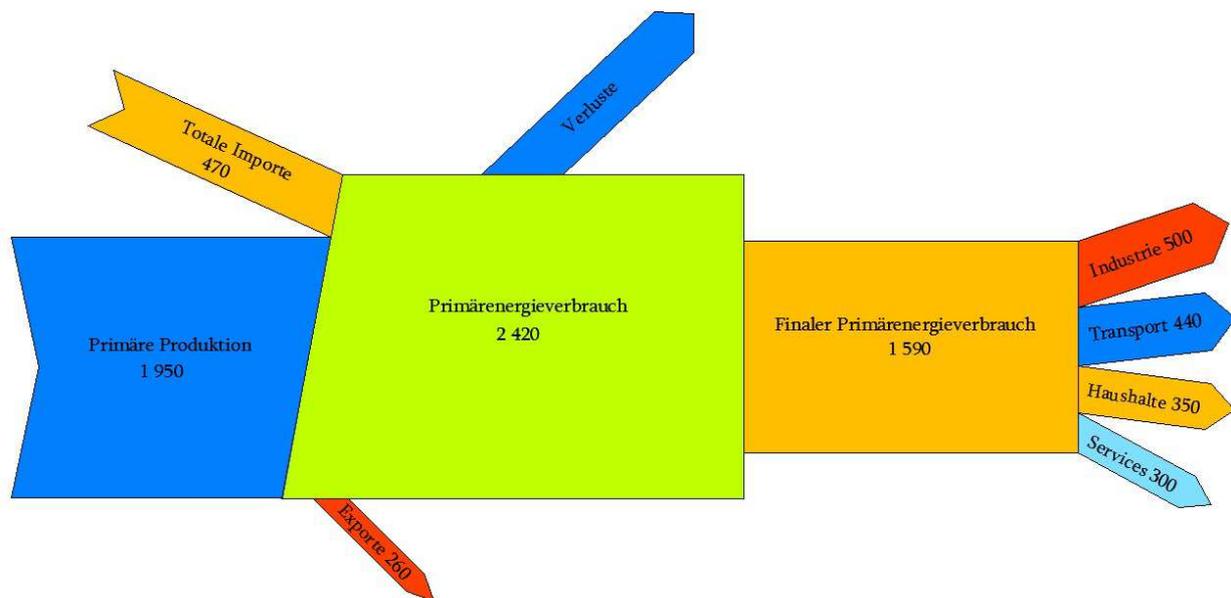


Abbildung 2: USA, Energiefluss (in Mtoe), (2011).

Der Energiefluss und dessen Komponenten sollen ein Ausgangspunkt für die nachfolgenden Ausführungen sein. Denn in den nächsten Punkten wird näher auf die Bereiche Primärenergieverbrauch, Produktion, Importe und Exporte eingegangen. Es wird in den einzelnen Bereichen die Verteilung der Energieträger aufgezeigt und was dies für die Energiestrategie bedeutet.

2.2 Primärenergieverbrauch und Energiemix

Aktuell steuern fossile Energieträger über 90 Prozent zum Energiemix in Europa und den USA bei.⁸ Die Vorteile dieser Energiequelle sind, dass sie orts- und zeitunabhängig ist, die Konzentration und Zentralisierung ökonomischer Prozesse ermöglicht und sie in Wohnhäusern und in der Industrie gleichermaßen verwendbar ist. Zu den großen Nachteilen der fossilen Energieträger zählt, neben der Endlichkeit, unter anderem der Ausstoß von klimaschädlichen Gasen, welche bei ihrem Verbrauch erzeugt werden.⁹ Gegenwärtig ist eine Energieversorgung ohne fossile Energieträger unvorstellbar, jedoch gibt es Ambitionen für den Ausbau erneuerbarer Energien.

Die nun folgenden Punkte zeigen den aktuellen Primärenergieverbrauch nach Energieträgern in der EU und den USA. Des Weiteren werden die Aufteilungen auf die einzelnen Sektoren und der Pro Kopf-Energieverbrauch erläutert. Primärenergie ist die von noch nicht weiterbearbeiteten Energieträgern stammende Energie. Primärenergieträger sind zum Beispiel Steinkohle, Braunkohle, Erdöl, Erdgas, Wasser, Wind, Kernbrennstoffe, Solarstrahlung und so weiter. Aus der Primärenergie wird durch Aufbereitung zum Beispiel in Kraftwerken oder Raffinerien die Endenergie.

⁷ U.S. Energy Information Administration (eia): Annual Energy Review 2011, September 2012.

⁸ European Commission: EU energy in figures 2012, Seite 17.

⁹ Seitz Bernhard 2010, Seite 10.

2.2.1 EU

Der gesamte Energieverbrauch in der EU ist seit einigen Jahren etwas rückläufig. Von 1990 bis 2006 stieg der Primärenergieverbrauch noch von 1.640 Mtoe auf 1.826 Mtoe. 2007 lag der Verbrauch bei 1.809 Mtoe und 2010 bei 1.759 Mtoe. Das bedeutet seit 2006 ist der Primärenergieverbrauch leicht regressiv. Ähnlich ist der Verlauf des Endenergieverbrauchs. Dieser stieg von 1990 bis 2006 relativ gering von 1.000 Mtoe auf 1.192 Mtoe. Ab 2006 fiel der Endenergieverbrauch auf 1.153 Mtoe 2010.¹⁰ Das ist darauf zurückzuführen, dass der Verbrauch pro Produktionseinheit geringer geworden ist und weniger Energie bei den Umwandlungsprozessen verloren geht. Die Finanzkrise trug ebenfalls dazu bei, dass in vielen Ländern Europas, der Energieverbrauch sank.¹¹ Die nächste Grafik zeigt den Primärenergieverbrauch in der EU 2010.

- EU-27: Primärenergieverbrauch, nach Energieträger geordnet, 2010.¹²

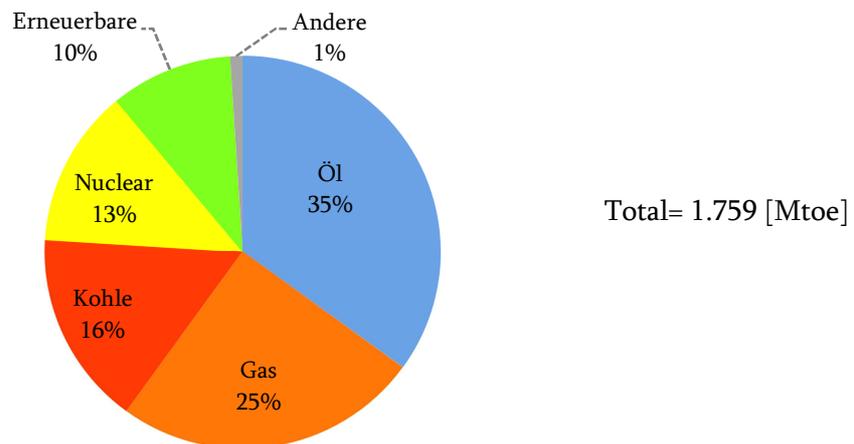


Abbildung 3: EU-27: Primärenergieverbrauch nach Energieträger (in %), (2010).

Mit 35 % (616 Mtoe) ist Öl weiter die meist verwendete Energiequelle in der EU. Der Primärenergieverbrauch besteht zusätzlich aus 25% (440 Mtoe) Gas, 13 % (230 Mtoe) Atomenergie, 16% (282 Mtoe) Feste Brennstoffe und 10% (176 Mtoe) erneuerbarer Energie. Verglichen zu den vorhergehenden Jahren ist der Primärenergieverbrauch von Öl und Atomenergie nahezu gleich geblieben. Feste Brennstoffe wie Kohle sind von 2007 auf 2010 um 3% gefallen. Der Einsatz von Gas ist etwas gestiegen und alternative Energien sind seit 2006 (6,8%) angewachsen.¹³

¹⁰ European Commission, Eurostat: Energieverbrauch (September 2011).

http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Consumption_of_energy/de

¹¹ Vgl. European Commission: Europe's energy position, 2010 Annual Report, European Union 2011.

¹² European Commission: EU energy in figures 2012, Seite 42.

¹³ Ebda, Seite 40.

Der Großteil des europäischen Energieverbrauchs ist also nicht nachhaltig. 90 % des Primärenergieverbrauchs werden nicht regenerativ erzeugt. Das sollte nicht nur ein Umdenken in der Energieproduktion zufolge haben, denn der gesamte Primärenergieverbrauch verteilt sich auf folgende Sektoren:¹⁴

- Transport (32%),
- Industrie (25%),
- Haushalte (27%),
- Landwirtschaft (2%) und
- Services, etc. (13%).

Neben dem Gesamtenergieverbrauch ist der **Pro-Kopf-Energieverbrauch** eine wichtige Vergleichsgröße. Beim Gegenüberstellen des Pro-Kopf-Energieaufkommens zwischen einzelnen Ländern ist aber Vorsicht angebracht, da hierbei unterschiedliche nationale Gegebenheiten wie Bevölkerungsdichte, Landesgröße, Temperaturen, Wirtschaftsstruktur und inländische Energieressourcen nicht berücksichtigt werden.

Der Pro-Kopf-Energieverbrauch in der EU betrug 2009 **3,31 Tonnen Rohöleinheiten** (t RÖE). Die Höhe unterscheidet sich im EU-Vergleich erhebliche. In Luxemburg betrug das Pro-Kopf-Energieaufkommen 8,3 t RÖE und in Finnland 6,65 t RÖE. Der hohe Wert für Finnland erklärt sich aus den Witterungsbedingungen. Im Fall Luxemburgs ist der hohe Wert zum Teil durch die niedrige Umsatzsteuer auf Mineralölprodukte bedingt, was die Autofahrer und andere Verbraucher aus den Nachbarländern – Belgien, Frankreich und Deutschland – dazu veranlasst, ihren Bedarf in Luxemburg zu decken. Am anderen Ende des Spektrums stehen Griechenland mit 2,39 t RÖE und Portugal mit 2,21 t RÖE, was mit der schwachen wirtschaftlichen Leistung der Länder zusammenhängt.¹⁵

Der Primärenergiemix und der Pro-Kopf-Energieverbrauch der Europäischen Union zeigen die Aufteilung der verwendeten Energieträger und des Energieverbrauchs. Es wird auch aufgezeigt, wie sehr die EU von fossilen Energieträgern abhängig ist.

2.2.2 USA

Im Jahr 2011 waren die Vereinigten Staaten, mit einem Primärenergieverbrauch von 2.420 Mtoe¹⁶ der größte Energieverbraucher der Welt. Obwohl, gleich wie in Europa, der Energieverbrauch in den letzten Jahren leicht rückläufig ist, sind die USA immer noch die Energieverschwender dieser Welt. Die nachfolgende Grafik zeigt den Primärenergiemix in den USA 2011.

¹⁴ European Commission, Eurostat: Energieverbrauch (September 2011).

http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Consumption_of_energy/de

¹⁵ OECD (2012): Pro-Kopf-Energieaufkommen, in Die OECD in Zahlen und Fakten 2011-2012: Wirtschaft, Umwelt, Gesellschaft, OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264125469-48-de>

¹⁶ eia: Annual Energy Review 2011, Seite 5.

- U.S.: Primärenergieverbrauch, nach Energieträger geordnet, 2011.¹⁷

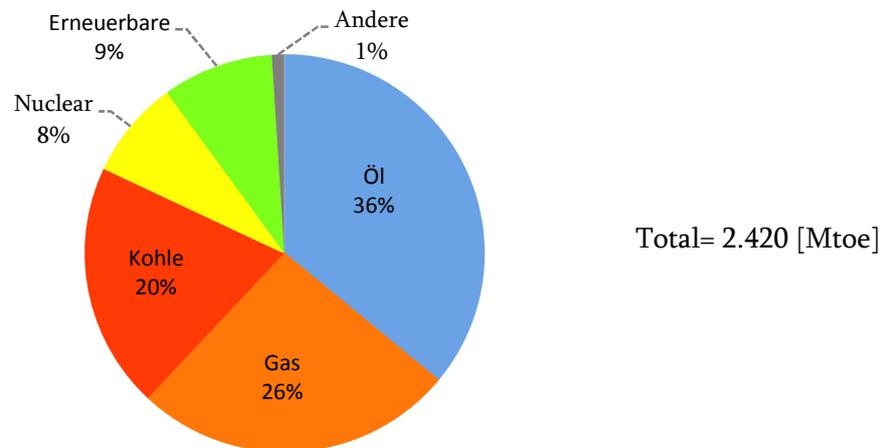


Abbildung 4: U.S.: Primärenergieverbrauch, nach Energieträger (in %), (2011).

In dieser Grafik wird deutlich wie sehr die USA, ähnlich wie die EU, von fossilen Energieträgern abhängig sind. 82 % des Energieverbrauchs wurde 2011 von fossilen Brennstoffen abgedeckt. Rohöl deckt mit 36 % (871 Mtoe) in den USA, gleich wie in der EU, den größten Teil des Energiemixes ab. Erdgas ist mit 26 % (630 Mtoe) gleich bedeutend wie in Europa, wobei der Einsatz von Gas in den letzten Jahren stark angestiegen ist und von den USA stark gefördert wird. Feste Brennstoffe wie Kohle spielen mit 20 % (484 Mtoe) im Primärenergieverbrauch der USA ebenfalls eine wichtige Rolle. Atomenergie mit 8 % (194 Mtoe) und erneuerbare Energien mit 9 % (218 Mtoe) tragen jedoch nur einen kleinen Beitrag zum Gesamtenergiemix bei.

Sieht man sich den Endenergieverbrauch in den USA genauer an, stieg dieser von 1990 bis 2007 von 1.180 Mtoe auf 1.320 Mtoe stetig an. Jedoch fiel der Endenergieverbrauch im Jahr 2008, aufgrund des Einsetzens der Finanzkrise gegenüber dem vorhergehenden Jahr. 2009 stieg er wieder und ist nun in den letzten 3 Jahren etwa gleich geblieben. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Verbrauch pro Produktionseinheit, wie in Europa, geringer geworden ist, und weniger Energie bei den Umwandlungsprozessen verloren geht. Jedoch spielen auch die erhöhten Treibstoffpreise eine Rolle, was Einsparungen im Energieverbrauch im Transportsektor mit sich brachte.¹⁸ Die Aufteilung auf die einzelnen Sektoren ist etwa gleich wie in Europa mit¹⁹:

- Transport (28%)
- Industrie (28%)
- Haushalte (22%)
- Landwirtschaft (3%) und
- Services (19%)

¹⁷ eia: Annual Energy Review 2011, Seite 5.

¹⁸ Ebda, Seite 4.

¹⁹ Ebda, Seite 37.

Die Vereinigten Staaten haben mit **7,2 t RÖE** im Jahr 2010 einen der höchsten **Pro-Kopf-Energieverbrauche** der Welt. Auch wenn in den USA der Verbrauch seit 1971 um 6% zurückgegangen ist, sind sie im internationalen Vergleich weiterhin die Energieverschwender. Insbesondere wenn es auf die 314 Millionen Einwohner hochgerechnet wird. Die nachfolgende Grafik zeigt dies im Vergleich zur EU (3,31 t RÖE), OECD insgesamt (4,4 t RÖE), China (1,7 t RÖE), Russland (4,56 t RÖE) und Weltweit (1,8 t RÖE), noch einmal deutlich.²⁰

- Gesamt-Primärenergieaufkommen pro Kopf in Tonnen Rohöleinheiten (t RÖE), 2010.

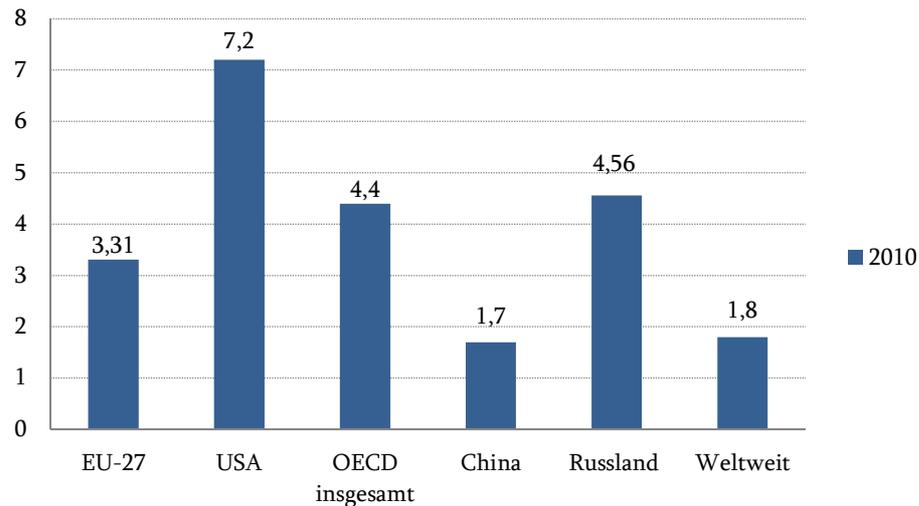


Abbildung 5: Gesamt-Primärenergieaufkommen pro Kopf in Tonnen Rohöleinheiten (t RÖE), (2010).

Abschließend kann festgehalten werden, dass 91 % des Primärenergieverbrauchs in den USA nicht nachhaltig sind und sie mit 7,2 t RÖE Pro-Kopf-Energieverbrauch weltweit die Energieverschwender sind. Auch in Europa wird 90% der Energie mit nicht erneuerbaren Energiequellen erzeugt, jedoch gerade durch den hohen Energieverbrauch haben die USA gigantische Einsparungsmöglichkeiten im Energieverbrauch. Gleichzeitig ist das Potential von erneuerbaren Energiequellen erheblich.

2.3 Aktuelle Energiestrategie

Die aktuelle Energiestrategie der EU und den USA setzt sich aus der Produktion, den Importen und zu einem kleinen Teil aus den Exporten zusammen. Fossile Energieträger leisten auf beiden Kontinenten den größten Beitrag zum Primärenergieverbrauch. Die Energiestrategie beider Regionen hängt sehr stark von den Entwicklungen von Öl, Kohle und Gas ab. Die große Abhängigkeit von Importen fossiler Energieressourcen und die Entwicklung der Energiepreise hat die EU veranlasst ihre Energiestrategie in Richtung erneuerbarer Energiequellen zu verlagern. Jedoch ist der Weg zu einem nachhaltigen Energieverbrauch noch lange, wie der Primärenergieverbrauch gezeigt hat. In der aktuellen Energieproduktion wird noch überwiegend auf

²⁰ OECD (2012): Pro-Kopf-Energieaufkommen, in Die OECD in Zahlen und Fakten 2011-2012: Wirtschaft, Umwelt, Gesellschaft, OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264125469-48-de>

fossile Energieträger gesetzt. Die USA versuchen, noch nicht genutzte Gas-, vorwiegend Schiefergas, und Ölvorkommen zu erschließen. Dabei werden die Umweltauswirkungen, welche die Erschließung von diesen Ölfeldern und insbesondere bei der Schiefergasförderung auftreten, ausgeblendet, da die billigen fossilen Energieträger weiter den Wirtschaftsmotor am Laufen halten.²¹

2.3.1 Aktuelle Energieproduktion

In Europa und den USA wird nur ein Teil der nötigen Energie selbst erzeugt. Fossile Energieträger decken den Hauptteil in der Energieproduktion ab, aber auch Atomenergie und erneuerbare Energiequellen werden verwendet. Die nachfolgenden Grafiken zeigen die Energieproduktion nach Energieträger in der EU und den USA, im Vergleich.

- EU-27 und U.S. Energieproduktion nach Energieträgern, 2010.^{22,23}

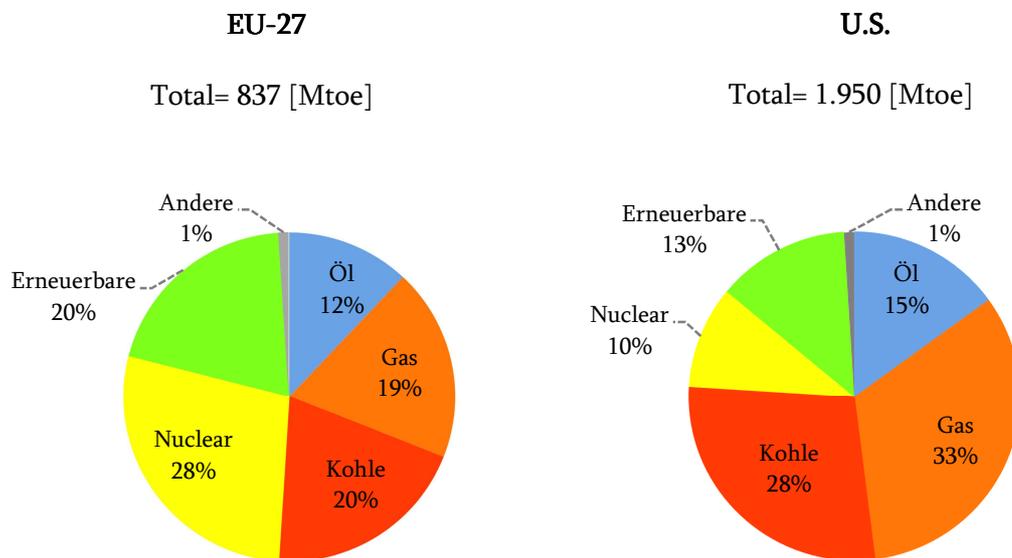


Abbildung 6: EU-27 und U.S. Energieproduktion nach Energieträger, im Vergleich (in %), (2010).

Die **EU** deckt aktuell, mit einer Energieproduktion von 837 Mtoe knapp die Hälfte ihres Energieverbrauchs selbst ab. Die Produktion nahm seit 2000 um etwa 11% ab, was mit der Versickerung und der Unwirtschaftlichkeit vieler fossiler Abbaustätten zusammenhängt.²⁴ Die Produktion von Kohle und Erdöl haben seit 1990 stark abgenommen. Dagegen hat die Förderung von Erdgas seit 2008 wieder leicht zugenommen. 2010 trugen fossile Energieträger, mit 12 % Öl, 20 % Kohle und 19 % Gas, 51% zur gesamten Primärenergieproduktion bei. Gegenwärtig wird die

²¹ Merkische Allgemeine: Energiewende auf amerikanische Art (09.08.2012).

<http://www.maerkischeallgemeine.de/cms/beitrag/12372933/485072/Die-USA-wollen-energieautark-werden-und-verstaerken-vor.html>

²² European Commission: EU energy in figures 2012, Seite 34.

²³ eia: Annual Energy Review 2011, Seite 7.

²⁴ European Commission, Eurostat: Energieerzeugung und einführen, (September 2011).

http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Energy_production_and_imports

Förderung dieser immer teurer, daher kann davon ausgegangen werden, dass dieser Abwärtstrend anhalten wird. Atomenergie trägt mit 28% den größten Teil zur Energieproduktion bei und dieser Wert ist in den letzten Jahren annähernd gleich geblieben. Erneuerbare Energien sind die einzigen Energiequellen, die seit 1990 stark zugenommen haben. Mittlerweile tragen nachhaltige Energiequellen 20% zur gesamten Energieproduktion bei.²⁵

In den USA nahm die Gesamtenergieproduktion mit 1.750 Mtoe, 1990 auf 1.950 Mtoe, 2011 noch leicht zu.²⁶ Grund dafür ist, dass die Gasproduktion seit 10 Jahren energisch gefördert wird. Seit 2003 boomt diese und hat heute mit 34% den größten Anteil an der Energieproduktion in den USA. Besonders der Abbau von Schiefergas wird im Moment sehr stark ausgebaut. Kohle hatte 2006 seinen Höchststand, danach fiel der Abbau aber stark. In den letzten Jahren gab es wieder einen leichten Anstieg und 2011 trug Kohle 28% zur Energieproduktion bei. Die Erdölproduktion wuchs in den letzten 5 Jahren etwas an und im Moment deckt sie 15% der Energieproduktion in den USA ab. Die USA wollen aber bis 2020 mehr Erdöl fördern als sie verbrauchen, was eine weitere Steigerung der Erdölproduktion zufolge haben wird. Erneuerbare Energien haben mit 13% mittlerweile die Atomenergie mit 10% überholt. Jedoch spielen sie immer noch eine sehr geringe Rolle.²⁷

Die vorigen Grafiken verdeutlichen wie sehr in Europa und den USA die Energieproduktion und die Energieversorgung von fossilen Ressourcen abhängig sind. In der USA tragen sie zur Gesamtproduktion 77 % und in der EU 51% bei. In der EU wird im Moment verstärkt auf Atomenergie gesetzt und erneuerbare Energiequellen werden noch untergeordnet eingesetzt. In den USA ist vor allem Gas und Kohle von großer Bedeutung. Wobei Gas die Kohle in den letzten Jahren als wichtigster Energielieferant abgelöst hat. Auch in den USA spielen erneuerbare Energiequellen noch keine große Rolle.

In Europa ist die Nutzung der verschiedenen Energieträger sehr länderspezifisch, jedoch ist die Abhängigkeit von Atomstrom und Strom von fossilen Energieträgern enorm.²⁸ Auch die USA sind von diesen billigen Energieerzeugern abhängig, allerdings werden die dadurch bedingten Probleme immer größer und es wird versucht, die Energiestrategie auf erneuerbare Energiequellen umzustellen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das Potential für den Einsatz erneuerbarer Energiequellen enorm ist, und da fossile Energiequellen in beiden Regionen nicht ausreichend vorhanden sind, wird versucht, neue billige Alternativen zu finden. Dies wird dazu führen, dass die zukünftige Energiestrategie zum Großteil auf erneuerbare Energiequellen aufgebaut sein wird.

²⁵ European Commission: EU energy in figures 2012, Seite 34.

²⁶ eia: Annual Energy Review 2011, Seite 7.

²⁷ Ebda, Seite 6.

²⁸ European Commission, Eurostat: Energieerzeugung und einführen, (September 2011).

http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Energy_production_and_imports

2.3.2 Energievorkommen und Energiereserven

Die Europäische Union sowie die USA verfügen noch über gewisse fossile Energievorkommen. Leider schwanken die Daten über diese Energiereserven in verschiedenen Quellen teils beträchtlich. Dieses Kapitel soll einen realistischen Überblick über die weltweiten Energievorkommen geben.

In den USA wurden in den letzten Jahren riesige Schiefergasvorkommen entdeckt. Es werden auch mittlerweile Ölvorkommen gefördert, die vor einigen Jahren noch nicht rentabel gewesen wären. Dies hat einerseits mit der Preisentwicklung von Öl, und andererseits mit der stetigen Weiterentwicklung der Fördertechniken zu tun. Die Vorkommen in der EU sind weitgehend erschöpft, jedoch werden auch hier noch immer neue Fördermöglichkeiten entdeckt und erschlossen.

2.3.2.1 Erdöl

Wie aus der nachfolgenden Grafik entnommen werden kann, verfügt Europa nur über einen sehr geringen Anteil an Ölreserven. In den USA sieht es etwas anders aus. Laut Vorhersagen der IEA²⁹ könnten die USA bis 2020 mehr Öl produzieren, als sie selbst verbrauchen. Die neuen Ölfelder werden aber teils unter erheblichen Schäden für die Umwelt erschlossen.

- Weltweit geprüfte Erdölreserven nach Region, Jänner 2011 (in Milliarden Barrels).³⁰

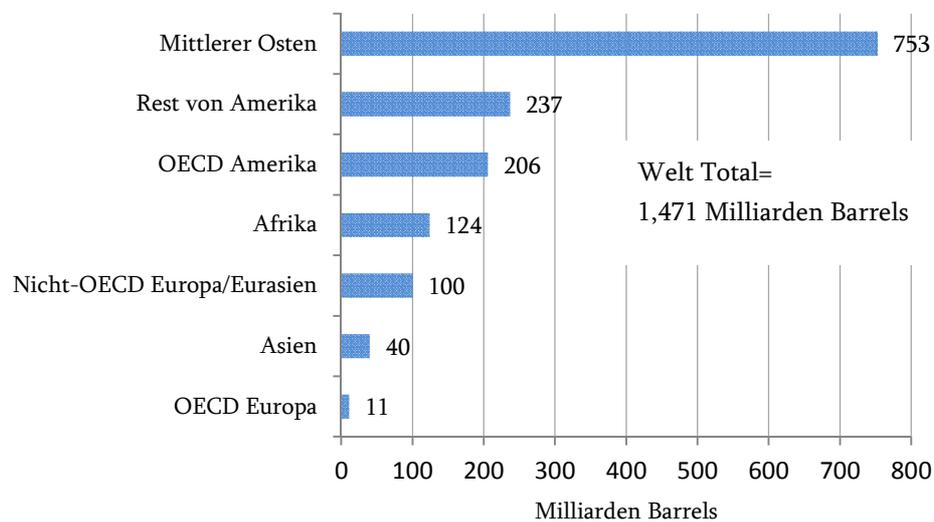


Abbildung 7: Weltweit geprüfte Erdölreserven nach Region (in Milliarden Barrels), (2011).

²⁹ International Energy Agency (iea): World Energy Outlook 2011, OECD/IEA, 2011.

³⁰ U.S. Energy Information Administration (eia): International Energy Outlook 2011, Washington 2011.

2.3.2.2 Kohle

Der Einsatz von Kohle nahm in den letzten Jahren in Europa und den USA stetig ab. Jedoch haben die USA noch beträchtliche Kohlevorkommen und Kohle ist der Hauptenergieträger bei der Stromerzeugung. Die dadurch entstehenden CO₂ Ausstöße sind bei Kohlekraftwerken am höchsten und daher sollte aus umwelt- und klimatechnischen Ursachen der Einsatz von Kohle noch stärker verringert werden. In den nächsten Jahren wird sich zeigen, wie sich der Kohlemarkt entwickelt, da insbesondere Schwellenländer wie China und Indien die Energieversorgung auf Kohle aufgebaut haben. Kohle ist der meistverwendete Energieträger der Welt und die bekannten Quellen dürften noch einige Jahrhunderte reichen. Der Abbau und Einsatz wird aber mit einer erheblichen Umweltverschmutzung einhergehen. Die nächste Grafik zeigt die Verteilung der weltweit geprüften Kohlereserven.

- Weltweit geprüfte Kohlereserven (Erd- und Steinkohle) nach Region, Jänner 2011 (in Milliarden Tonnen).³¹

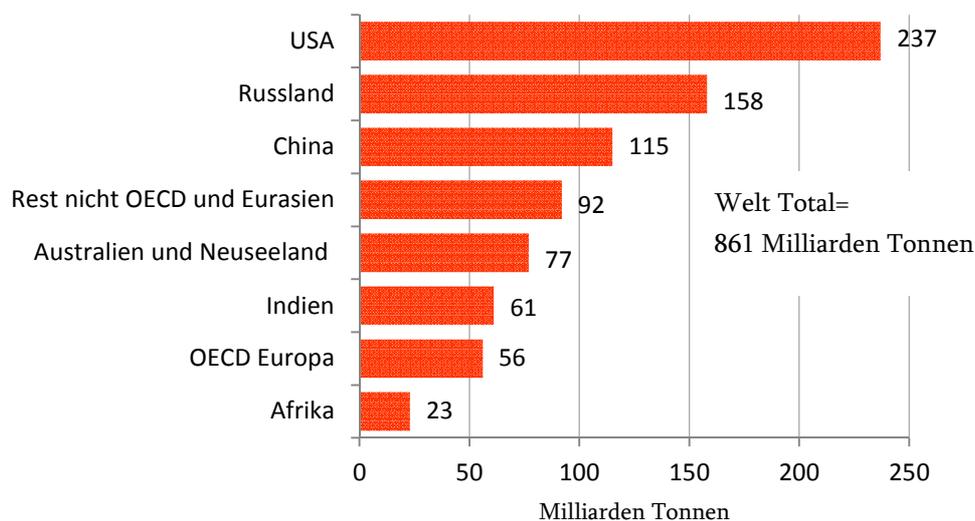


Abbildung 8: Weltweit geprüfte Kohlereserven nach Region (in Milliarden Tonnen), (2011).

2.3.2.3 Gas

Besonders in den USA wird im Moment sehr stark auf Schiefergas gesetzt. Das zusätzliche Gas kommt aus sogenannten unkonventionellen Reserven. Es lagert in Schieferschichten, aus denen es mit der umstrittenen Methode des *Fracking* unter Einsatz von viel Wasser, Sand und Chemikalien gelöst werden muss. Diese Methode ist mit schwerwiegenden Umweltverschmutzungen verbunden.³² Die Förderung von Schiefergas hat die USA mittlerweile zum größten Gaserzeuger

³¹ eia: International Energy Outlook 2011, Seite 80.

³² Vgl. Klußmann Jens, Studenteninitiative Wirtschaft und Umwelt: Fracking.

http://www.wirtschaftumwelt.de/index.php?option=com_content&view=article&id=27:fracking&catid=5:artikel&Itemid=4

der Welt gemacht. In den USA löst Gas, Kohle in der Energieproduktion immer mehr ab und der Verbrauch wird weiter steigen. Europa importiert Gas zum Großteil aus Russland und dem Mittleren Osten. Dies ist mit einer sehr starken Abhängigkeit verbunden. Die Vergangenheit hat gezeigt, dass Russland jederzeit den *Gashahn* abdrehen kann, was zu einem Energieengpass in weiten Teilen Europas führt. Auch durch die neuen Technologien der Erdgasverflüssigung ist Gas im Moment sehr stark im Aufwind. Durch die starke Umweltverschmutzung beim Schiefergasabbau wird der vermehrte Einsatz von Gas auch nicht die Probleme der Energiezukunft lösen. Die nächste Abbildung zeigt die geographische Verteilung der Erd- und Schiefergasreserven.

- Weltweit geprüfte Erd- und Schiefergasreserven nach Region, Jänner 2011 (in Milliarden Kubikmeter).³³

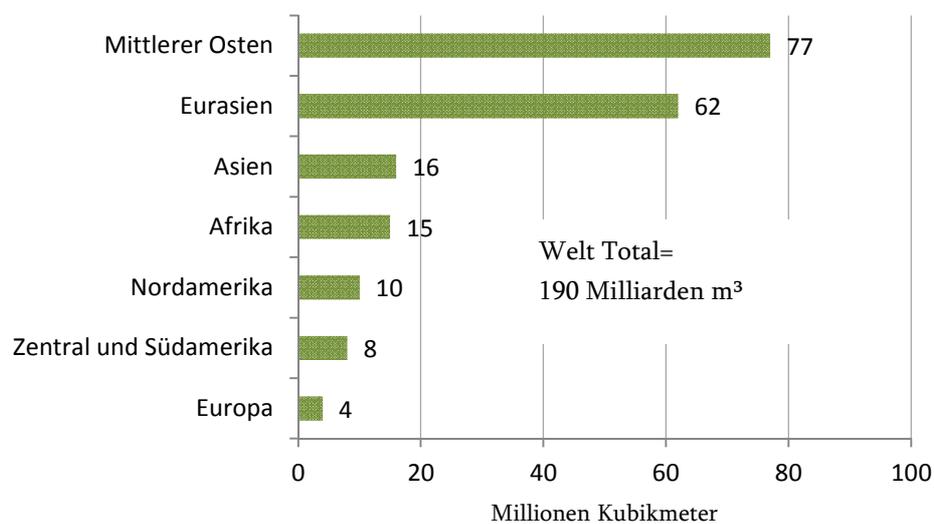


Abbildung 9: Weltweit geprüfte Erd- und Schiefergasreserven nach Region, (in Milliarden m³), (2011).

2.3.2.4 Uran

Die Uranvorräte wirtschaftlich förderbaren Uranreserven wurden von der Internationalen Atomenergie Organisation (IAEA) im Jahr 2012 im so genannten Red Book ausgewiesen. Demnach sind insgesamt noch 5,3 Millionen Tonnen Uran hinreichend gesichert. Diese Menge reicht für weitere 78 Jahre.³⁴ Einige Länder der EU haben ihre Energieversorgung auf Atomstrom aufgebaut und das kann in naher Zukunft zu einem großen Problem werden. Der Uranpreis wird steigen und, wie die Grafik verdeutlicht, muss die EU Uran importieren. Deswegen sollte der Einsatz von Atomenergie überdacht werden, um nicht nur die Risiken, welche bei der Erzeugung von Atomstrom entstehen, zu verringern, sondern auch, um die den damit verbundenen Atommüll zu reduzieren.

³³ eia: International Energy Outlook 2011, Seite 64.

³⁴ Vgl. International Atomic Energy Agency, IAEA: International Status and Prospects for Nuclear Power 2012, August 2012.

- Weltweit geprüfte Uranvorkommen nach Region, 2006 (in Millionen Tonnen).³⁵

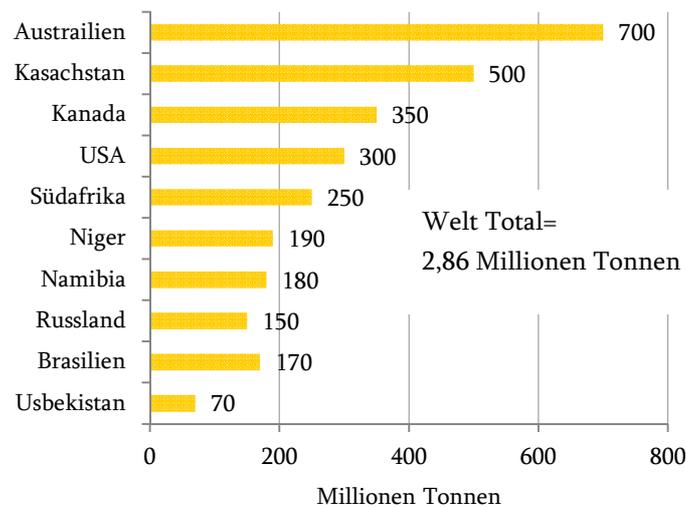


Abbildung 10: Weltweit geprüfte Uranvorkommen nach Region (in Millionen Tonnen), (2006).

2.3.3 Import und Export

Europa und die USA können ihren Verbrauch von Kohle, Erdöl und Kohle nur zum Teil selbst abdecken. Europa produziert 32 % und Amerika 75% ihres fossilen Energieträgerverbrauchs selbst. Mit Atomenergie und erneuerbaren Energieträgern kann die EU 48% und die USA 80% ihres gesamten Primärenergieverbrauchs selbst abdecken. Der Rest muss importiert werden.³⁶

Zur gesamten Energiestrategie tragen die Importe und Exporte einen bedeutenden Beitrag. Die EU hatte 2010 einen totalen Import von 1.444 Mtoe. Dies bedeutet, dass knapp die Hälfte der verbrauchten Energie importiert wird, dagegen wird nur ein kleiner Teil exportiert. In der EU variiert die Abhängigkeit jedoch sehr stark von Mitgliedsland zu Mitgliedsland. Manche Staaten haben sehr geringe Importquoten, während andere zu 100 Prozent von Energieimporten abhängen sind. Über die ganze EU teilen sich die Importe mit Öl (58%), Gas (29%) und Kohle (12%) auf.³⁷

Die USA importierten 2011 mit 470 Mtoe 20% ihres Primärenergieverbrauchs und exportierten ungefähr 10%. Von den gesamten Energieimporten, der USA entfielen 85% auf Rohöl, die restlichen 15% auf andere Energieträger. Die Hauptexportgüter der USA sind Öl (57%), Kohle (22%) und Erdgas (15%).³⁸

³⁵ vgl. Nuklearforum, Red Book 2005: Uranreserven erlauben Ausbau der Kernenergie (31.05.2006). <http://www.nuklearforum.ch/de/aktuell/e-bulletin/red-book-2005-uranreserven-erlauben-ausbau-der-kernenergie>

³⁶ Berechnung aus Energieproduktion und Primärenergieverbrauch.

³⁷ European Commission: EU energy in figures 2012, Seite 37.

³⁸ eia: Annual Energy Review 2011, Seite 45, 117, 178, 198.

Die Situation der noch verfügbaren Energievorkommen ist nicht ganz klar und so kann keine genaue Prognose abgegeben werden, wie sich die Energieimporte entwickeln. Jedoch sind aufgrund der steigenden Energiepreise beide Regierungen bestrebt die Energieimporte zu verringern. Dies kann aber nur geschehen, wenn auf andere Energieressourcen umgestellt wird.

2.3.4 Aktuelle Energieträger zur Strom- und Wärmeerzeugung

Die in dieser Arbeit beschriebenen erneuerbaren Energiequellen werden zum Großteil zur Strom- und Wärmeerzeugung benutzt. Die Strom- und Wärmeproduktion in Europa und den USA ist sehr stark von fossilen Energieträgern abhängig.

In der **EU** werden 51% der Stromerzeugung aus Kohle (25%), Gas (23%) und Öl (3%) generiert. Mit 27 % wird außerdem sehr stark auf Atomenergie gesetzt. Erneuerbare Energieträger werden mit 21 % am geringsten eingesetzt. In der Wärmeproduktion werden 79% mit fossilen Energieressourcen generiert. Dabei ist Gas mit 43% und Kohle mit 29% am stärksten vertreten. 17% werden mit alternativen Energiequellen erzeugt, und die Restlichen 5% werden durch Abwärme beigesteuert. In der **USA** tragen sie zur Elektrizitätserzeugung 67 % und in der Wärmeerzeugung 92% bei. Bei der Wärmegeneration wird 75% von Gas abgedeckt und 17% mit Öl. In der Stromerzeugung wird neben 42% Kohle und 25% Gas, 19% mit Atomkraft produziert. Mit 8% aus Wasserkraft und 6% von anderen erneuerbaren Energiequellen werden diese noch äußerst gering eingesetzt. Die nachfolgenden Grafiken zeigen die Verteilung der Primärenergieträger, welche im Moment in Europa und den USA für die Elektrizitäts- und Wärmeproduktion verwendet werden.

- EU-27 und U.S. Elektrizitätserzeugung nach Energieträgern, 2010.^{39 40}

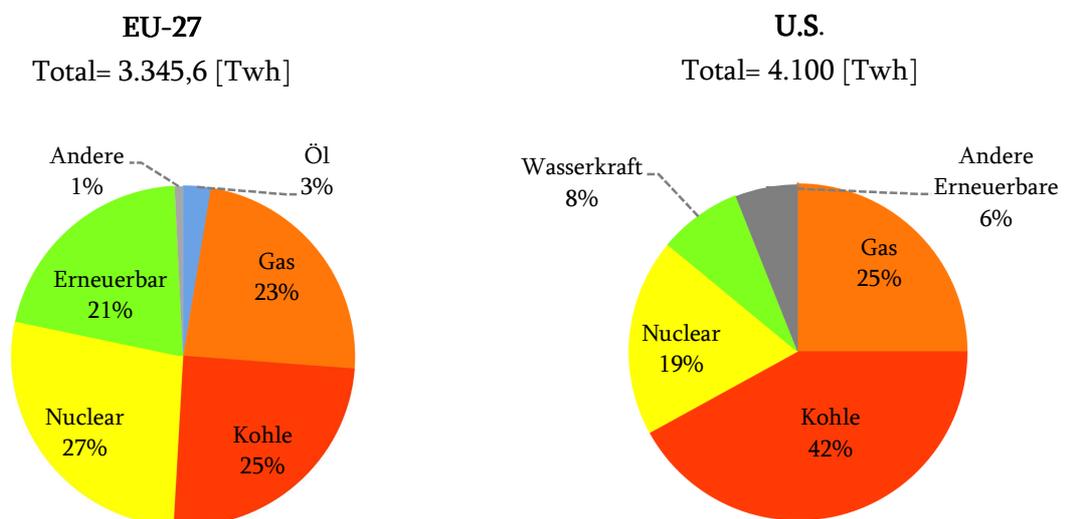


Abbildung 11: EU-27 und U.S. Elektrizitätserzeugung nach Energieträgern (in %), (2010).

³⁹ European Commission: EU energy in figures 2012, Seite 83.

⁴⁰ eia: Annual Energy Review 2011, Seite 65.

- EU-27 und U.S. Wärmeerzeugung nach Energieträgern.^{41 42}

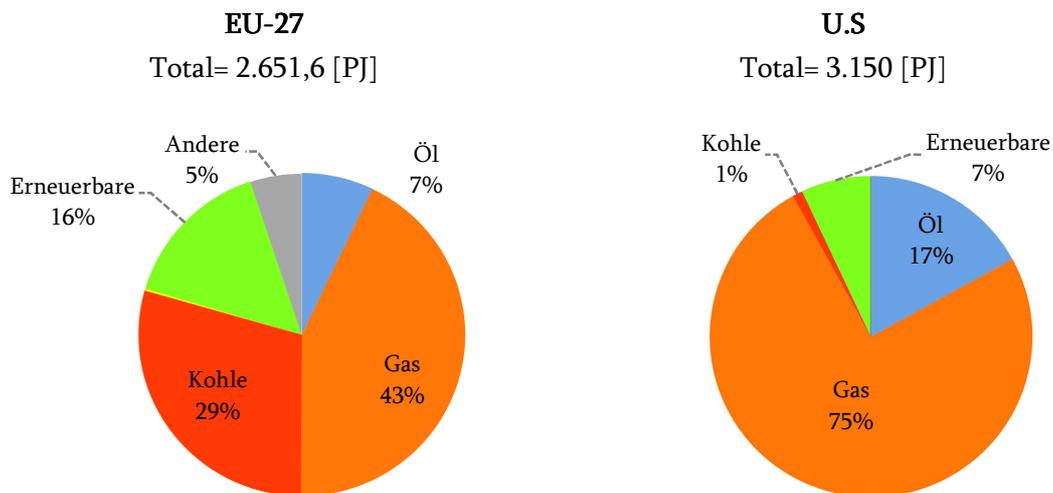


Abbildung 12: EU-27 und U.S. Wärmeerzeugung nach Energieträgern (in %), (2010).

Aktuell geht der Ausbautrend bei Elektrizität-Kraftwerken zu nachhaltigen Energiesystemen. In der **EU** werden seit fünf Jahren in Folge mehr erneuerbare Energien als fossile oder atomare verwendet. 2011 wurde eine Leistung von 45 GW an stromproduzierenden Kraftwerken gebaut, wovon 72 Prozent auf regenerative Energien entfallen. Mit 21 GW trug die Photovoltaik beinahe die Hälfte zum gesamten Zubau bei, gefolgt von Gas, mit einem Leistungszuwachs von rund 9,7 GW und Wind mit rund 9,6 GW. Der Rest fällt auf Kohlekraftwerke (rund 2,2 GW), Große Wasserkraftwerke (0,6 GW) Solarthermie (0,47 GW), Biomasse (0,30 GW) und Geothermie (0,03 GW). Mit 32 GW neuinstallierten stromerzeugenden regenerativen Kraftwerken war 2011 ein Rekordjahr.⁴³ In den **USA** hatten erneuerbare Energien 2012 einen Anteil von 55% an der neu installierten, stromproduzierenden Kraftwerkskapazität. Neben der Wasserkraft wird aktuell Windkraft sehr intensiv ausgebaut. Wind war die Nummer eins Energie bei der Installation von stromproduzierenden Kraftwerken, mit einem Anteil von 42% noch vor Gas. Doch auch Photovoltaik wird immer stärker ausgebaut.⁴⁴

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass eine Wärme- und Stromerzeugung ohne fossile Energieträger derzeit nicht vorstellbar ist. Nebenbei ist Atomstrom einer der wichtigsten Elektrizität Lieferanten. Der aktuelle Trend geht jedoch hinzu Erneuerbare Energiequellen und diese könnten in Zukunft noch stärker ausgebaut werden.

⁴¹ European Commission: EU energy in figures 2012, Seite 89.

⁴² eia: Annual Energy Review 2011, Seite 76.

⁴³ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Erneuerbare Energien in Zahlen, Nationale und Internationale Entwicklung, Juli 2012.

⁴⁴ American Wind Energy Association, AWEA: Industry Statistics, (1.30.2013).

http://www.awea.org/learnabout/industry_stats/index.cfm

2.3.5 Energieversorgung - Stromnetz

Für eine nachhaltige Energieversorgung spielt der technische Zustand der Energieinfrastruktur eine wichtige Rolle, und deshalb folgt nun ein kurzer Überblick über die Stromversorgung in Europa und den USA.

2.3.5.1 Europa

Europa hat ein Verbundstromnetz aus Hoch- und Höchstspannungsleitungen zur Verteilung von elektrischer Energie. Es existieren aber in Europa aufgrund der räumlichen Aufteilung mehrere voneinander getrennte Verbundsysteme. Neben dem zentraleuropäischen Verbundnetz (UCTE) existieren in Europa getrennt das Verbundnetz der nordeuropäischen Staaten (NORDEL) und das in Großbritannien (UKTSOA). Die eigenständigen Verbundnetze in Nordeuropa und in Großbritannien haben ihren technischen Grund darin, dass sich Dreiphasenwechselstrom größerer Leistung nicht über die notwendigen längeren Seekabel übertragen lässt. Die räumlich größte Ausdehnung des Stromnetzes geht bis nach Russland und die Ukraine. Diese Regelzone umfasst auch einige östliche EU-Mitgliedstaaten wie Estland und Lettland. Die Stromnetze der nordafrikanischen Länder Marokko, Algerien, Tunesien und Westsahara sind technisch über eine Wechselspannungsverbindung zwischen Spanien und Marokko synchron an das zentraleuropäische Netz gekoppelt. Die nachfolgende Grafik zeigt das europäische Verbundnetz.⁴⁵

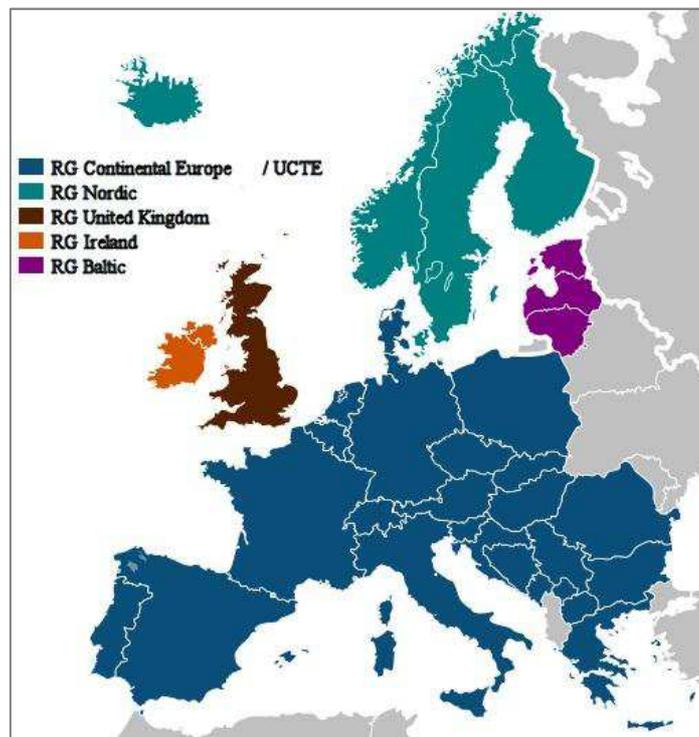


Abbildung 13: Europäisches Verbundnetz.⁴⁶

⁴⁵ European Network of Transmission System Operators for Electricity (entsoe): The European Network of Transmission System Operators for Electricity (2012). <https://www.entsoe.eu/about-entso-e/>

⁴⁶ Wikipedia: File:ElectricityUCTE.svg, (24.11.2012).

<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:ElectricityUCTE.svg>

Der wichtigste Punkt ist jedoch, dass in Europa nach wie vor eine Netzinfrastruktur fehlt, die es erneuerbaren Energien erlauben würde, sich zu entwickeln und unter gleichen Bedingungen zu konkurrieren wie die traditionellen Energieträger. Die aktuellen Projekte für große Windparks im Norden und für Solaranlagen im Süden benötigen Stromleitungen für den Transport des *grünen* Stroms in die verbrauchsstarken Gebiete. Das derzeitige Netz wird die Mengen an erneuerbaren Strom, die aus der Zielvorgabe für 2020 resultieren, nur schwer aufnehmen können. Intelligente Zähler und Stromnetze sind der Schlüssel zur vollständigen Nutzung des Potenzials, das erneuerbare Energien, Energieeinsparungen und verbesserte Energiedienstleistungen bergen.

Der Ausbau der europäischen Stromnetze wird in den kommenden Jahren aber hohe Ausgaben erfordern. Bis 2020 werden Investitionen von fast 1 Billion Euro notwendig sein, um veraltete Kapazitäten zu ersetzen, Infrastrukturen zu modernisieren und anzupassen und der steigenden und sich wandelnden Nachfrage nach Energie mit niedrigem CO₂-Ausstoß Rechnung zu tragen.⁴⁷

2.3.5.2 USA

In den USA hat jeder Bundesstaat seine eigene Energieversorgung. Das Stromnetz wurde zwar mittels Hauptspannungsleitungen überregional angelegt um den Stromfluss besser bundesweit managen zu können, jedoch gibt es kein nationales Netz. Das Stromnetz ist auf folgende drei Regionen aufgeteilt.

- Eastern Interconnection
- Western Interconnection
- Texas Interconnection

Die nachfolgende Grafik zeigt die Aufteilung des amerikanischen Stromnetzes in die drei Interconnections.⁴⁸

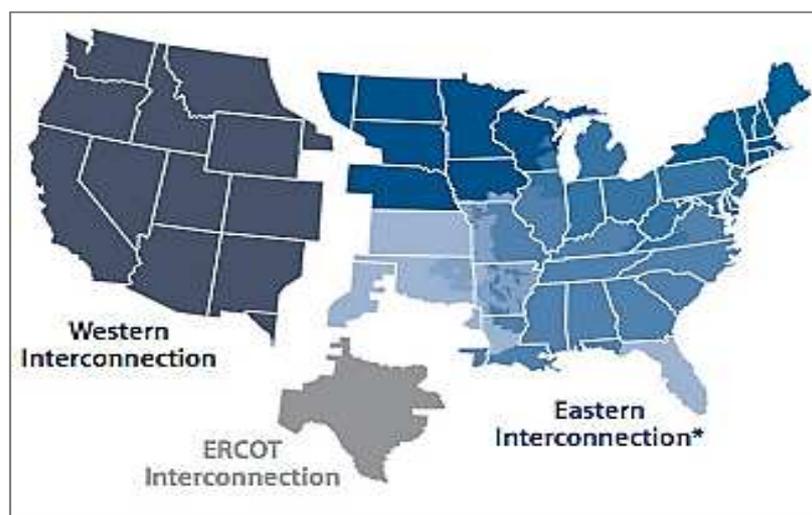


Abbildung 14: U.S. Stromnetz aufgeteilt auf die drei Regionen.

⁴⁷ Europäische Union: Energie 2020, Seite 13.

⁴⁸ npr: Visualizing The U.S. Electric Grid (24.04.2009)

<http://www.npr.org/templates/story/story.php?storyId=110997398>

Das gravierende Problem am U.S. Stromnetz ist der technische Zustand der Stromnetze in den einzelnen Bundesstaaten. Sie sind regional ausgerichtet und verfügen durch die Unterteilung in die Eastern-, Western-, und Texas Interconnection nur über begrenzte interregionale Übertragungskapazitäten. Texas ist damit fast von den anderen Stromnetzen abgeschottet. Diese drei großen Übertragungsnetze verfügen, über knapp 340.000 Kilometer Langstreckenübertragungsleitungen. Engpässe treten vor allem in der Region entlang der Ostküste, zwischen New York und dem nördlichen Virginia, und im südlichen Kalifornien auf. Außerdem kommt noch hinzu, dass das Stromnetz deutlich weniger stabil ist als beispielsweise das europäische Netz, resultierend daraus, dass seit Jahrzehnten Amerika zu wenig in moderne Strom- und Telekommunikationsnetze investiert. Ein Großteil der Leitungen verläuft noch oberirdisch auf Holzmasten und der Neubau von Leitungen und Umspannwerken verläuft viel zu langsam. Dadurch ist die Energieversorgung besonders anfällig für Naturkatastrophen, wie Wirbel- oder Schneestürme. Stürzt ein Baum auf ein Kabel, gehen schnell in einem ganzen Viertel die Lichter aus. Großflächige Stromausfälle sind daher keine Seltenheit in den USA, wie die Stromausfälle an der Ostküste infolge des Hurrikans Sandy 2012 zeigen. Um das Stromnetz zu modernisieren und für erneuerbare Energie effizienter zu machen, schätzt die amerikanische Ingenieursgesellschaft den Investitionsbedarf bis 2030 auf 1,5 Billionen Dollar.⁴⁹

Investitionen in das Stromnetz sind in Europa und den USA notwendig, um einen nachhaltige Energieversorgung zu realisieren. Doch gerade in finanzschwachen Zeiten, wie wir sie heute haben, werden diese nicht leicht zu ermöglichen sein.

2.3.6 Energieausblick

Einen konkreten Energieausblick zu geben ist schwierig, da er von sehr vielen Faktoren, wie Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung, die Förderbarkeit und Preisentwicklung fossiler Energieträger abhängig ist. Für eine Prognose wie die Aufteilung auf die einzelnen Energieträger sein wird, ist dazu noch entscheidend, wie die politischen Vorgaben umgesetzt werden. Ebenso spielen der CO₂ Ausstoß und der Klimawandel eine Rolle.

Wie die Tabelle auf der nachfolgenden Seite zeigt wird der weltweite Primärenergiebedarf um 53% von 12.620 auf 19.230 Mteo, bis 2035 steigt. Gründe dafür sind, dass sich einerseits die westlichen Länder von der Finanzkrise erholen und andererseits die Wirtschaft und die Bevölkerung in den Schwellenländern wächst. In Europa und Amerika wird sich der Energieverbrauch bis 2035 nicht ausschlaggebend ändern, während aber in nicht-OECD Länder, ein Primärenergiebedarfszuwachs von 2,3% pro Jahr erwartet wird.

⁴⁹ Weltenergieat Deutschland e.V., Efd 2010 Energiepolitik der USA, Berlin 2010.

▪ Prognose Primärenergiebedarf nach Region.⁵⁰

Region	Primärenergieverbrauch [Mtoe]						Prozentänderung pro Jahr
	2008	2015	2020	2025	2030	2035	2008-2035
OECD	6.108	6.260	6.515	6.745	6.970	7.188	0,6
Amerika	3.073	3.153	3.275	3.398	3.540	3.675	0,7
Europa	2.055	2.090	2.173	2.243	2.295	2.345	0,5
Asien	980	1.018	1.068	1.105	1.135	1.168	0,6
Nicht-OECD	6.513	8.075	8.975	10.040	11.068	12.043	2,3
Europa und Eurasien	1.263	1.285	1.308	1.350	1.400	1.460	0,5
Asien	3.448	4.703	5.375	6.160	6.858	7.470	2,9
Mittlerer Osten	640	775	848	933	1.033	1.133	2,1
Afrika	470	538	590	648	713	785	1,9
Zentral/Südamerika	693	775	855	950	1.065	1.195	2,0
Weltweit	12.620	14.335	15.490	16.785	18.038	19.230	1,6

Tabelle 1: Prognose weltweiter Primärenergiebedarf nach Region, 2008-2035 (in Mtoe).

In den westlichen Ländern wird die Frage nach den zur Produktion verwendeten Energieträgern entscheidend sein. In Regionen wie Asien und Teilen von Südamerika wird die Energieversorgung generell zum Thema. Auch die Thematik der Preisentwicklung und die Verfügbarkeit fossiler Energieträger wird eine der zukunftsweisenden Fragen sein.

2.4 Gründe für eine nachhaltige Energieversorgung

Der Begriff *Nachhaltigkeit* wird verwendet, wenn es um einen schonenden Umgang mit unserer natürlichen Umwelt, um eine gerechtere Verteilung des Wohlstands in der Welt und um eine humane Gestaltung der Lebensgrundlagen für alle Menschen geht. Nachhaltigkeit umfasst somit sowohl ökologische als auch ökonomische und soziale Aspekte, die stets gemeinsam und in ihrer Wechselwirkung betrachtet werden müssen.⁵¹ Eine umfassende Definition von Nachhaltigkeit wurde erstmals von der Brundtland-Kommission erarbeitet, von der Rio-Konferenz 1992 aufgegriffen und seither im Rahmen des Rio-Folgeprozesses in zahlreichen Dokumenten niedergelegt, konkretisiert und interpretiert. Sie lautet:

⁵⁰ eia: International Energy Outlook 2011, Seite 74.

⁵¹ Erneuerbare Energien Innovation für die Zukunft, Berlin 2011, Seite 8.

“Nachhaltige Entwicklung befriedigt die Bedürfnisse der heutigen Generationen ohne die Fähigkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen und ihre eigenen Lebensstile zu wählen.”⁵²

Für diese nachhaltige Entwicklung spielt Energie eine zentrale Rolle. Die Art ihrer Verfügbarkeit wirkt sich praktisch in allen Bereichen sozialen, ökonomischen und politischen Handelns aus. Der Zustand von Umwelt und Klima wird durch sie beeinflusst und vielfach entscheidet sie über ein friedliches oder konfliktbelastetes Zusammenleben von Völkern. Demzufolge ist auch die Energienutzung nur nachhaltig, wenn sie eine ausreichende und dauerhafte Verfügbarkeit von geeigneten Energieressourcen sicherstellt, und zugleich die negativen Auswirkungen von Energiebereitstellung, -transport und -nutzung begrenzt. Daraus lassen sich konkrete Leitlinien definieren, die als Orientierung für die im Energiesektor handelnden Akteure, und für die Entwicklung energiepolitischer Handlungsstrategien, dienen können (*siehe Anhang 5.3*). Diese Leitlinien sind als Mindestanforderungen einer nachhaltigen Entwicklung zu verstehen. Misst man die heutige Energieversorgung an diesen Leitlinien, so lassen sich wesentliche Defizite erkennen:

- Übermäßige Verbrauch begrenzter Energieressourcen
- Globale Klimaveränderung
- Starke Gefälle des Energieverbrauchs zwischen Industrie- und Entwicklungsländern.⁵³

Durch die stetig steigende Erdbevölkerung sowie des Energieverbrauchs ist es von großer Bedeutung auf nachhaltige Energiesysteme umzustellen. Europa und die USA müssen eine Führungsrolle im Einsatz erneuerbarer Energiequellen einnehmen, um einen Wandel zu einer nachhaltigen Energieversorgung schaffen zu können.

2.4.1 CO₂-Ausstoß und dadurch bedingter Klimawandel

Der CO₂-Ausstoß durch die Energieproduktion durch fossile Energieträger und der dadurch bedingte Klimawandel sind die Hauptgründe, die für eine nachhaltige Energiewirtschaft sprechen. Dass es einen Klimawandel gibt, ist mittlerweile allgemein anerkannt. Das Internationale Panel on Climate Change (IPCC) hält in seinen Publikationen die unstrittigen Erkenntnisse zum Klimawandel und seinen Ursachen fest (IPCC 2007). Mit dem Klimawandel sind die globale Erwärmung und ihre Folgen gemeint, die durch den Einfluss des Menschen auf das globale Klima hervorgerufen werden. Die wissenschaftlichen Daten, auf denen die Aussagen über den Klimawandel beruhen, sind:

- Globale Durchschnittstemperatur
- Anstieg des durchschnittlichen Meeresspiegel und
- Masse der Schnee- und Eisdecke

⁵² Brundtland 1987: Rio-Agenda 21, 1992.

⁵³ Erneuerbare Energien Innovation für die Zukunft, Berlin 2011, Seite 9.

In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts ist die globale Durchschnittstemperatur signifikant gestiegen, dasselbe gilt für den Meeresspiegel und die summierte Schnee- und Eismasse ist weniger geworden. Die Tatsache der Erderwärmung ist also unstrittig. Sie geht mit einer erhöhten Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre einher.

Die Treibhausgasemissionen sind im 20. Jahrhundert exponentiell angestiegen und erhöhen sich aktuell weiter dramatisch. Die Emissionen haben sich von 1970 bis 2004 um 70 Prozent erhöht, der Ausstoß von CO₂ in diesem Zeitraum gar um 80 Prozent. Die Hauptgründe für den Anstieg der CO₂-Emissionen sind der Bevölkerungszuwachs und die Verbrennung von Kohle, Mineralöl und Erdgas. Die Abbildung zeigt die Entwicklung der globalen Co₂-Emissionen und den Zusammenhang mit ihren Hauptursachen.⁵⁴

- Entwicklung der globalen CO₂-Emissionen.⁵⁵

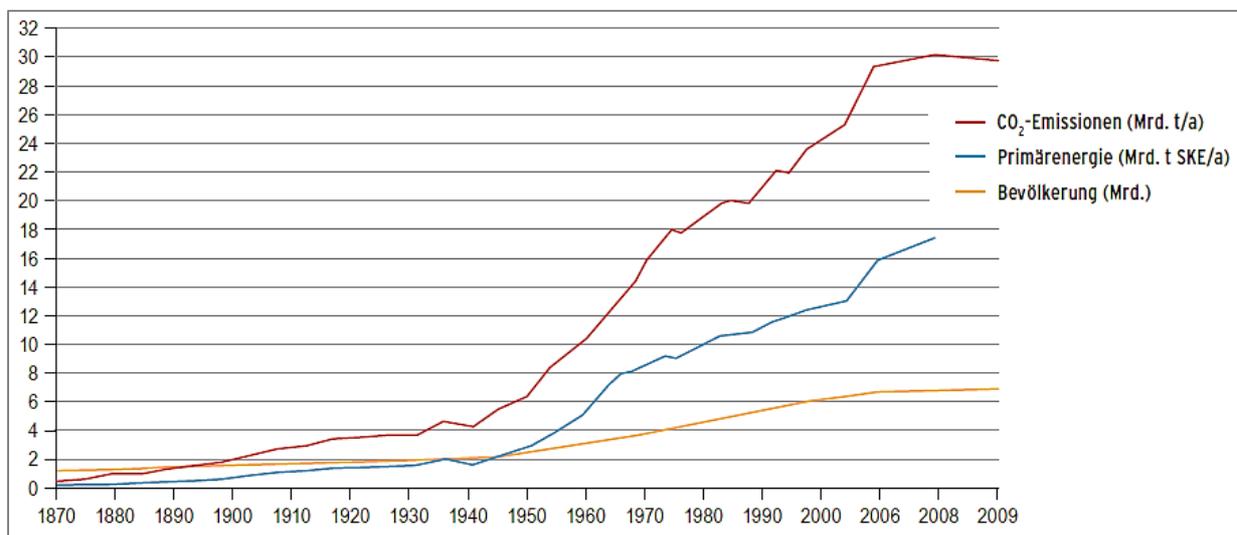


Abbildung 15: Entwicklung der globalen energiebedingten CO₂-Emissionen seit 1870 und ihre Hauptursachen: Bevölkerungszuwachs und Verbrennung von Kohle Mineralöl und Erdgas. (1 Gt SKE [Steinkohleeinheiten] entspricht 29,3 EJ)

Die hohe Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre führt also zum weltweiten Treibhauseffekt und seinen Folgen. Sollte sich die Treibhausgaskonzentration weiter so dramatisch erhöhen wie bisher, ist bis zum Ende des 21. Jahrhunderts mit einem Durchschnittstemperaturanstieg von mehreren Grad Celsius zu rechnen, was wiederum massive Folgewirkungen nach sich ziehen würde. Zum Beispiel ein vollständiges Abschmelzen des Polareises und dem damit einhergehenden Anstieg des Meeresspiegels um mehrere Meter sind nur eine Folge. Des Weiteren sind Änderungen der Niederschlagsverteilung, ein Anstieg der Häufigkeit extremer Wettersituationen, eine Verschiebung von Klima- und Vegetationszonen und die Verschlechterung der Böden mit fatalen Folgen für die ohnehin angespannte Welternährungssituation zu erwarten. Soll also der Klimawandel gebremst und auf ein erträgliches Niveau gebracht werden, muss der Ausstoß von Treibhausgasen verringert werden, um letztlich die Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre konstant halten zu können. Um

⁵⁴ Seitz Bernhard 2010, Seite 26.

⁵⁵ Erneuerbare Energien Innovation für die Zukunft, Berlin 2011, Seite 13.

den globalen durchschnittlichen Temperaturanstieg auf ungefähr zwei bis drei Grad Celsius begrenzen zu können, müsste die Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre bei 490 ppm CO₂ stabilisiert werden. Die Energiebedingte CO₂-Emissionen tragen weltweit etwa zur Hälfte zum menschlich verursachten Treibhauseffekt bei und stehen damit im Mittelpunkt der Bemühungen um den Klimaschutz. Dies würde heißen, dass der Ausstoß von CO₂ bis 2050 um mindestens 80 Prozent reduziert werden müsste.⁵⁶ Wie sich der CO₂-Ausstoß in Zukunft entwickeln wird hängt also davon ab, ob der Einsatz von fossilen Energieträgern in der weltweiten Energieproduktion vermindert werden kann. Das IPCC hat 2007 verschiedene Szenarien zur Entwicklung der globalen CO₂-Emissionen veröffentlicht.

- Szenarien der globalen CO₂-Emissionen.⁵⁷

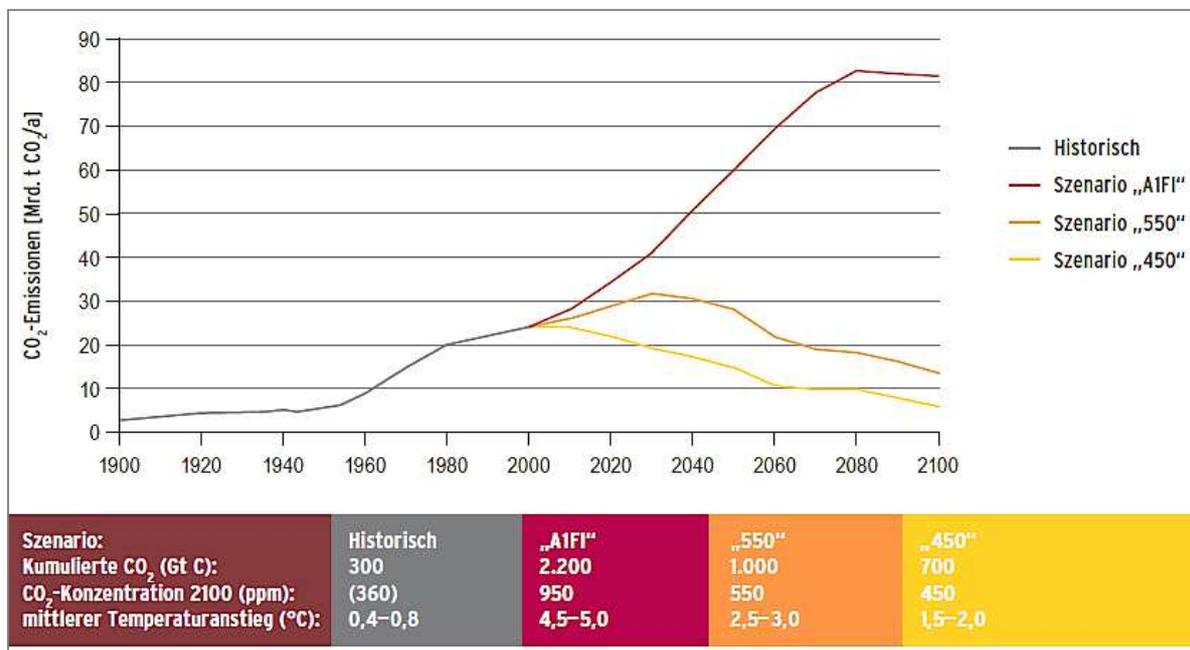


Abbildung 16: Entwicklung der energiebedingten CO₂-Emissionen in verschiedenen IPCC-Szenarien im Vergleich zum historischen Verlauf und ihre Auswirkungen auf CO₂-Konzentration und Temperatur in der Atmosphäre. (A1FI: Wachstum Szenario mit Deckung durch weitgehend fossile Energieträger; 450 und 550: jeweilige Mittelwerte von Szenarien, die zu einer stabilen Konzentration von CO₂ in der Atmosphäre führen)

Die Industrieländer sind für rund 90 % der bis heute durch den Energieeinsatz entstandenen CO₂-Emissionen verantwortlich. Derzeit emittieren sie zwei Drittel der globalen CO₂-Emissionen. Ein Bewohner in Europa ist für den Ausstoß von über 10 t/a Kohlendioxid verantwortlich. Ein US-Amerikaner bläst pro Jahr 22 t, also gut die doppelte Menge, in die Luft, ein Chinese dagegen nur 2,7 t und ein Inder sogar nur 0,7 t. Die große Verantwortung der Industrieländer für den Treibhauseffekt wird hierdurch besonders deutlich. Wie die Verteilung der Treibhausgase weltweit aussieht zeigt die folgende Abbildung.

⁵⁶ Seitz Bernhard 2010, Seite 27.

⁵⁷ Erneuerbare Energien Innovation für die Zukunft, Berlin 2011, Seite 14.

- Treibhausgasemissionen nach Regionen 2009.⁵⁸

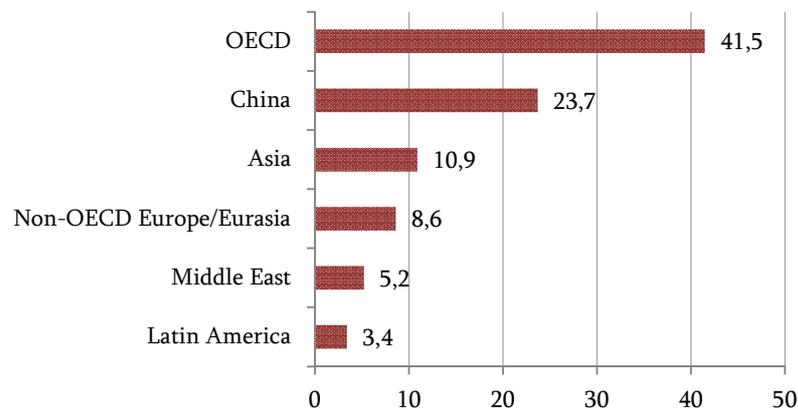


Abbildung 17: Treibhausgasemissionen nach Region, (2009).

Die negativen Wirkungen des Kohlendioxids haben ausschließlich globalen Charakter und eine Verminderung der Emissionen führt nicht direkt zu lokalen Vorteilen für die dortigen Energieverbraucher. Erst wenn weltweit Maßnahmen ergriffen werden, können die CO₂-Emissionen in dem notwendigen Ausmaß reduziert werden. Einzelne Staaten oder Staatengruppen können allerdings eine wichtige Vorreiterrolle übernehmen. Die globale Dimension des Treibhauseffektes erfordert eine wesentlich umfassendere Art politischen Handelns als dies bei ausschließlich nationalen Problemen der Fall ist. Angesichts der weitreichenden Gefahren des Treibhauseffektes ist der Klimaschutz eine ganz zentrale Begründung für die Notwendigkeit einer nachhaltigen Energiewirtschaft.⁵⁹

2.4.2 Verfügbarkeit fossiler Ressourcen

Ein wichtiger Punkt für Europa sowie Amerika ist die Frage der noch verfügbaren fossilen Ressourcen und welche Reichweite diese Energieträger haben. Dabei muss zwischen wirtschaftlich gewinnbaren Vorräten den aktuell noch nicht gewinnbringend abgebauten unterschieden werden. Die Grafik auf der nachfolgenden Seite zeigt die Reichweite von Erdgas, Erdöl, Stein und Braunkohle sowie Uran, ab dem Jahr 2000.

⁵⁸ International Energy Agency (iea): Key World Energy Statistics 2011, Paris 2011.

⁵⁹ Erneuerbare Energien Innovation für die Zukunft, Berlin 2011, Seite 15.

- Reichweite fossiler Energieträger in Jahren.⁶⁰

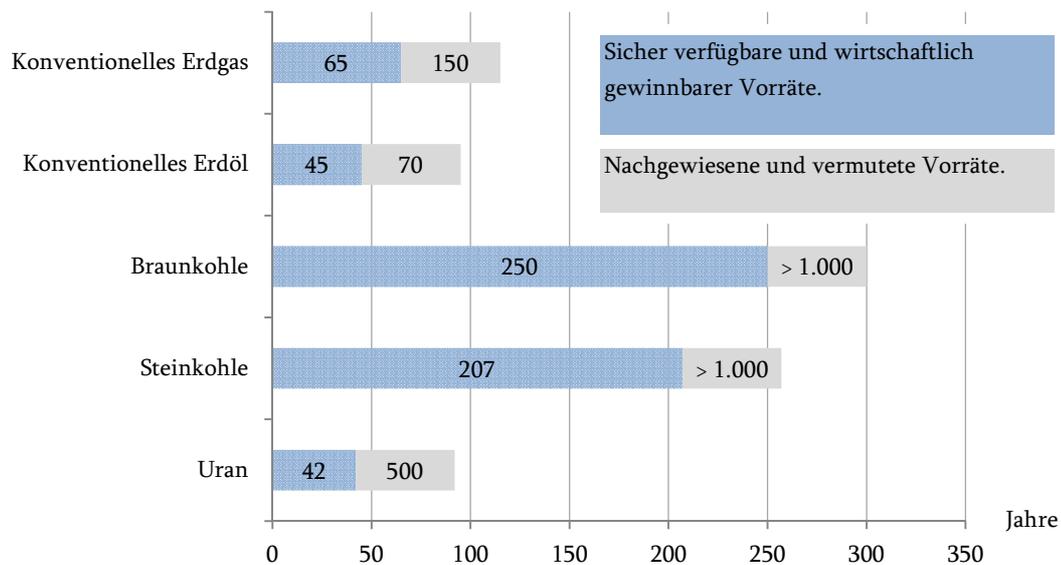


Abbildung 18: Reichweite fossiler Energieträger, (in Jahre).

Die USA und Europa sind im Moment stark von Importen fossiler Energieträger angewiesen. Da die Reserven an Erdöl und Erdgas sehr ungleichmäßig über den Globus verteilt sind, wird die Abhängigkeit von diesen Gebieten immer größer. (Siehe Kapitel 2.3.2). Die Reserven an Erdöl und Erdgas sind sehr ungleichmäßig über den Globus verteilt. Über 70 % der Erdölreserven und über 65 % der Erdgasreserven befinden sich innerhalb einer strategischen Ellipse von Ländern, die von Saudi-Arabien im Süden über Irak und Iran bis nach Russland reicht. Dadurch wäre ein gesicherter Zugang zu preisgünstigen Energieressourcen nicht mehr gegeben. Diese Tatsache ist gerade für die energiehungrigen Industrieländer von so großer Bedeutung, dass er zur Entstehung und Vertiefung einer Vielzahl politisch oder sogar militärisch ausgetragener Konflikte beiträgt, was die sicherheitspolitische Bedeutung erneuerbarer Energien verdeutlicht. Nebenbei sind die fossilen Energieträger Waren und Objekte der Spekulation.⁶¹

Aus der Beschränktheit und der geografischen Verteilung der Energiereserven leitet sich also zwingend ab, heute schon mit dem Aufbau einer zukunftsverträglicheren Energieversorgung zu beginnen. Diese Aussage gilt auch dann noch, wenn man zusätzlich die Ressourcen an fossilen Energien berücksichtigt, also die unter gegenwärtigen Rahmenbedingungen noch nicht lohnend abbaubaren Lagerstätten. Die Erschließung dieser Ressourcen würde einen ungleich höheren Aufwand nach sich ziehen, als er heute bei der Förderung der Reserven erforderlich ist. Auch die Umweltauswirkungen ihrer Förderung sind alles andere als klar. Dies betrifft die Gefahren, wie großflächige Landschaftszerstörung bei der Förderung von Kohle, Erdöl und Uran, die Meeresverschmutzung durch Erdölförderung und bei Tankerhavarien sowie die vermehrte Umweltbelastungen durch den Abbau unkonventioneller Schiefergases. Des Weiteren ist mit

⁶⁰ Vgl. Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch: Reichweite von Energieträgern (10.11.2005). http://asue.de/themen/umwelt---klimaschutz/grafiken/grafik_323.html

⁶¹ Erneuerbare Energien Innovation für die Zukunft, Berlin 2011, Seite 13.

steigenden Preisen weit vor dem Versiegen der fossilen Energievorräten zu rechnen, nämlich ab dem Zeitpunkt, an dem die Förderung die Nachfrage auf Dauer nicht mehr decken kann.⁶²

2.4.3 Umstellung auf Nachhaltige Energiesysteme

Für eine Umgestaltung der Energieversorgung hin zu einer nachhaltigen Richtung ist die Effizienzsteigerung und ein Umdenken im Energieverbrauch entscheidend, jedoch nur eine deutliche Steigerung des Beitrags erneuerbarer Energien bietet eine Chance, in einen nachhaltigen Energiepfad einzuschwenken. Deshalb ist der Ausbau von erneuerbaren Quellen entscheidend. In den letzten Jahren haben sich die Technologien sehr stark entwickelt und der Einsatz und die Nutzung von erneuerbaren Quellen werden immer effizienter. Es gibt mittlerweile auch eine beträchtliche Vielfalt, wie erneuerbare Energiequellen zur Erzeugung von Energie verwendet werden können und auch hier gibt es eine ständige Weiterentwicklung. Die nachfolgende Grafik soll einen Überblick über diese geben.

- Erneuerbare Energiequellen.⁶³

Primärenergiequelle	Erscheinungsform	Natürliche Energieumwandlung	Technische Energieumwandlung	Sekundärenergie
Sonne	Biomasse	Biomasse-Produktion	Heizkraftwerk/Konversionsanlage	Wärme, Strom, Brennstoff
	Wasserkraft	Verdunstung, Niederschlag, Schmelzen	Wasserkraftwerk	Strom
	Windkraft	Atmosphärenbewegung	Windenergieanlage	Strom
		Wellenbewegung	Wellenkraftwerk	Strom
	Solarstrahlung	Meeresströmung	Meeresströmungskraftwerk	Strom
		Erwärmung der Erdoberfläche und Atmosphäre	Wärmepumpen	Wärme
			Meereswärmekraftwerk	Strom
		Solarstrahlung	Photolyse	Brennstoff
			Solarzelle, Photovoltaik-Kraftwerk	Strom
	Kollektor, solarthermisches Kraftwerk	Wärme, Strom		
Mond	Gravitation	Gezeiten	Gezeitenkraftwerk	Strom
Erde	Isotopenzerfall und Restwärme aus Erdentstehung	Geothermik	Heizwerk, Heizkraftwerk	Wärme, Strom

Abbildung 19: Einsatz erneuerbarer Energiequellen.

Aufgrund der klima- und energiepolitischen sowie umwelttechnischen Gründe muss unsere Energieversorgung nachhaltiger gestaltet werden. Die USA und Europa haben erkannt, dass die Umstellung auf eine nachhaltige Energieversorgung unumgänglich ist und dementsprechende politische Vorgaben und Gesetze verabschiedet. Dies soll auch zukünftig den Wirtschafts- und Innovationstandort der beiden Regionen sichern.

⁶² Ebda, Seite 15.

⁶³ Erneuerbare Energien Innovation für die Zukunft, Berlin 2011, Seite 7.

2.5 Energiepolitische Situation

Die Regierungen der EU und den USA wissen, dass es von entscheidender Bedeutung ist erschwingliche Energie bereitzustellen, um wettbewerbsfähige wirtschaften zu können. Da Europa der weltweit größte Energieimporteur ist, wird nun vermehrt auf erneuerbare Energiequellen gesetzt. In den letzten Jahren wurden Gesetzen und Richtlinien erarbeitet, die eine nachhaltige Energiezukunft ermöglichen sollen. In den USA ist die Situation eine andere. Seit einigen Jahren wird sehr stark auf Schiefergas sowie Öl gesetzt und erneuerbare Energien spielen in der nationalen Energiepolitik keine große Rolle. Einige Bundesstaaten haben aber Ziele zum Ausbau von erneuerbaren Energien definiert. Des Weiteren fördern die USA sehr stark nachhaltige Technologien und sind mittlerweile eines der interessantesten Länder für Investitionen in erneuerbare Energiesysteme.

2.5.1 EU

Die EU betreibt im Augenblick die weltweit ambitionierteste Klimapolitik. Der Europäische Rat hat mit den *20-20-20 Zielen* ehrgeizige energie- und klimaschutzpolitische Ziele für 2020 verabschiedet. Überdies hat sich der Europäische Rat langfristig zur Dekarbonisierung verpflichtet. Die EU und andere Industrieländer sollen bis 2050 ihre CO₂- Emissionen um 80 – 95% reduzieren. Diese Vorgaben haben den Grundstein für eine grüne Energiewende gelegt, jedoch werden noch weit größere Anstrengungen von Nöten sein, um die gesetzten Ziele tatsächlich zu erreichen.

2.5.1.1 20-20-20 Ziele

Im Dezember 2008 hat sich die Europäische Union auf ein Zielpaket für Klimaschutz und Energie geeinigt, welches ambitionierte Zielvorgaben bis 2020 enthält (häufig als *20-20-20-Ziele* bezeichnet). Demnach gelten bis zum Jahr 2020 die folgenden europaweiten Vorgaben:

Die Treibhausgasemissionen sollen bis zum Jahr 2020 gegenüber dem Stand von 1990 um 20 Prozent gesenkt werden. Die EU stellt eine Senkung von 30 Prozent in Aussicht, wenn sich andere Industrieländer zu ähnlichen Senkungen bereit erklären. Des Weiteren sollen bis 2020 die Nutzung der erneuerbaren Energiequellen, primär Wind, Sonne und Biomasse, auf 20 Prozent der Gesamtenergieverbrauch erhöht werden. Im Verkehrssektor soll ein Mindestanteil von 10% erreicht werden. Im Jahr 2020 soll außerdem 20 Prozent weniger Energie verbraucht werden, als aus heutiger Sicht erwartbar ist. Dies soll durch bessere Energieeffizienz erreicht werden. Diese Ziele sollen durch weitreichende Maßnahmen erfüllt werden. Beispielsweise sollen energieintensive Wirtschaftszweige und Kraftwerke 21 Prozent ihrer Emissionen gegenüber 2005 einsparen. Es sollen zehn Prozent der Kraftstoffe aus biologischen Quellen erzeugt werden, und es wird verstärkt auf die Technologie der CO₂-Abscheidung gesetzt.⁶⁴

Zur Erreichung der 20 Prozent erneuerbarer Energien wurde außerdem eine eigene Richtlinie zur Förderung derselben verfasst (*siehe Kapitel 2.5.1.2*). Die EU strebt an, mit dem 20-20-20-Ziel eine

⁶⁴ Seitz Bernhard 2010, Seite 28.

Vorbildwirkung gegenüber der übrigen Staatengemeinschaft auszuüben und weltweite, verbindliche Reduktionsziele etablieren zu können.

2.5.1.2 EU –Richtlinie zur Förderung der Nutzung von erneuerbarer Energien

Die Richtlinie zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (Richtlinie 2009/28/EG) wurde 2009 im Rahmen des 20-20-20-Ziels der Europäischen Union durch das Europäische Parlament und den Europäischen Rat beschlossen.⁶⁵

Die Richtlinie gibt jedem EU-Mitgliedland vor, wie viel Energie es 2020 aus erneuerbaren Quellen produzieren muss. Die Zielvorgaben sind national differenziert und reichen von 10 % für Malta bis 49 % für Schweden. Der Betrag hängt von den jeweiligen natürlichen Ressourcen und den aktuellen Energiesituationen der Mitgliedsstaaten ab.

Zur Zielerreichung baut die Richtlinie in erster Linie auf die nationalen Förderinstrumente. Die Mitgliedstaaten haben die Wahl zur Ausgestaltung ihres Fördersystems um ihre Potenziale optimal erreichen zu können. Darüber hinaus führt die Richtlinie flexible Kooperationsmechanismen ein, mit denen die Mitgliedstaaten die Möglichkeit erhalten, zur Erfüllung ihrer Ziele bei Bedarf auch zusammenzuarbeiten. Diese Kooperationsmechanismen sind der statistische Transfer von Überschussmengen erneuerbarer Energie, gemeinsame Projekte zur Förderung oder die (Teil-)Zusammenlegung von nationalen Fördersystemen mehrerer Mitgliedstaaten. Das wichtigste Förderinstrument sind fixe Einspeisetarife mit Abnahmegarantien. Es gibt aber auch die Möglichkeit der Quotenregelung und eine Kombination beider. Einspeisetarife beziehungsweise Einspeiseprämien werden derzeit von über 20 EU-Mitgliedstaaten genutzt. Das Instrument der Einspeiseregulierung, insbesondere auch das deutsche Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), hat im europäischen Vergleich sehr erfolgreich zum Ausbau des Anteils von Strom aus erneuerbaren Energien beigetragen. So wurden 93 Prozent der bis Ende 2010 EU-weit installierten Kapazität von Windenergie an Land und beinahe 100 Prozent der installierten Kapazität von Photovoltaik durch Einspeisesysteme realisiert.⁶⁶

2.5.1.3 Nationale Aktionspläne

Auf Basis der Richtlinie und den darin enthaltenden Vorgaben, wurden die Mitgliedsländer aufgefordert, bis zum 30. Juni 2010 nationale Aktionspläne (National Renewable Energy Action Plan, NREAP) für den Einsatz erneuerbarer Energien zu erstellen. Die nationalen Aktionspläne legen Regelungen für die Einspeisung und Abnahme von erneuerbaren Energien fest. Die enthaltenen Fahrpläne sowie Prognosen, sind nicht nur für die EU wichtige Information sondern auch für Investoren und die Industrie.

⁶⁵ Amtsblatt der Europäischen Union: Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG, 5.6.2009.

⁶⁶ BMU, Erneuerbare Energien in Zahlen, Seite 65.

Die Ausbauziele der EU nach den nationalen Aktionsplänen werden in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.⁶⁷

	Erneuerbare Energiebereitstellung [TWh]				Durchschnittliche Wachstumsrate [%/Jahr]			Anteil [%]
	2005	2010	2015	2020	2005/2010	2010/2015	2015/2020	2020
EE - Stromsektor	479	638	901	1.216	5,9	7,1	6,2	34,5
EE - Wärme- /Kältesektor	632	789	985	1.297	4,5	4,6	5,7	21,4
EE - Transportsektor	36	163	230	345	35,2	7,1	8,5	9,5
EE gesamt	1.147	1.590	2.116	2.858	6,8	5,9	6,2	20,8

Tabelle 2: Zukünftige Entwicklung der erneuerbaren Energien in der EU – Abschätzung auf Basis der Nationalen Aktionspläne für erneuerbare Energie (NREAPs) der EU-Mitgliedstaaten.

Die Auswertung aller NREAPs ergibt, dass das verbindliche EU-Ziel von 20 Prozent im Jahr 2020 nicht nur erreicht, sondern mit 20,8 Prozent voraussichtlich sogar übertroffen wird. Des Weiteren wurden in den nationalen Aktionsplänen auch Ziele für die Nutzungssektoren formuliert, die Aufschluss über die Entwicklung der sektoralen Anteile in der EU geben. Für den Stromsektor ergibt sich ein Anteil der erneuerbaren Energien von 34,5 Prozent bis zum Jahr 2020. Für die erneuerbaren Energien im Wärme-/Kältesektor sowie im Transportbereich werden Anteile von 21,4 Prozent beziehungsweise 9,5 Prozent prognostiziert.

Inwieweit die nationalen Gesetzte zielführend sein werden, wird man in Zukunft sehen. Grundsätzlich werden Verpflichtungen geschaffen, die dem Klimaschutz zuträglich sein können. Jedoch müssen die Mitgliedsstaaten die geschaffene Gesetzte auch umsetzen.

2.5.1.4 SET-Plan

Der European Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan) wurde 2010 verabschiedet. Er stellt eine industrielle Initiative dar, um Technologien für die Erneuerbaren Energien zu entwickeln, und damit die Klimaschutzziele in allen Europäischen Mitgliedsstaaten und insgesamt in Europa, zu erreichen. Der SET-Plan möchte kohlestoffarme Erzeugungstechnologien fördern, damit Europa seine Abhängigkeit von den fossilen Energieimporten vermindert und gleichzeitig die Emissionen verringert.⁶⁸

2.5.1.5 Energiefahrplan 2050

Neben den 20-20-20 Zielen hat sich die EU verpflichtet bis 2050 ihre Treibhausgasemissionen um 80-95% unter den Stand von 1990 zu senken. Um diese Vorgabe zu erreichen, muss die Energieproduktion in Europa nahezu CO₂-frei werden. Die Ziele der Richtlinie *Erneuerbare Energien* werden nicht ausreichen um eine Reduktion von 80-90% bis 2050 zu erreichen. Deshalb arbeitet die Europäische Kommission an dem Energiefahrplan 2050. Dieser zeigt die Schwerpunkte auf, welche zur Erreichung des Reduktionsziels notwendig sind. Wie bei den 20-20-20

⁶⁷ BMU, Erneuerbare Energien in Zahlen, Seite 68.

⁶⁸ Brauner Günther, SET-Plan der EU und Auswirkungen auf die Erzeugung. Würzburg 2011.

Zielen liegt ein Hauptaugenmerk darin, dass das Energiesystem insgesamt wesentlich energieeffizienter gestaltet werden muss. Ebenso wird dem Ausbau von erneuerbaren Energien weiterhin eine wichtige Rolle zugeschrieben.⁶⁹

Mit der Energierichtlinie 2020 und dem Energiefahrplan 2050 sind die Prioritäten der europäischen Energiepolitik nun definiert. Der Umstieg auf erneuerbare Energiequellen wird immer weiter vorangetrieben, um eine nachhaltige Energieversorgung zu erreichen.

2.5.2 USA

In den USA ist die Situation eine andere, denn die Energie- und Klimapolitik wird im Moment nicht sehr groß geschrieben. Präsident Obama hat zwar bei der Vereidigung für seine zweite Amtszeit Mitte Jänner vor den Gefahren des Klimawandels gewarnt und kündigte den Ausbau erneuerbarer Energien an. In der Klimapolitik lautet sein neues Ziel, binnen der kommenden 20 Jahre den Energieverbrauch der US-Haushalte und Unternehmen zu halbieren. Bei seiner Rede kündigte er auch an, er werde sein Kabinett auffordern, Lösungen zu finden, mit denen die Umweltverschmutzung verringert werden und der Übergang zu nachhaltigen Energiequellen schneller gelingen könne. Doch in den USA ist die Akzeptanz von erneuerbaren Energieträgern nicht sehr hoch und es wird schwierig werden mit den Republikanern verpflichtende Ziele zu beschließen. Präsident Obama ist aber in seinem Willen gestärkt, gegen die Klimakatastrophen etwas zu unternehmen:

„Wir können glauben, dass der Supersturm ‚Sandy‘, die härtesten Dürren seit Jahrzehnten und die schlimmsten Großflächenbrände, die einige Staaten je erlebt haben, alle ein seltsamer Zufall sind. Oder wir können an das überwältigende Urteil der Wissenschaft glauben und handeln, bevor es zu spät ist.“⁷⁰

Aktuell sind die Aussagen des Präsidenten aber nur Versprechungen und die USA erleben in diesen Jahren eine **Energiewende ganz eigener Art**. Sie basiert nicht auf Wind und Sonne, sondern auf **fossilen Rohstoffen**, auf einem Öl- und Gasboom, wie es ihn seit 100 Jahren nicht mehr gegeben hat. Laut Vorhersagen der IEA können die USA ab 2030 mehr Öl ausführen als sie einführen. Schon heute sind die USA der weltgrößte Produzent von Erdgas. Das bedeutet, dass nun dem Präsidenten auch noch der Hebel, um Klimapolitik mit dem Argument der Energiesicherheit zu betreiben, fehlt.⁷¹

Die Analyse der US-amerikanischen Energiepolitik zeigt jedoch, dass es für ähnliche energie- und klimapolitische Zielsetzungen auch andere Wege gibt, als sie in Europa diskutiert oder schon beschritten werden. Das kann geschehen indem Energiepolitik auf Technologieoffenheit und einen

⁶⁹ Vgl. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts-Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: Energiefahrplan 2050, Brüssel 12.12.2011.

⁷⁰ Wirtschafts Blatt: Obamas viel beachtete Rede zur Lage der Nation, (13-02-2013).

<http://wirtschaftsblatt.at/home/nachrichten/international/1344194/Obamas-viel-beachtete-Rede-zur-Lage-der-Nation>

⁷¹ Süddeutsche: Wie die neue US-Energiepolitik die Welt verändert, (14.11.2012).

<http://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/boom-fossiler-rohstoffe-in-amerika-wie-die-neue-us-energiepolitik-die-welt-veraendert-1.1522501>

breiten Energieerzeugungsmix setzt, der die nationalen Gegebenheiten berücksichtigt und die Wirtschaft ankurbelt. Das Energiekonzept der USA versucht Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit und Klimaschutz gleichermaßen zu vereinigen. Der Staat fördert daher eher technologische Entwicklungen, als durch verpflichtende Maßnahmen technologischen Wandel zu initiieren. Obama versucht aber trotzdem einen einheitlichen nationalen Rahmen für die Energie- und Klimapolitik zu setzen, um energiepolitische Ziele zu realisieren. Damit reagiert er auch auf die Forderungen der Unternehmen, die landesweite Regeln und Gesetze fordern, um die Einheitlichkeit des inländischen Markts sicherzustellen und Kosten zu senken. Die nationalen Standards sollen den Einzelstaaten aber genug Freiraum für eine innovative Energie- und Klimapolitik lassen. Die Einzelstaaten spielen in der amerikanischen Energiepolitik eine wichtige Rolle. Energiepolitisch relevante Maßnahmen werden sowohl zentral von der Bundesregierung als auch dezentral von den Einzelstaaten verabschiedet und durchgesetzt. Derzeit setzt sich besonders auf Ebene der Einzelstaaten und Gemeinden die klima- und energiepolitische Dynamik weiter fort. Zu den regionalen Maßnahmen zählen verbindliche Reduktionsziele für Treibhausgasemissionen, Quoten für erneuerbare Energien in der Stromerzeugung und regionaler Emissionshandel.⁷² Die konkreten Ausbauziele der Bundesstaaten für erneuerbarer Energien werden im *Anhang 5.4* angeführt.

Finanziell werden die Bundestaaten dabei über das State Energy Program des Energieministeriums unterstützt. Die Einzelstaaten erhalten jährliche finanzielle Zuwendungen, um Projekte zur Förderung von erneuerbaren Energien zu unterstützen. Sie können sich auch um Gelder der Technologieprogramme des Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE) des Energieministeriums bewerben.⁷³ Der Prozess zur Erhaltung der Gelder ist dabei kompetitiv.

Des Weiteren hat der Kongress 2009 eines der größten Energiefördergesetze in der Geschichte der USA verabschiedet. Im American Recovery and Reinvestment Act (ARRA, 2009)⁷⁴ sind insgesamt rund 95 Mrd. Dollar für Investitionen in saubere Energieträger und die Schaffung grüner Arbeitsplätze bestimmt. 23 Mrd. Dollar werde für erneuerbare Energien bereitgestellt und 4 Mrd. Dollar für Carbon Capture and Storage-Technologie (CCS) Ein wichtiger Schwerpunkt des Programms ist die Verbesserung der Energieeffizienz, beispielsweise im Transport- und Gebäudesektor sowie die Modernisierung des Stromnetzes. Obwohl es in den USA derzeit keine verpflichtenden rechtlichen Regelungen für Klimaschutz und Energie gibt, wird durch Förderungen und finanzieller Unterstützung der Weg für eine nachhaltige Energiezukunft geebnet. Und in den USA sinken die Treibhaus-Emissionen schon heute, und dies nicht nur wegen der schwachen Konjunktur. Strengere Standards für den Benzinverbrauch der Autos beginnen zu wirken, noch ehe sie in Kraft sind. Erneuerbare Energien spielen ebenfalls eine Rolle, auch wenn im Moment noch eine kleine. Durch Zugang über Förderungen von Technologien

⁷² Efd 2010 Energiepolitik der USA, Seite 5,31.

⁷³ Vgl. US Department of Energy: Recovery Act and the State Energy Program.

http://www1.eere.energy.gov/wip/recovery_act_sep.html

⁷⁴ Vgl. American Recovery and Reinvestment Act: Total Funds Allocated (06.2012).

<http://www.recovery.gov/Transparency/fundingoverview/Pages/fundingbreakdown.aspx>

haben die USA, laut dem unabhängigen *Renewable Energy Attractiveness Index*⁷⁵ von 2012, nach China heute die besten Investitionsmöglichkeiten für erneuerbare Energien.

Wie die USA und die EU zeigen gibt es verschiedene Arten erneuerbare Energiequellen einzuführen. Um die Energieproblematik weiter zu verbessern wäre eine energiepolitische Kooperation zwischen den USA und Europa wünschenswert. Denn beide stehen ähnlichen geostrategischen, ökonomischen sowie technologischen Herausforderungen gegenüber. Gemeinsame Interessen gibt es im Bereich erneuerbarer Energien, Stromnetze und CCS. Außerdem haben beide Akteure große Vorbildfunktion und Gewicht, wenn es darum geht, die Transformation des Energiesystems hin zu einer nachhaltigeren, kohlenstoffarmen Energieversorgung voranzutreiben. Zugespitzt kann man sogar sagen, dass eine transatlantische Zusammenarbeit eine der Grundvoraussetzungen ist, um die zwei von der IEA bereits im World Energy Outlook 2008 formulierten Herausforderungen – die Bekämpfung der Energiearmut und den Umbau zu einem nachhaltigen Energiesystem – global zu meistern.⁷⁶

⁷⁵ Vgl. Ernst & Young Environmental Finance team: Renewable energy country attractiveness indices, May 2012.

⁷⁶ Efd 2010 Energiepolitik der USA, Seite 40.

3 Nutzungsstrategie gängiger erneuerbarer Energiequellen in der EU und den USA

Auf unserer Erde sorgt ein außerordentlich großes Angebot an unerschöpflichen Energieströmen dafür, dass prinzipiell ein Vielfaches unseres Energiebedarfs mit erneuerbaren Energien und ohne Rückgriff auf endliche Ressourcen gedeckt werden kann. In Europa und in den USA stehen diese, in Form von eingestrahelter Solarenergie, der kinetischen Energie des Windes, der Meereswellen und der Meeresströmungen, die jährlich nachwachsende Biomasse, die potenzielle Energie des Wassers in Flüssen und Seen, die geothermische Energie und die Wärmeenergie der Meere zur Verfügung. Aus diesem theoretischen Potential erneuerbarer Energien kann zwar nur ein gewisses Maß in nutzbarer Form, wie Wärme, Elektrizität und Brenn- oder Treibstoff umgewandelt werden, aber es würde leicht den Großteil des Energieverbrauches abdecken.⁷⁷

Insgesamt steht in Europa ein gesichertes technisches Potenzial erneuerbarer Energien von mindestens 5.160 TWh pro Jahr zur Verfügung. In den USA geht das NREL (National Renewable Energy Laboratory) bei Sonne, Wind, Bioenergie, Geothermie und Wasserkraft von einer potenziellen Erzeugung von 481.970 TWh aus. Die größten Potenziale werden bei der solarthermischen Stromerzeugung, der Photovoltaik im Kraftwerksmaßstab in ländlichen Gebieten, sowie bei der Onshore-Windenergie identifiziert. Derzeit steuern nachhaltige Energien in der EU und in den USA aber nur zirka 10% zum Primärenergieverbrauch bei. Die einzelnen Quellen werden dabei sehr differenziert eingesetzt.⁷⁸

Die Primärerzeugung erneuerbarer Energien in der EU lag 2010 bei 167,4 Mtoe und 2011 in den USA bei 253,5 Mtoe. Das entspricht für Europa einem Anteil von 20%, und für Amerika von 13%, der gesamten primär erzeugten Energie (*siehe Kapitel 2.3.1*) Biomasse und Abfälle erzeugen, in der EU mit 68% und in den USA mit 48%, den größten Anteil der erneuerbaren Energien. Wasserkraft gehört mit 19% und 35% der Gesamtmenge ebenfalls zu den wichtigsten nachhaltigen Energiequellen. Windenergie verzeichnet im Moment zwar eine besonders rasche Zunahme, aber mit 8% in der EU und 13% in den USA entfällt noch ein relativ kleiner Anteil darauf. Solarenergie und die geothermische Energie spielen in beiden Regionen im Moment noch eine untergeordnete Rolle.

Die Grafiken auf der nächsten Seite zeigen die Aufteilung der erneuerbaren Energiequellen in der Gesamtenergieproduktion für die EU und die USA.

⁷⁷ Erneuerbare Energien Innovation für die Zukunft, Berlin 2011, Seite 40.

⁷⁸ Vgl. National Renewable Energy Laboratory (NREL): U.S. Renewable Energy Technical Potential: A GIS-Based Analysis, July 2012.

- EU-27 und U.S. Energieproduktion nach erneuerbaren Energieträgern, 2010.^{79 80}

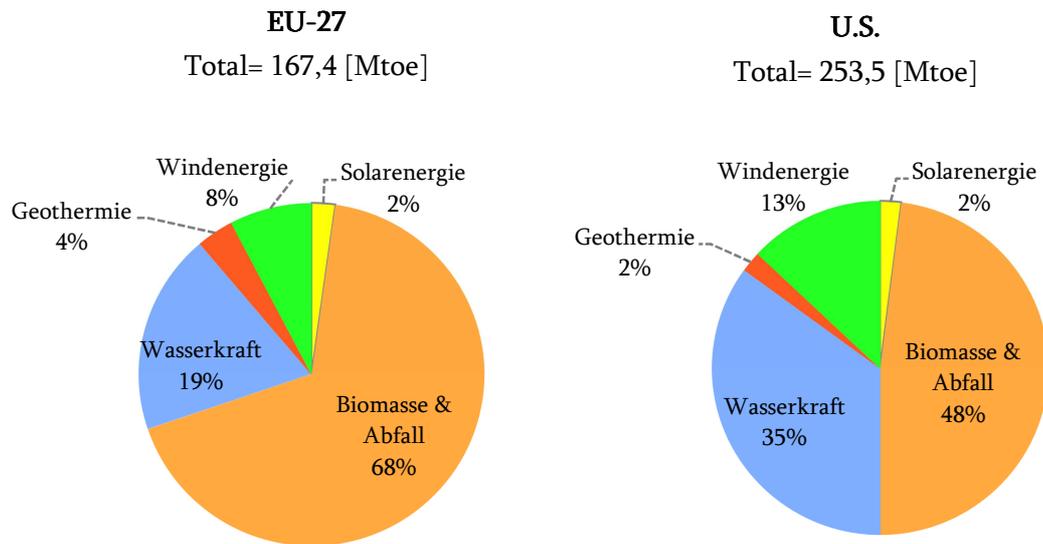


Abbildung 20: EU-27 und U.S. Energieproduktion nach erneuerbaren Energieträgern (in %), (2010).

In der **EU** war der größte Erzeuger von Energie aus erneuerbaren Quellen 2010 Deutschland mit 20% der **EU-27-Gesamtmenge**. Frankreich (13%), Schweden (11%) und Italien (11%) produzieren ebenfalls noch einen größeren Teil aus. In den Mitgliedsstaaten fällt der **nationale Anteil** erneuerbarer Energien sehr unterschiedlich aus. In kleinere Länder wie Zypern, Portugal oder Luxemburg besteht fast die ganze Produktion aus erneuerbaren Quellen. In den großen Staaten wie Deutschland (25%) und Frankreich (16%) wird etwa ein Viertel der Energie nachhaltig produziert. In Spanien (43%), Italien, Finnland und Schweden (jeweils 53%) etwa die Hälfte und in Österreich (73%) drei Viertel. Niederlande mit 4% und Großbritannien mit 3,5% sind von diesen Werten noch weit entfernt. Es muss aber gesagt werden, die Länder in denen 100% der Energie nachhaltig erzeugt wird, hängen stark von Energieimporten ab.⁸¹

Die Zusammensetzung der erneuerbaren Energiequellen in den einzelnen Mitgliedsstaaten ist, aufgrund der unterschiedlichen Vorkommen an natürlichen Ressourcen und den klimatischen Bedingungen, verschieden. Zypern gewann beispielsweise mehr als drei Viertel der erneuerbaren Energie aus Solarkraft, während Mitgliedstaaten mit eher bergigen Regionen, wie Österreich, Slowenien und Schweden, mehr als ein Drittel aus Wasserkraft erzeugten. Nahezu ein Drittel der Erzeugung von erneuerbarer Energie kam in Italien aus geothermischen Energiequellen. Die Windkraft hatte in Irland (42%) einen besonders hohen Anteil, und auch in Spanien (28%) und Dänemark (21%) entfiel auf sie mehr als ein Fünftel der Erzeugung von erneuerbarer Energie.⁸²

⁷⁹ Vgl. European Commission: Eurostat. Statistik der erneuerbaren Energien (11.2011).

http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Renewable_energy_statistics/de

⁸⁰ eia: Annual Energy Review 2011, Seite 278.

⁸¹ European Commission: EU energy in figures 2012, Seite 35.

⁸² Ebda, Seite 36.

Zwischen den einzelnen Bundesstaaten in den **USA** gibt es ebenfalls große Unterschiede in der Energieproduktion aus erneuerbaren Quellen. Washington produzierte 2011 mit 18% den größten Anteil an Elektrizität aus erneuerbaren Energiequellen. Kalifornien (14%), Oregon (9%) und New York (8%) trug ebenfalls noch einen beträchtlichen Teil zur **USA-Gesamtmenge** bei.⁸³

Der Betrag der Energieproduktion aus nachhaltigen Ressourcen in den **einzelnen Bundesstaaten** differenziert sich sehr stark. New Mexico (6,5%), Maryland (8,2%) und Arizona (9%) decken nur einen kleinen Teil ihrer Gesamtenergieproduktion mit erneuerbaren Quellen. New Hampshire (14%), Nevada (16%), North Dakota (18%), Vermont (21%) New York (24%) erzeugen bis zu ein Viertel ihrer Energie nachhaltig. Spitzenreiter sind Idaho (92%), Oregon (80%) und South Dakota (77%) in denen die Energieerzeugung Großteiles aus erneuerbaren Quellen erfolgt. Staaten wie Florida (2,2%) und Mississippi (2,8%) produzieren wenig Energie regenerativ.

Eine wichtige Rolle in der Entwicklung und Förderung einer nachhaltigen Energieversorgung spielen die Staaten an der Westküste. Kalifornien produziert am meisten Energie aus erneuerbaren Quellen. Kein anderer Staat erzeugt mehr Energie aus Photovoltaik und Geothermie. Nach Washington und Oregon steht Kalifornien an dritter Stelle was Stromerzeugung aus Wasserkraft betrifft. Generell ist Wasserkraft die dominierende, erneuerbare Energiequelle in den USA, aber auch Biomasse, Sonnenenergie und geothermische Energie werden verwendet. In den Bundesstaaten Alabama (79%) Idaho (80%) und New York (72%) deckt Wasserkraft den Großteil der Gesamtproduktion ab. Nevada, Arizona, Florida und New Mexico bauen verstärkt auf Photovoltaik. In Georgia und Michigan ist Biomasse die am häufigsten verwendete nachhaltige Ressource. Texas hat mit nahezu 10.000 Megawatt die größte Produktion an Windstrom, aber auch Idaho, Iowa, North Dakota und Oklahoma setzten auf Windkraft. Geothermische Energie wird ausschließlich in Nevada und Kalifornien genutzt.⁸⁴

In den USA und der EU werden erneuerbare Energiequellen hauptsächlich zur **Stromproduktion** verwendet. Strom aus erneuerbaren Energiequellen wird definiert als das Verhältnis von, aus erneuerbaren Energiequellen erzeugtem Strom zum Bruttoinlandsstromverbrauch. Hierunter fällt die Stromerzeugung in Wasserkraftwerken sowie in Biomasse- und Abfallverbrennungsanlagen, Windkraft- und Solaranlagen und in geothermischen Kraftwerken. Bei der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien trägt Wasserkraft, mit 58% in der EU und 64% in den USA, den Hauptanteil bei. Danach folgen Wind mit knapp über 20%, und Biomasse mit, 19% beziehungsweise 9%. Photovoltaik und geothermische Energie, welche noch äußerst gering eingesetzt wird. Wie in der Gesamtproduktion gibt es auch hier Unterschiede zwischen den einzelnen Ländern und Bundesstaaten. In der EU sind Schweden, Deutschland und Österreich und in den USA, Kalifornien, New York und Idaho Spitzenreiter einer nachhaltigen Stromproduktion. Die nachfolgenden Grafiken zeigen die Aufteilung der erneuerbaren Energiequellen, in der Elektrizitätserzeugung für die EU und die USA.

⁸³ U.S. Energy Information Administration (eia): State Renewable Electricity Profiles (08.03.2012).

<http://www.eia.gov/renewable/state/>

⁸⁴ U.S. Energy Information Administration (eia): U.S. States.

<http://www.eia.gov/beta/state/search/#?1=104&2=185>

- EU-27 und U.S. Elektrizitätserzeugung nach erneuerbaren Energieträgern, 2010.^{85 86}

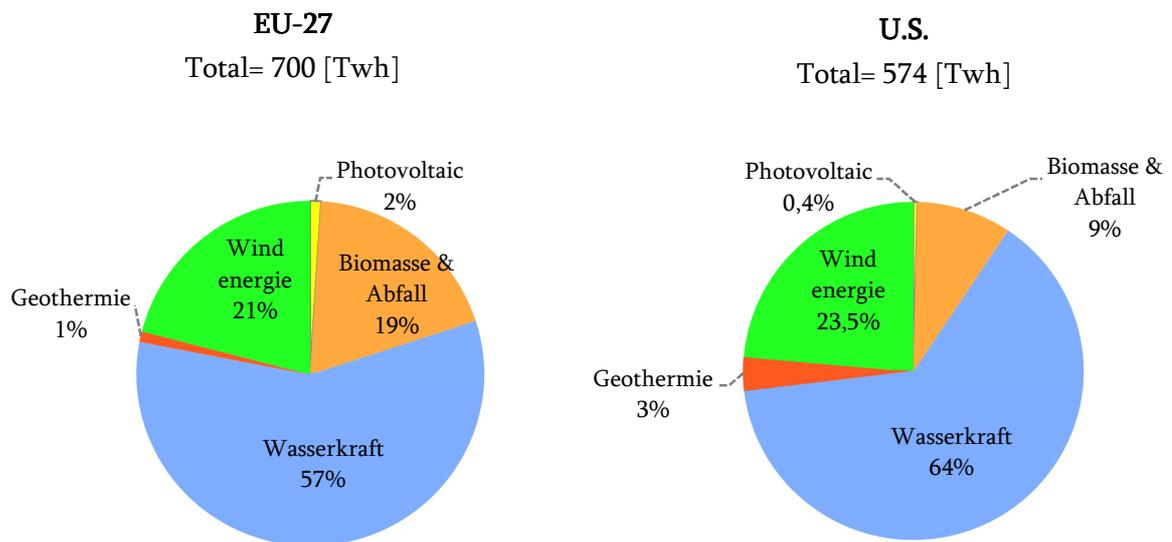


Abbildung 21: EU-27 und U.S. Elektrizitätserzeugung nach erneuerbaren Energieträgern, (in %), (2010).

In Zukunft soll das vorhandene Potential erneuerbarer Energiequellen besser ausgeschöpft werden. In beiden Kontinenten werden Wind, Wasser, Sonnenenergie, Biomasse und geothermische Energie unterschiedlich genutzt. Die aktuelle Verwendung und deren Entwicklung in Zukunft werden nun erläutert.

3.1 Sonnenenergie

Sonnenenergie ist die größte Energiequelle, die unserem Planeten zur Verfügung steht. Die Solarstrahlung, die durch die Energie der Kernfusion in der Sonne entsteht, erreicht an der Erdoberfläche Werte bis zu 1.000 Watt pro Quadratmeter. Die Energie der Strahlung kann in Photovoltaikanlagen in Strom und in solarthermischen Energiesystemen in Wärme umgewandelt werden. Die jährliche Solarenergie, die auf unseren Planeten wirkt, entspricht etwa dem 10.000-fachen des Weltprimärenergiebedarfs. Auch in Europa und Nordamerika kann, wie die nächsten beiden Karten zeigen, das Potential der Sonnenenergie genutzt werden. In Europa gelingt das vor allem in den südlichen Ländern wie Spanien, Italien, Griechenland und Südfrankreich. Es gibt aber auch Pläne in denen die Sonnenenergie Nordafrikas für die Stromversorgung in Europa genutzt wird. Die USA haben, nach der Sahara, die besten Möglichkeiten zur Nutzung von Sonnenenergie. Die Wüstengebiete in Kalifornien, Arizona, New Mexico, Texas und Nevada bieten perfekte Bedingungen dafür.⁸⁷

⁸⁵ Vgl. European Commission: Eurostat. Statistik der erneuerbaren Energien (11.2011).

http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Renewable_energy_statistics/de

⁸⁶ eia: Annual Energy Review 2011, Seite 45.

⁸⁷ Vgl. European Photovoltaic Industry Association, EPIA: Global Market Outlook for Photovoltaic until 2016, Mai 2012.

▪ Potential Sonnenenergie Europa.⁸⁸

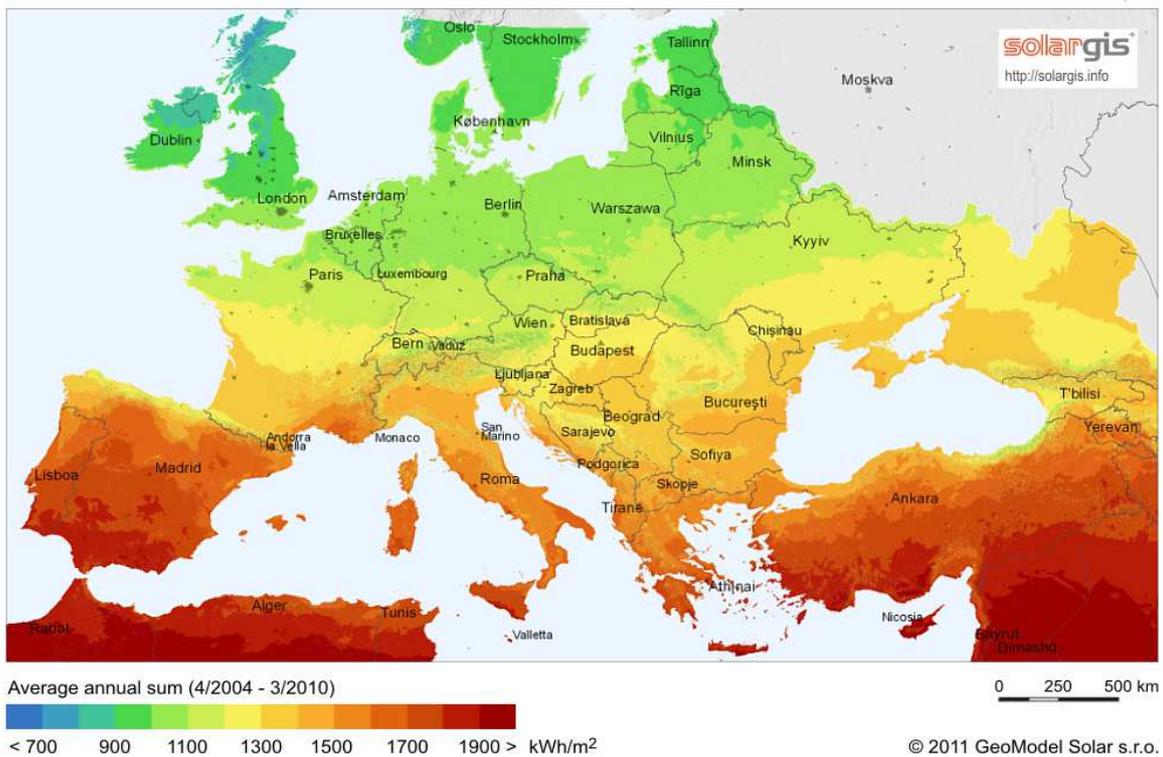


Abbildung 22: Potential Sonnenenergie Europa.

▪ Potential Sonnenenergie USA.⁸⁹

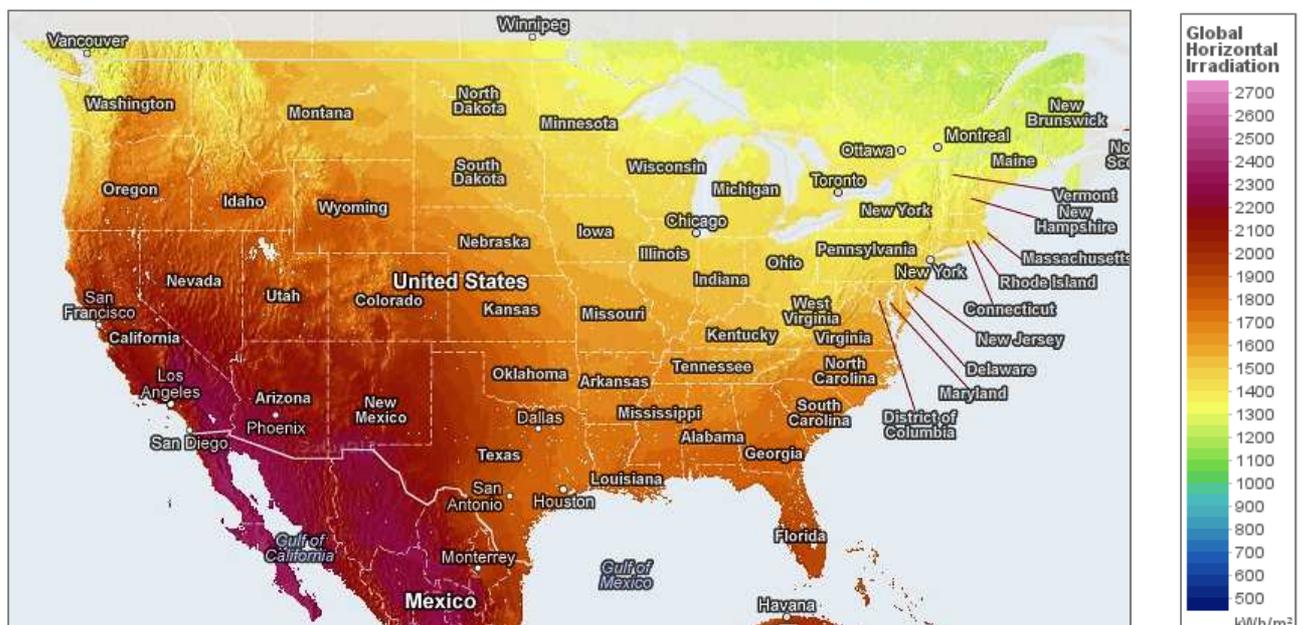


Abbildung 23: Potential Sonnenenergie USA.

⁸⁸ GeoModel Solar: Solargis, I-Maps (15.01.2013).

<http://solargis.info/imaps/#loc=48.283193,-45.878906&c=46.437857,-16.523437>

⁸⁹ Ebda, Nordamerika.

Auf beiden Kontinenten werden Photovoltaiksysteme und solarthermische Energiesysteme, im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energiequellen, noch untergeordnet zur Energieerzeugung eingesetzt. Die Umsetzung von geplanten Projekten soll dies aber bald ändern. Photovoltaikanlagen, Sonnenkollektoren und Sonnenkraftwerke sollen in der EU und den USA in den kommenden Jahrzehnten eine entscheidende Rolle für eine nachhaltige Energiezukunft einnehmen.

3.1.1 Photovoltaik Anlagen

Photovoltaik erlebt seit mehreren Jahren einen Boom, der mit einer starken Kostenreduktion einhergeht. Die weltweite Neuinstallation von Solarzellen lag 2011 bei 29,7 GW, was einer Wachstumsrate von 60 Prozent gegenüber 2010 entspricht. 2011 erreichte die gesamt installierte Leistung nahezu 70 GW weltweit. Damit werden jedes Jahr 85 TWh Elektrizität produziert, was einer benötigten Energie von 20 Millionen Haushalten entspricht.⁹⁰

Mehr als 85 Prozent der hergestellten nominalen Solarzellenleistung basiert auf kristallinem Silicium. Die Solarzellenforschung arbeitet ebenfalls an der Entwicklung von Photovoltaik-Technologien aus III-V basierenden Halbleitern, Farbstoffsolarzellen und organische Solarzellen sowie neuartigen Konzepten für die Photovoltaik, wie der Dünnschichttechnologie und der Tandemzelle. Diese stetigen Weiterentwicklungen erwirken ein besseres Preis/Leistungsverhältnis und eine höhere Langzeitstabilität.⁹¹

Die Funktionsweise einer Solarzelle besteht darin, dass durch den photoelektrischen Effekt die Energie des Sonnenlichts direkt in elektrischen Strom umgewandelt wird. Der Aufbau einer Siliziumsolarzelle setzt sich aus zwei unterschiedlich dotierten Siliziumschichten zusammen. Die zur Sonne gewandte Schicht ist mit Phosphor negativ dotiert, das heißt, hier herrscht ein Elektronenüberschuss (Minuspol), die darunter liegende Schicht ist mit Bor positiv dotiert, hier herrscht ein Elektronenmangel (Pluspol). Zwischen diesen beiden Schichten befindet sich die so genannte Grenzschicht. Diese Grenzschicht dient zur Trennung der freigesetzten Ladungen des Sonnenlichtes. Durch die Grenzschicht wird bei Lichteinfall der Elektronenmangel und Elektronenüberschuss verstärkt. Wenn also Sonnenlicht auf die Photovoltaikanlage trifft, dann werden Ladungen aus dem Material freigesetzt. Durch die Trennung in der Grenzschicht entsteht ein Energiepotential in Form von elektrischer Spannung. Um den produzierten Strom der Photovoltaikanlage nutzen zu können, sind auf der Vorder- und Rückseite der Solarzellen metallische Kontakte aufgebracht. Der so entstehende Gleichstrom kann direkt zum Betrieb elektrischer Geräte genutzt oder in Batterien gespeichert werden. Wird er in Wechselstrom umgewandelt, kann er auch in das öffentliche Stromnetz eingespeist werden. Eine Darstellung einer Siliziumsolarzelle befindet sich auf der nachfolgenden Seite.⁹²

⁹⁰ EPIA: Global Market Outlook for Photovoltaic until 2016, Seite 5,6.

⁹¹ Vgl. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, ISE: Jahresbericht 2011, Freiburg 2012.

⁹² Magento Agentur: Alternative Energiequellen, Funktionsweise der Photovoltaikzellen (15.01.2013).
http://www.alternative-energiequellen.com/funktion_photovoltaik.html

- Aufbau einer Siliziumsolarzelle⁹³

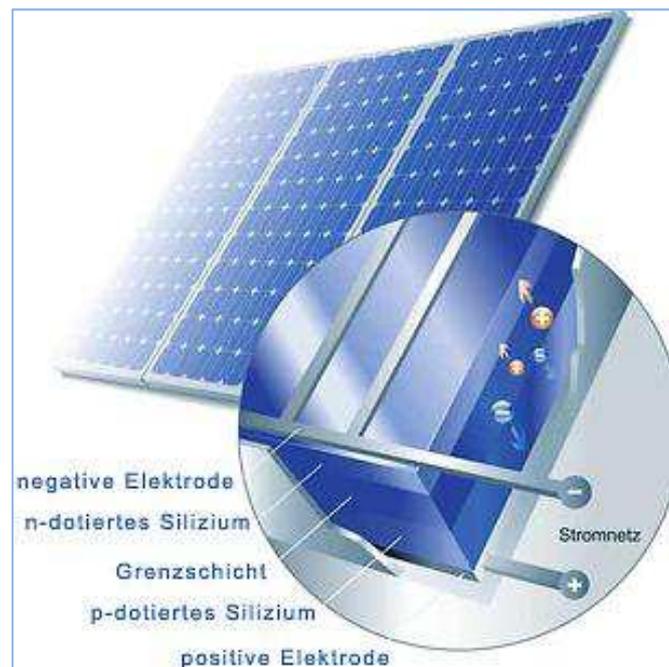


Abbildung 24: Aufbau einer Siliziumsolarzelle.

Photovoltaikanlagen sind ein zukunftssträchtiges Energiesystem, die große **Vorteile** mit sich bringen.

Da die Sonne eine für den Menschen **unerschöpfliche Energiequelle** darstellt und die Solarenergie somit **frei zur Verfügung** steht und nichts kostet, ist dies einer der größten Vorteile im Bezug zur Photovoltaik. Solarzellen gibt es in allen **denkbaren Größenordnungen**. Kleinstzellen gelangen in Taschenrechnern und Uhren zum Einsatz. Im Kilowatt-Bereich können sie, in Modulen zusammengefasst, Häuser mit Strom versorgen. Zu großen Solarfeldern zusammengestellt, dringen Solarzellen aber auch in den Megawatt- Bereich vor. Solarzellen können auch den **diffusen Anteil der Strahlung energetisch umsetzen**, daher lohnt sich Photovoltaik auch in nördlicheren Breiten zum Beispiel in Deutschland. Ökologisch zahlen sich Solarzellen aus. Es dauert zwischen 1,5 und vier Jahre, um Energie zu produzieren, die dem Wert ihrer Herstellung entspricht. Danach ist jede Kilowattstunde **ökologische kostenlos**. Die **Lebensdauer** von Photovoltaikanlagen ist theoretisch **unbegrenzt**, da bei der Stromgewinnung das Material weder abgenutzt oder verbraucht wird. Die PV-Anlagen erzeugen **keinen Lärm** oder **anderwärtige Emissionen**.⁹⁴

Jedoch dürfen auch die **Nachteile** nicht außer Acht gelassen werden.

Das größte Problem ist derzeit der theoretische **Flächenbedarf**. Freianlagen werden auf die grüne Wiese gebaut, was bei großen Solarparks sehr viel Flächen in Anspruch nimmt. Die **Leistungsdichte** ist bei Solaranlagen leider noch immer **sehr gering**. Sie wird in Watt pro

⁹³ photovoltaic.org: Solarzelle. <http://www.photovoltaik.org/wissen/solarzellen>

⁹⁴ Photovoltaik-web.de: Vorteile – Nachteile Photovoltaik. <http://www.photovoltaik-web.de/vor-und-nachteile-pv.html>

Quadratmeter gemessen. Eine halbwegs aktuelle Anlage erreicht derzeit eine Leistung zwischen 8 und 15 Watt pro Quadratmeter. Photovoltaikzellen sind stark von der **eingestrahelten Sonnenmenge abhängig**. Nachts produziert die Anlage naturgemäß keine Energie und bei einem wolkenverhangenen Himmel ist die Leistung der Anlage viel geringer. Im Winter wird zudem noch weniger Energie als im Sommer produziert, weil die Sonnenzeiten durch die Jahreszeit kürzer sind. Unter diesen Schwankungen leidet auch die Stromabgabe. Wenn eine Photovoltaikanlage kontinuierlich Strom abgeben soll, sind aufwendige Speicher notwendig, die den Gesamtwirkungsgrad der Anlage weiter heruntersetzen, weil auch bei der Speicherung und der Wiederabgabe der Energie Verluste entstehen. Zudem arbeiten die meisten Anlagen nur bei **relativ niedrigen Temperaturen mit der Maximalleistung**, werden sie durch die Sonnenstrahlung weiter erwärmt, können sie nicht mehr mit der höchsten Leistung Energie erzeugen. Photovoltaikanlagen produzieren außerdem ausschließlich **Gleichstrom**, der so nicht direkt ins Stromnetz eingespeist werden kann. Dafür ist ein spezieller Wechselrichter notwendig, der noch einmal zusätzlich den Wirkungsgrad der Anlage senkt, weil beim Umwandeln immer Verluste entstehen. Diese lassen sich nicht einmal mit den modernsten Wechselrichtern verhindern. Die Solarmodule bringen nach 20 bis 25 Jahren nur noch etwa **80 Prozent Leistung**. Die **Investitionskosten** sind noch **sehr hoch** und ohne Förderung sind PV-Anlagen oft nicht rentabel.⁹⁵

Der Photovoltaik-Markt ist immer noch stetig am Wachsen, jedoch erlitt die Solar-Industrie in den letzten Jahren auch eine Reihe von Rückschlägen. Das hängt mit den Kürzungen der Einspeisevergütungen in Europa, dem Überangebot auf dem Photovoltaik-Markt, der weltweite Finanzkrise sowie bürokratische und rechtliche Hürden zusammen. Die Branche hat aber auf diese Herausforderungen reagiert. Neue Regionen führen Einspeisevergütungen ein und sinkende Modulpreise führen zu einem Installations-Boom in den USA und auch in Europa. Photovoltaikanlagen werden technisch ausgefeilter und umweltfreundlicher, und die Gesetze für den Bau neuer Anlagen werden angepasst. Die technischen und politischen Entwicklungen in der USA und der EU lassen einen weiteren Ausbau von PV-Anlagen erwarten.

3.1.1.1 Photovoltaik in der EU.

Photovoltaik wird in Europa seit einigen Jahren massiv ausgebaut und soll, im Bereich Strom, zur Energiewende beitragen. Im Jahr 2011 war die Europäische Union der größte Photovoltaikmarkt weltweit. Der Wert der installierten Gesamtleistung betrug insgesamt 51.716 GW. Deutschland ist mit 24.678 GW installierter Kapazität, vor Italien mit 12.754 GW und Spanien mit 4.400 GW, absoluter Spitzenreiter. Wobei in Spanien für 2009 ein, vermutlich auf die Finanzkrise zurückzuführender, deutlicher Einbruch der zusätzlich installierten Leistung eintrat. In Tschechien, Frankreich und Italien befindet sich ebenfalls noch eine größere Anzahl von Anlagen. In den übrigen Mitgliedstaaten gibt es so gut wie keine PV-Freianlagen. In Summe wurde 2011 mit Photovoltaik-Anlagen in der EU 22.451,6 GWh Strom produziert. Das ist ein Anteil der gesamten Stromproduktion aus erneuerbaren Energiequellen von knapp 2%.⁹⁶

⁹⁵ Solaranlagen Ratgeber: Nachteile der Photovoltaik.

<http://solaranlagen-ratgeber.de/photovoltaik/nachteile-photovoltaik>

⁹⁶ Vgl. EPIA: Global Market Outlook for Photovoltaic until 2016, Seite 12.

2011 wurden in Europa fast 21,939 GW an Photovoltaikanlagen neu an das Netz angeschlossen. Das bedeutet 75% des weltweiten PV-Zubaus erfolgte in Europa. Mit 21,9 GW neu installierter Leistung stieg die Kapazität an PV-Anlagen in der EU um 50% des Vorjahres. Spitzenreiter waren Italien mit 9,3 GW und Deutschland mit 7,5 GW neu gebauten Anlagen. Frankreich (1,7 GW) und Großbritannien (784 MW) trugen ebenfalls entscheidend dazu bei.⁹⁷ Die nachfolgende Karte zeigt die bis 2011 installierten Photovoltaik-Freianlagen in der EU.

- Installierte Photovoltaik-Freianlagen in Europa, 2011.⁹⁸

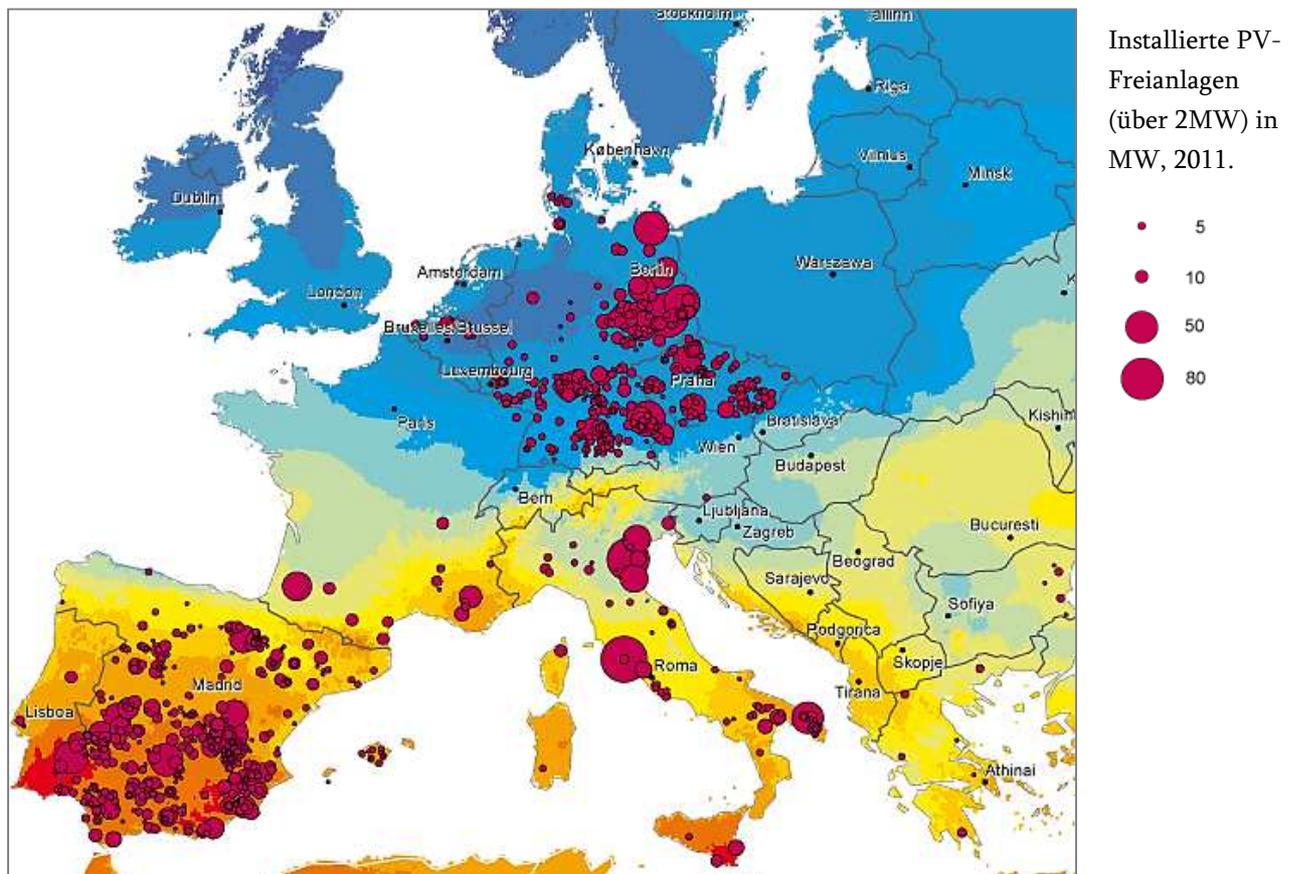


Abbildung 25: Installierte Photovoltaik-Freianlagen in Europa, 2011.

Sieht man die Karte und die Werte stellen sich zwei Fragen. Erstens: Warum ist Europa weltweit führend im Bau von Photovoltaikanlagen. Zweitens: Wieso gibt es so große Unterschiede in der Anlagendichte in Europa?

Die erste Frage lässt sich mit den energie- und klimaschutzpolitischen Zielen der EU für 2020 klären. Der Ausbau von PV-Anlagen soll dazu beitragen, dass der CO₂-Ausstoß in der EU sinkt und gleichzeitig die Importabhängigkeit von Fossilen Energien reduziert. In den nationalen Aktionsplänen haben sich die Mitgliedsstaaten dazu verpflichtet, Strom aus erneuerbaren

⁹⁷ EPIA: Global Market Outlook for Photovoltaic until 2016, Seite 16,17.

⁹⁸ Bundesinstitut für Bau, Stadt- und Raumforschung: Erneuerbare Energien in Europa: Strom aus Photovoltaik (03.01.2012).

http://www.bbsr.bund.de/nn_622452/BBSR/DE/Raumbeobachtung/AktuelleErgebnisse/Raumentwicklung/PhotovoltaikEuropa/Photovoltaik.html

Energien zu fördern und auszubauen. Die Förderungen, und insbesondere die Einspeisungsvergütung für Investition in Photovoltaik-Anlagen, sind der Hauptgrund warum der PV-Markt in Europa so boomt. Ohne diese wären PV-Anlagen in den meisten Fällen nicht rentabel. Diese Vergütungen und Förderungen sind in den einzelnen Mitgliedsstaaten unterschiedlich, und dies ist auch der Grund weshalb die Anlagendichte in Europa so differenziert ist. Neben den sonnenverwöhnten Gebieten wie Spanien, Südfrankreich und Italien, zahlen sich dank höherer Einspeisevergütungen auch Investitionen in Länder wie Deutschland und Tschechien, die eher am unteren Ende der Skala der Globalstrahlung angesiedelt sind, aus. In der EU gibt generell keine einheitliche Förderung von PV-Anlagen. Deutschland, Spanien und Tschechien wählen eine Einspeisevergütung, den sogenannten Feed-in-tariff. Dieser garantiert dem Stromproduzenten einen bestimmten Betrag pro eingespeister kWh über einen bestimmten Zeitraum, meist (zwischen 20 und 30 Jahren. In Deutschland liegt die Vergütung je nach Größe und Standort zwischen 31 und 43 Cent pro kWh, in Spanien für Anlagen, die vor dem 29.09.2008 installiert worden sind, bei 24-27 Cent pro kWh und danach bei 13-28 Cent. In Tschechien wurden für PV-Freianlagen je nach Größe zwischen 22-63 Cent pro kWh gezahlt. Allerdings wurde diese großzügige Vergütung zum 01.03.2011 abgeschafft, sodass danach nur noch für neu installierte Anlagen auf Hausdächern eine Einspeisevergütung gewährt wird. Die Kosten trägt in jedem Mitgliedsstaaten der Endverbraucher. In Frankreich hängt die Vergütung zusätzlich von der Höhe der Sonneneinstrahlung ab, was die dortige Verteilung erklären könnte. In Italien gibt es für einzelne Regionen die Möglichkeit, zusätzlich eigene Programme ins Leben zu rufen. Ein großes Problem ist dabei aber die ineffiziente Förderung. Es werden hohe Investitionen in teure Solartechnik an Standorten gemacht, an denen die Technologie nicht den höchsten Ertrag erbringen kann.⁹⁹

Ein wichtiger Punkt für die Vielfaltigkeit an PV-Anlagen in Europa spielt auch die Technologie. Die EU und insbesondere Deutschland wollen, durch eine stetige Weiterentwicklung die PV-Module noch effizienter machen und dadurch ihren Standpunkt als Weltmarktführer festigen. Diese stetige Effizienzsteigerung ermöglicht Entwicklungen von Varianten für unterschiedliche geographische Gebiete. In Europa gibt es zurzeit mehr als 1 Million Photovoltaikinstallationen, bestehend aus kleinen Haussystemen sowie großen Bodeninstallationen. In der vorherigen Karte sind Hausinstallationen zwar nicht eingezeichnet, aber insbesondere in Deutschland sind sehr viele installiert.

In Zukunft sollen in der EU Photovoltaikanlagen weiter ausgebaut werden. Die EPIA (European Photovoltaik Industry Association) geht davon aus, dass die Entwicklungen in den kommenden Jahren nicht ähnlich rasant wie 2010 und 2011 sein werden. Der Widerstand gegen Photovoltaik wächst. Besonders der Flächenverbrauch, aber auch der Wegfall und die Kürzung von

⁹⁹ Vgl. Bundesinstitut für Bau, Stadt- und Raumforschung: Erneuerbare Energien in Europa: Strom aus Photovoltaik (03.01.2012).

http://www.bbsr.bund.de/nn_622452/BBSR/DE/Raumbeobachtung/AktuelleErgebnisse/Raumentwicklung/PhotovoltaikEuropa/Photovoltaik.html

Förderungen sind Gründe dafür. Die nationalen Aktionspläne der europäischen Mitgliedsstaaten prognostizieren eine Kapazität an PV-Anlagen von mehr als 80 GW bis 2020.¹⁰⁰

Für die Photovoltaikindustrie sind die verpflichtenden Maßnahmen aber keine treibende Kraft um Photovoltaik auf den breiten Markt einzuführen. Die Industrie wollen durch Weiterentwicklung und Kostenreduktion die Anlagen wirtschaftlich interessanter machen und so den Absatz weiter steigern. Der SET-Plan fördert dabei mit 16 Mrd. Euro die Entwicklung leistungsfähiger Photovoltaiktechnologien. Dadurch soll das Ziel erreicht werden, 15% der Elektrizität 2020 aus Solaranlagen zu gewinnen.¹⁰¹ Dieses Ziel ist aber aktuell noch unrealistisch.

Wie sich der Photovoltaikmarkt entwickeln wird hängt also von verschiedenen Faktoren ab. Die EPIA hat drei mögliche Szenarios der PV- Entwicklung, die das wirkliche Potential der Technologie schildern, in ihrem Bericht *Set for 2020* erläutert.¹⁰²

- **Grundscenario** (Baseline Scenario)
Dies nimmt ein normales Marktverhalten bis 2020 an business-as-usual. Dieses Szenario geht von keiner Änderung der Elektrizität-Infrastruktur aus, aber von einer Weiterentwicklung und Kostenreduktion der PV-Anlagen durch die Industrie und weiterer Förderung durch die Politik. In diesem Szenario würden 4% der Energie in der EU durch Photovoltaikanlagen erzeugt.
- **Fortgeschrittenes Szenario** (Accelerated Scenario)
Das zweite Szenario nimmt an, dass Photovoltaik 6% der Energienachfrage 2020 in der EU sichert. Diese Annahme basiert auf der maximal möglichen Steigerung von Photovoltaik, die mit der jetzigen Infrastruktur möglich ist. Zusätzlich zum Grundscenario müsste aber eine Verbesserungen der Elektrizität-Infrastruktur gemacht werden. Dies bedeutet, dass das Stromnetz optimiert, die Haustechnik von Gebäuden verbessert und vernetzt, und eine verbindliche Abnahme von Photovoltaikstrom eingeführt wird.
- **Szenario der Paradigmenänderung** (Paradigm Shift scenario)
Der dritte angenommene Fall geht von 12% Energie aus Photovoltaik 2020 aus. Dieses Szenario benötigt eine rasche und umfassende Erneuerung der Elektrizität-Infrastruktur. Zusätzlich zum Fortgeschrittenen Szenario müssen Speichermöglichkeiten und die Smart Grid Technologie eingeführt werden. Des Weiteren müssen PV-Anlagen weiterentwickelt werden, um eine noch ausgedehntere Versorgung zu gewährleisten.

¹⁰⁰ Vgl. EPIA: Global Market Outlook for Photovoltaic until 2016, Seite 18.

¹⁰¹ Vgl. SET-Plan der EU und Auswirkungen auf die Erzeugung, Seite 1.

¹⁰² European Photovoltaic Industry Association, EPIA: SET FOR 2020, Solar Photovoltaic Electricity: A mainstream power source in Europe by 2020, Brüssel 2008.

Die nächste Grafik zeigt die Entwicklung der 3 Szenarien bis 2030, wobei ab 2020 nur mehr eine Annahme ist.

- Photovoltaik Szenarien in der EU-27, sowie Norwegen und der Türkei, in GW bis 2030.¹⁰³

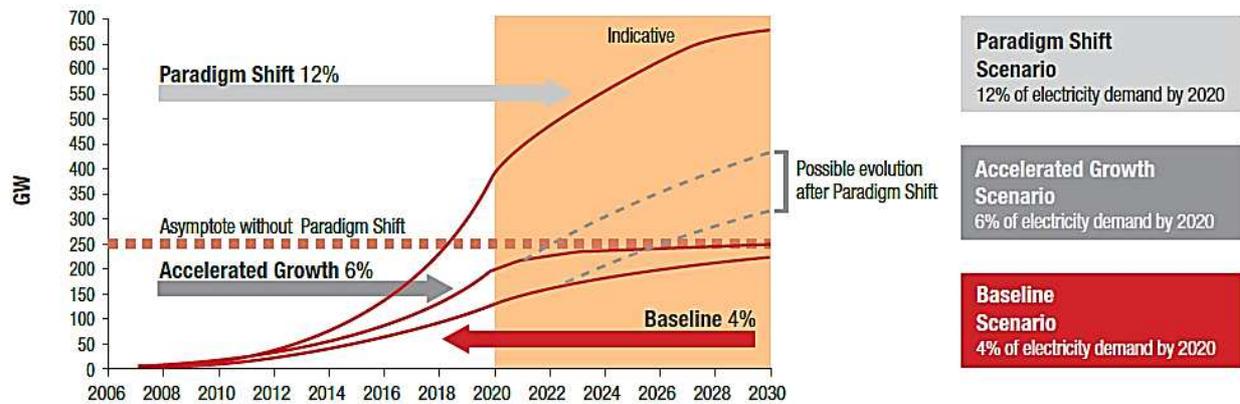


Abbildung 26: EPIA - Photovoltaik Szenarien in der EU, sowie Norwegen und der Türkei, in GW bis 2030.

Wie man sieht, sind die 80 GW der Nationalen Aktionspläne weit weg von der tatsächlichen Möglichkeit, die der Photovoltaikmarkt in der EU bietet. Nur der Markt in Deutschland und Griechenland könnte die Staatsmaßnahmen leicht übertreffen. Im fortgeschrittenen Szenario könnte mit 200 GW Leistung mehr als das Doppelte der nationalen Vorgaben erreicht werden. Gute Beispiele, wie schnell der Ausbau von PV-Anlagen möglich ist, sind Deutschland und Italien.

Wie sich der Markt in den nächsten Jahren entwickelt wird, hängt von der Politik, der Industrie und der Bevölkerung ab. Die Solarzellen müssen einen höheren Kosten-/Nutzenfaktor erreichen und durch sinnvolle Förderungen durch die Politik unterstützt werden. Wichtig wird auch sein, das Stromnetz so umzurüsten, dass eine größere Menge an PV-Anlagen an das Netz angeschlossen werden kann. Schafft es die EU diese Maßnahmen umzusetzen, könnten 2020 tatsächlich 15% des europäischen Stroms aus Photovoltaik-Anlagen erzeugt werden.

3.1.1.2 Photovoltaik in den USA.

Im Vergleich zu Europa hinken die USA beim Einsatz von Photovoltaikanlagen noch sehr weit nach. Auch wenn sich der Ausbau seit 2009 fast vervierfacht hat, betrug im Jahr 2011 die installierte Gesamtleistung nur 5,053 GW. Alleine 2011 wurden 2,234 GW neu an das Netz angeschlossen, was eine Steigerung der Kapazität von 45% bedeutet. In der EU ist aber im Vergleich das Zehnfache installiert worden. Die USA nutzen damit nicht einmal annähernd ihr mögliches Potential an Sonnenenergie. Spitzenreiter an installierten PV-Anlagen ist Kalifornien mit 1.611 MW. Dahinter folgen Arizona mit 591,81 MW und der New Jersey mit 366,07 MW. Dies sind die einzigen drei Staaten die eine dreistellige Megawattzahl produzieren.¹⁰⁴ Die Grafik auf der nachfolgenden Seite zeigt die Verteilung der Photovoltaik-Anlagen in den USA.

¹⁰³ vgl. EPIA SET FOR 2020 Solar Photovoltaic Electricity, Seite 5.

¹⁰⁴ Vgl. EPIA: Global Market Outlook for Photovoltaic until 2016, Seite 55

- U.S. Karte der installierten Leistungen von Photovoltaikanlagen nach Bundesstaat, in Kilowatt (2011).¹⁰⁵

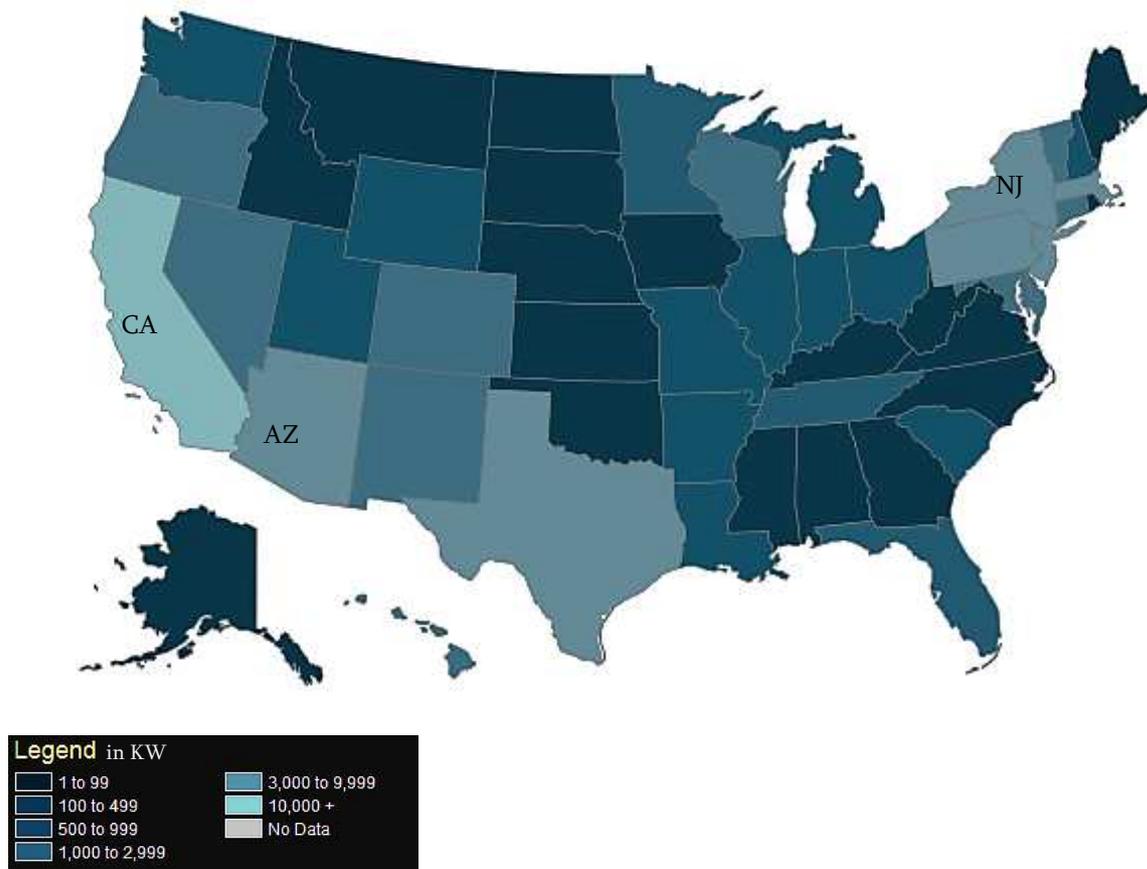


Abbildung 27: U.S. Karte, installierte Leistungen von PV-Anlagen nach Bundesstaat, in KW. (2011)

Die Karte zeigt, dass der Großteil der Bundesstaaten Sonnenenergie nur sehr gering nutzt. Jedoch sind aktuell in 10 Staaten 28 PV-Anlagen mit einer gesamten Leistung von 2,9 GW im Bau. Die Meisten sollen 2014 ans Netz gehen. 12 der 28 Anlagen werden in Kalifornien gebaut und haben eine gesamte Kapazität von 2,2 GW. Das größte Photovoltaik-Projekt weltweit, mit einer Kapazität von 397 MW, entsteht in Arizona. Das Agua Caliente Solar Project soll bei der Fertigstellung 626,219 GWh Strom pro Jahr produzieren. Des Weiteren sind noch viele Projekte in der Entwicklungs- und Planungsphase. In 21 Staaten werden 120 Anlagen mit einer Leistung von 19,2 GW entwickelt. Auch hier gibt Kalifornien mit 11,6 GW den Weg vor, aber auch in Nevada mit 2,7 GW und Arizona mit 1,3 GW neu geplanten Anlagen wird Photovoltaik weiter ausgebaut.¹⁰⁶ Geht die Entwicklung in den USA so rasant weiter, könnte sich die USA in den nächsten Jahren an die Spitze der höchsten, installierten Gesamtleistung setzen und Deutschland überholen.

¹⁰⁵ National Renewable Energy Laboratory, NREL: The Open PV Project (02.2013).

<https://openpv.nrel.gov/rankings>

¹⁰⁶ Clean Technica: Can the US Reach 23 GW Installed Utility-Scale PV Solar? (06.2012)

<http://cleantechnica.com/2012/06/27/utility-scale-solar-pv-us/>

Der Photovoltaik-Markt boomt nun seit drei Jahren in den USA, aber die Gründe dafür sind andere als in Europa. In den USA werden Photovoltaik-Anlagen ausschließlich als wirtschaftliche Investition gesehen. Die CO₂-Reduktion interessiert hier nur Randgruppen. Bis jetzt waren Investitionen in sonnigen Gebieten wie Kalifornien, Arizona und Nevada wirtschaftlich und der Hauptgrund für den starken Ausbau von Photovoltaik. Getrieben wurde dieses Wachstum in den letzten Jahren durch die fallenden Preise für Solarmodule. Beliefen sich die Kosten im ersten Quartal 2011 noch auf 1,74 Dollar pro Watt installierter Leistung, so haben sie sich innerhalb eines Jahres nahezu halbiert und lagen im gleichen Zeitraum 2012 bei nur noch 0,94 Dollar.¹⁰⁷ Doch auch die Förderungen einzelner Bundesstaaten haben zum Wachstum der Photovoltaik Branche beigetragen. In Kalifornien zum Beispiel gibt es Einspeisevergütungen, für erneuerbare Energien die sogenannten Feed-in-Tarifs (FiTs). Privatbesitzern von PV-Anlagen von einer Größe bis zu 3 Megawatt, können in Verträge mit Laufzeiten von 10, 15 und 20 Jahren einsteigen. Der produzierte Strom wird dann auf Basis eines marktangepassten Preises, Re-Mat (Renewable Market Adjustment Tariff), verkauft. Stromerzeuger in öffentlicher Hand, die mehr als 75.000 Kunden haben, müssen zudem bis spätestens 1. Juli 2013 Einspeisevergütungsprogramme innerhalb festgelegter Richtlinien umsetzen. Die Vergütungen sind bis zu einer kumulativen Kapazität von 750 MW, für Kraftwerke sowohl in privater als auch in öffentlicher Hand verfügbar. In Kalifornien gibt es außerdem noch Kampagnen wie die Go Solar California Campaign, die sonnenbetriebene Kraftwerke aller Art mit einem Budget von 3,3 Milliarden US Dollar unterstützten. New Jersey dagegen setzt auf die Renewable Energy Credits (RECs). Dabei können sich Unternehmen bei erneuerbaren Stromkraftwerken einkaufen. Mit dem Kauf von Renewable Energy Credits können Versorgungsunternehmen ihren Anteil an erneuerbaren Energien erhöhen, damit dieser den gesetzlichen Quoten entspricht. Zudem gibt es spezielle Solar Renewable Energy Credits (SRECs) für den verpflichtenden Solaranteil. Dieser wird 2021 in New Jersey 3,5% der Stromerzeugung ausmachen. Die Förderung der Photovoltaik erfolgt in New Jersey vorwiegend über die SRECs. Das SREC-Programm erlaubt den Verkauf von einem Credit pro produzierter MWh aus Solarenergiekraftwerken. Diese Credits werden offen gehandelt und passen sich dadurch dem marktbasierenden Bedarf an. New Jersey bietet auch Umsatzsteuer-Befreiungen für die Anschaffung von Solaranlagen an.¹⁰⁸

Im Gegensatz zur EU gibt es in den USA keine bundesweit verpflichtende Gesetzgebung zur Einführung erneuerbarer Energien. Die einzelnen Bundesstaaten haben eigene Gesetze, sowie Förderungen für Photovoltaik erstellt. Diese verpflichtenden Quoten und den Förderungen, sind nun, neben der Wirtschaftlichkeit, ein weiterer Aspekt, der für den Bau von PV-Anlagen spricht. In New Jersey zum Beispiel müssen bis 2021 22,5% des erzeugten Stroms aus erneuerbaren Energiequellen kommen. Davon müssen 3,5 Prozent aus Solar-Stromerzeugung gewonnen werden. Neben New Jersey gibt es aber noch einige andere Bundesstaaten die solche Regelungen verpflichten gemacht haben (*siehe Kapitel 2.5.2*).

¹⁰⁷ photovoltaic.org: Hoher Photovoltaik Zubau in den USA.

<http://www.photovoltaic.org/news/international/hoher-photovoltaik-zubau-den-usa-12245>

¹⁰⁸ Milk the Sun: Photovoltaik in den Vereinigten Staaten von Amerika (11.12.2012).

<http://blog.milkthesun.com/de/photovoltaik-in-den-vereinigten-staaten-von-amerika-usa-einfuehrung/>

Wie lang dieser Boom noch anhält, ist noch unklar. Längerfristig wird aber angenommen, dass der Markt zurückgehen wird. Gründe dafür sind, dass erstens einige wichtige Förderprogramme (zum Beispiel 1603 Treasury Program) ausgelaufen sind, und zweitens werden die nun verhängten Strafzölle auf chinesische Module die Kosten für Neuinstallationen steigen lassen. Dies erklärt auch den Run bei den Installationen in den Jahren 2011 und 2012. Die dadurch, zumindest vorübergehend, sinkenden Renditeerwartungen werden in den USA vermutlich zu einem erheblichen Rückgang des Zubaus führen. Jedoch sehen viele Investoren Photovoltaik Anlage weiter als eine risikoarme Investitionsmöglichkeit, und deshalb werden weiter neue Anlagen gebaut werden. Das EPIA geht von zwei unterschiedlichen Szenarien bis 2016 aus¹⁰⁹:

- **Mäßiges Szenario** (Moderate)

In diesem Szenario werden die aktuellen Förderungen und Einspeisevergütungen der Bundesstaaten sowie die Entwicklung des PV-Marktes berücksichtigt. Die zu erwartende Leistung in diesem Fall beläuft sich auf 30.5 GW für 2016.

- **Politisches Szenario** (Policy-Driven)

In diesem Fall werden zusätzlich zum Mäßigen Szenario noch weitere politische Maßnahmen umgesetzt. Dabei kann von einer Leistung 2016 von 37 GW ausgegangen werden.

Die nachfolgende Grafik zeigt die zwei Szenarien für die USA.

- Photovoltaik Szenarien in den USA, in MW bis 2016.¹¹⁰

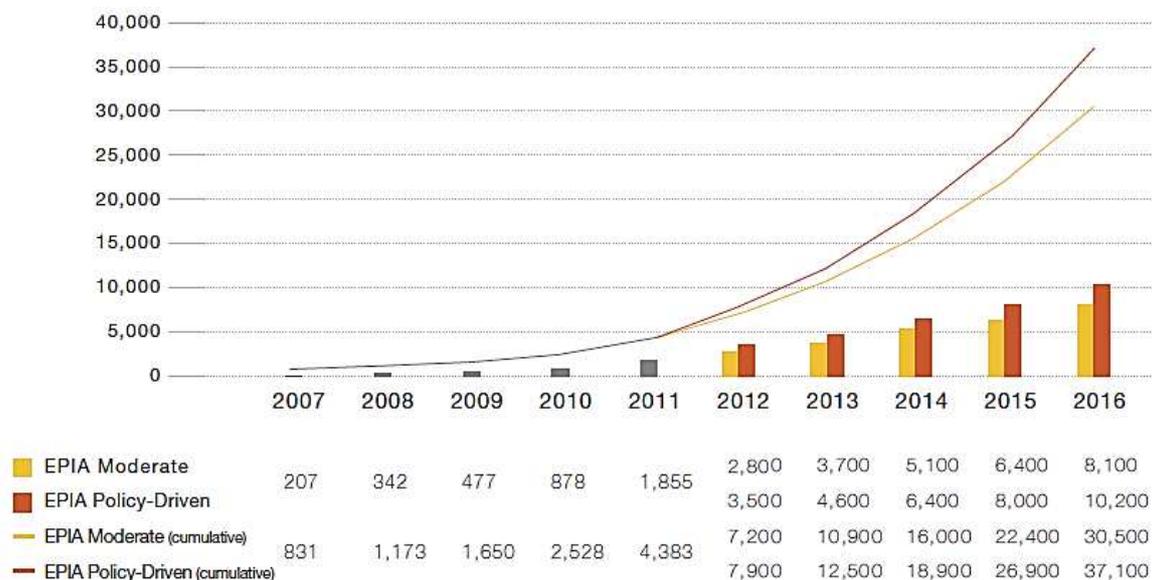


Abbildung 28: EPIA - Photovoltaik Szenarien in den USA, in MW bis 2016.

¹⁰⁹ Vgl. EPIA: Global Market Outlook for Photovoltaic until 2016, Seite 65.

¹¹⁰ Ebda, Seite 65.

Wie sich der US-Markt entwickeln wird, hängt einerseits sehr stark von den Energiepreisen und andererseits von den Investitionskosten für Photovoltaik ab. Nur wenn PV-Anlagen weiter Renditen abwerfen, wird in neue Anlagen investiert werden. Im Moment sind die Preise für Photovoltaik so stark gefallen, dass sich die Investitionen in PV-Anlagen auch in den nächsten Jahren rechnen werden. Im aktuellen *Renewable energy country attractiveness indices* vom Mai 2012 ist die USA für Investitionen in Solarenergie weltweit Nummer 1, und somit sehr attraktiv für den Bau von Photovoltaik-Anlagen.¹¹¹ Die Förderungen und Einspeisevergütungen der einzelnen Bundesstaaten werden ebenfalls einen Beitrag zu einem weiteren Ausbau leisten. Eine bundesweite Gesetzgebung wird, trotz der Wiederwahl von Präsident Obama, in näherer Zukunft unwahrscheinlich sein. Grundsätzlich sieht die Situation in den USA in den kommenden Jahren aber sehr vielversprechend aus und gerade in den Wüstengegenden wäre genügend Platz und Potential vorhanden, um weitere Projekte zu realisieren.

3.1.2 Solarthermie - Sonnenkollektoren

Die Nutzung von Sonnenstrahlen zur Erhitzung von Wasser gibt es schon sehr lange. Die erste große Anwendung von Sonnenkollektoren gab es 1970 während der Energiekrise. In den letzten zehn Jahren gab es einen Aufschwung in der Verbreitung, und Ende 2011 waren weltweit 350 Millionen Quadratmeter Sonnenkollektoren mit einer Leistung von 245 GW(th) installiert. China mit 147 GW(th), Europa mit 36 GW(th) und die Vereinigten Staaten und Kanada mit 16 GW(th) hatten die größten installierten Kapazitäten. Die jährlich erzeugte Energie betrug 204 TWh.¹¹²

Die Technologie und Anwendung von solarthermischen Kollektoren werden nun erklärt. Die Sonnenkollektoren, die meistens am Dach installiert werden, absorbieren solare Strahlung, wandeln sie in Wärme um und geben die Wärme an ein Wärmeträgermedium ab. Dabei kann, je nach Art der solarthermischen Kollektoren, eine Temperaturerhöhung über die Umgebungswärme von wenigen bis hin zu mehreren hundert Grad erfolgen. Das Wärmeträgermedium wird dann über ein Rohrsystem zu dem Solarspeicher gepumpt, erwärmt dort das Wasser im Speicher und strömt abgekühlt zu den Kollektoren zurück. Zusätzlich kann das Wasser noch durch die bestehende Heizungsanlage erwärmt werden.¹¹³

Solarthermische Systeme mit unterschiedlichen Arbeitstemperaturen finden Einsatz in der Gebäudetechnik in Wohn- und Geschäftsgebäuden, in der Industrie oder in Freilandanlagen. Die solar erzeugte Wärme kann entweder direkt in einer Brauchwasser- und Solarheizung genutzt werden, über Wärmekraftmaschinen in Strom oder mittels thermischer Kältemaschinen in Kälte umgewandelt werden.

Die Funktionsweise einer thermischen Solaranlage wird in der Abbildung auf der nächsten Seite dargestellt.

¹¹¹ Renewable energy country attractiveness indices, May 2012, Seite 25.

¹¹² Weiss Werner, Mauthner Franz: Solar Heat Worldwide, Markets and Contribution to the Energy Supply 2010. Edition 2012.

¹¹³ Erneuerbare Energien Innovation für die Zukunft, Berlin 2011, Seite 95.

- Funktionsweise einer thermischen Solaranlage.¹¹⁴

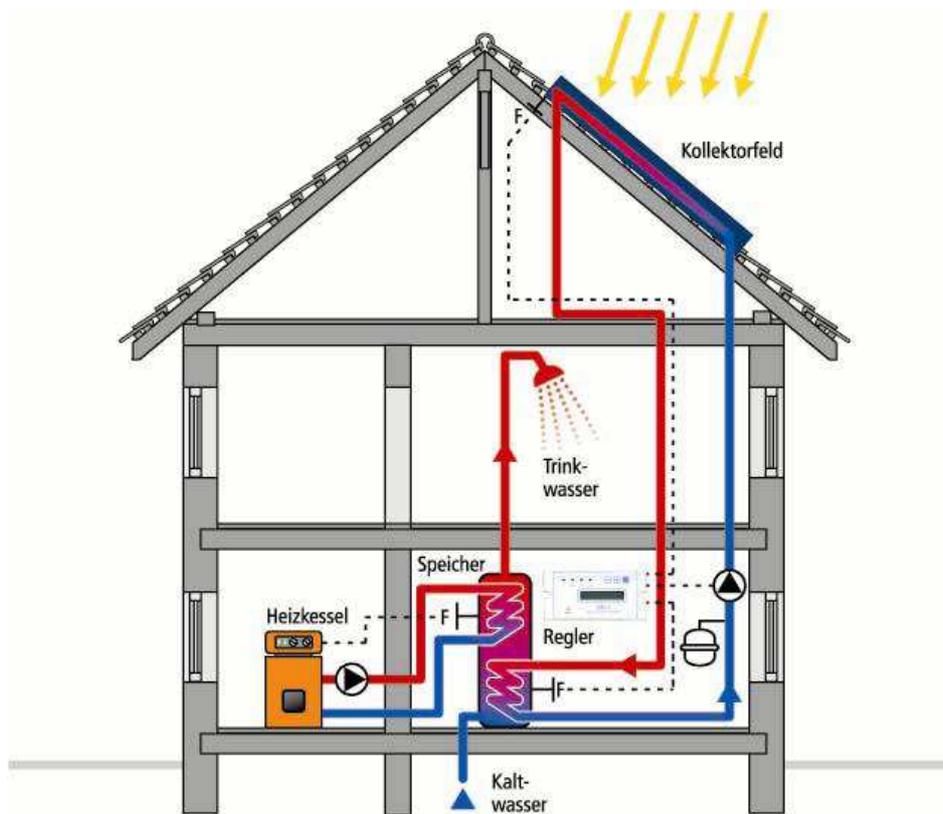


Abbildung 29: Funktionsweise einer thermischen Solaranlage.

Der Kollektor ist das Bindeglied zwischen dem Sonnenenergienutzer und der Sonne und ihrer Strahlung. Es gibt unterschiedliche Arten und Bauformen für verschiedene Einsatzgebiete mit spezifischen Kosten und Leistungen.

Schwimmbadabsorber sind die einfachste Art um Wärme zu erzeugen und erreichen keine hohen Temperaturen. Diese preiswerten Kollektoren bestehen aus witterungs- und UV-beständigem Kunststoff ohne Gehäuse, Wärmedämmung und Glasscheibe und werden für die Schwimmbadwassererwärmung eingesetzt.

Technisch ausgefeilter sind **Flachkollektoren**. Diese bestehen aus einem Metallabsorber in einem flachen, rechteckigen Gehäuse. Um die Wärmeverluste des Kollektors zu vermindern, ist der Absorber auf den sonnenabgewandten Seiten gut isoliert und zur Sonne hin mit einer Glasscheibe abgedeckt. Diese Scheibe ist mit einer speziellen Antireflexschicht versehen, um Reflexionen zu minimieren. Der Absorber besteht aus einem gut Wärme leitenden Metallblech (zum Beispiel Kupfer oder Aluminium) mit einer dunklen Beschichtung und ist mit gut leitenden Kupferrohren verbunden. Trifft Solarstrahlung auf den Absorber, wird diese absorbiert und in Wärme umgewandelt. Das Blech leitet die entstehende Wärme an die Kupferrohre weiter. Durch diese strömt die Wärmeträgerflüssigkeit, welche die Wärme aufnimmt und zum Speicher transportiert.

¹¹⁴ Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie, DGS: Sonnenwärme – Solarthermie.
<http://www.dgs.de/137.0.html>

Bei gleicher Sonnenstrahlung kann ein solcher Flachkollektor höhere Wassertemperaturen erzielen als die *Schwimmbadabsorber*.¹¹⁵

Die dritte Art sind **Vakuurröhrenkollektoren**. Das funktionelle Grundprinzip eines Vakuurröhrenkollektors ist völlig identisch mit dem eines Flachkollektors. Das beschichtete Absorberblech dient, wie bei Flachkollektoren, der Aufnahme und Weiterleitung der Sonnenwärme. Der Wärmeabsorber liegt allerdings in gläsernen, beinahe luftleeren Röhren. Dadurch geht weniger Wärme als beim Flachkollektor an die umgebende Luft verloren (konvektiver Verlust). Ein Vakuurröhrenkollektor besteht aus einer Anzahl miteinander verschalteter Röhren, die am Kopf durch einen Verteiler- beziehungsweise Sammlerkasten verbunden sind. Darin laufen die gedämmten Vor- und Rücklaufleitungen. Vor allem im Winter bringen Vakuummollektoren auf Grund ihrer sehr guten Dämmung wesentlich höhere Erträge als Flachkollektoren. Vakuurröhrenkollektoren erreichen gegenüber luftgefüllten Flachkollektoren gleicher Größe wesentlich höhere Betriebstemperaturen und eignen sich dadurch auch zur Erzeugung industrieller Prozesswärme. Die Absorbtemperatur und somit auch die Flüssigkeitstemperatur kann, je nach Konstruktion und Anwendung, bis zu 350°C erreichen.¹¹⁶

- Flach- und Vakuurröhrenkollektor¹¹⁷



Abbildung 30: Flach- und Vakuurröhrenkollektor.

Neben den Kollektoren sind die Wärmespeicher ein wichtiger Bestandteil einer Solaranlage. Da das Energieangebot der Sonne selten mit den Zeiten des Wärmebedarfs übereinstimmt, muss die solar erzeugte Wärme gespeichert werden. Es gibt Trinkwasserspeicher zur direkten Erwärmung von Trinkwasser und Kombispeicher zur Erwärmung von Trinkwasser, oder zur Heizungsunterstützung. Die von einem Sonnenkollektor bereitgestellte Wärme lässt sich auch zum Antrieb einer Klimaanlage nutzen. Da der Bedarf an Raumkühlung vor allem dann groß ist, wenn die Sonne am stärksten scheint, wird der Kollektor in Kombination mit einer Kältemaschine besonders gut ausgenutzt.¹¹⁸

Mit Solarthermischen-Anlagen lässt sich, wenn die Sonne scheint, billige und umweltfreundliche Energie erzeugen. Die CO₂ freie Produktion von Wärme und die einfache Integration in das bestehende Heizungssystem sind Gründe dafür, dass Sonnenkollektoren eine der wichtigsten

¹¹⁵ Vgl. Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie, DGS: Sonnenwärme – Solarthermie.

<http://www.dgs.de/137.0.html>

¹¹⁶ Vgl. Ebda, <http://www.dgs.de/137.0.html>

¹¹⁷ Zukunftsenergie Region Stuttgart: Solar für Alle, Funktionsprinzip. <http://zukunftsenergien.region-stuttgart.de/sixcms/detail.php/237591>

¹¹⁸ Erneuerbare Energien Innovation für die Zukunft, Berlin 2011, Seite 100.

dezentralen erneuerbaren Energiesysteme weltweit sind. Der große Vorteil ist, dass sie im Vergleich zu Biomasse oder Wärmepumpen, die entweder Energie aus der Umgebung oder Brennstoff brauchen, nur die Energie der Sonnenstrahlen absorbieren. In den letzten zehn Jahren wurden daher weltweit viele Millionen Quadratmetern an Kollektorflächen installiert. Neben der natürlichen Einschränkung in der Nutzung durch die Zeit in der keine Sonne scheint, gibt es aber auch noch andere Nachteile. Die Erzeugung der Kollektoren selbst verbraucht viel Energie und auch die Entsorgung ist problematisch, da die Kollektoren als Sondermüll gelten.¹¹⁹

Die Vorteile von Solarthermischen-Anlagen überwiegen gerade in sonnigen Regionen und in Europa sowie den Vereinigten Staaten sind Solaranlagen, gerade bei Einfamilienhäusern, sehr beliebt und sinnvoll.

3.1.2.1 Sonnenkollektoren in der EU

In Europa fallen 50% des Gesamtenergieverbrauchs auf die Wärme- und Kälteerzeugung. Um die 20-20-20 Ziele zu erreichen, wird deswegen auch die Heizungs- und Kühlungsenergie vermehrt aus erneuerbaren Energien erzeugt werden müssen. Viele europäische Mitgliedsstaaten setzen daher auf Sonnenkollektoren um ihre nationalen Ziele zu erreichen. Sonnenkollektoren sind eine technisch einfache und wirtschaftliche Art Sonnenergie für die Heizung und Kühlung zu nutzen. Deswegen wurden EU weit bis 2011, 36 Millionen Quadratmeter Sonnenkollektoren, mit einer Leistung von 25.546.799 KW(th) installiert¹²⁰. 82 Prozent der installierten Kapazität verteilen sich auf 6 Länder, wie die nächste Abbildung darstellt. Die Differenz in der Anlagendichte in der Europäischen Union ist, wie bei Photovoltaik, begründet in den länderspezifischen Förderungen und die geographisch unterschiedlich nutzbare Sonnenergie.

- Länderanteile an installierten Sonnenkollektoren in der EU in Prozent, 2011.¹²¹

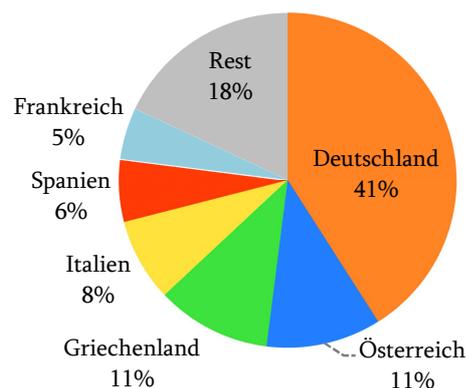


Abbildung 31: Länderanteil an installierten Sonnenkollektoren in der EU in %. (2011)

¹¹⁹ Regenerative Energie Strom Lexikon: Vor- und Nachteile Sonnenergie. <http://www.strom-infos.net/vor-und-nachteile-der-sonnenenergie.html>

¹²⁰ Augsten, Eva: Sonnenergie, Nicht viel los, (Ausgabe 2012/05)

[http://www.sonnenenergie.de/index.php?id=30&no_cache=1&tx_ttnews\[tt_news\]=230](http://www.sonnenenergie.de/index.php?id=30&no_cache=1&tx_ttnews[tt_news]=230)

¹²¹ European Solar Thermal Industry Federation, ESTIF: Solar Thermal Markets in Europe, Trends and Market Statistics 2011, June 2012.

In der EU sind thermische Solarkollektoren sehr beliebt, jedoch stagnierte der europäische Solarmarkt in den letzten vier Jahren. Laut des Europäischen Solarwärmeverbands ESTIF war 2011 in Deutschland zwar wieder ein leichter Aufwärtstrend zu erkennen, und Solarwärme boomt derzeit in Polen, jedoch wurden 2011, mit 3,5 Millionen Quadratmeter neuen Kollektorfläche um 1,3% weniger installiert als 2010. Die nachfolgende Grafik zeigt die Entwicklung der Neuinstallationen von Sonnenkollektoren in Europa in den letzten zehn Jahren.

- Entwicklung des Sonnenkollektor-Markts in der EU 27 und der Schweiz.¹²²

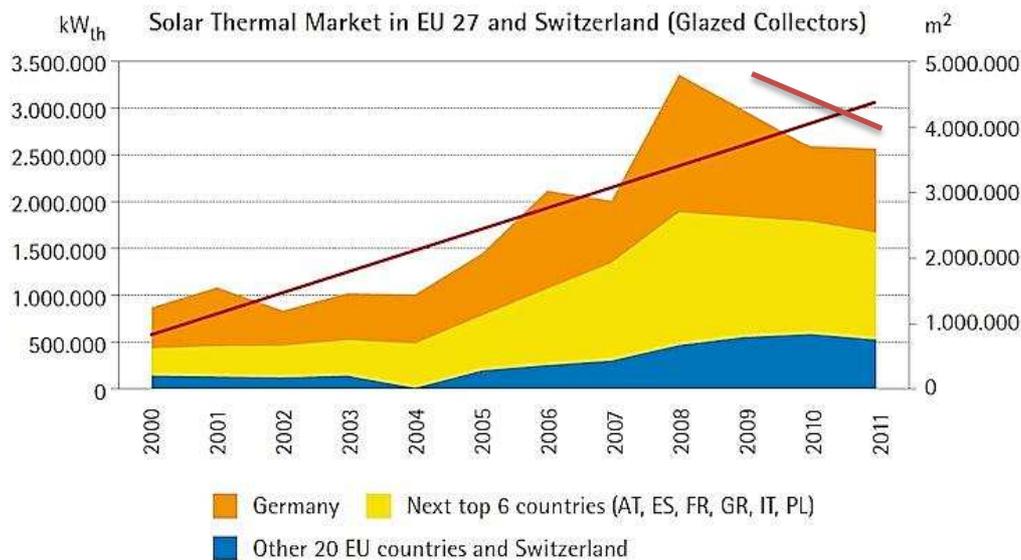


Abbildung 32: Entwicklung des Solarthermie-Markts in der EU-27 und der Schweiz. (2000-2011)

Die Gründe für die aktuelle Entwicklung der Solarwärmebranche, in den 6 wichtigsten Absatzländern der Europäischen Union und warum Polen eine Ausnahme ist, werden nun behandelt.

Deutschland ist mit knapp 15 Millionen Quadratmeter Kollektorfläche europäische Spitze. Seit 2008 gingen die Neuinstallationen aber zurück. Erst 2011 wurden wieder um 11 Prozent mehr Sonnenkollektoren auf Dächern angebracht als das Jahr zuvor. Insgesamt wurden 1.270.000 Quadratmeter mit einer thermischen Leistung von 889.000 KW(th) installiert. Ein Grund dafür war aber die Tatsache, dass es bis zum Jahresende 2011 noch deutlich höhere Zuschüsse für Solarwärmeanlagen gab. Ein weiterer Grund für den leichten Anstieg liegt in den momentanen Unsicherheiten auf den Finanzmärkten, was deutsche Verbraucher vermehrt veranlasst, in erneuerbare Energien zu investieren.¹²³

In **Italien** waren 2011 3 Millionen Quadratmeter Kollektorfläche in Betrieb. Bei Neuinstallationen lag das Land 2011, trotz Rückganges auf 415.000 m², noch immer auf Platz 2 der Europastatistik. Der Grund dafür ist, dass es in Italien eine starke Solarthermie-Industrie gibt, und die Regierung

¹²² ESTIF, Solar Thermal Markets in Europe, Seite 5.

¹²³ Vgl. Ebda Seite 5.

hat in ihrem nationalen Aktionsplan ehrgeizige Ziele für Sonnenkollektoren festgehalten. Bis Ende 2012 konnte man sich 55% der Kosten eines Solarsystems bei der Steuererklärung zurückholen. Dennoch ging der Absatz von Sonnenkollektoren 2011 um 15 Prozent zurück. ESTIF begründet das mit einem zu großen Verwaltungsaufwand für Neuinstallationen, der Finanzkrise und dass Photovoltaik in den vergangenen Jahren viele Geld privater und staatlicher Investoren sowie Fördermittel, aufgesaugt hat. Ein Vergütungstarif für Solarwärme pro Kilowattstunde war zwar eigentlich vorgesehen, wurde aber bis jetzt nicht eingeführt.¹²⁴

In **Spanien** wurden bis 2011 2,3 Millionen Quadratmeter Kollektorfläche gebaut. Die Absatzkurve für Spanien sinkt aber seit dem Jahr 2008 drastisch. Auch 2011 ging die Neuinstallation von Sonnenkollektoren wieder um 20 Prozent, auf 266.979 m², zurück. In der Europastatistik liegt Spanien mit diesem Wert aber noch immer auf Platz 3. Vor dem Einbruch des Solarmarktes gab es in Spanien aufgrund einer Verordnung aus dem Jahr 2006, die Sonnenkollektoren für alle Neubauten vorschrieb, einen regelrechten Kollektorboom. Als der Bauboom durch die Finanzkrise aber endete, brach auch der Solarkollektor-Markt ein. Die Finanzkrise wird Spanien voraussichtlich in den nächsten Jahren weiter im Griff haben und die Regierung hat Fördermittel für Solarthermie gekürzt. Der Abwärtstrend wird daher in den nächsten Jahren weiter gehen.¹²⁵

In **Polen** sind aktuell nur 909.390 m² Kollektorfläche installiert, jedoch gibt es seit 2010 ein beeindruckendes Wachstum bei Solarthermie. Das Land hat sich zum Ziel gesetzt, insgesamt 14 Millionen Quadratmeter Sonnenkollektoren bis 2020 neu zu installieren. Das wichtigste Förderprogramm ist dabei das Programm des Nationalen Fonds für Umweltschutz und Wassermanagement, NFOSiGW, das seit August 2010 besteht. So kommt es, dass die Neuinstallation von Sonnenkollektoren in Polen 2011, im Vergleich zum Vorjahr, um mehr als 70% auf 253.500 m² stieg. Allerdings wurde der Großteil des Gesamtbudgets auf die Jahre 2011 und 2012, mit jeweils 100 Millionen Euro, aufgeteilt. Für die Jahre 2013 und 2014 sind insgesamt nur 109 Millionen Euro vorgesehen und im Jahr 2015 soll das Programm enden.

In **Frankreich** wurden bis 2011 1,7 Millionen Quadratmeter Kollektorfläche angeschlossen. Mit einem Rückgang um 2% auf 251.000 m² im Jahr 2011 scheint der Solarthermie-Markt in Frankreich nahezu stabil. Doch tatsächlich ist lediglich die neu installierte Kollektorfläche etwa konstant geblieben, der Markt hat sich dagegen stark verändert. Sonnenkollektoren für die Warmwasserbereitung in Einfamilienhäusern waren um 15 Prozent weniger gefragt als 2010, die Nachfrage nach Kombisystemen mit Heizungsunterstützung ging sogar fast um ein Viertel zurück. Die Installation von großen Anlagen mit 50 m² oder mehr Kollektorfläche wuchs aber 2011 um 30%. Der Grund dafür ist, dass große Anlagen in Frankreich mit dem Programm Fonds Chaleur verstärkt gefördert wurden. In öffentlichen Gebäuden und Sozialwohnungen gab es einen Zuschuss bis 80%, in privaten Gebäuden bis zu 70%.¹²⁶

Österreich hatte 2011 mit 3,9 Millionen Quadratmeter die meiste pro Person installierte Kollektorfläche in der EU. Die hohen Energiepreise veranlassten viele Verbraucher bei Neubauten

¹²⁴ Vgl. ESTIF, Solar Thermal Markets in Europe, Seite 6.

¹²⁵ Vgl. Ebda, Seite 6.

¹²⁶ Vgl. Ebda, Seite 7.

Sonnenkollektoren anzubringen. Doch mit nur mehr 230.000 m² neu angeschlossenen Flächen fällt Österreich 2011 hinter Polen und Frankreich zurück. Insbesondere die plötzlichen Änderungen in Niederösterreich brachten die Solarwärmebranche aus dem Gleichgewicht. 2009 hob das Bundesland die Zuschüsse an und löste damit einen Boom aus. Als sie 2010 wieder auf das vorige Niveau sanken, führte das zu einem leichten Marktrückgang. Im Jahr 2011 stoppte Niederösterreich plötzlich die Solarwärmeförderung und brachte den Absatz damit nahezu zum Stillstand. Zuvor wurde jeder vierte Sonnenkollektor in Österreich in dem Bundesland montiert. Dementsprechend stark schlug die gestrichene Förderung auf das Gesamtergebnis durch. In den übrigen Bundesländern verlief die Entwicklung dagegen recht stabil.¹²⁷

In **Griechenland** sind mit 4 Millionen Quadratmetern Kollektorfläche, nach Deutschland, die Meisten in der EU installiert. Trotz der Wirtschaftskrise konnten 2011 230.000 m² neue Kollektorflächen angebracht werden, was einem Plus von 7,5% entspricht. Als Erklärung dafür führt ESTIF an, dass Solarthermie in Griechenland eine etablierte Technik ist, und die steigende Nachfrage sei darauf zurückzuführen, dass man in unsicheren Zeiten zumindest Strom und Brennstoffe sparen will.¹²⁸

In den übrigen EU-Ländern ist Solarwärme noch sehr spärlich ausgebaut. Eine wichtige Rolle im Ausbau von Sonnenkollektoren spielen die nationalen Aktionspläne. 2020 soll der Anteil von Solarwärme 5,56% zur gesamten Wärmeproduktion aus erneuerbaren Energiequellen betragen. Im Vergleich zu Biomasse und Wärmeproduktion aus Wärmepumpen ist dies ein relativ geringer Wert. Jedoch würde es ein Wachstum von 15% pro Jahr bedeuten. Die europaweiten solarthermischen Ziele hängen aber an den ambitionierten Zielen einiger Länder, wie Polen, Italien, Frankreich, Spanien, Deutschland und Österreich. Die restlichen Nationen werden keinen großen Beitrag dazu leisten, wie die Abbildung der nationalen Ziele der Mitgliedsstaaten auf der nächsten Seite zeigt.

Wie der tatsächliche Ausbau sein wird, kann aktuell nur geschätzt werden. Geht der Ausbau ähnlich weiter wie zuletzt rechnet das ESTIF 2020 mit einer Kollektorfläche von 97 Millionen Quadratmetern, und einer Leistung von 67,9 GW(th). Werden aber finanzielle und politische Fördermechanismen wie Finanzanreize und Bauverpflichtungen erhöht, und die Forschungsarbeit ausgebaut, könnten 2020 388 Millionen Quadratmeter Kollektorfläche, mit einer Leistung von 271,6 GW(th) erreicht werden.¹²⁹ Wichtig für die tatsächliche Entwicklung wird sein, dass sich mit Sonnenkollektoren Geld sparen lässt. Solarwärme hat in der EU noch ein Nischendasein, aber aufgrund der Vorteile und der steigenden Energiekosten könnte ein neuer Boom entstehen. Um das zu schaffen, muss sich aber Solarwärme in Zukunft rechnen.

¹²⁷ Vgl. ESTIF, Solar Thermal Markets in Europe, Seite 7.

¹²⁸ Vgl. Ebda, Seite 7.

¹²⁹ Vgl. Ebda, Seite 19.

- Solarwärme in Europa 2011 und 2020 in GWh.¹³⁰

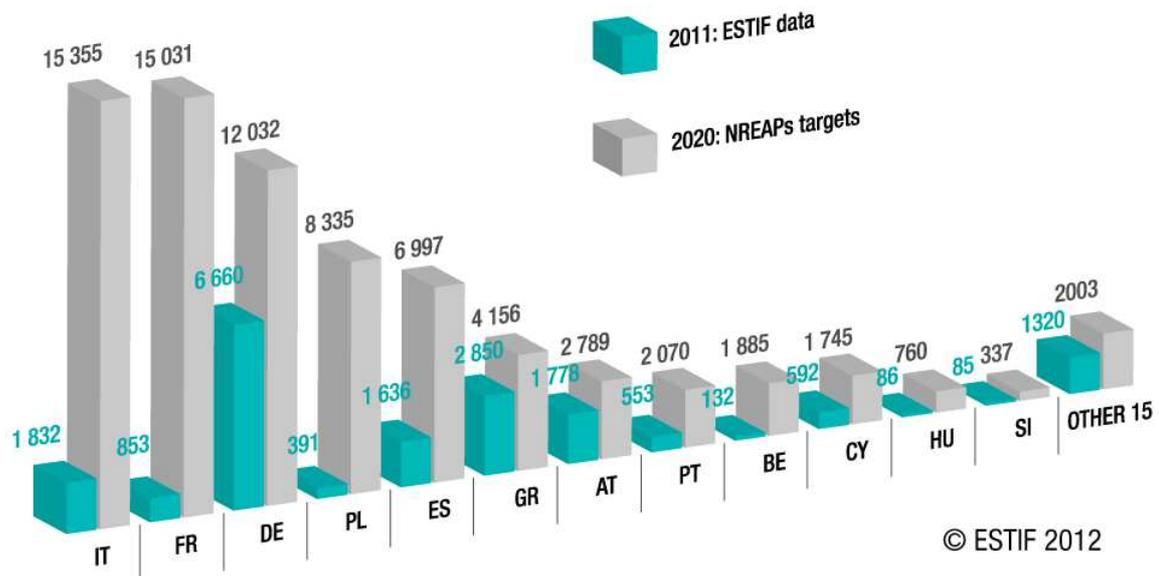


Abbildung 33: Vergleich der Wärmeproduktion der Mitgliedsstaaten aus Sonnenkollektoren 2011 und der geschätzten Produktion, laut den nationalen Aktionsplänen, 2020, in GWh pro Jahr. (2011, 2020)

3.1.2.2 Sonnenkollektoren in den USA

In den USA fallen, gleich wie in Europa, 50% des Gesamtenergieverbrauches auf Heizung und Kühlung. Die verwendeten Energieträger für die Wärme- und Kälteerzeugung sind hauptsächlich Gas, Strom und Öl. Solarwärme spielt dagegen in den Vereinigten Staaten nur eine sehr untergeordnete Rolle, wird aber gerne zur Beheizung von Pools und vermehrt zur Warmwasseraufbereitung in Haushalten verwendet. Da Mithilfe von Sonnenkollektoren bis zu 50% der Heizungsenergie und -kosten eingespart werden können.¹³¹

Im Jahr 2010 waren in den USA insgesamt 22 Millionen Quadratmeter Sonnenkollektoren mit einer Leistung von 15,3 GW(th) installiert. Am häufigsten werden sie in sonnenreichen Bundesstaaten, wie Kalifornien, Arizona, Hawaii und Florida, eingesetzt.¹³²

Die Entwicklung des Sonnenkollektor-Marktes in den USA war in den letzten zehn Jahren unbeständig. 2006 und 2008 gab es aufgrund von bundesstaatlichen Förderungen, insbesondere bei Sonnenkollektoren für die Heizung und Kühlung von Häusern, einen erheblichen Anstieg von Neuinstallationen. Der Markt flachte in den folgenden Jahren ab. 2010 wurden 16 Millionen Quadratmeter Kollektorfläche mit einer Leistung von 814 MW(th) neu installiert. 155 MW(th) wurden davon für die Wärme- und Kälteerzeugung bei Gebäuden installiert, was einen Anstieg von 6% bedeutete. Die restlichen 659 MW(th) wurden für Poolheizung verwendet, was gegenüber 2010 ein Steigerung von 13% war, aber noch immer 30% weniger sind, als am Höchststand 2006.

¹³⁰ ESTIF, Solar Thermal Markets in Europe, Seite 19.

¹³¹ eia: Annual Energy Review 2011, Seite 76.

¹³² Weiss, Mauthner Franz: Solar Heat Worldwide, Seite 9.

Die nächste Grafik zeigt die Entwicklung der jährlichen Neuinstallationen von Sonnenkollektoren in den USA, getrennt nach Heizung und Kühlung für Gebäude und Poolheizung.¹³³

- Entwicklung des U.S. Sonnenkollektor-Marktes von 2001-2010, in MW(th).¹³⁴

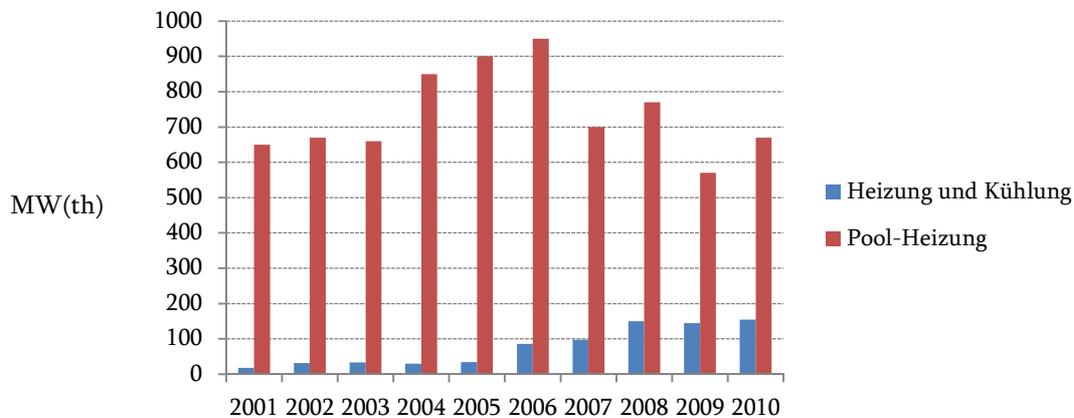


Abbildung 34: Entwicklung des Sonnenkollektor-Marktes in den USA, in MW(th). (2001-2010)

Wie sich der Markt in den kommenden Jahren in den USA weiterentwickelt, ist sehr schwer vorauszusagen. Es gibt zwar Förderungen für Sonnenkollektoren in Arizona, Kalifornien, Connecticut, Florida, Hawaii, Maryland, Oregon, Pennsylvania und Vermont, aber diese Programme geben aber nicht genug Geld aus, um den U.S. Markt entscheidend zu beeinflussen. Oft sind diese Förderungen auch nur für eine sehr geringe Zeit gültig, was nur einen kurzfristigen Anstieg der Neuinstallationen nach sich bringt. Im Gegensatz zu den EU-Ländern gibt es auch keinen Grund Sonnenkollektoren zur Einsparung von CO₂ zu forcieren.¹³⁵

In den USA ist es wichtig, dass sich mit diesem System Geld sparen lässt. Dabei spielen die Investitionskosten, der Energiepreis und die Förderungen eine Rolle. Wie sich das in Zukunft entwickelt ist unklar, und deshalb lässt sich keine wirkliche Prognose für die kommenden Jahre abgeben. Sonnenkollektoren sind aktuell sehr billig in den USA, aber auch Photovoltaik-Module sind im Preis stark gefallen und immer mehr Amerikaner bringen lieber Photovoltaik-Anlagen an, als Sonnenkollektoren. Doch der Anstieg 2010 an Neuinstallationen stellt in Aussicht, dass wieder mehr Sonnenkollektoren in den USA angebracht werden.

3.1.3 Solarthermie - Sonnenkraftwerke

Solarthermie kommt auch in größerem Maßstab bei solarthermischen Kraftwerken zur Anwendung. In Ländern mit hoher Direktstrahlung besitzen solarthermische Kraftwerke ein riesiges Potential, Solarstrom flexibel, sowohl für den Tagesspitzenbedarf, als auch für Zeiten erhöhter Last, kostengünstig zu erzeugen.

¹³³ Vgl. Sherwood Larry: U.S. Solar Market Trends 2010, June 2011.

¹³⁴ Vgl. Ebda, Seite 15.

¹³⁵ Vgl. Ebda, Seite 16.

Die Funktionsweise eines Sonnenkraftwerkes ist relativ einfach und zur Gewinnung der solaren Energie wird ausschließlich die Kraft der Sonne benötigt. Solarthermische Kraftwerke bündeln mit großen Spiegeln das Sonnenlicht in einem Brennpunkt. Dort steigt die Temperatur auf mehrere hundert Grad Celsius und erzeugt Wasserdampf oder erhitzt eine Flüssigkeit. Der Wasserdampf treibt wiederum eine Turbine an und über einen Generator wird Strom erzeugt. Die erzeugte Wärme kann allerdings auch für andere Aufgaben verwendet werden, etwa durch Kraft-Wärme-Kopplung zur Beheizung oder Kühlung von Gebäuden oder als Prozesswärme für industrielle Anlagen, beispielsweise zur Wasserentsalzung. Es gibt verschiedenen Typen von solarthermischen Kraftwerken.¹³⁶

- Typen von Sonnenkraftwerke und ihre Funktionsweise.¹³⁷

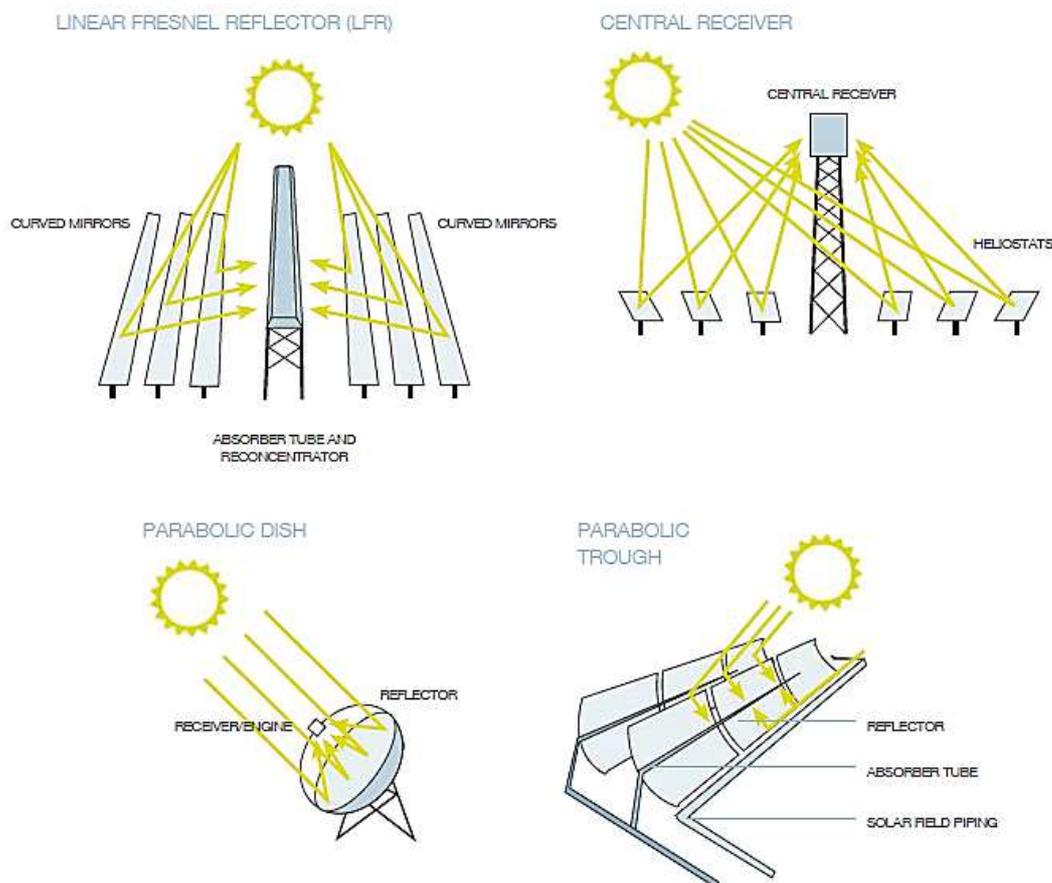


Abbildung 35: Sonnenkraftwerke und Funktionsweise.

Das **Fresnel-Spiegel-Kraftwerk** funktioniert durch mehrere Spiegelbänder die parallel angeordnet sind. Durch die Spiegel wird Sonnenlicht konzentriert und auf ein Absorberband gelenkt. Zusätzlich ist ein Konzentrator über dem Absorberband angebracht um die Lichtbündelung zu verstärken. Im Absorberrohr wird direkt Wasser verdampft und über die Dampfturbinen-Generatoren Strom erzeugt. Dieser Kraftwerkstyp hat den Vorteil, dass das Spiegelsystem nicht

¹³⁶ Seitz Bernhard 2010, Seite 33.

¹³⁷ Richter, Christoph/Teske, Sven/Short, Rebecca: Sauberer Strom aus den Wüsten. Globaler Ausblick auf die Entwicklung solarthermischer Kraftwerke (2009).

http://www.greenpeace.de/fileadmin/gpd/user_upload/themen/energie/Studie_Sauberer_Wuestenstrom.pdf

mechanisch der Sonne nachgeführt werden muss und so billig zu errichten ist. Mit diesen Anlagen können mehrere hundert Megawatt Strom erzeugt werden.

Eine zweite Möglichkeit ist das **Solarturm-Kraftwerk**. Bei diesem Typ werden sogenannte Heliostaten rund um einen Turm platziert. Die Spiegel werden über zwei Achsen der Sonne nachgeführt und konzentrieren das Sonnenlicht in der Turmspitze. Dort wird wie bei den beiden oben beschriebenen Kraftwerken Hitze erzeugt, die auf einen Sekundärkreislauf übertragen wird, in dem schließlich über Dampf elektrischer Strom generiert wird. Bei diesem Konzept werden Temperaturen über 1.000 °C erreicht.¹³⁸

Paraboloid-Kraftwerke sind noch in der Entwicklungsphase. Bei diesem Konzept konzentriert ein zweiachsig der Sonne nachgeführter Parabolspiegel die Sonnenenergie direkt auf einen im Brennpunkt des Spiegels aufgehängten Absorber. In diesem wird ein Arbeitsgas (Helium oder Luft) zum Antrieb eines Stirling-Motors oder einer Gasturbine, die unmittelbar neben dem Absorber angeordnet sind, auf etwa 900 °C erhitzt.) Diese Systeme kommen ohne Sekundärkreislauf aus und mit erzeugten Leistungen zwischen einigen KW und mehreren 10 KW sind sie hauptsächlich dezentral einsetzbar. Der Vorteil ist, dass kein Wasser benötigt und kein Wasserdampf erzeugt wird, der gekühlt werden müsste. Parabolspiegelanlagen wären modular aufbaubar und wenig störungsanfällig.¹³⁹

Eine vierte Art von Sonnenkraftwerken ist das **Parabolrinnen-Kraftwerk**. Bei diesem Konzept wird das Sonnenlicht durch parabolisch gekrümmte, bis zu 6 Meter breite und 150 Meter lange Spiegel auf ein Absorberrohr konzentriert. Die Spiegel werden im Tagesverlauf der Sonne nachgeführt. Das thermische Medium in dem Rohr, meist Thermoöl, wird dabei auf etwa 400 °C erhitzt. Die absorbierte Wärme wird mit dem Thermoöl abgeführt und über einen Wärmetauscher zur Dampferzeugung genutzt. Der so erzeugte Dampf dient zum Antrieb eines konventionellen Dampfturbinen-Generators und so wird schließlich elektrische Energie erzeugt. Insgesamt ist weltweit eine Kapazität von 930 MW installiert, die einzelnen Anlagen haben eine Nennleistung von bis zu 80 MW. Heutige Anlagen erreichen einen Spitzenwirkungsgrad von fast 30 Prozent für die Umwandlung der Solarstrahlung in Wechselstrom. Im Jahresmittel beträgt der Wirkungsgrad rund 15 Prozent.¹⁴⁰

Eine andere Technik verwendet das **Aufwindkraftwerk**. Dabei wird Luft unter einem riesigen Kollektordach aus Glas oder Kunststofffolie durch die Sonne erwärmt. Diese Luft strömt zu einem in der Mitte des Kollektordachs stehenden, Kamin und steigt durch diesen auf. Durch die Luftströmung werden am Fuß des Kamins eingebaute Turbinen angetrieben, die Strom erzeugen. Aufwindkraftwerke arbeiten ausschließlich mit Luft, sie benötigen kein Kühlwasser. In vielen sonnenreichen Ländern, die bereits große Wasserversorgungsprobleme haben, ist dies ein großer Vorteil. Da die Solarstrahlung im Gegensatz zu den zuvor beschriebenen Anlagen nicht konzentriert wird, kann auch die diffuse Strahlung zur Lufterwärmung unter dem Glasdach genutzt werden. Dadurch ist ein Kraftwerksbetrieb auch bei ganz oder teilweise bedecktem

¹³⁸ Seitz Bernhard 2010, Seite 34.

¹³⁹ Erneuerbare Energien Innovation für die Zukunft, Berlin 2011, Seite 92.

¹⁴⁰ Ebda, Seite 90.

Himmel möglich. Aufwindkraftwerke sind aber sehr kostenintensiv da sie sehr hohe Türme benötigen und sind noch in der Entwicklungsphase.¹⁴¹

Sonnenkraftwerke haben ein riesiges Potential und sind vielseitig einsetzbar. Jedoch gibt es neben den **Vorteilen von Sonnenkraftwerken** auch gewisse **Nachteile**, welchen im Folgenden näher erläutert werden.

Positiv ist, dass Sonnenkraftwerke prinzipiell auch mit fossiler Energie betrieben werden können, um in der Anfangsphase genug Energie absetzen und nötigenfalls auch unabhängig von der Sonneneinstrahlung Energie produzieren zu können. Ein solarthermisches Kraftwerk kann gleichzeitig **Elektrizität, Kälte, industriellen Prozessdampf** und sogar **Trinkwasser** (über eine Meerwasserentsalzungsanlage) erzeugen und dabei bis zu 85 Prozent der geernteten Solarwärme in Nutzenergie verwandeln. Ein besonderer Vorteil solarthermischer Kraftwerke ist die Möglichkeit, die absorbierte Sonnenenergie als **Wärme zu speichern**. Die gespeicherte Wärme wird nachts zur Stromerzeugung genutzt. Ein großer Vorteil ist wie bei PV-Anlagen die **CO₂ frei Erzeugung von Elektrizität**.

Nachteile können sein, dass als **Standorte** für solarthermische Kraftwerke hauptsächlich die **sonnenreichen Zonen der Erde** südlich des 40. Breitengrads in Frage kommen, da lediglich der direkte Anteil der Sonnenstrahlung gebündelt werden kann. Der hohe Anteil diffuser Strahlung und die insgesamt niedrigere Einstrahlung erschweren den wirtschaftlichen Einsatz in nördlicheren Ländern. Die Herstellung von Sonnenkraftwerken ist **kostenintensiv** und es wird sehr viel Energie benötigt. Sonnenkraftwerke benötigen sehr **viel Platz** und da sie meist weit weg von den Verbrauchern gebaut werden müssen, werden lange und kostenintensive Strecken von Stromleitungen benötigt. Sonnenkraftwerke sind technisch noch nicht hundertprozentig ausgereift. Es kann, ohne Speicher, nur Energie erzeugt werden, wenn die Sonne scheint.¹⁴²

Die weltweite Markteinführung solar-thermischer Kraftwerke steht bevor, auch in Europa und den USA. Weltweit waren allein im Jahr 2011 2,6 GW an Kraftwerksleistung im Bau, vor allem in Spanien und den Vereinigten Staaten, wo weitere 6 GW in Planung sind. Aber auch in Nordafrika und dem Mittleren Osten beschleunigt sich die Entwicklung. Solarthermische Kraftwerke stellen ein wichtiges Bindeglied zwischen der heutigen fossilen und der zukünftigen solaren Energieversorgung dar, da sie wesentliche Elemente beider vereinen. Sie nutzen herkömmliche Kraftwerksprozesse und kombinieren sie mit solaren Technologien. Durch die Kraft-Wärme-Kopplung (insbesondere zum Zwecke der Trinkwasserbereitung aus Meerwasser) erlauben sie eine äußerst effiziente Nutzung der solaren Primärenergie.

3.1.3.1 Sonnenkraftwerke in der EU

In Zukunft könnte ein Großteil des europäischen Stroms durch Sonnenkraftwerke erzeugt werden. Im Moment ist das nur eine Vision, doch Initiativen und die Vielzahl an Projekten in der Entwicklungs- und Planungsphase könnten diese bis 2050 verwirklichen lassen.

¹⁴¹ Erneuerbare Energien Innovation für die Zukunft, Berlin 2011, Seite 93.

¹⁴² Vgl. Ebda, Seite 94.

Alle 36, in Vollbetrieb befindlichen Sonnenkraftwerke der EU befinden sich in Spanien und haben eine Gesamtleistung von 1.650 MW. Die ersten kommerziellen spanischen Solarturmkraftwerke PS 10 (siehe Abbildung) und PS 20 mit 11 bzw. 20 MW Leistung wurden 2006 fertiggestellt. Die Kraftwerke erzeugen eine elektrische Leistung von 24 bzw. 42 GWh Solarstrom pro Jahr. 2011 wurde ein drittes Solarturmkraftwerk mit einer Leistung von ebenfalls 20 MW eröffnet. 32 der 36 spanischen Sonnenkraftwerke sind Parabolrinnen-Kraftwerke und haben eine Gesamtleistung von 1572,50 MW. Das erste kommerzielle Parabolrinnen-Kraftwerk namens Andasol I wurde 2008 an das Stromnetz angeschlossen. Bis auf eines, wurden alle Parabolrinnen-Kraftwerke mit einer standardisierten Leistung von 50 MW gebaut, die durch eine Regulierung in der spanischen Einspeisevergütung bedingt ist. In Spanien befinden sich noch 2 Fresnel-Spiegel-Kraftwerke namens Puerto Errado 1 und 2 mit einer Leistung von 1,4 bzw. 30 MW.¹⁴³

- Solarturmkraftwerk PS 10 in Spanien.¹⁴⁴



Abbildung 36: Sonnenturmkraftwerk PS 10 in Spanien.

Das Spanien einer der weltweit führende Sonnekraftwerk-Markt ist, hängt mit der jährlichen Sonneneinstrahlung und mit der Einführung eines Einspeisegesetzes für Solarstrom zusammen. Dadurch ist es für Private Unternehmen rentabel in die Projekte zu investieren. An vielen spanischen Sonnenkraftwerken sind private Firmen beteiligt. Ein weiterer wichtiger Punkt ist, dass es zu den Abnehmern keine weiten Strecken gibt und die Infrastruktur weitgehend vorhanden ist. In Zukunft wird Spanien den Anteil an solarthermischen Kraftwerken weiter ausbauen. Im Moment sind 13 weitere Parabolrinnen-Kraftwerke mit 650 MW im Bau, kurz vor der Inbetriebnahme oder in der Projektierungsphase.

¹⁴³ Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, REN21: Renewables 2012, Global Status Report, 2012.

¹⁴⁴ Wikipedia: Concentrated solar power. http://en.wikipedia.org/wiki/Concentrated_solar_power

Spanien betreibt mit den insgesamt 13 neuen Anlagen einen großen Ausbau an Sonnenkraftwerke und will in Zukunft beträchtlichen Teil ihres Strom- und Wärmeverbrauchs aus solarthermischen Kraftwerken decken.¹⁴⁵

Neben den Kraftwerken in Spanien gibt es in der EU die Pläne für solarthermische Kraftwerke mit Standorten in Nordafrika. Unter Einbindung der Mittelmeeranrainerstaaten Europas, des Mittleren Ostens und Nordafrikas (EU-MENA) in ein transnationales Energieversorgungsnetz, will Europa seine Stromerzeugung weiter differenzieren. Demnach wäre es 2050 möglich, bis zu 15 Prozent (700 TWh) des europäischen Strombedarfs aus solarthermischen Kraftwerken der EU-MENA-Regionen abzudecken. Insgesamt würden 0,3 Prozent der Wüstenfläche ausreichen, um die MENA-Staaten und Europa komplett mit Strom und entsalztem Wasser zu versorgen. Voraussetzung ist die Installation von verlustarmen Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsnetzen, um die enormen Entfernungen von bis zu 3.000 Kilometern zu überbrücken. Das gleiche Konzept wird auch unter dem Begriff *Desertec* durch eine Industrieinitiative (Desertec Industrial Initiative, DII) erfolgreich vermarktet und unterstützt. Die DII wurde 2009 durch mehrere namhafte deutsche Unternehmen, wie Siemens, RWE und die Deutsche Bank, ins Leben gerufen und hat sich seither zu einem Zusammenschluss deutscher, europäischer und nordafrikanischer Unternehmen weiterentwickelt.¹⁴⁶

Laut erstellten Szenarien von Desertec können bis in 40 Jahren wirtschaftlich rentable Kraftwerks Kapazitäten aufgebaut werden, die die Hälfte des Energiebedarfs der Region EU-MENA, also Europa, Naher Osten und Nordafrika decken würden. Die Schlüsseltechnologien für die Solarstromgewinnung sind Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ) und solarthermische Kraftwerke. Im Hinblick auf die Versorgungssicherheit muss erwähnt werden, dass das Desertec-Konzept nicht allein auf solarthermische Energie setzt. Besonders Windenergie soll in viel größerem Maß ausgebaut werden als bisher. Die Abbildung auf der kommenden Seite zeigt symbolisch das Potential des Desertec-Konzeptes und wie eine mögliche Infrastruktur aussehen könnte.¹⁴⁷

Ob das Desertec-Konzept jemals realisiert wird, steht nicht fest, denn die Finanzkrise macht auch davor nicht Halt, und wie die benötigten Investitionen im dreistelligen Milliardenbereich aufgebracht werden sollen, ist nicht klar. Siemens ist vor kurzem aus der Initiative ausgestiegen und die politischen Unruhen in Nordafrika und im Mittleren Osten stehen dem Projekt ebenfalls im Weg. Im Desertec-Programm gibt es somit noch sehr viele Unsicherheiten und die Realisierung ist noch weit von der Vision entfernt. Sonnenkraftwerke könnten aber in Zukunft einen wichtigen Teil, zur Stromerzeugung in der Europäischen Union beitragen. In welchem Ausmaß wird sich noch zeigen.¹⁴⁸

¹⁴⁵ Vgl. Die Welt: Weltgröße Sonnenkraftwerk für 600.000 Menschen (25.07.2008)

<http://www.welt.de/wissenschaft/article2248044/Weltgroesstes-Solkraftwerk-fuer-600-000-Menschen.html>

¹⁴⁶ Erneuerbare Energien Innovation für die Zukunft, Berlin 2011, Seite 94.

¹⁴⁷ Seitz Bernhard 2010, Seite 36-38.

¹⁴⁸ Sonnenenergie, Dunkle Wolken über Wüstenkraftwerke (01.2013)

[http://www.sonnenenergie.de/index.php?id=30&no_cache=1&tx_ttnews\[tt_news\]=244](http://www.sonnenenergie.de/index.php?id=30&no_cache=1&tx_ttnews[tt_news]=244)

- Desertec-Konzept.¹⁴⁹

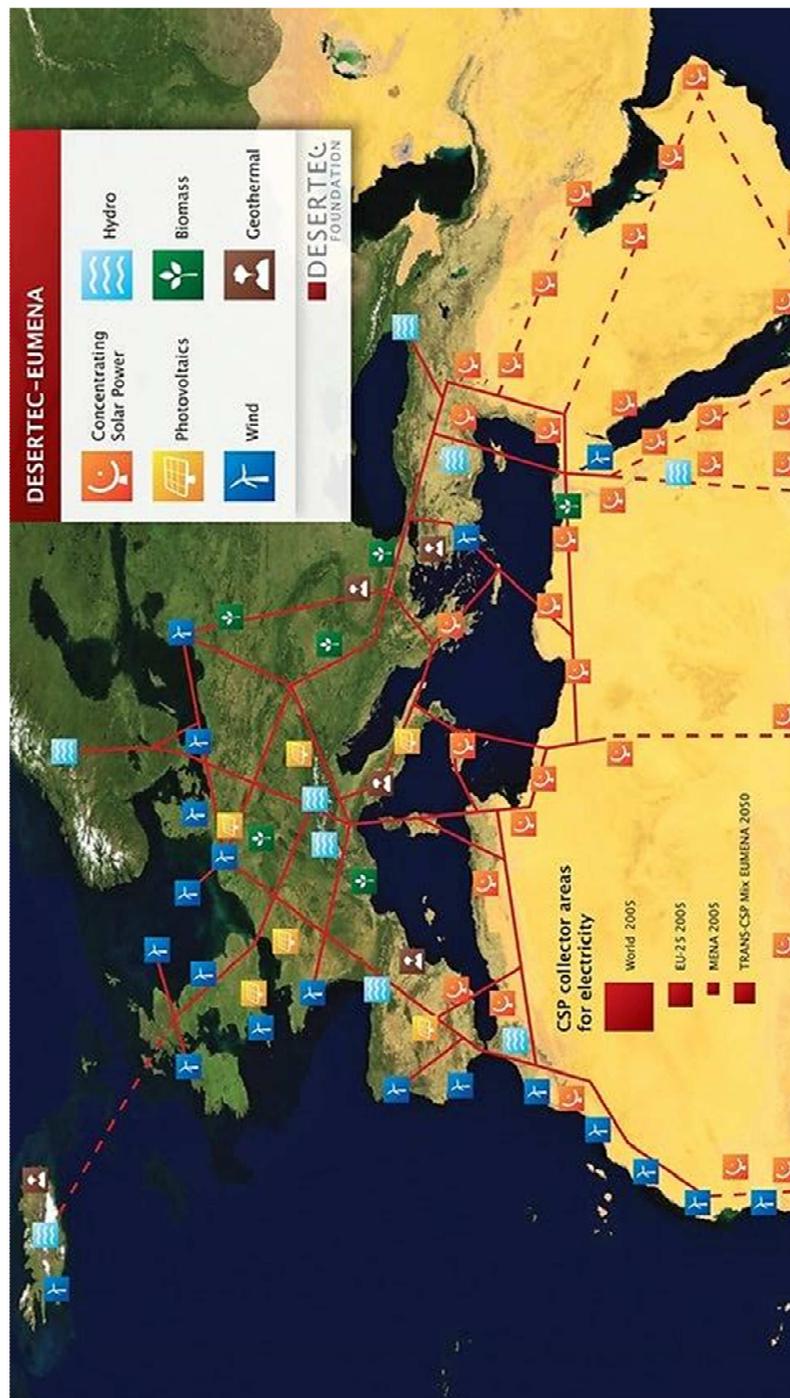


Abbildung 37: Skizze einer möglichen Infrastruktur für eine nachhaltige Versorgung von Europa, dem Nahen Osten und Nordafrika.

¹⁴⁹ Desertec Foundation: Desertec Konzept.
<http://www.desertec.org/de/konzept/>

3.1.3.2 Sonnenkraftwerke in den USA

In den USA werden aktuell 17 Sonnenkraftwerke mit einer Gesamtleistung von knapp 520 MW betrieben. Die ersten solarthermischen Kraftwerke, die kommerziell erfolgreich elektrische Energie erzeugten, waren die neun SEGS-Anlagen (*Solar Energy Generating Systems*) in der Kalifornischen Mojave-Wüste. Diese Kraftwerke wurden zwischen 1985 und 1991 fertig gestellt und haben zusammen eine Leistung von 354 MW. Es handelt sich dabei um Parabolrinnen-Kraftwerke, die auch mit Erdgasunterstützung, also im Hybridbetrieb, Strom erzeugen können. SEGS I war das erste Kraftwerk der Reihe und produziert 14 MW. SEGS II bis VII haben eine Leistung von je 30 MW. SEGS VIII und IX erzeugen jeweils 80 MW. Die neun SEGS-Anlagen produzieren pro Jahr zwischen 620 und 660 GWh Strom und versorgen damit etwa 150.000 Haushalte. Die nächste Abbildung zeigt eines der SEGS-Kraftwerke.¹⁵⁰

- Parabolrinnen-Kraftwerk SEGS I, in Kalifornien.¹⁵¹



Abbildung 38: Parabolrinnen-Kraftwerk SEGS I.

Neben diesen neun Anlagen gibt es in den USA noch zwei weitere größere Parabolrinnen-Kraftwerke, das Nevada Solar One und das Martin Next Generation Solar Energy Center (MNGSEC), mit Leistungen von 72 bzw. 75 MW. Des Weiteren gibt es noch drei kleinere Parabolrinnen-Kraftwerke, eine 5 MW Pilotanlage mit Fresnel-Spiegel-Technik, einen 5 MW Solarturm und ein 1,5 MW Paraboloid-Kraftwerk. Neben den in Betrieb stehenden solarthermischen Kraftwerken sind 16 weitere Kraftwerke mit einer Leistung von 3.365 MW im Bau oder werden noch geplant. 8 davon sind Parabolrinnen-Kraftwerke mit einer Leistung von 1.630 MW. Das größte Projekt ist das geplante Palen Solar Power Project mit 500 MW Leistung. Die anderen 8 (1.735 MW) werden als Solarturm-Kraftwerke realisiert und mit 370 MW Leistung ist das Ivanpah Solar Electric Generating Station das größte Solarturm-Kraftwerk weltweit.¹⁵²

Die USA sind aufgrund ihrer Wüstengebiete und durch die kurzen Verbindungen zu den Verbrauchern perfekt für Sonnenkraftwerke geeignet. Ein weiterer Vorteil zu den europäischen Projekten ist, dass sie innerstaatlich realisiert werden können und keine multilateralen

¹⁵⁰ Vgl. REN21: Renewables 2012, Global Status Report, Seite 51.

¹⁵¹ Wikipedia: File:Solar Plant kl.jpg. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solar_Plant_kl.jpg

¹⁵² Vgl. REN21: Renewables 2012, Global Status Report, Seite 52.

Abkommen benötigt werden. Die USA versuchen durch Förderung der Forschung Sonnenkraftwerke noch effektiver und kostengünstiger zu machen. Die Realisierung hängt vor allem davon ab, ob sich Projekte rechnen. Derzeit werden weitere Projekte geplant und umgesetzt, jedoch sind andere wieder auf Eis gelegt worden, wie das 1.000 MW Projekt in Blythe. Dieses wird nun voraussichtlich auf Photovoltaik umgeplant, da im Moment PV-Anlagen billiger sind als Sonnenkraftwerke. Wie sich der Markt in Zukunft entwickelt wird sich noch zeigen, die Chancen und das Potential von Solarstrom im Süden der USA sind auf jeden Fall riesig.

3.2 Windenergie

Die nachhaltige Kraft des Windes, wird in vielen Regionen der Erde, schon seit Jahrhunderten zur Energieerzeugung genutzt. In den letzten zwanzig Jahren wird das Potential von Windenergie, durch Windenergieanlagen (WEA), verstärkt zur Stromproduktion verwendet. Windenergie ist mittlerweile eine der wichtigsten erneuerbaren Energiequellen und moderne Windenergieanlagen stellen nach Wasserkraftanlagen die effizienteste Technologie der regenerativen Energiesysteme dar.¹⁵³ Michael McElroy und seine Kollegen von der Harvard University haben das theoretisch technisch nutzbare Potential an Windenergie weltweit berechnet. Laut ihrer Forschung könnten mit Hilfe von Windenergieanlagen bis zu 1,3 Millionen TWh Strom pro Jahr erzeugt werden.¹⁵⁴ Die USA haben ein Potential von 89.000 TWh und Europa von 70.000 TWh.¹⁵⁵

Der wichtigste Eingangswert für die Leistung einer Windenergieanlage ist die durchschnittliche Windgeschwindigkeit. Die nächsten beiden Abbildungen zeigen die jährliche durchschnittliche Windgeschwindigkeit in Europa und den USA. Aus diesen Karten können die besten Standorte für Windkraftwerke entnommen werden.

Für eine optimale Ausnutzung von Windenergieanlagen ist es entscheidend, dass der Wind gleichmäßig weht. Wie auf den Karten, die auf den nächsten Seiten folgen, entnehmen kann, sind insbesondere Küstenregionen und ebene Landstriche besonders windreich und daher für WEA sehr gut geeignet. Perfekt sind die Bedingungen auch am Meer in Küstennähe. In Europa haben vor allem Dänemark, Großbritannien, Deutschland sowie Holland und Frankreich die besten Standplätze für die Nutzung von Windenergie. In Summe ist circa 1/4 der Fläche der EU ideal für die Installation von Windrädern. In den USA sind fast 50% der gesamten Fläche günstig für die Ausnutzung der Windenergie. Besonders die Küstengebiete am Pazifik und im Nordosten eignen sich sehr gut, aber auch das Inland, speziell der Mittleren Westen mit den Prärien, bieten perfekte Voraussetzungen für Windenergieanlagen.¹⁵⁶

¹⁵³ Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Windenergie.

<http://www.renewables-made-in-germany.com/de/start/windenergie/windenergie/allgemein.html>

¹⁵⁴ Vgl. Lu, Xi, Michael B. McElroy, and Juha Kiviluoma. 2009. Global potential for wind-generated electricity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106(27): 10933-10938.

¹⁵⁵ Vgl. European Environment Agency, EEA: Europe's onshore and offshore wind energy potential. An assessment of environmental and economic constraints. EEA Technical Report, 6/2009.

¹⁵⁶ Erneuerbare Energien: Die Windenergie (04.02.2006).

http://www.erneuerbareenergiequellen.com/die_windenergie.html

Die nachfolgenden Karten zeigen die durchschnittliche jährliche Windgeschwindigkeit in Europa und den USA.

- Europäische Windkarte. Durchschnittliche jährliche Windgeschwindigkeit (80 m Onshore, 120m Offshore) nach der Korrektur von geographischen und lokalen Hindernissen.¹⁵⁷

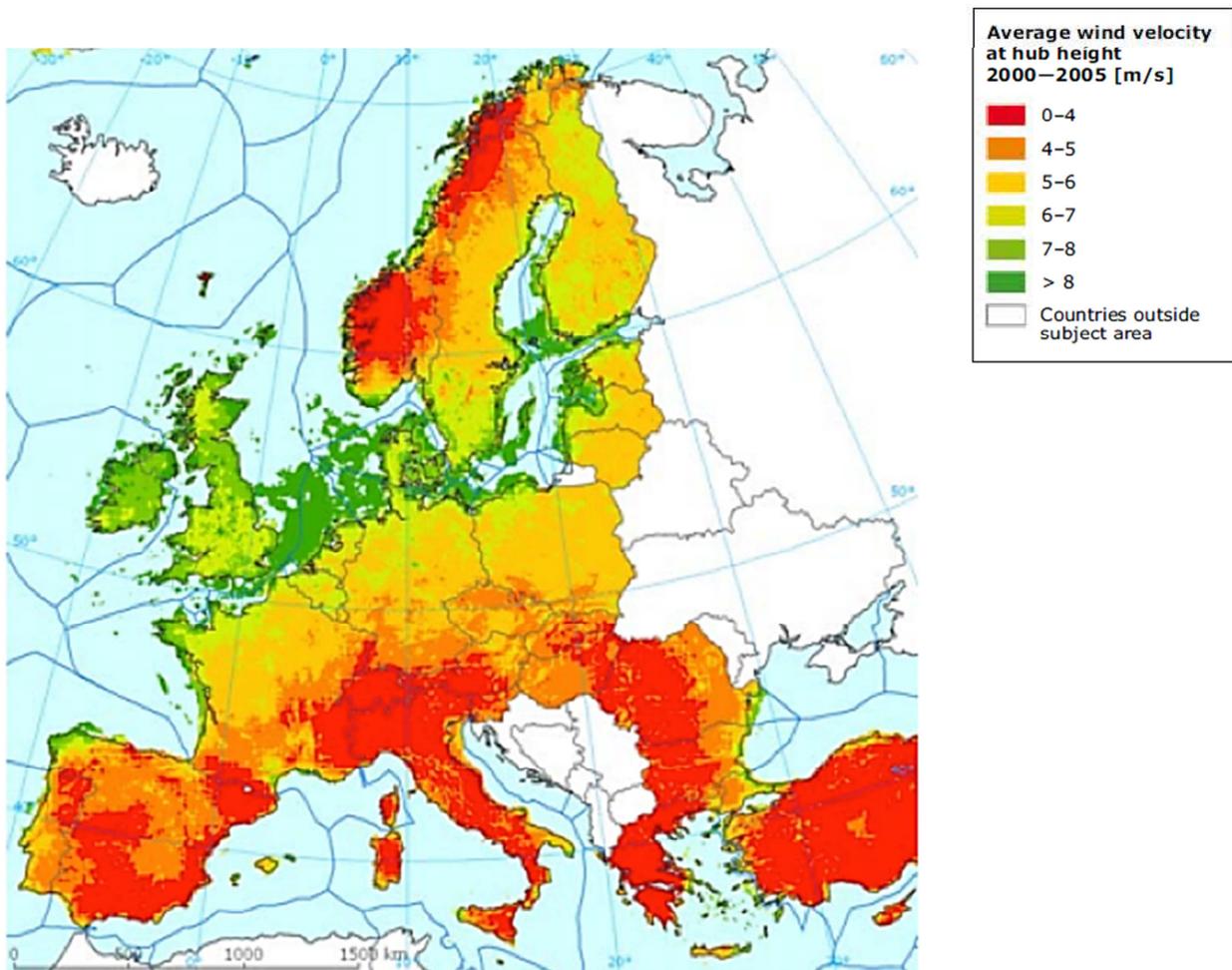


Abbildung 39: Europäische Windkarte. Durchschnittliche jährliche Windgeschwindigkeit (80 m Onshore, 120m Offshore) nach der Korrektur von geographischen und lokalen Hindernissen.

¹⁵⁷ EEA, Europe's onshore and offshore wind energy potential, Seite 13.

- U.S. jährliche durchschnittliche Windgeschwindigkeit.¹⁵⁸

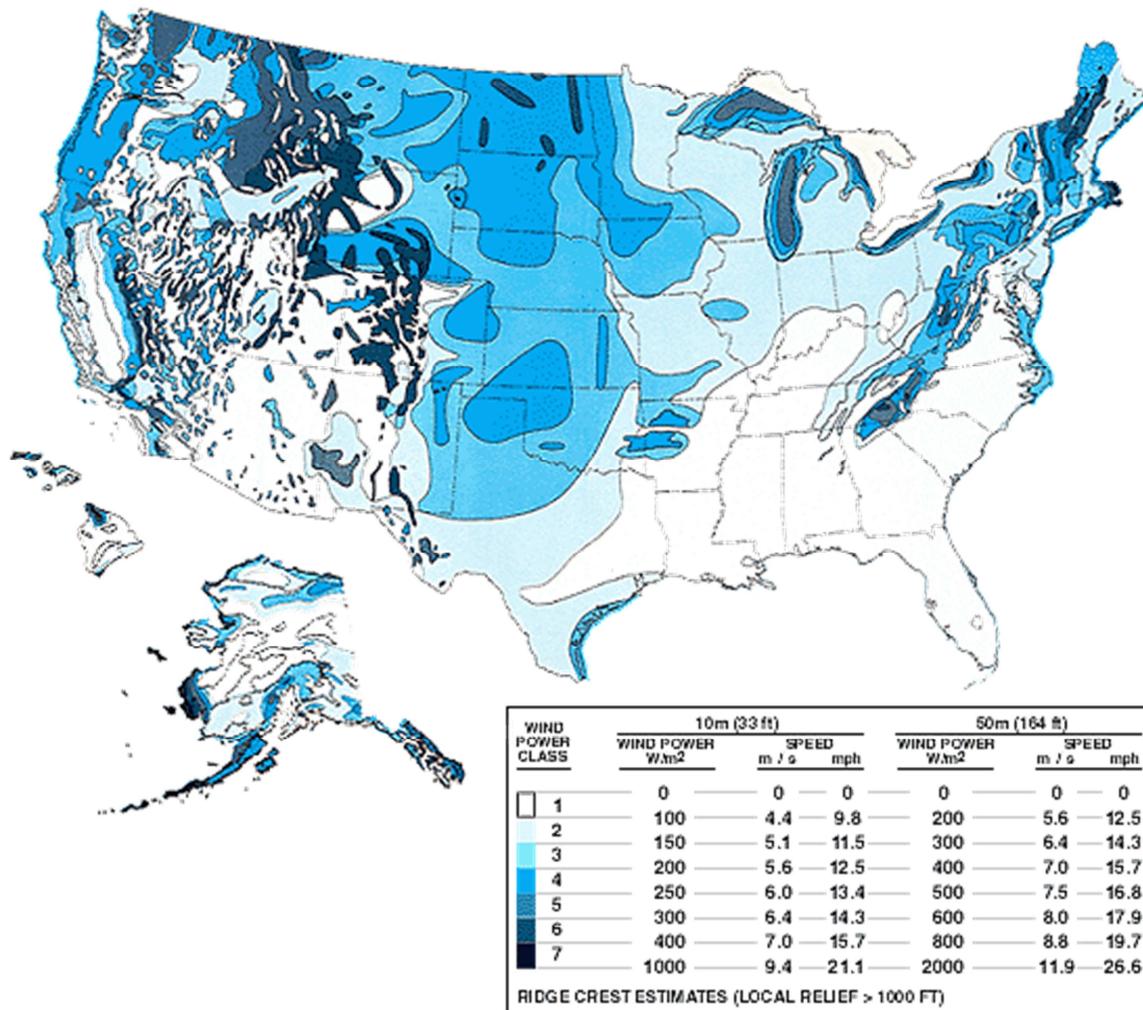


Abbildung 40: U.S. jährliche durchschnittliche Windgeschwindigkeit.

Der Wirkungsgrad von Windenergieanlagen hat sich in den letzten Jahren durch intensive Forschung und technischer Weiterentwicklungen um ein Vielfaches erhöht. Die Technologie und Anwendung von Windenergieanlagen und Kleinwindanlagen werden nachfolgend erklärt.

3.2.1 Windenergieanlagen

Windenergieanlagen nutzen die Bewegungsenergie des Windes, die durch unterschiedliche Luftdruckverhältnisse in der Nähe der Erdoberfläche entsteht. Der Ertrag von Windenergieanlagen hängt dabei maßgeblich von der Windgeschwindigkeit ab. Da der Wind mit steigender Entfernung zur Erdoberfläche immer stärker und gleichmäßiger weht, werden die Anlagen auf möglichst hohen Türmen gebaut.¹⁵⁹

¹⁵⁸ Wind Energy Resource Atlas of the United States

<http://rredc.nrel.gov/wind/pubs/atlas/maps/chap2/2-01m.html>

¹⁵⁹ Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Windenergie.

Die Energie des Windes kann entweder durch das Auftriebsprinzip oder das Widerstandsprinzip genutzt werden. Beim Widerstandsprinzip trifft der Wind direkt auf die Rotorblätter, welche somit in Bewegung gesetzt werden. Diese Anlagen haben in der Regel viele Rotorblätter und wurden, aufgrund des hohen Drehmomentes, früher bei Windrädern oder Pumpen eingesetzt. Moderne WEA verwenden das Auftriebsprinzip. Der Wind trifft dabei auf eines der Rotorblätter einer Windkraftanlage und teilt sich auf. Es bildet sich ein Druckunterschied zwischen Ober- und Unterseite eines Blattes, da der Wind unterschiedlich lange Strecken über dem Rotorblatt hinterlegt. Dieser Druckunterschied bewirkt eine senkrecht, zum Wind wirkende Auftriebskraft, die das Rotorblatt zum Rotieren bringt. Diese Antriebsweise funktioniert durch das aerodynamische Profil der Rotorblätter.¹⁶⁰ Können mit dem Widerstandsprinzip dem Wind maximal 12 Prozent der Energie entzogen werden, so sind es beim Auftrieb immerhin 59 Prozent. Durch die großen Turmhöhen moderner Windenergieanlagen wird heute im besten Fall schon einen Wirkungsgrad von 50 Prozent.¹⁶¹

Des Weiteren wird unterschieden, ob sich der Rotor auf der dem Wind zugewandten Seite (Luvläufer) oder auf der dem Wind abgewandten Seite (Leeläufer) befindet. Windenergieanlagen werden überwiegend als Luvläufer ausgeführt, da es bei Leeläufer zu Unstetigkeiten in der Rotordrehzahl und zu Schwingungen kommt, wenn das Rotorblatt den Windschatten des Turmes durchquert.¹⁶²

- Luv- und Leeläufer Windkraftanlagen.¹⁶³

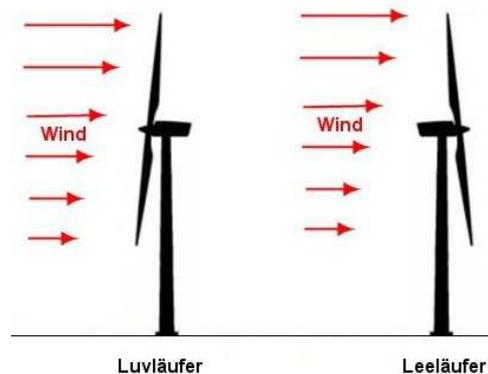


Abbildung 41: Luv-Leeläufer Windkraftanlagen.

Egal ob Auftriebes- oder Widerstandsprinzip und unabhängig vom Standort, ob an Land oder im Meer, bestehen Windkraftanlagen in der Regel aus den folgenden Hauptkomponenten: Fundament, Turm, Gondel und Rotor.

¹⁶⁰ iQ Netzwerk Berlin: Windenergie.

<http://kompetenzen-erneuerbareenergien.de/arbeitsfelder-entdecken/windenergie/>

¹⁶¹ Energien Innovation für die Zukunft, Berlin 2011, Seite 76.

¹⁶² Uni-Protokolle: Windenergieanlagen. http://www.uni-protokolle.de/Lexikon/Windenergieanlage.html#Lee-_und_Luv-L%C3%A4ufer

¹⁶³ Bundesverband Windenergie, BWE: Windenergieanlagen mit horizontaler Achse. <http://www.wind-energie.de/infocenter/technik/funktionsweise/leelaeufer>

Das **Fundament** wird je nach Untergrund und Belastung ausgeführt und kann bei Anlagen im Meer sogar schwimmend gemacht werden. Der **Turm** einer Windkraftanlage trägt die Gondel und den Rotor. Die Türme werden meist als Stahlmantel-Türme ausgeführt, es kommen aber auch Betontürme zum Einsatz. Die Türme der größten Windenergieanlagen sind inzwischen bis zu 135 m hoch, so dass neue Windräder zusammen mit dem Rotor eine Höhe von bis zu 200 m erreichen. Je höher der Turm, desto weniger stören Verwirbelungen des Windes über dem Boden und desto höher sind die durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten am Rotor. Als Faustregel gilt, dass der Ertrag der Windenergieanlage mit jedem Meter um bis zu ein Prozent steigt. Zudem kann mit einem höheren Turm eine Windanlage mit einer höheren Nennleistung installiert werden. An der Spitze des Turmes befindet sich die **Gondel**. Diese ist das Maschinenhaus einer Windenergieanlage und beinhaltet fast alle für den Betrieb erforderlichen Komponenten, wie Antriebswelle, Hauptlager, Getriebe, Generator, Windrichtungsnachführung, Steuerungs- und Sicherheitssysteme und zum Teil auch den Transformator. Grundsätzlich wird zwischen einer Gondel mit und ohne Getriebe unterschieden. An der Vorderseite der Antriebswelle ist der Rotor montiert, welcher aus der **Narbe** sowie den drei **Rotorblättern** besteht. Die Blätter selbst bestehen meist aus Kunststoff und sind bei großen Anlagen über 60 m lang. Die vom Rotor überstrichene Fläche beträgt bei den größten am Markt verfügbaren Anlagen inzwischen mehr als 12.000 m², das entspricht etwa der Fläche von zwei Fußballfeldern.¹⁶⁴ Die nachfolgende Abbildung zeigt die Hauptkomponenten einer Windenergieanlage.

- Hauptkomponenten einer Windenergieanlage.¹⁶⁵

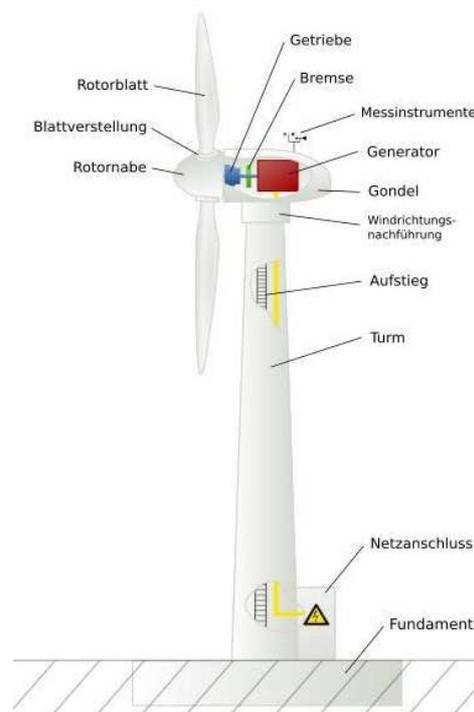


Abbildung 42: Hauptkomponenten einer Windenergieanlage.

¹⁶⁴ [energiesroute.de](http://www.energiesroute.de): Aufbau einer Windenergieanlage.
<http://www.energiesroute.de/wind/wind2.php>

¹⁶⁵ Sauer Karl, Erneuerbare Energien: Windenergie Technik der Zukunft.

Die Erzeugung von Strom erfolgt, je nach Anlagentyp, ab Windgeschwindigkeiten von etwa 2 oder 3 m/s. Die Leistung der Anlagen nimmt mit der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit zu. Eine Verdopplung der Geschwindigkeit verachtfacht also die Leistung. Die Windkraft und das aerodynamische Profil der Blätter erzeugen auf der einen Seite einen Überdruck und auf der anderen Seite einen Unterdruck. Dabei wird die Energie des Windes auf die Blätter übertragen und der Rotor beginnt sich zu drehen. Große Rotoren moderner Bauart drehen sich abhängig von der Nennleistung 10- bis 30-mal pro Minute. Die Rotation wird über eine Welle in einem Generator in Strom umgewandelt. In vielen Anlagen ist ein Getriebe zwischengeschaltet. Das Getriebe übersetzt die niedrigen Drehzahlen des Rotors auf die erforderliche Generatordrehzahl von 1.500 Umdrehungen pro Minute. Durch das Getriebe entstehen allerdings Verluste, außerdem ist das Getriebe eine potenzielle Quelle der Geräuschentwicklung. Getriebe lose Anlagen umgehen diese Probleme, allerdings sind hier aufwendig gefertigte, große vielpolige Generatoren notwendig.

Je nach Anlagentyp erreichen die Anlagen bei Windgeschwindigkeiten zwischen 11 m/s und 15 m/s ihre Nennleistung. Bei zu hohen Geschwindigkeiten haben Windenergieanlagen eine Leistungsregelung. Es gibt unterschiedliche Methoden zur Leistungsregelung. Bei **stallgeregelten** Anlagen führen die starre Befestigung und das Blattprofil der Flügel ab einer bestimmten Windgeschwindigkeit zu einem Abriss der Strömung. Der Rotor nimmt dann auch bei weiter wachsenden Windgeschwindigkeiten nur eine nahezu konstante Leistung auf. Bei Anlagen im Megawattbereich dominiert die **aktive Blattregelung** (sogenannte Pitchregelung), bei der die Rotorblätter mechanisch um ihre Längsachse verdreht werden können, wenn der Wind zu stark wird. Solche Anlagen verlangen gegenüber stallgeregelten Anlagen einen höheren konstruktiven Aufwand, führen aber zu einer besseren Energieausbeute und zu einer geringeren Belastung der Rotoren. Durch die Anpassung der Aerodynamik des Rotors an die Windgeschwindigkeit lässt sich das Windrad über einen großen Geschwindigkeitsbereich mit einem optimalen Wirkungsgrad betreiben. Da vor allem für Großanlagen die Regelbarkeit und Gleichmäßigkeit der Leistungsabgabe von großer Bedeutung sind, haben die Anlagen mit aktiver Blattregelung in den vergangenen Jahren deutlich zugenommen. Ein Kompromiss zwischen beiden Konzepten ist die **Active-Stall-Regelung**, bei der die Rotorblätter ab ihrer Nenn- oder Maximalleistung der Windgeschwindigkeit leicht nachgeregelt werden können. Bei Sturm werden die Lasten auf den Rotor zu groß. Pitchgeregelte Anlagen und solche mit Active-Stall-Regelung werden dann vom Netz getrennt und der Rotor dreht im Leerlauf. Stallgeregelte Anlagen werden mit Blattspitzenbremsen angehalten. Bei modernen WEA erfolgt eine langsame Abschaltung ab Windgeschwindigkeiten von 25 m/s, so dass beim Durchzug von Sturmfronten nur eine Drosselung und keine vollständige Abschaltung erfolgt.¹⁶⁶

Windenergieanlagen sind mittlerweile Hightech Produkte und an der rasanten, technischen Entwicklung der Windenergieanlagen in den letzten zwanzig Jahren, sieht man auch die möglichen Leistungen. 1985 lag die durchschnittliche Größe der installierten WEA bei 50 kW, 2010 betrug sie mit rund 2.000 kW mehr als das Vierzigfache. Es ist gegenwärtig noch nicht abzusehen, bei welcher Anlagengröße das technische und wirtschaftliche Optimum erreicht ist.

¹⁶⁶ Energien Innovation für die Zukunft, Berlin 2011, Seite 75-78.

Heute können Anlagen mit 7.500 kW installiert werden.¹⁶⁷ Die nachfolgende Grafik zeigt die Entwicklung der maximal möglichen Windkraftanlagen seit 1980.

- Entwicklung der Leistungsdimension von Windkraftanlagen seit 1980.¹⁶⁸

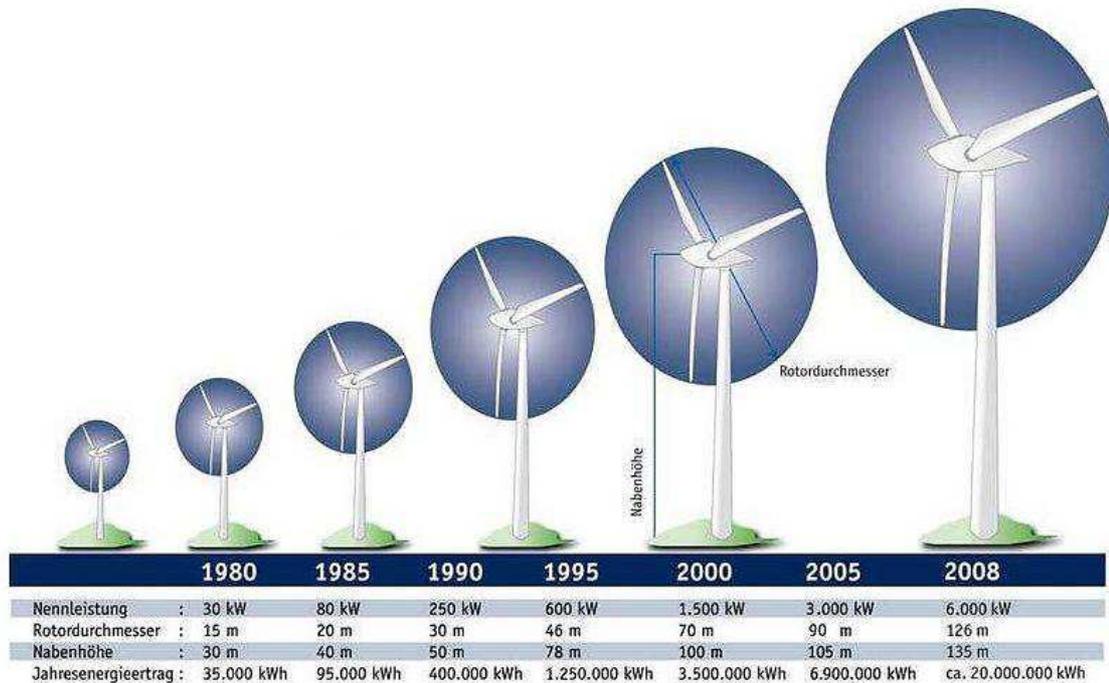


Abbildung 43: Entwicklung der Dimensionierung von Windenergieanlagen seit 1980.

Bei Standorten mit guten Windverhältnissen, sowie guten geographischen und ökologischen Gegebenheiten, werden oft mehrere Windenergieanlagen aufgestellt und es entsteht ein sogenannter Windpark. Diese können entweder an Land (**Onshore**) oder vor der Küste (**Offshore**) gebaut werden. Es gibt aber auch kleine Windenergieanlagen die zur dezentralen Stromversorgung genutzt werden.

Windenergie am **Binnenland** wird schon seit den 1980er durch Windkraftanlagen genutzt. Die Technikentwicklung in den letzten Jahren macht diese immer attraktiver. Durch höhere und gleichzeitig wirkungsvollere Anlagen kann Windkraft an Land immer effizienter genutzt werden. Ein Vorteil dabei ist, dass Windparks oft in strukturschwachen Gegenden gebaut werden können und so die Wirtschaft in diesen Gebieten angekurbelt wird. Windparks an Land werden auch immer kostengünstiger und durch die Nähe zu den Verbrauchern sind sie wirtschaftlich. Ein Nachteil ist die Belästigung der Menschen und Tiere durch Lärm. Durch Windparks kann auch das Landschaftsbild gestört werden und die Flächen an Land sind eingeschränkt. Der Widerstand

¹⁶⁷ Energien Innovation für die Zukunft, Berlin 2011, Seite 78.

¹⁶⁸ Welt der Energie: Windenergie.

<http://www.weltderenergie.de/energiekompass/erneuerbare-energie/windkraft/>

der Bevölkerung an Windkraftanlagen nimmt daher zu. Deswegen ist das Repowering (der Austausch alter Anlagen durch Neue) eine wichtige Art die Windkraft an Land zu verbessern.¹⁶⁹

Im Gegensatz zu Onshore-Windparks gibt es Windkraftanlagen **vor der Küste (Offshore)** erst seit einigen Jahren. Aufgrund der konstanten Windverhältnisse und der höheren durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten liegen die erwarteten Energieerträge für Anlagen im Meer bis zu 40 Prozent über den Erträgen an Land. Das offene Meer ist wegen der Beständigkeit des Windes sehr günstig, aber die Preise der Installation und des Transports der Energie hemmen diese Ausnutzung.¹⁷⁰

Die größte wirtschaftliche Herausforderung der Offshore-Windenergietechnik ist es, die standortbedingten Zusatzkosten bei Errichtung und Betrieb zu minimieren. Technische Schwierigkeiten, wie Meerestiefen von bis zu 40 m, starke Belastungen durch Wind und Wellen sowie ein hoher Salzgehalt der Luft müssen beherrscht werden. Die Seeverkabelung und die speziellen Gründungstechniken machen den Windpark auf See teurer als an Land. Die Türme werden auf hoher See dagegen weniger hoch gebaut als bei vergleichbar leistungsstarken Anlagen an Land, denn wegen der geringeren Verwirbelungen des Windes über der Meeresoberfläche erreicht man die für einen wirtschaftlichen und sicheren Betrieb nötigen Windgeschwindigkeiten schon in geringerer Höhe. Ein weiterer Punkt ist die technische Umsetzung der Netzanbindung von Offshore-Windanlagen zur Küste. Offshore-Anlagen können über 50 Kilometer von der Küste entfernt sein und die Netzanbindung wird dann nicht nur technisch schwierig, sondern auch kostenintensiv. Die optimale Auslegung eines Offshore-Windparks ist aufgrund der höheren Kosten für Gründung und Netzanbindung wichtiger als für einen Windpark an Land. Da der erschwerte Zugang bei Störungen zu längeren Stillstandzeiten führt, muss die Zuverlässigkeit der Anlagen auf See besonders hoch sein. Systeme, die Fehler früh erkennen und spezielle Betriebs- und Wartungsstrategien müssen eine hohe Zahl der Betriebsstunden im Jahr garantieren.

Auch wenn Offshore-Windparks zukünftig außer Sichtweite Strom erzeugen und damit die Einwirkung auf die Küstenanwohner minimiert wird, bleibt ihr Betrieb mit Auswirkungen auf die Natur verbunden, die sich durch technische Maßnahmen nicht vollständig vermeiden lassen. Jedoch ist das Potenzial für die Offshore-Windenergienutzung beträchtlich. Bei der Standortwahl dürfen aber nicht nur wirtschaftliche und energietechnische Aspekte berücksichtigt werden. Die Belangen des Natur- und Umweltschutzes, aber auch die der Schifffahrt und der Fischerei müssen beachtet werden.¹⁷¹

Neben den Groß-Windenergieanlagen gibt es noch kleinere Windenergieanlagen. Der Einsatz von **Kleinwindanlagen** (KWEA) eignet sich besonders für eine elektrische Grundversorgung in netzfernen Regionen oder für Einfamilienhäuser. Kleinwindanlagen haben eine überstrichene

¹⁶⁹ Energien Innovation für die Zukunft, Berlin 2011, Seite 79.

¹⁷⁰ Ebda, Seite 80.

¹⁷¹ Ebda, Seite 81.

Rotorfläche die kleiner ist als 200 Quadratmeter, was einer Nennleistung von etwa 50 kW entspricht. Der Turm ist in der Regel nicht höher als 20 Meter.¹⁷²

Bei Kleinwindanlagen werden auch Vertikalläufer verwendet. Die Vorteile dieser Rotorbauart sind die Windrichtungsunabhängigkeit, die simple Bauart, der einfache Maschinenaufbau mit leicht zugänglich in Bodennähe befindlichen, mechanischen und elektrischen Komponenten. Jedoch stehen dem auch einige Nachteile gegenüber. Als reiner Schnellläufer ausgeführt, ist dieser Rotor unfähig aus eigener Kraft anzulaufen und es bestehen kaum Möglichkeiten, Regelungsmaßnahmen am Rotor (Blattverstellung) zu setzen.¹⁷³ In windreichen Gegenden können Kleinwindanlagen wirtschaftlicher, als zum Beispiel Photovoltaik sein. Jedoch muss der Platz dafür vorhanden sein.

Windenergie ist eine hervorragende Art Strom nachhaltig zu produzieren, jedoch gibt es neben den **Vorteilen** auch einige **Nachteile**.¹⁷⁴

Ein Vorteil wäre, dass Wind eine **kostenlose, saubere** und **unerschöpfliche Energiequelle** ist. Es gibt **keinen Ausstoß** von **Schadstoffen** wie Kohlendioxid, Stickoxide und Schwefeldioxid. (Die Energieamortisationszeit liegt bei 4 bis 10 Monaten.) und keine Form der Energiegewinnung braucht so **wenig Platz** wie die Windenergie. Die Nutzung der Windenergie zur Stromerzeugung kann noch sehr stark ausgebaut werden, da es gerade bei der Errichtung von Offshore Windparks noch sehr viele Potentiale gibt, die genutzt werden können. Windkraft ist nach Wasserkraft das **effizienteste** erneuerbare Energiesystem und jetzt schon **wirtschaftlich** einsetzbar.

Negative Punkte wären unter anderem: Die **Unstetigkeit des Windes**. Es ist kaum vorhersehbar wann es wo wie viel Wind gibt. Deshalb ist es schwierig mittels Windkraftanlagen stets konstante Mengen an elektrischem Strom zu erzeugen. Die große Menge an Windkraftanlagen kann durchaus dazu führen, dass **Landschaftsbilder negativ beeinflusst** werden und Regionen ihren ursprünglichen Charakter verlieren. Hohe Subventionen sind nötig um die Ansiedlung von Windfarmen in strukturschwachen Regionen zu gewährleisten. Aufgrund der **Geräuschentwicklung** können Menschen und Tiere gestört werden. Vogelschützer wenden sich teilweise gegen die Errichtung von Windfarmen. Sie befürchten, dass Vögel von den Rotorblättern getroffen werden.

Die Vorteile einer nachhaltigen und wirtschaftlichen Energiequelle hat Windenergie zu einem weltweit wachsenden Markt gemacht. Steve Sawxer, Generalsekretär vom Global Wind Energy Council (GWEC), geht davon aus, dass sich die weltweite Windkraftleistung in den nächsten fünf Jahren mehr als verdoppelt. Alleine 2011 wurden weltweit 40.500 MW Windkraftleistung

¹⁷² Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Windenergie.

<http://www.renewables-made-in-germany.com/de/start/windenergie/windenergie/allgemein.html>

¹⁷³ Winkelmeier Hans: Energiesysteme – Windenergie, 02 – Bauformen und Aerodynamik von Windkraftanlagen, WS 2005/06.

¹⁷⁴ Regenerative Energie Strom Lexikon: Vor- und Nachteile der Windenergie.

<http://www.strom-infos.net/vor-und-nachteile-der-windenergie.html>

errichtet und dabei mehr als 50 Mrd. Euro investiert.¹⁷⁵ Laut dem Windenergieverband WWEA sind global etwa 273.000 MW Windenergieleistung installiert.¹⁷⁶ Europa ist nach wie vor der Windkontinent Nummer eins aber auch die USA erkennen immer mehr das Potential von Windkraft.

3.2.2 Windenergie in der EU

Die Europäische Union ist weltweit Spitzenreiter in der Nutzung von Windenergie. Seit 1996 wuchs der Wind-Markt jedes Jahr im Durchschnitt um 15,6 Prozent. Im Jahr 2011 war eine Gesamtleistung an Windkraft von 93.957 MW installiert.¹⁷⁷ Die nachfolgende Grafik zeigt die kumulierte Windenergie-Leistung, in der EU seit 1995.

- EU-27: Kumulierte Windenergie-Leistungen seit 1995, in GW.¹⁷⁸

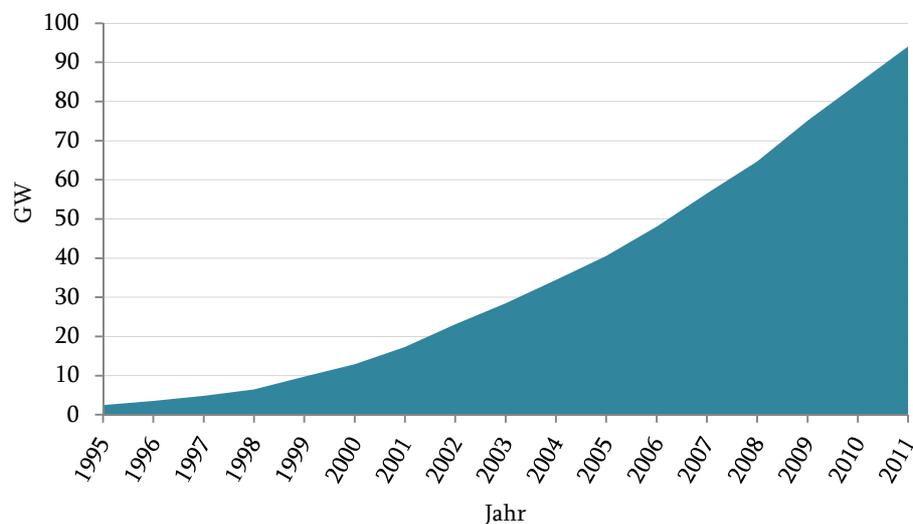


Abbildung 44: EU-27 kumulierte Windenergie-Leistungen seit 1995, in GW.

Windenergie nahm in der EU 2011, mit einer neu installierten Leistung von 9.616 MW, um 11% zu. Der Ausbau der Windkraft ist damit trotz wirtschaftlich schwierigen Zeiten auf demselben Niveau wie im Vorjahr (Ausbau 2010: 9.648 MW).¹⁷⁹ Im Rekordjahr 2009 wurden 10.500 MW installiert. In einem durchschnittlichen Wind-Jahr erzeugen die Windenergiekraftwerke der EU, 204 Mrd. kWh Strom. Die Windkraft deckt nun schon 6,3% des europäischen Stromverbrauchs

¹⁷⁵ IG-Windkraft, Austrian Wind Energy Association, IGW: Weltweite Windkraftleistung wird sich bis 2016 verdoppeln. Leitevent der europäischen Windbranche EWEA 2012 zieht erfolgreich Bilanz, Kopenhagen 2012.

¹⁷⁶ The World Wind Energy Association, WWEA: 2012 Half-year Report. October 2012.

¹⁷⁷ The European Wind Energy Association, EWEA: Wind in Power, 2011 European statistics. February 2012.

¹⁷⁸ Vgl. EWEA: Wind in Power, 2011 European statistics, Seite 10.

¹⁷⁹ Windkraft, Austrian Wind Energy Association, IGW: Rekord für den Ausbau erneuerbarer Energien in Europa, Kopenhagen 2012.

ab. Im Jahr 2010 waren es noch 5,3%. Die nachfolgende Grafik zeigt den jährlichen Ausbau an Windenergie in der EU seit 1995.

- EU-27: Jährlich installierte Windenergie-Leistung seit 1995, in GW.¹⁸⁰

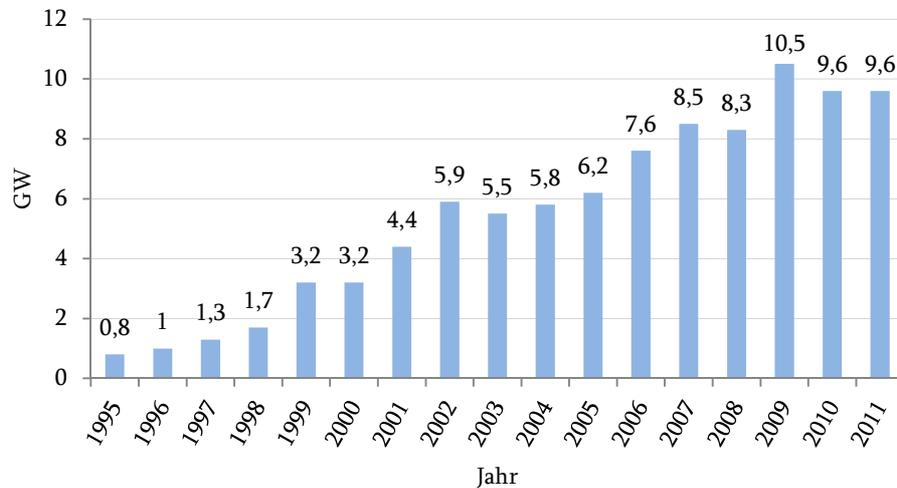


Abbildung 45: EU-27: Jährlich installierte Windenergie-Leistung seit 1995, in GW.

Von den 9.616 MW wurden 90% (8.750 MW) Onshore und 10% (866 MW) Offshore installiert. In Großbritannien werden zwar 58% der Windenergie Offshore erzeugt und auch Deutschland baut neue Offshore-Anlagen, aber wie man bei der folgenden Grafik sieht, überwiegen weiter die Onshore Installationen.

- EU-27 Vergleich Onshore – Offshore Installationen seit 2001, in MW.¹⁸¹

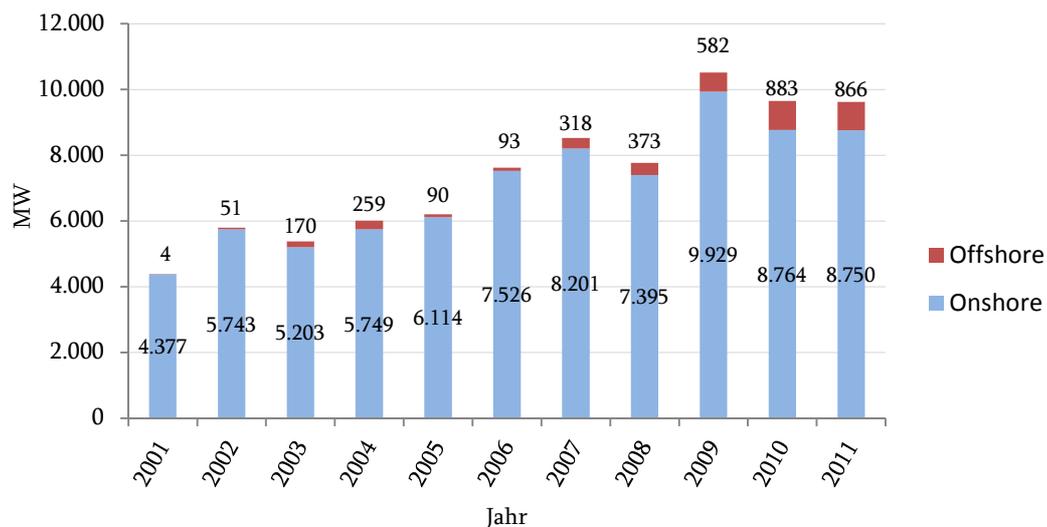


Abbildung 46: EU-27 Vergleich Onshore – Offshore Installationen seit 2001, in MW.

¹⁸⁰ Vgl. EWEA: Wind in Power, 2011 European statistics, Seite 9.

¹⁸¹ Vgl. Ebda, Seite 10.

Im Jahr 2011 wurden in der EU 12,6 Mrd. Euro in den Windkraftausbau investiert. 10,2 Mrd. Euro davon in Windkraftanlagen an Land und 2,4 Mrd. für Offshore-Anlagen. Einmal mehr führen jene Länder mit stabilen Förderbedingungen die Ausbaustatistiken an. Von den 9.616 MW wurden 56% in Deutschland, Großbritannien, Spanien und Italien gebaut. Deutschland, die mit 2.086 MW (22%) der Ausbaukönig von Windenergie. Großbritannien mit 1.293 MW (13%), Spanien mit 1.050 MW (11%) und Italien mit 950 MW (10%) haben neben Deutschland am meisten neu installiert. Dahinter folgen dann noch Frankreich (9%), Schweden (8%), Rumänien und Polen (5%).¹⁸² Wie bereits erwähnt wurden in der Europäischen Union bis Ende 2011, 93.957 MW an Windenergie-Leistung installiert. Die nächste Karte zeigt die Aufteilung der Gesamtinstallierten Leistungen pro Land.

- Europa, Gesamtleistung Windenergie, pro Land.¹⁸³



Abbildung 47: Europa, Gesamtleistung Windenergie, pro Land, in MW. (2011)

¹⁸² Vgl. EWEA: Wind in Power, 2011 European statistics, Seite 5.

¹⁸³ The European Wind energy Association, EWEA: Thirty years growing together, The European Wind Energy Association Annual Report 2011.

Wie die Grafik zeigt haben Deutschland (29.060 MW) und Spanien (21.674 MW) gemeinsam 54% der gesamten Kapazität in der EU. In Frankreich (6.800 MW), Italien (6.747 MW) und Großbritannien (6.540 MW) sind 21% der gesamten EU-Leistung installiert. Des Weiteren gibt es mit Portugal, Dänemark, Niederlande, Schweden, Irland, Griechenland, Polen, Österreich und Belgien noch 9 Mitgliedsländer, die mehr als 1.000 MW angeschlossen haben.

Der Erfolg der Windkraft in Europa hängt mit den staatlichen Forschungs-, Entwicklungs- und Fördermaßnahmen zusammen. Diese beinhalten günstige Finanzierungsmöglichkeiten, gesetzlich garantierte Netzanschlüsse sowie Stromabnahmeverpflichtung. Das europäische Tarif- und Förderungssystem für Strom aus Windenergie besteht im Wesentlichen aus zwei Gestaltungselementen: Einem **Einspeisetarifsystem** und einem **Mischsystem**, welches sich aus Strompreisen und Grünzertifikatspreisen zusammensetzt. Darüber hinaus gibt es länderspezifische Förderungsmöglichkeiten in Form von Investitionszuschüssen. Die am häufigsten vorkommende Form der Tarifgestaltung stellen Einspeisetarife dar. Das Stromversorgungsunternehmen bezahlt an Produzenten von Windenergie fixe Preise. Alternativ dazu kommen Mischsysteme zur Anwendung. Produzenten von Windenergie erhalten dabei den am Markt erzielbaren Energiepreis in Kombination mit dem Preis für Grüne-Zertifikate/Umweltzertifikate. Geregelt werden diese Systeme durch Quotenverpflichtungen, durch die eine Mindestabnahme an Windstrom gesichert wird. Per Gesetz oder Verordnung wird festgelegt, welche Energiemenge ein Stromhändler zu kaufen hat.¹⁸⁴

Deutschland ist das Vorzeigeland beim Ausbau von Windkraft. Seit April 2000 garantieren gesetzliche Einspeisevergütungen im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) die Planungssicherheit für die Windbranche. Die Erzeuger von Strom aus Windenergie erhalten eine garantierte Vergütung pro kWh. Durch die mit dem EEG verbundenen Anreize zur technischen Weiterentwicklung konnten die Kosten für Windstrom zusätzlich gesenkt werden. An manchen Standorten in Deutschland ist die Windenergie bereits heute wettbewerbsfähig. Der Ersatz von netztechnisch problematischen Anlagen, welche vor 2002 in Betrieb genommen wurden, wird in Deutschland durch den sogenannten Repowering-Bonus vergütet. Es gibt auch spezielle Vergütungen für die ersten acht Jahre beim Neubau von Offshore-Anlagen, sofern die Anlage vor dem 1. Januar 2018 in Betrieb genommen wird.¹⁸⁵

Neben Deutschland sind aber auch andere windreiche Nationen wie **Schweden**, **Dänemark**, **Spanien** und **Großbritannien** stark am Windenergie-Markt vertreten. Der Großteil der Windparks wird in der EU Onshore gebaut, nur in Großbritannien waren 2011, 58% der neu installierten Leistung Offshore. Auch in Osteuropa ist Windenergie am Vormarsch, besonders in **Rumänien** und **Polen**. Im Osten setzt man verstärkt auf das Mischsystem. Die Finanzkrise ist aber auch am Wind-Markt erkennbar und die Neuinstallationen in **Spanien**, **Frankreich** und auch **Italien** sind etwas zurückgegangen. **Spanien** verfolgt zwar das Ziel, dauerhaft 15 Prozent der nationalen Stromversorgung mit Windkraft zu decken, jedoch neben den Kosten muss zuerst auch das

¹⁸⁴ Kommunalkredit: Investieren in Windenergie 2012.

¹⁸⁵ Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Rahmenbedingungen. <http://www.renewables-made-in-germany.com/de/start/windenergie/windenergie/rahmenbedingungen.html>

Stromnetz weiter ausgebaut werden. **Frankreich** hat ebenso Probleme bei der Installation von neuen Anlagen, hauptsächlich verursacht durch unzureichende Stromnetze und Ausbauzonen, hätte aber das Potenzial, seine Windkraftkapazitäten auf ein Zwölffaches auszubauen.¹⁸⁶

In manchen EU-Mitgliedsländern ist Windenergie mittlerweile für einen beträchtlichen Teil der Stromproduktion verantwortlich. In Dänemark erfolgt 26% der gesamten Elektrizitätserzeugung aus Wind, gefolgt von Spanien (15,9%), Portugal (15,6%), Irland (12%) und Deutschland (10,6%).¹⁸⁷

Der zukünftige Ausbau von Windenergie in der EU basiert auf der Umsetzung der 20-20-20 Ziele. In den nationalen Aktionsplänen, legen die Mitgliedsländer ihre Ausbauziele für Windkraft, bis 2020 fest. Neben den verbindlichen Vorgaben der Staaten lässt sich durch eine Technologieoptimierung, und der damit bedingten Kostenreduktion, ein zusätzlicher Ausbau erwarten. Daher hat die European Wind Energy Association (EWEA) drei mögliche Ausbauszenarien für 2020 erstellt. Das erste Szenario basiert auf den Ausbauzielen, der nationalen Aktionspläne. In den beiden anderen Prognosen, dem *Baseline-Szenario* und dem *High-Szenario*, werden noch andere Entwicklungen berücksichtigt.¹⁸⁸

- **Nationalen Aktionspläne (NREAP)**

Summiert man die Ziele der 27 Nationalen Aktionspläne für den Windenergieausbau, wird eine Gesamtleistung von 213 GW im Jahr 2020 erwartet. Diese Kapazität würde 795 TWh Strom erzeugen und 14% des Stromverbrauchs abdecken.

- **Baseline-Szenario**

Das Baseline-Szenario basiert auf den traditionellen, konservativen Ausbauvorgaben für Windkraft, in der EU. Es geht davon aus, dass die installierte Windkapazität 2020 in der EU 230 GW erreichen wird. Mit den daraus erzeugten 581 TWh könnte 15,7% des Stromverbrauchs in der EU gedeckt werden.

- **High-Szenario**

Das dritte Szenario nimmt an, dass Windenergie in Zukunft, in den meisten EU-Staaten, die wirtschaftlichste erneuerbare Energiequelle bleibt. Im High-Szenario müsste aber die EU bis 2014 erforderliche Investitionen in die Infrastruktur tätigen und gegebenenfalls politische Reformen machen. Unter diesen Bedingungen könnte 2020 eine Kapazität von 265 GW Windenergie installiert sein und 682 TWh Strom erzeugt werden. Damit würde 18,4 % des Stromverbrauchs abgedeckt werden.

¹⁸⁶ Global Wind Energy Council, GWEC: Global Wind Report. Annual market update 2011, March 2012.

¹⁸⁷ Vgl. EWEA: Wind in Power, 2011 European statistics, Seite 11.

¹⁸⁸ Vgl. The European Wind energy Association, EWEA: Pure Power, Wind energy targets for 2020 and 2030, A report by the European Wind Energy Association, 2011.

- Unterschiedliche Entwicklung der drei Szenarien.¹⁸⁹

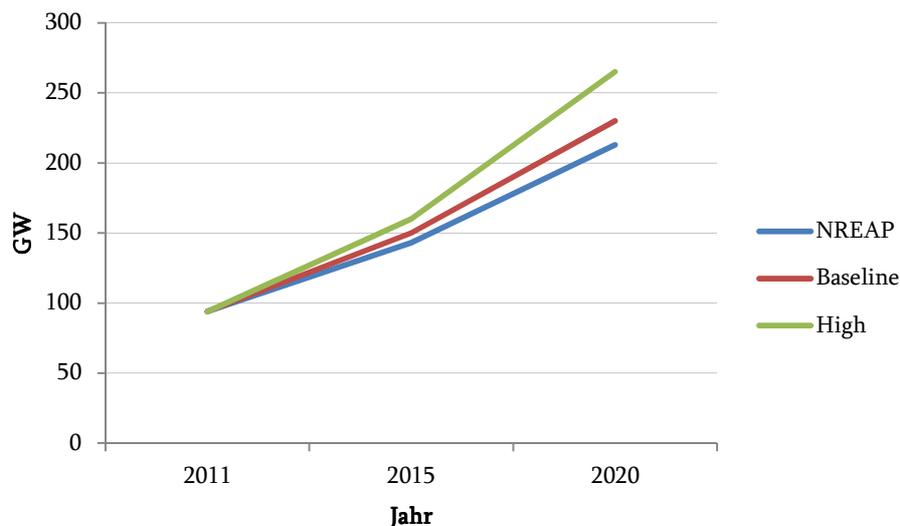


Abbildung 48: Szenarien der EU-27 Wind-Markt Entwicklung bis 2020.

Diese drei Szenarien liegen knapp beieinander und sind realistisch. Der Ausbau von Windkraft wird bis 2020 verstärkt weiter gehen und die Ziele aus den Nationalen Aktionspläne werden wahrscheinlich übertroffen werden. In allen drei Szenarien wird 2020 ungefähr des 2,5-fache an Windenergie installiert sein. Der Anteil an Offshore wird in den drei Annahmen ungefähr 20%, also 40 GW, betragen, was einen deutlichen Anstieg bedeuten würde.¹⁹⁰

Wie sich der Markt bis 2030 weiterentwickeln wird, ist noch nicht klar. Die EWEA geht aber von einem starken Ausbau aus und rechnet 2030 mit 400 GW installierter Windenergie. 250 GW davon Onshore und 150 GW Offshore.¹⁹¹

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Windenergie in der EU bis 2020 massiv ausgebaut werden wird. Das Ziel aus den nationalen Aktionsplänen, dass 34,5 % des Stroms 2020 aus erneuerbaren Energiequellen erzeugen wird, kann nur mit Windenergie geschafft werden. Doch die Vorgaben müssen über 2020 gehen und sollten in näherer Zukunft beschlossen werden. Justin Wilkes, Policy Director der EWEA erklärt bei der Konferenz in Kopenhagen:

„Um die langfristigen EU-Ziele zu erreichen, ist auch in den nächsten Jahren ein starker Ausbau nötig“, und „Ein Kommittent der europäischen Union zu bindenden Zielen für erneuerbare Energien bis 2030 würde ein starkes Signal für potentielle Investitionen in diesem Bereich darstellen.“¹⁹²

¹⁸⁹ Vgl. EWEA: Pure Power, Wind energy targets for 2020 and 2030, Seite 4.

¹⁹⁰ Vgl. Ebda, Seite 50.

¹⁹¹ Vgl. Ebda, Seite 84

¹⁹² IG-Windkraft, Austrian Wind Energy Association, IGW: Rekord für den Ausbau erneuerbarer Energien in Europa, Brüssel 06.02.2012.

Der weitere europäische Ausbau der Windenergie wird in den kommenden Jahren aber nicht nur von den energiepolitischen Vorgaben abhängen. Zusätzlich werden die raumplanerischen Rahmenbedingungen, wie die Ausweisung von Eignungsgebieten für Anlagen auf dem Land und auf freier See eine wichtige Rolle spielen. Zusätzlich muss die Stromnetzinfrastruktur erneuert werden und die Förderung von Speichertechnologien sowie die Schaffung von Anreizen für Repowering müssen erhöht werden. Damit die Windenergie in der kommenden Dekade ihr volles Potenzial entfalten kann, müssen zudem neue Finanzierungsquellen entwickelt werden. Schafft die EU dies, könnte bis 2020 und in weiterer Folge bis 2030 mehr als 20% des Stroms aus Wind erzeugt werden.

3.2.3 Windenergie in den USA

Die USA haben nach China den zweitgrößten Windkraft-Markt. Lange Zeit waren die USA vor China und Deutschland das stärkste Land in Sachen Windenergie, ehe sie 2010 auf Platz 2 zurückfielen. In den letzten beiden Jahren wurde aber wieder sehr stark in Windkraft investiert. 2012 war eine Gesamtleistung von 60 GW Windkraft in den USA installiert. Damit werden 3 Prozent des Stroms in den USA erzeugt, genug für 14,7 Millionen Haushalte. Die nächste Grafik zeigt die kumulierte Windenergie Leistung seit 2001.¹⁹³

- U.S.: Kumulierte Windenergie Leistung in GW, seit 2001.¹⁹⁴

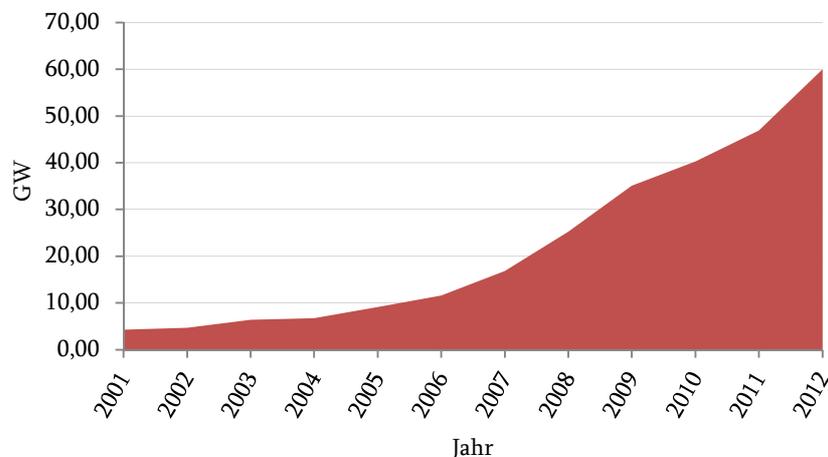


Abbildung 49: U.S. kumulierte Windenergie Leistung in GW, seit 2001.

Der jährliche Ausbau betrug in den letzten sechs Jahren im Durchschnitt 33%. Es gab aber immer wieder große Unterschiede in den Neuinstallationen. 2009 war ein Rekordjahr mit 10 GW neu installierter Kapazität. Im Jahr darauf brach der Markt aber um 50% ein. 2011 konnten mit 6,82 GW wieder um 7,6% mehr installiert werden als 2010. Laut den neuesten Daten der American Wind Energy Association (AWEA) wurden 2012 in den USA, mit 13,09 GW ein neuer Ausbaurekord aufgestellt. Es wurde um 52% mehr installiert als 2011 und die gesamte Kapazität

¹⁹³ American Wind Energy Association, AWEA: Industry Statistics, (1.30.2013).
http://www.awea.org/learnabout/industry_stats/index.cfm

¹⁹⁴ Vgl. GWEC: Annual market update 2011, Seite 64.

konnte um 28% erhöht werden.¹⁹⁵ Die nächste Abbildung zeigt die jährlich installierte Windenergie Leistung seit 2001.

- U.S.: Jährlich installierte Windenergie-Leistung seit 2001, in GW.¹⁹⁶

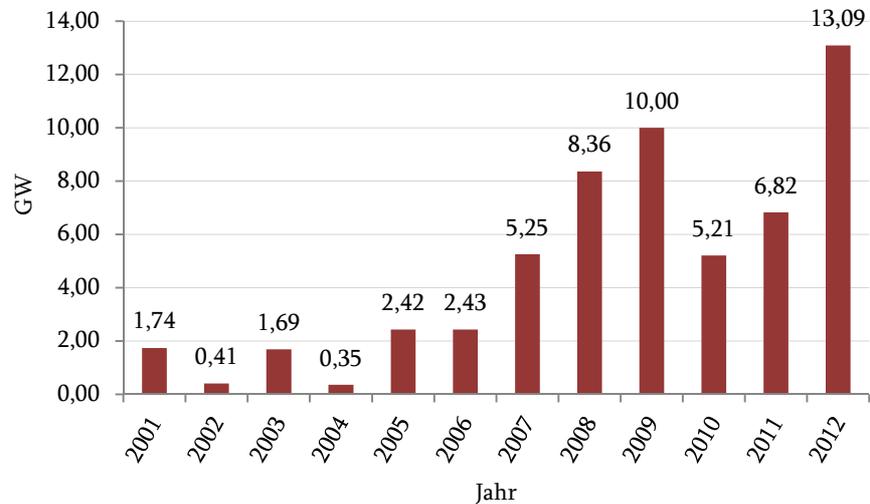


Abbildung 50: U.S.: Jährlich installierte Windenergie-Leistung seit 2001, in GW.

Motor des Entwicklungsschubs bei der US-Windenergie 2012 waren Steuervorteile – Production Tax Credit (PTC). PTC ist ein marktbasierter Kredit, den man für jede Kilowattstunde, die von einer Windanlage produziert wird, bekommt. Dieser sollte mit Ende des Jahres 2012 auslaufen. Viele Investoren wollten die finanzielle Unterstützung noch erhalten und daher gab es im letzten Quartal 2012 eine Rekordmenge an neu installierten Windkraftanlagen. Dabei erwies sich im Nachhinein der Stress des Jahresendes als unbegründet. Die Obama-Administration hat die Steuervorteile für Windkraftanlagen Anfang Jänner für ein weiteres Jahr verlängert.¹⁹⁷ Durch diesen Run wurde Wind 2012 mit einem Anteil von 42% Nummer eins der neuinstallierten stromerzeugenden Energiesysteme. 2011 wurden in den USA 14 Milliarden Dollar in neue Windkraftanlagen investiert.¹⁹⁸ Die Investitionen 2012 dürften beträchtlich höher gewesen sein, es liegen aber noch keine konkreten Daten auf.

38 Staaten der USA haben Windenergieanlagen. Texas ist mit 12.212 MW Spitzenreiter in der installierten Windenergie. Danach folgen Kalifornien und Iowa mit 5.549 MW, Illinois mit 3.568 MW und Oregon mit 3.153 MW. 2012 wurden in Texas 1.800 MW, in Kalifornien 1.600 MW und in Iowa 1.200 MW neue Kapazität installiert. Doch neben den Staaten mit der größten Kapazität verzeichnen die Bundesstaaten Ohio, Vermont, Massachusetts, Michigan, und Idaho den

¹⁹⁵ Vgl. American Wind Energy Association, AWEA: Industry Statistics, (1.30.2013).

http://www.awea.org/learnabout/industry_stats/index.cfm

¹⁹⁶ Vgl. GWEC: Annual market update 2011, Seite 64.

¹⁹⁷ Energieleben: Energiepolitik, 2012 Höhenflug für die Windkraft in den USA.

<http://www.energieleben.at/2012-hohenflug-fur-windkraft-in-den-usa/>

¹⁹⁸ Vgl. AWEA: Industry Statistics, 1.30.20113

Prozentuell größten Zuwachs, indem sie ihre Kapazität verdoppelten.¹⁹⁹ Die nächste Karte zeigt die gesamte installierte Kapazität an Windenergie pro Bundesstaat mit Stand März 2012.

- U.S. Gesamtleistung Windenergie, pro Bundesstaat im März 2012.²⁰⁰

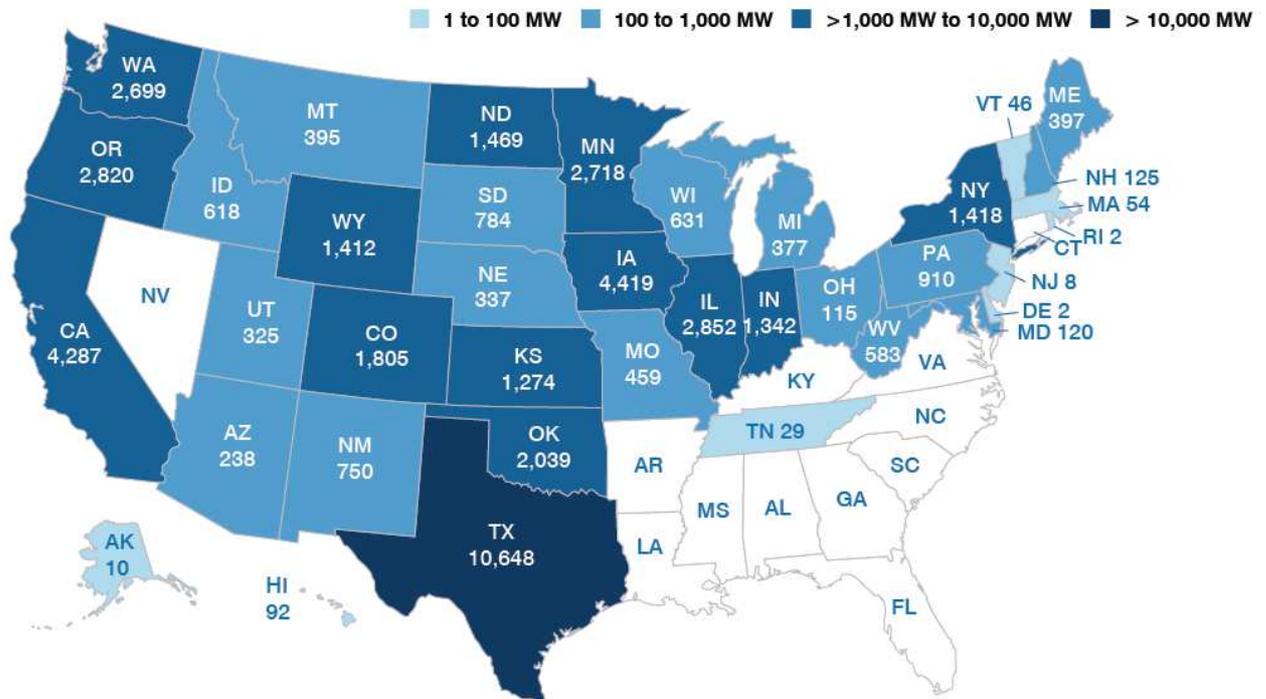


Abbildung 51: U.S. Gesamtleistung Windenergie, pro Bundesstaat im März 2012.

Neben der Angst vor dem Auslaufen des Production Tax Credit (PTC) profitierten viele Bundesstaaten auch von der technologischen Weiterentwicklung der Windkraftanlagen. Durch die höheren Türme und größeren Rotoren konnte mehr Energie produziert werden. Die Steuervergünstigungen trugen dazu bei, dass 98% der Windkraftanlagen auf privaten Grund installiert worden sind, was einen beträchtlichen jährlichen Ertrag in Kommunen bringt und diese wirtschaftlich stärkt. Noch erwähnt sei, dass es 2012 keine Offshore Windanlagen gab, die an das Netz angeschlossen waren. Es gibt zwar beträchtliche Ausbaupläne jedoch sind diese noch in der Entwicklungsphase.²⁰¹

Wie sich der U.S.-Windmarkt in Zukunft entwickeln wird, ist nicht ganz absehbar. Der Plan der USA sieht vor in den nächsten fünf Jahren die Windkraft-Kapazität zu verdoppeln. Ob das möglich ist, wird sich zeigen. Die größten Probleme, denen die Industrie gegenüber steht, sind die kurzen Fristen und die Unsicherheiten der nationalen Subventionen. Der PTC wird meistens nur für ein oder maximal zwei Jahre verlängert, was im starken Kontrast zur Fossilen-Energie-Industrie steht, die Förderungen mit Laufzeiten von 90 Jahren bekommt. Im Gegensatz zu den unsicheren nationalen Begünstigungen haben immer mehr Bundesstaaten Förderungen für

¹⁹⁹ Vgl. American Wind Energy Association, AWEA: AWEA U.S. Wind Industry Report, First Quarter 2012, Market Report.

²⁰⁰ Vgl. Ebd. Seite 7

²⁰¹ Vgl. GWEC: Annual market update 2011, Seite 64.

Windenergie beschlossen. Die Ziele für den Einsatz von erneuerbarer Energie betreffen auch die Windkraft und dadurch wird der Ausbau vorangetrieben.²⁰²

Für die Entwicklung des U.S. – Marktes bis 2030 hat der GWEC drei Szenarien erstellt:²⁰³ Das *New Policies Szenario*, das *Moderate Szenario* und das *Advanced Szenario*.

- **New Policies Szenario**

Im New Policies Szenario wurden die Daten des Referenz Szenario aus dem IEA World Energy Outlook genommen. In dieser Annahme wird die aktuelle Entwicklung bis 2030 weitergeführt. Das New Policies Szenario ist eine Einschätzung des Wind-Markts basierend auf den aktuellen Richtungen der politischen, finanziellen sowie umwelttechnischen Begebenheiten. Dieses Szenario geht 2020 von einer Windenergie Kapazität in den USA von 120 GW und 2030 von 180 GW aus. Damit könnten ungefähr 6% der Stromproduktion abgedeckt werden.

- **Moderate Szenario**

Dieses Szenario ist dem New Policies Szenario sehr ähnlich. Es berücksichtigt die politischen Maßnahmen für die Unterstützung von Windenergie, die auf bundesstaatlicher und nationaler Ebene schon beschlossen wurden oder in Planung sind. Des Weiteren werden die nationalen und bundesstaatlichen Ziele zum Ausbau von Windkraft berücksichtigt. Bis 2015 ist es dem New Policies Szenario sehr ähnlich. 2020 geht es dann von einer installierten Kapazität von 155 GW und 2030 von 290 GW aus. Windkraft würde, in dieser Prognose, 2020 etwa 8% und 2030 rund 15% der Elektrizität in den USA erzeugen.

- **Advanced Szenario**

Das dritte Szenario ist das ambitionierteste. Es berücksichtigt hauptsächlich das realistische Potential, das die Windkraft in den USA hätte. Das Advanced Szenario zeigt, wie sich die Windkraft Industrie im besten Fall entwickeln könnte unter Berücksichtigung der Kapazitäten. Es geht auch davon aus, dass die Politik Rahmenbedingungen schafft die das ermöglichen. Dieser Fall geht von einer Kapazität 2020 von 290 GW und 2030 von 660 GW aus. In diesem optimalen Szenario würden 2020 15% und 2030 33% der Stromerzeugung aus Windkraft abgedeckt.

²⁰² Vgl. GWEC: Annual market update 2011, Seite 64.

²⁰³ Vgl. Global Wind Energy Council, GWEC: GLOBAL Wind Energy Outlook, November 2012.

- Unterschiedliche Entwicklung der drei Szenarien.²⁰⁴

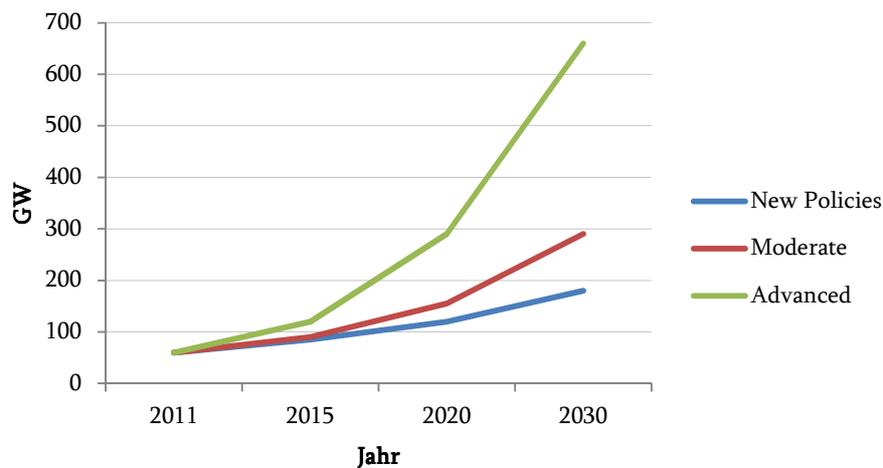


Abbildung 52: GWEC Szenarien für die USA bis 2030.

Wie sich der Markt in den USA tatsächlich entwickeln wird, ist nicht wirklich vorhersehbar. Im Moment sind mit 60 Gigawatt 20% der weltweiten Windkraft in den USA installiert. Trotzdem hält sie nur einen Anteil von etwa 3 Prozent der gesamten Stromproduktion. Vor allem Bundesstaaten wollen diesen Anteil in den nächsten Jahren weiter heben. Jedoch wird dies nur mit den nationalen Steuererleichterungen gehen. Im Gegensatz zur EU ist die Windkraft wieder hauptsächlich eine wirtschaftliche Anschaffung und ein Weg, um weiter Energieautark zu werden. In Zukunft wird auch der Gas- sowie Strompreis eine Rolle spielen. Im Moment sind beide sehr niedrig und die Windkraftbranche ist, wie in Europa, von Subventionen abhängig. Steigt der Gaspreis wieder, würden erneuerbare Energien auch für die Verbraucher sehr viel spannender werden und Windkraft könnte noch weiter zulegen. Ein anderer Punkt, der für die Windenergie spricht, ist die Schaffung von Arbeitsplätzen. Im Moment arbeiten zirka 90.000 Leute in der Windbranche. Alleine durch die Unsicherheit, ob die staatlichen Förderungen erhalten bleiben oder, nicht wurden Ende 2012 10.000 Stellen abgebaut und bei einem Ausfall der Subvention wäre die Hälfte gestrichen worden. Im Gegensatz zu den Förderungen in der Fossilen Industrie sind die in der Windenergie minimal, und um die Arbeitsplätze zu behalten und auszubauen wird Windenergie in Zukunft in den USA sicher weiter gefördert.²⁰⁵

3.3 Wasserkraft

Weltweit werden aktuell jährlich 3.120 TWh an elektrischer Energie mittels Wasserkraft erzeugt. Damit ist Wasserkraft mit einem Anteil an der globalen Elektrizitätsversorgung von etwa 16%, die am intensivsten genutzte regenerative Energiequelle. Bei der Stromproduktion hat Wasserkraft weltweit sogar einen Anteil von 88% aller nachhaltigen Energiesystemen. In vielen Teilen der

²⁰⁴ Vgl. GWEC: GLOBAL Wind Energy Outlook, 2012, Seite 9,47.

²⁰⁵ Financial Times Deutschland: Energiewende in den USA, (27.11.2012) .

<http://www.ftd.de/politik/international/energiewende-in-den-usa-windbranche-fleht-obama-an/70122415.html>

Welt ist das Potential an Wasserkraft schon weitgehend erschlossen. Laut Schätzungen des IEA, könnten weltweit aber weitere 7.500 TWh Strom pro Jahr aus der Energie des Wassers erzeugt werden.²⁰⁶

Der große Vorteil von Wasserkraft besteht darin, dass sie eine zuverlässige und gleichmäßige Stromversorgung sichert. Somit wird sie vornehmlich zur Deckung der Grundlast eingesetzt. Die sehr dynamisch regelbaren Pumpspeicherkraftwerke stellen zudem einen wichtigen Ausgleich anderer unregelmäßiger Energiequellen dar und dienen zur Deckung der Spitzenlast. Ein hohes Potential, das bisher aber nur teilweise erforscht und genutzt worden ist, liegt in der Energiegewinnung aus den Meeren. Die geringe Praxiserfahrung ist auf hohe Investitionskosten und schwierige Installationsbedingungen im offenen Meer zurück zu führen.²⁰⁷

Die Nutzungsmöglichkeiten sind jedoch stark abhängig von der geographischen Lage. In Europa sind Island und Norwegen stark begünstigte Länder, die ihren Strombedarf beinahe vollständig aus Wasserkraft decken. In gebirgigen und wasserreichen Ländern wie Österreich, Italien, Schweden und der Schweiz stammen immerhin um die 50% der erzeugten Elektrizität aus Wasserkraft.²⁰⁸ In den USA kann im Westen, in den Staaten Washington, Oregon und Kalifornien mit Abstand am meisten Wasserkraft genutzt werden.²⁰⁹ Das realisierbare Wasserkraftpotenzial ist mit 80 Prozent aber bereits weitgehend erschlossen, wenn man die Errichtung neuer Kraftwerke an naturbelassenen Flüssen ausschließt. Es werden nur mehr vereinzelt neue Anlagen auf diesen beiden Kontinenten geplant und realisiert.

Die Technik der Wasserkraftwerke ist nun seit vielen Jahren erprobt und erfolgreich. Der nächste Abschnitt soll einen kleinen Überblick über die Funktionsweise von Wasserkraftwerken geben.

3.3.1 Wasserkraftwerke

Die Wasserkraft bezeichnet die Umwandlung von Bewegungs- und Höhenenergie des Wassers in elektrische Energie. Bei Wasserkraftanlagen wird in der Regel durch die Aufstauung eines Gewässers, in einer Stauanlage, das Wasser auf möglichst hohem potentielltem Niveau zurückgehalten um die Energie der Wasserkraft gut nutzen zu können. Die Energie der Bewegung des abfließenden Wassers wird auf eine Wasserturbine oder ein Wasserrad übertragen, wodurch dieses in Drehbewegung mit hohem Drehmoment versetzt wird. Dieses wiederum wird direkt oder über ein Getriebe an die Welle des Generators weitergeleitet, der die mechanische Energie in elektrische Energie umwandelt. Für die Nutzung der Wasserkraft gibt es unterschiedliche Turbinen, die je nach durchfließender Wassermenge und Fallhöhe verschiedene Einsatzbereiche haben.²¹⁰

²⁰⁶ E-Control: Wasserkraft. <http://www.e-control.at/de/konsumenten/oeko-energie/basiswissen/oekostrom-arten/wasserkraft>

²⁰⁷ <http://www.pa.msu.edu/~bauer/Energie/PDFs/Wasserkraftwerke.pdf>

²⁰⁸ Ebda, Seite 1.

²⁰⁹ Npr: Visualizing The U.S. Electric Grid (24.02.2009).

<http://www.npr.org/templates/story/story.php?storyId=110997398>

²¹⁰ Energien Innovation für die Zukunft, Berlin 2011, Seite 126,127.

- **Kaplan- und Rohrturbine**

Kaplan- und Rohrturbinen ähneln einer umgekehrten Schiffsschraube und werden bei geringen Fallhöhen und großen Volumenströmen eingesetzt und sind gut für schwankende Wassermengen geeignet. Bei den großen Laufwasserkraftwerken mit geringen Fallhöhen von sechs bis 15 Metern sind sie die häufigste Turbinenart.

- **Francisturbine**

Die konventionelle Francisturbine ist eine der ältesten Turbinenarten und wird nach wie vor hauptsächlich im Bereich der Kleinwasserkraftwerke angewendet. Typisch ist das schneckenförmige Gehäuse. Sie wird bei geringen Fallhöhen und mittleren Wassermengen eingesetzt.

- **Peltonurbinen**

Die Peltonurbinen sind für große Fallhöhen und kleine Wassermengen geeignet. Das Wasser wird hinter einer Druckleitung mit hoher Geschwindigkeit über Düsen auf die Schaufeln der Turbinen gespritzt.

Die Turbinen sind ein wichtiger Bestandteil jeder Wasserkraftanlage. Je nachdem wie die Energie des Wassers genutzt wird, wird zwischen zwei Arten von Wasserkraftwerken unterschieden:

Die häufigste Form von Wasserkraftanlagen sind **Laufwasserkraftwerke**. Diese nutzen die Strömung eines Flusses oder Kanals zur Stromerzeugung. Charakteristisch ist eine niedrige Fallhöhe bei relativ großer, oft jahreszeitlich schwankender, Wassermenge. Die Anlagen werden aus wirtschaftlichen Gründen oft in Verbindung mit Schleusen gebaut. Bei Laufwasserkraftwerken kommen hauptsächlich Kaplan- oder Rohrturbinen zum Einsatz. Die zweite Art sind die **Speicher-** oder **Pumpkraftwerke**. Dabei wird die hohe Lage des Wassers und die Speicherkapazität von Talsperren und Bergseen zur Stromerzeugung genutzt. Beim Talsperrenkraftwerk werden üblicherweise Kaplan- oder Francisturbinen eingesetzt, die sich am Fuß der Staumauer befinden. Beim Bergspeicherkraftwerk wird ein in der Höhe liegender See über Druckrohrleitungen mit dem Kraftwerk im Tal verbunden. Wegen der großen Fallhöhe werden meistens Peltonurbinen eingesetzt. Speicherkraftwerke können sowohl zur Deckung der elektrischen Grundlast als auch im Spitzenlastbetrieb eingesetzt werden. Pumpspeicherkraftwerke werden nicht durch natürliche Wasservorkommen, sondern durch aus dem Tal heraufgepumptes Wasser aufgefüllt. Damit wird in Schwachlastzeiten, etwa nachts, erzeugter elektrischer Strom zwischengespeichert und kann in Spitzenlastzeiten, tagsüber, wieder über eine Turbinen abgerufen werden.²¹¹ Neben den zwei großen Arten von Wasserkraftwerken gibt es noch eine dritte Möglichkeit, in Form von **Kleinwasserkraftwerken**.²¹²

Kleinwasserkraftwerke nutzen die hydraulische Energie dezentral von kleineren Flüssen oder Bächen. Sie funktionieren grundsätzlich nach demselben Prinzip wie große Wasserkraftwerke, nur die Leistung ist bedeutend geringer, wobei es länderabhängig unterschiedliche Werte gibt ab wann es als Kleinwasserkraftwerk gilt. In der Regel trifft dies zu, wenn die Leistung kleiner 1 MW ist. Es gibt unterschiedliche Ausführungen und die meisten Anlagen verfügen über keinen

²¹¹ Energien Innovation für die Zukunft, Berlin 2011, Seite 127.

²¹² Ebda, Seite 128.

Speichersee, sondern über Wasserbecken unterschiedlicher Größe und Bauart. Es können folgenden Kleinwasserkraftwerke unterschieden werden²¹³:

- Klassische Kleinwasserkraftwerke nutzen die potenzielle Energie in Fließgewässern und sind daher Laufwasserkraftwerke.
- Trinkwasserkraftwerke nutzen den überschüssigen Druck in Wasserversorgungen, die aus Quellen in erhöhten Lagen gespeist werden.
- Dotierkraftwerke speisen unterhalb großer Stauanlagen das Gewässer mit Restwasser.
- Inselanlagen speisen nicht ins Netz ein, sondern versorgen Verbraucher in entlegenen Gebieten. Solche Anlagen sind in vielen Entwicklungsländern weit verbreitet.
- Anlagen mit Speicherkapazitäten können zu dezentraler Energiespeicherung beitragen.

Die nächsten Abbildungen zeigen ein Laufkraftwerk²¹⁴ sowie ein Speicherkraftwerk²¹⁵.

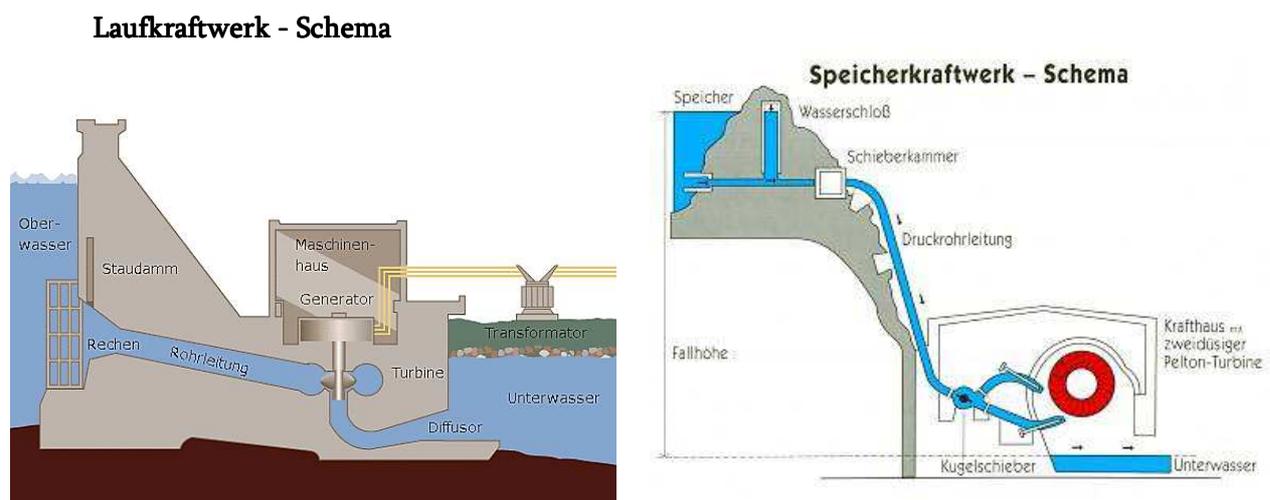


Abbildung 53: Lauf- und Speicherkraftwerk - Schema.

Wasserkraft wird aufgrund seiner Vorteile schon seit ewigen Zeiten genutzt. Mit den zunehmenden Größen der Wasserkraftanlagen steigen aber auch die Nachteile²¹⁶:

Vorteile sind unter anderem, dass

Wasserkraft im Betrieb und Nutzung **keinerlei Emissionen** oder Schadstoffe, verursacht. Wasserkraft ist **grundlastfähig**. Weil Flüsse stetig fließen, lässt sich mit Wasserkraft kontinuierlich

²¹³ Bundesverband Deutscher Wasserkraftwerke: Kleinwasserkraft. <http://www.bundesverband-deutscher-wasserkraftwerke.de/>

²¹⁴ Laufkraftwerke. <http://www.schema.at/nawi/kraftwerke/laufkraftwerke.html>

²¹⁵ http://wizard.webquests.ch/pics/upload/2341/schema_speicherkraftwerk1_400.jpg

²¹⁶ Deutsche Energie Agentur, dea: Vor- und Nachteile von Wasserkraft. <http://www.thema-energie.de/energie-erzeugen/erneuerbare-energien/wasserkraft/grundlagen/vor-nachteile-der-wasserkraft.html>

Strom produzieren. Allerdings schwankt die Leistungsfähigkeit mit dem Wasserstand der Gewässer. Wasser ist in Pumpspeicherkraftwerken **sehr einfach zu speichern**. Durch Aufstauung oder durch Hochpumpen auf ein höheres Niveau ist die Wasserkraft nicht nur speicherbar, sondern auch sehr kurzfristig verfügbar und somit gut zur Deckung von **Spitzenlastbedarf** einsetzbar. Die Energieumwandlung geschieht mit einem **sehr hohen Wirkungsgrad**. Wasserkraftwerke **laufen** bei guter Wartung **sehr lange**, die ältesten sind bis zu einhundert Jahren alt. Die langen Abschreibungszeiten erlauben eine gute Amortisation der Investitionen. Insbesondere Speicherkraftwerke dienen dem **Hochwasserschutz**, weil sie das Wasser in wasserreichen Zeiten zurückhalten und dosiert abgeben können. Wasserkraftwerke **erhöhen die Schiffbarkeit von Flüssen**, da sie den Wasserfluss beruhigen.

Es gibt aber auch **Nachteile**. Vor allem aus großen Staudamm-Projekten resultieren neben starken **ökologischen Beeinträchtigungen** auch oft **Sicherheitsrisiken** und (Zwangs-) **Umsiedlungen** von Menschen. Der Bau von großen Wasserkraftanlagen bedeutet einen **schweren Eingriff in die Natur**. Bisweilen werden dabei wertvolle **natürliche Lebensräume zerstört**. Das natürliche Fließgewässer wird durch Aufstauung unterbrochen. Durch die Wasserregulierung mithilfe von Stauseen werden **Überschwemmungsperioden unterbunden**. Das Schwemmland wird unfruchtbar. Durch die Aufstauung findet ein massiver **Eingriff in den Grundwasserhaushalt** statt. Kulturgüter, die im Bereich eines Stausees liegen, werden beim Bau großer Wasserkraftwerke durch die Überflutung zerstört. Wasserkraftwerke **gefährden den Fischbestand eines Gewässers**. Zwar ermöglichen so genannte Fischtreppe die Wanderung von Fischen an den Staumauern vorbei zum Flussoberlauf, aber die Turbinen stellen besonders für kleine Fische weiterhin eine Gefahrenquelle dar.

Sowohl große als auch kleine Wasserkraftwerke haben einen Einfluss auf die Umwelt. Der Bau kleiner Wasserkraftanlagen bringt zwar einen geringeren Eingriff in die Natur mit sich, direkte Auswirkungen auf Pflanzen und Tiere sind ihnen aber auch zu eigen, zumal das gesamte Ausmaß der Einflüsse durch die große Anzahl von Kleinanlagen gegenüber großen Anlagen zu relativieren ist.²¹⁷

Neben den klassischen Wasserkraftwerken an Flüssen oder Speicherseen, kann auch die Energie des Meeres genutzt werden. Diese Technologie ist aber noch in der Entwicklung und wird nur zu einem ganz kleinen Teil in der Stromproduktion verwendet und daher hier nur kurz erläutert.

3.3.1.1 Energie aus dem Meer

Das Meer ist eine riesige und unerschöpfliche Energiequelle, und der Mensch kann Wellen, Tidenhub und Strömung zur Stromerzeugung nutzen. Die Ozeane sind unser globaler Wärmepuffer und nehmen Sonnenenergie auf, speichern und transportieren die Wärme mit der Meeresströmung quer über den Globus, um sie in kühleren Regionen wieder abzugeben. Das Potenzial der Bewegungsenergie, Lageenergie und Wärmeenergie ist gewaltig: Allein die Wellen

²¹⁷ Deutsche Energie Agentur, dea: Vor- und Nachteile von Wasserkraft. <http://www.thema-energie.de/energie-erzeugen/erneuerbare-energien/wasserkraft/grundlagen/vor-nachteile-der-wasserkraft.html>

und Gezeitenströmungen könnten theoretisch den weltweiten Strombedarf decken. So verschieden wie die Energiequellen des Meeres und ihre Ursachen sind, so unterschiedlich sind auch die Methoden der Nutzung. Der momentane Entwicklungsstand bei den verschiedenen Techniken reicht von der reinen Forschung und Entwicklung über die Prototypen-Reife bis hin zur Demonstration erster kommerziell genutzter Anlagen. Eine Ausnahme sind die Tidenhubkraftwerke. Sie sind bereits technisch voll ausgereift. Des Weiteren gibt es noch:

- Wellenkraftwerke
- OWC (Oscillating Water Column)
- Strömungskraftwerke
- Tidenhub-Kraftwerke
- Thermische Nutzung (OTEC)
- Osmose-Kraftwerke

Die Nutzung der Meeresenergie hat das Potenzial mittel- bis langfristig einen bedeutenden Beitrag zur globalen Energieversorgung zu leisten. Als, in weiten Teilen sehr junger, Technologie-Zweig unter den erneuerbaren Energien, besteht ein hohes Lern- und Entwicklungspotenzial. Die verschiedenen Langzeitprognosen erwarten im Jahr 2050 eine Stromproduktion aus Meeresenergie bis zu 1.943 TWh pro Jahr.²¹⁸

Aktuell sind insgesamt über 100 verschiedene Technologie-Ansätze in über 30 Ländern in der Entwicklung. Die Entwicklungskosten werden zurzeit vor allem von staatlichen Trägern und teilweise auch von großen Energieunternehmen und Kapitalgesellschaften getragen. Forschung und Entwicklung wird zunehmend in gebündelten Meeresenergie-Testzentren durchgeführt. Das *European Marine Energy Centre* beispielsweise liegt nördlich von Schottland. Bevor aber ein kommerzieller Einsatz erfolgen kann, müssen die technischen Herausforderungen bewältigt werden. Ein Problem ist zum Beispiel die Anbindung von Anlagen vor der Küste oder im offenen Meer an das Stromnetz. Darüber hinaus unterliegen die Anlagen starker mechanischer Beanspruchung und Korrosion. Die Wartung, insbesondere der sich unter Wasser befindenden Teile, ist schwierig.²¹⁹

Energie aus dem Meer ist derzeit noch eine Zukunftsvision, dennoch können die technischen Herausforderungen überwunden und schon bald die riesigen Potentiale, welche in Europa gleich wie in den USA vorhanden sind, genutzt werden. Auf beiden Kontinenten ist Wasserkraft die führende erneuerbare Energiequelle bei der Stromerzeugung. Jedoch wie bereits erwähnt, ist das Ausbaupotential in der EU und auch in den USA schon weitgehend ausgenutzt. Neue Anlagen sind, aufgrund der ökologischen Auswirkungen oft umstritten. Was für eine Rolle Wasserkraft aktuell in der EU und den USA spricht und wie der Ausbau in Zukunft geplant ist, wird nun erläutert.

²¹⁸ Energien Innovation für die Zukunft, Berlin 2011, Seite 130-135.

²¹⁹ Ebda, Seite 135

3.3.2 Wasserkraft in der EU

Der Wasserkraft kommt in der Europäischen Union eine entscheidende Rolle zu, da sie unvergleichlich effizient ist und zuverlässig zur Verfügung steht. In Europa ist die Nutzung aufgrund der verschiedenen geografischen Voraussetzungen und des technischen und logistischen Know-hows höchst unterschiedlich. Während das Potenzial der Wasserkraft in den westeuropäischen Industrienationen nahezu erschöpft ist, bieten andere Länder noch gute Ausbaumöglichkeiten.

Im Jahr 2010 wurden 366,2 TWh Strom aus Wasserkraftwerken produziert. Damit ist Wasserkraft, mit einem Anteil von 58%, die wichtigste stromproduzierende regenerative Energiequelle in der EU. Der Anteil der Stromproduktion war in den letzten 10 Jahren in der EU ungefähr gleich, wie die nächste Abbildung zeigt.

- Jährliche Stromproduktion aus Wasserkraft in der EU.²²⁰

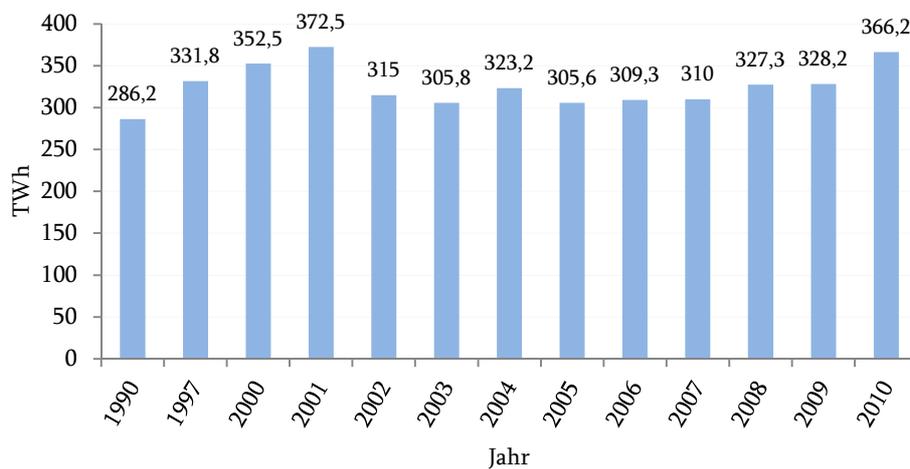


Abbildung 54: Jährliche Stromproduktion aus Wasserkraft in der EU, in TWh, seit 1990.

Die Verteilung der Wasserkraft ist in der EU aber sehr unterschiedlich. Schweden und Frankreich sind mit 18 und 17% die Länder, die am meisten Strom aus Wasserkraft erzeugen. Italien (14 %), Spanien (11 %), Österreich (10 %) steuern ebenfalls einen größeren Anteil bei. Deutschland mit 6% und Rumänien mit 5% fallen dann schon etwas zurück. Die Grafik auf der nachfolgenden Seite zeigt, die prozentuelle Aufteilung der Stromproduktion nach Länder in der EU.

²²⁰ BMU, Erneuerbare Energien in Zahlen, Seite 70.

- EU-27: Stromproduktion aus Wasserkraft, nach Ländern.²²¹

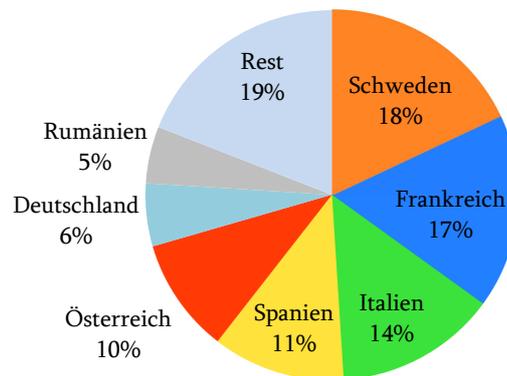


Abbildung 55: EU-27: Stromproduktion aus Wasserkraft, nach Ländern. (in %)

Derzeit ist in der EU eine Kapazität an Laufkraftwerken von 102 GW installiert. 90% davon entfallen auf große Kraftwerke. Es gibt aber auch ungefähr 21.000 kleine Wasserkraftwerke (100kW – 30 MW) mit einer Leistung von etwa 12 GW. Zusätzlich gibt es noch 38 GW an Pumpspeicherkraftwerken in der Europäischen Union. Die Verteilung der Kraftwerke auf die Mitgliedsländer, ist abhängig von den geographischen und wassertechnischen Gegebenheiten. In den gebirgigeren Ländern kann Wasserkraft noch ausgiebiger genutzt werden. Dadurch wird in Österreich 60% des Strombedarfs mit Wasserkraft abgedeckt. Auch in Schweden, mit 45%, Rumänien mit 30% und Slowenien mit 25%, kann ein überwiegender Teil des Strombedarfs aus Wasserkraft gestellt werden.²²²

Im Jahr 2010 wurden aber nur etwa 600 MW neuer Kapazität installiert und in Zukunft werden keine großen Ausbaumaßnahmen in der EU erfolgen. Laut Schätzungen gäbe es noch weitere 300 TWh die pro Jahr genutzt werden könnten. Die Ausbaumaßnahmen scheitern aber oft an den ökologischen Anforderungen und am Widerstand der Bevölkerungen und Behörden. Bei großen Kraftwerksanlagen können Genehmigungsverfahren zwischen 1 und 12 Jahren dauern. In näherer Zukunft wird sich der Ausbau in der EU hauptsächlich auf die Erneuerung älterer Wasserkraftwerke belaufen. Dies wird besonders in Österreich, Rumänien, auf der Iberischen Halbinsel und Frankreich erwartet. Des Weiteren wird in Südosteuropa nur etwa 40% der Wasserkraft genutzt und damit wäre noch eine Kapazität von etwa 145 GWh möglich.²²³

Ein Ausbau von Pumpspeicherkraftwerken müsste, gerade in Bezug auf die Erreichung der 20-20-20 Ziele, aber in der nächsten Dekade erfolgen, denn im Gesamtkontext des Ausbaus erneuerbarer Energien spielt die Wasserkraft eine entscheidende Rolle. Mit dem zunehmenden Ausbau der

²²¹ BMU, Erneuerbare Energien in Zahlen, Seite 71.

²²² European Commission, Strategic Energy Technologies Information Systems: Hydropower Generation. <http://setis.ec.europa.eu/newsroom-items-folder/hydropower-generation>

²²³ faktwert: Nutzung der Wasserkraft in Europa. [http://www.faktwert.de/artikel.html?tx_ttnews\[tt_news\]=1071](http://www.faktwert.de/artikel.html?tx_ttnews[tt_news]=1071)

erneuerbaren Energien steigt auch der Bedarf an effizienten Speichertechnologien. Es gilt, die Energie aus möglichen Überproduktionen zu speichern und bei Bedarf wieder in Strom umzuwandeln. Hierbei leistet Wasserkraft bereits heute einen wichtigen Beitrag. Pumpspeicherkraftwerke sind die effizienteste Art Energie zu speichern. Da sich der Bedarf an kurzfristiger Stromspeicherung bis 2030 voraussichtlich verdoppelt, ist ein weiterer Ausbau der Wasserkraftwerke als Speicher absehbar. Zusätzlich ist ein weiterer Ausbau des internationalen Übertragungsnetzes nötig. Nur so kann der aus Wasserkraft gewonnene Strom aus Ländern, in denen ein Überangebot herrscht, in Regionen geleitet werden, in denen Strom benötigt wird. Eine nationale Förderung der Wasserkraft liegt somit im gesamteuropäischen Interesse.²²⁴

Wasserkraft ist seit Jahren die wichtigste erneuerbare Energiequelle und wird dies in näherer Zukunft bleiben. Der Ausbau wird zwar gering sein, aber um eine nachhaltige Energiezukunft in der EU zu ermöglichen, werden vor allem neue Pumpspeicherkraftwerke benötigt. Ein Streit zwischen ökologischen und energiepolitischen Gesichtspunkten wird diesen Ausbau aber mit Sicherheit begleiten.

3.3.3 Wasserkraft in den USA

Gleich wie in Europa hat die USA ebenfalls eine lange Tradition in der Energiegewinnung mittels Wasserkraft. Insbesondere die Pazifik-Staaten und der Nordosten, sowie die Gegend der Rocky-mountains sind sehr gut für Wasserkraft geeignet. Der Großteil des Potentials an Wasserkraft wird schon genutzt. Es gibt aber immer noch Möglichkeiten eines Ausbaues.

Die USA sind 2011 mit einer Stromproduktion von 319 TWh, nach China, Brasilien und Canada, das Land mit der viertgrößten Wasserkraft Kapazität. Wasserkraftwerke decken 8% der gesamten Stromerzeugung in den USA ab und mit 64% bei den stromproduzierenden erneuerbaren Energieträgern, ist Wasserkraft mit Abstand Spitzenreiter. Die jährliche Stromerzeugung aus Wasserkraft ist in den letzten 10 Jahren in etwa gleichgeblieben, wie die Grafik auf der nächsten Seite zeigt. Jedoch gab es von 2010 auf 2011 einen Anstieg von 9% was mit der Erneuerung einiger alter Anlagen zusammenhängt.

²²⁴ European Commission, Strategic Energy Technologies Information Systems: Hydropower Generation. <http://setis.ec.europa.eu/newsroom-items-folder/hydropower-generation>

- Jährliche Stromproduktion aus Wasserkraft in den USA, seit 2002.²²⁵

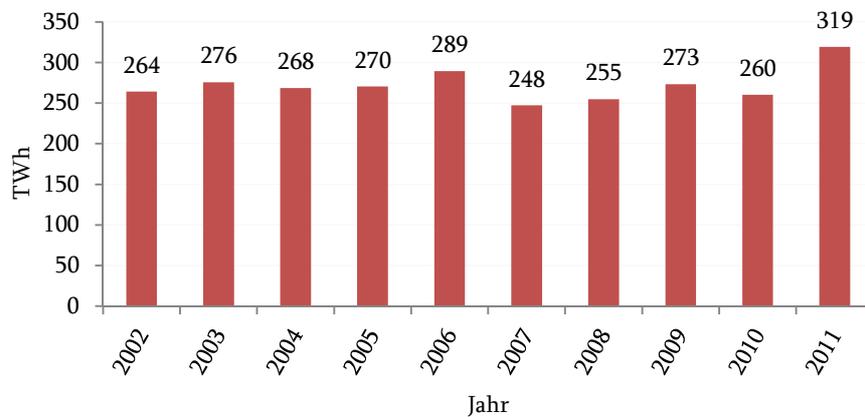


Abbildung 56: Jährliche Stromproduktion aus Wasserkraft in den USA, in GWh seit 2002.

Wie in Europa ist die Verteilung der Wasserkraft geographisch sehr unterschiedlich. Washington hat mit Abstand den größten Anteil an der gesamten Wasserkraft Kapazität, mit 26%. Dahinter folgen die anderen Pazifik-Staaten: Kalifornien mit 13% und Oregon mit 12%. New York im Osten der USA hat ebenfalls noch einen Anteil von 10%. Staaten wie Idaho, Montana, Alabama und Arizona produzieren zusätzlich je 3 beziehungsweise 4%. In wasserarmen Staaten wie New Mexico oder Texas gibt es praktisch keine Wasserkraft. Die nächste Grafik zeigt die prozentuelle Aufteilung der Stromproduktion nach Bundesstaaten in den USA.

- USA: Stromproduktion aus Wasserkraft, nach Bundesstaaten.²²⁶

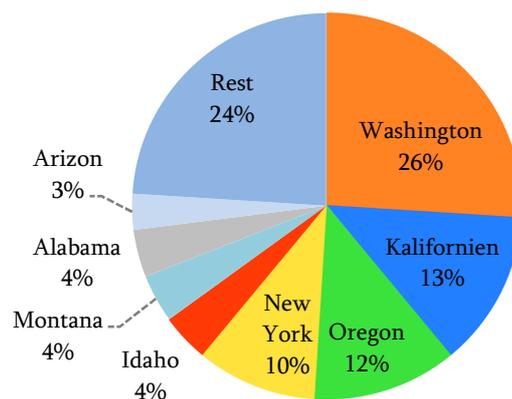


Abbildung 57: USA: Stromproduktion aus Wasserkraft, nach Bundesstaaten. (in %)

²²⁵ U.S. Energy Information Administration, (eia): Electric Power Monthly.
http://www.eia.gov/electricity/monthly/epm_table_grapher.cfm?t=epmt_1_1

²²⁶ U.S. Energy Information Administration, (eia): Hydroelectric.
<http://www.eia.gov/cneaf/solar.renewables/page/hydroelec/hydroelec.html>

Washington und Idaho können durch ihre perfekten Bedingungen 71% und 79% ihres Strombedarfs mit Wasserkraft decken. In Oregon (62%), Kalifornien (20%), Montana (34%) sowie South Dakota (47%) basiert die Stromproduktion ebenfalls sehr stark auf Wasserkraft.²²⁷

Amerika versucht derzeit mit allen Mitteln Energieautark zu werden, und dazu soll auch Wasserkraft einen noch größeren Beitrag leisten. Derzeit ist sie die wichtigste erneuerbare Energiequelle und soll in den nächsten Jahren weiter ausgebaut werden. Gleich wie in der EU liegt aber das Hauptaugenmerk derzeit nicht auf dem Neubau, sondern auf der Modernisierung alter Anlagen. Viele Betreiber haben in jüngerer Vergangenheit verabsäumt, die Kraftwerke kontinuierlich zu modernisieren und da die meisten Anlagen vor 1985 gebaut worden sind, fallen nun verstärkt Verbesserungen an.

Die US-Regierung hat 2011 gesetzliche Vereinfachungen und Gewährung von Fördergeldern sowie Steuererleichterungen erlassen, um den Neubau von Wasserkraftwerken zu stärken. Für Erleichterungen privater Investitionen soll dabei eine Gesetzesinitiative im U.S. Senat aus dem Jahr 2011 mit dem Arbeitstitel *The Hydropower Improvement Act* sorgen. Dadurch soll sich die Projektplanung und -realisierung beschleunigen. Dafür werden eigens alle involvierten Planungs- und Genehmigungsbehörden zu einem koordinierten Vorgehen gezwungen. Neben dem Energieministerium gehören auch die Umweltministerien sowie der National Park Service und der U.S. Fish and Wildlife Service dazu. Das Energieministerium vergibt außerdem Zuschüsse und zinsverbilligte Kredite für die Bereiche Forschung und Entwicklung sowie zur Produktionsförderung relevanter Wasserkrafttechnologien. Investoren in Wasserkraft erhalten darüber hinaus Erleichterungen von den zu leistenden Bundessteuern von 30%. Mit diesen Maßnahmen wird Wasserkraft verstärkt gefördert und durch die Senkung staatlicher Hürden soll ein rascherer Ausbau ermöglicht werden. 2011 und 2012 gab dadurch einen Zuwachs, vor allem bei kleineren Wasserkraftanlagen. Der Branchenverband National Hydropower Association (NHA) hält sogar eine Verdoppelung der Kapazitäten von aktuell 100 GW auf 200 GW im Laufe von 15 Jahren für vorstellbar. Wenn allein die zur Stromerzeugung noch nicht genutzten Staudämme mit Turbinen nachgerüstet würden, könnten die Kapazitäten um 21 GW zulegen, wie das Energieministerium, U.S. Department of Energy (DOE), errechnete. Es sollen zusätzlich noch 4 GW an Pumpspeicherkraftwerken bis 2025 gebaut werden.²²⁸

Gegen Stauprojekte regt sich in den USA jedoch auch Widerstand seitens der Anwohner sowie der Umwelt- und Tierschützer. Neben den hohen Investitionskosten war das stets ein Grund, warum in den letzten 30 Jahren von Großvorhaben abgesehen wurde. Durch die nun erlassenen gesetzlichen Erleichterungen und Förderungen sollen aber in den nächsten Jahren wieder Projekte realisiert werden. Dazu kommt noch das Bestreben mancher Bundesstaaten ihren Anteil an erneuerbaren Energien, auch durch Wasserkraft, zu erhöhen.

²²⁷ <http://www.npr.org/templates/story/story.php?storyId=110997398>

²²⁸ Germany Trade & Invest: Ausbau der Wasserkraft schreitet in den USA nur langsam voran (02.02.2012)
<http://www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/maerkte,did=444266.html>

Inwieweit die neuen politischen Rahmenbedingungen Wirkung zeigen, wird man in Zukunft sehen. Wasserkraft ist und wird auch in Zukunft ein wichtiger Bestandteil der amerikanischen Energieversorgung bleiben.

3.4 Geothermie

Geothermie – auch Erdwärme genannt – ist die Energie, die vom schmelzflüssigen Kern im Erdinneren, in Form von Wärme, an die Erdoberfläche dringt. Dabei werden sowohl Gesteins- und Erdschichten als auch unterirdische Wasserreservoirs erhitzt. Diese Energie kann zur Gewinnung von Strom und/oder Wärme genutzt werden. Derzeit wird weltweit noch wenig Energie daraus gewonnen, da die Entwicklung Zeit braucht und die Kosten derzeit zu hoch sind. Dennoch, der internationale Geothermie-Markt ist in den Jahren 2011 und 2012 deutlich gewachsen. Mit Stand Mai 2012 sind weltweit rund 11.224 MW²²⁹ geothermische Kapazität installiert. Damit wird pro Jahr 67,25 TWh Elektrizität und 117 TWh Wärme erzeugt²³⁰. Die USA sind Spitzenreiter im Nutzen von Geothermie. In der EU ist sie dagegen nicht sehr stark ausgebaut.

Erdwärme ist eine, nach menschlichen Maßstäben, unerschöpfliche Energiequelle. Je tiefer man in das Innere der Erde vordringt, umso wärmer wird es. In der Regel nimmt die Temperatur im Mittel um 3 °C pro 100 m Tiefe zu. In Summe steigt aus den Tiefen unseres Planeten täglich ein Mehrfaches des weltweiten Energiebedarfs auf und verpufft ungenutzt.²³¹ Diese Energieressource würde sich theoretisch überall nutzen lassen und inzwischen gibt es Methoden, die das ermöglichen.

3.4.1 Geothermische Systeme

Um die Wärme aus dem Untergrund zu gewinnen, braucht man eine Flüssigkeit für den Wärmetransport. Das grundlegende Prinzip ist einfach: Entweder ist dieses Transportmittel in Form von Dampf oder heißem Wasser bereits im Untergrund vorhanden oder die Flüssigkeit muss erst in die Tiefe gepumpt und erhitzt wieder nach oben gebracht werden. Die gewonnene Wärme lässt sich unmittelbar zur Beheizung von Gebäuden oder anderer Wärmeverbraucher einsetzen. Attraktiv ist aber auch die Verwendung der Erdwärme zur Stromerzeugung und durch Kraft-Wärme-Kopplungen könnte der Nutzungsgrad weiter steigen.²³²

Grundsätzlich unterscheidet man bei geothermischen Systemen zwei Anwendungsbereiche. Es gibt sowohl **oberflächennahe Geothermie** (bis 200 Meter Bohrtiefe) als auch **Tiefengeothermie** (500 – 5.000 Meter), die Erdwärme zur Energiegewinnung nutzt. Während ersteres zur Wärme-

²²⁹ Geothermal Energy Association, gea: Geothermal: International Market Overview Report, May 2012.

²³⁰ International Energy Agency, IEA: Geothermal Implementing Agreement, Trends in Geothermal Application. Survey Report on Geothermal Utilization and Development in IEA-GIA Member Countries in 2010 with trends in geothermal power generation and heat use 2000 – 2010, July 2012.

²³¹ Erneuerbare Energien Innovation für die Zukunft, Berlin 2011, Seite 136.

²³² Ebda, Seite 137.

versorgung von Gebäuden eingesetzt wird, eignet sich die Tiefengeothermie aufgrund der höheren Temperaturen auch für die Stromproduktion.²³³

In der **oberflächennahen Geothermie** kommen zwei verschiedene Verfahren zum Einsatz: Entweder werden dabei sogenannte Erdwärmesonden vertikal bis zu einer maximalen Tiefe von 200 Metern ins Erdreich getrieben, oder es werden Erdwärmekollektoren knapp unter der Erdoberfläche (1-1,5m) horizontal verlegt. In beiden Fällen handelt es sich um geschlossene Kreisläufe, in denen spezielle Flüssigkeiten (Sole) für die Aufnahme der Wärme und den Transport eingesetzt werden. Bei der oberflächennahen Geothermie wird dann die gewonnene Wärme durch Wärmepumpen an das Heizungssystem abgegeben. Oberflächennahe Geothermie kann praktisch überall eingesetzt werden und der wichtigste Bestandteil dabei ist die **Wärmepumpe**.²³⁴

Wärmepumpen nutzen das geringe Temperaturniveau oberflächennaher Geothermie und Umweltwärme durch Erdwärmekollektoren. Die entzogene Wärme wird dann durch die Wärmepumpe an das Heizungssystem abgegeben. Das Temperaturniveau von oberflächennahen Erdwärmeanlagen eignet sich in erster Linie zur Gebäude- und Wassererwärmung. Im Sommer kann damit auch eine Gebäudekühlung erfolgen.²³⁵

Wie bereits erwähnt, werden entweder horizontale oder vertikale Kollektoren verwendet. Horizontal verlegte Erdwärmekollektoren sind billiger als die Bohrungen, jedoch in ein bis zwei Meter Bodentiefe sinkt die Temperatur im Winter auf 5 °C. Im Sommer können sie aufgrund der Sonneneinstrahlung bis zu 15°C erreichen. Dass sie im Winter nicht so hohe Temperaturen wie vertikale Kollektoren erreichen, wird durch deutlich längere Leitungen kompensiert. Der Flächenbedarf eines so verlegten Erdkollektors beträgt das Ein- bis Anderthalbfache der zu beheizenden Wohnungsfläche. Bei Sonden kann der sogenannte Temperaturhub der Wärmepumpe über das Jahr relativ konstant gehalten werden, der Energieeinsatz bleibt niedrig. Die Temperaturen liegen zwischen 8 und 12°C. Die beste Nutzung der Erdwärme für Wärmepumpen erfolgt wenn Grundwasser vorhanden ist. Dazu benötigt man zwei Brunnen auf dem Grundstück. Aus dem ersten Brunnen wird das relativ warme Wasser (8-12 Grad) ausgepumpt, die Wärme wird an die Wärmepumpe abgegeben und in den zweiten Brunnen wird das Wasser wieder dem Grundwasser zugeführt.²³⁶

Die Nutzung der Umgebungswärme mit Hilfe von Wärmepumpen unterscheidet sich in einem Punkt wesentlich von anderen erneuerbaren Energien. Die Wärmepumpe braucht zum Antrieb einen erheblichen Anteil an Fremdenergie. Je nach äußeren Bedingungen kann diese 25 bis 50 Prozent der Energie ausmachen, die als Wärme genutzt wird. Man ordnet daher diese Technologie auch dem Bereich der rationellen Energienutzung zu, sieht Wärmepumpen also eher in einer

²³³ Steffen Holger: Geothermie kompakt, Entwicklungsstand und Perspektiven nach der EEG-Novelle 2011. Branchenstudie 2011, Erneuerbare Energien, Juni 2011.

²³⁴ Ebda, Seite 5.

²³⁵ Energien Innovation für die Zukunft, Berlin 2011, Seite 141.

²³⁶ Ebda, Seite 142.

Reihe mit sparsamen Heizkesseln. In Kombination mit Erdwärmekollektoren sind Wärmepumpen aber eine sehr nachhaltige Art der Wärmeversorgung.

Das zweite Anwendungsgebiet bei Erdwärme ist die **Tiefengeothermie**. In der Regel spricht man ab einer Bohrtiefe von 500 Meter von Tiefengeothermie. Derzeit werden Maximalwerte von circa 5.000 Meter erreicht. Die Energie kann zur Strom als auch zur Wärmeproduktion verwendet werden und es gibt, je nach Gegebenheit des Erdreichs, unterschiedliche Systeme. Tiefengeothermie wird je nach Verfahren nur an ausgewählten Standorten eingesetzt, um den höchst möglichen Wirkungsgrad zu erzielen. Es werden drei gängige Systeme unterschieden:

Bei **tiefen Erdwärmesonden** werden Bohrungen mit bis zu 4 km gemacht und dann sogenannte Doppelrohrsonden in das Bohrloch eingeführt. Durch diese Sonden zirkuliert Wasser in einem geschlossenen Kreislauf. In der Tiefe wird es erwärmt, an der Erdoberfläche wird die Wärme an einen Wärmepumpenkreislauf abgegeben. Die Temperaturen können je nach Standort und Tiefe zwischen 40 und 100° C liegen.²³⁷

Das **Hot dry Rock Verfahren** (HDR) nutzt heiße, trockene Gesteinsschichten in bis zu fünf Kilometer Tiefe, mit Temperaturen von 150 – 200° C, zur geothermischen Strom- und Wärmeerzeugung. Um die Wärme der meist kristallinen Gesteine wie Marmor oder Granit an die Erdoberfläche zu bringen, müssen sie von einem Wärmeträger durchspült werden. Daher wird zuerst eine Tiefenbohrung angelegt, durch die sehr viel Wasser unter sehr hohem Druck durch das Gestein gepresst wird. Dabei werden natürlich vorhandene Risse und Spalten auf geweitet, geschert und neue Risse erzeugt. Dadurch steigt die Durchlässigkeit des Gesteins und man erzeugt einen natürlichen Wärmetauscher. Zum Betrieb einer HDR-Anlage wird dann kaltes Wasser in die Injektionsbohrung gepumpt und über eine zweite Bohrung wieder an die Oberfläche geführt. Das in den heißen Tiefengesteinen erhitzte Wasser kann zur Speisung von Nah- und Fernwärmenetzen und zur Bereitstellung von Industriedampf genutzt werden.

Dass dieses Potenzial nicht erschlossen wird, liegt bisher an den hohen Kosten der HDR-Technik. Allein für eine Bohrung bis 5.000 m Tiefe veranschlagt man mehrere Millionen Euro. Wegen der hohen Bohrkosten werden Standorte bevorzugt, an denen in vergleichsweise geringer Tiefe kristallines Gestein und hohe Temperaturen zu finden sind.²³⁸

Die dritte Möglichkeit ist die Nutzung **Hydrothormaler Geothermie**. Dabei werden unterirdische Heißwasser-Reservoirs, die nach heutigem Stand der Technik eine Temperatur von 40 bis 150°C (Wärmegewinnung) oder mehr als 100°C (Stromproduktion) aufweisen müssen, angebohrt und nach oben befördert. Über eine zweite Bohrung wird kaltes Wasser so in den Untergrund zurückgepumpt, dass es sich beim Durchfließen von porösen Gesteinsschichten erhitzt und das Reservoir wieder auffüllen kann. Die speziellen Anforderungen an das Gestein und an die Temperaturen des Wassers beschränken den Einsatz hydrothermale Geothermie allerdings auf ausgesuchte Standorte.²³⁹

²³⁷ Energien Innovation für die Zukunft, Berlin 2011, Seite 140.

²³⁸ Ebda, Seite 137

²³⁹ Steffen, Geothermie kompakt, Seite 5.

Die nächste Abbildung zeigt die unterschiedlichen Systeme der Nutzung von Erdwärme, sowie die Tiefen und Temperaturen. Diese Temperaturen können an verschiedenen Standorten variieren.

- Geothermische Systeme.²⁴⁰

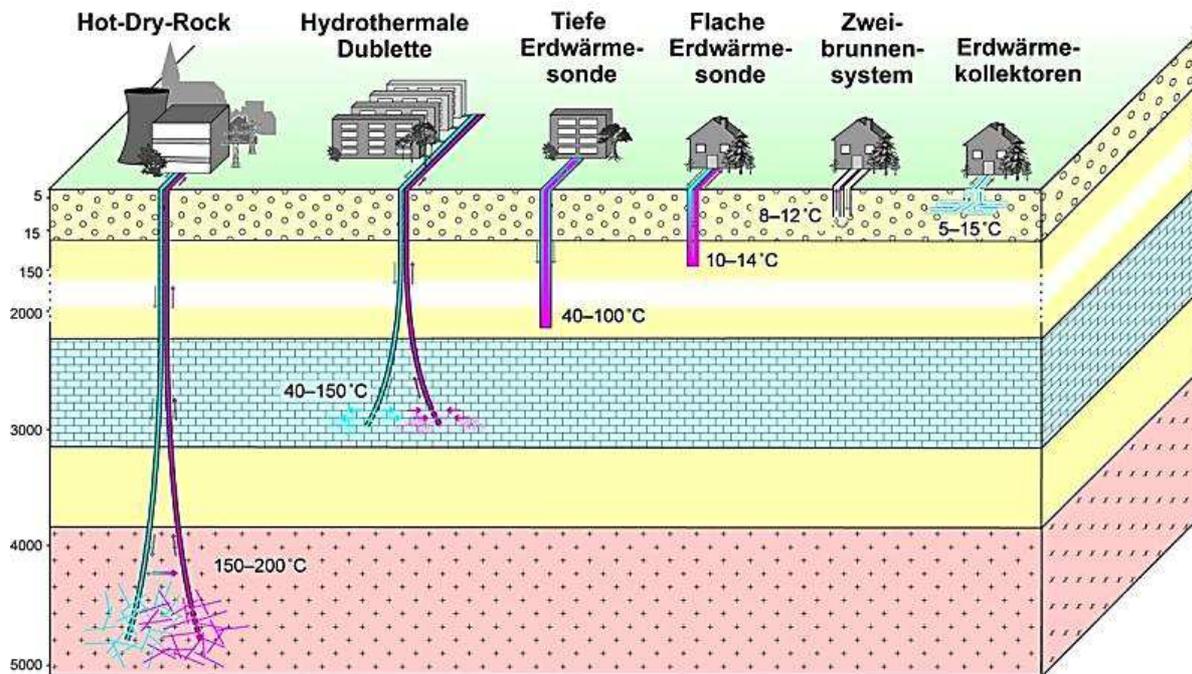


Abbildung 58: Geothermische Systeme.

Werden gute geothermische Standorte gefunden, kann die Energie ausgesprochen effizient genutzt werden und die Vorteile von Geothermie genutzt werden.²⁴¹

Ein **Vorteil** von Geothermie ist, dass sie in einem vorstellbaren Zeitraum nicht versiegen wird und die Nutzung der Erdwärme somit **dauerhaft betrieben werden kann**. Des Weiteren ist das **Potential riesig** und übertrifft alle anderen erneuerbaren Energiequellen. Da der Energieträger, die Erdwärme, **konstant** und unabhängig von Witterung, Jahres- und Tageszeit **zur Verfügung steht**, kann er zur **Grundlastsicherung** der Stromnetze eingesetzt werden. Die Nutzung von Geothermie kann dezentral in kleinen Einheiten erfolgen und Geothermie ist eine CO₂-neutrale Form der Energiegewinnung. Ein großer Vorteil ist auch, dass die **Einsatzmöglichkeiten der Geothermie vielseitig** sind. Mittels der Tiefengeothermie lässt sich zum einen elektrischer Strom erzeugen und zum anderen Wärme. Die oberflächennahe Geothermie kann neben der Wärmeengewinnung in den Sommermonaten auch zur Kühlung verwendet werden.

²⁴⁰ Uni Kassel: Geothermie Vorlesung SS 2012.

http://www.lfu.bayern.de/geologie/geothermie/pic/nzmd_blockbild_erdwaerme_gr.jpg

²⁴¹ Vor- und Nachteile der Geothermie.

<http://www.strom-infos.net/vor-und-nachteile-der-geothermie.html>

Jedoch gibt es auch **Nachteile**, es sind zum Beispiel teilweise aufwendige und **kostspielige Vorarbeiten** notwendig. Vor allem dann, wenn das erforderliche Temperaturniveau erst in tieferen Schichten der Erde gegeben ist. Bohrungen und das Einbringen von Wärmesonden sind daher oftmals sehr aufwendig und teuer. An einigen Orten kann die Erdwärme selbst dann nicht genutzt werden, wenn die geologischen Voraussetzungen eigentlich günstig wären. Dies begründet sich darauf, dass für das Einbringen von Wärmesonden oder Flächenkollektoren in das **Erdreich relativ viel Platz benötigt wird**, der oftmals nicht gegeben ist. Hydrothermale Geothermie ist nur an **besonderen geologischen Voraussetzungen** möglich. Sind diese nicht optimal, ist keine wirtschaftliche Nutzung möglich. Es können **kleinere Erdbeben** bei den Bohrungen auftreten, die in der Regel aber unterhalb der Wahrnehmungsschwelle liegen. Der **Betrieb von Wärmepumpen** kann nur über die **Zufuhr von Energie** (elektrischer Strom) realisiert werden. Somit muss Energie eingesetzt werden, um die Erdwärme nutzen zu können.

In den USA wird Geothermie schon vermehrt zur Strom- und Wärmeproduktion verwendet. In der EU steht man, insbesondere bei Tiefengeothermie, noch am Anfang. Das Potential zu einem verstärkten Ausbau ist auf jeden Fall in beiden Kontinenten beträchtlich. Wie die aktuelle Nutzung aussieht und der Ausbau in Zukunft geplant ist, wird nun erläutert.

3.4.2 Geothermie in Europa

Geothermie ist eine erneuerbarer Energie mit enormem Potenzial, auch in der EU. Der IPCC-Report 2011 weist aus, dass allein in den obersten fünf Kilometer von Europas Erdkruste genug Energie enthalten ist, um Europa pro Jahr mit rund 4.000 TWh Strom und 2.000 TWh Wärme zu versorgen, was ungefähr dem Gesamtjahresverbrauch Europas entspricht. In der Europäischen Union sind bereits zahlreiche geothermische Kraftwerke installiert oder aktuell in Planung.²⁴²

2010 konnten aus Geothermie 10,9 TWh Wärme und 5,6 TWh Strom erzeugt werden. In der Stromproduktion macht Geothermie damit nur 1% aller regenerativen Energiequellen aus und bei der gesamten Energieproduktion aus erneuerbaren Ressourcen einen Anteil von 4%. Wie die Abbildung auf der nächsten Seite zeigt, war die Wärme- und Stromproduktion aus Geothermie in den letzten Jahren relativ gleich, nur 2008 gab es einen leichten Anstieg, was mit dem Anschluss neuer Anlagen in Deutschland begründet ist.

Derzeit sind in der EU 47 Geothermie Kraftwerke mit einer gesamten Leistung von 1.200 MW installiert. Im Jahr 2011 wurden 32 MW neu an das Netz angeschlossen. Die Aufteilung der Kapazität ist in der EU sehr ungleich, denn 80% der EU-Kapazität befinden sich in Italien (930 MW). In Frankreich (43 MW), Portugal (33 MW), Spanien (25) und Deutschland (70 MW) gibt es ebenfalls noch einen kleinen Anteil, alle anderen Mitgliedsstaaten haben eine Kapazität an Geothermie von unter 10 MW. Deutschland hat aber ambitionierte Ausbauziele und spielt eine wichtige Rolle auf dem europäischen Geothermie-Markt.²⁴³

²⁴² Karlsruhe Institut für Technologie (15.11.2012): Chancen der Nutzung von Geothermie in städtischen Ballungsräumen. http://www.kit.edu/besuchen/pi_2012_12275.php

²⁴³ Vgl. BMU, Erneuerbare Energien in Zahlen, Seite 80.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die jährliche Strom- und Wärmeproduktion aus Geothermie in der EU:

- Jährliche Strom- und Wärmeproduktion aus Geothermie in der EU.²⁴⁴

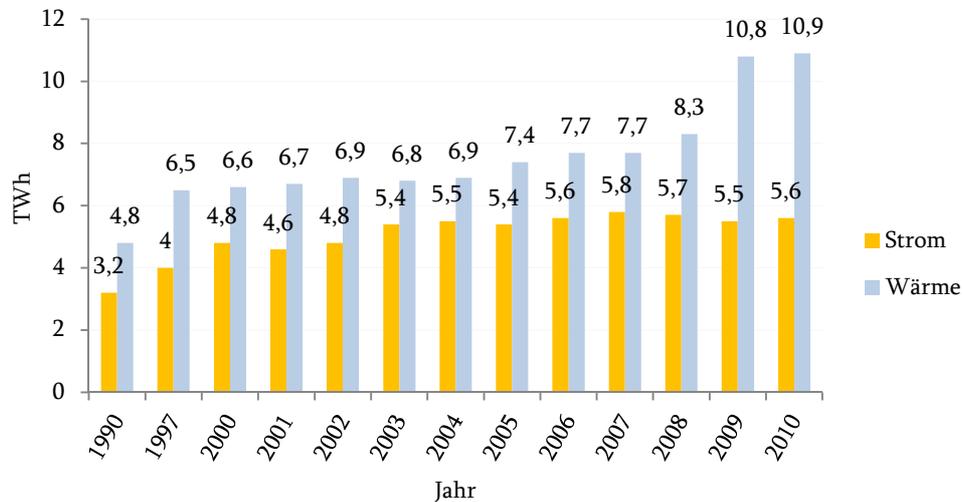


Abbildung 59: Jährliche Strom- und Wärmeproduktion aus Geothermie in der EU, in TWh. (seit 1990)

Der Ausbau von Geothermie Kraftwerken soll in Zukunft steigen. Derzeit sind 109 neue Kraftwerke bereits im Bau oder noch in der Projektphase. Bis 2015 wird erwartet, dass eine Leistung von 1.600 MW installiert ist und bis 2020 sollen es knapp 3.500 MW sein.²⁴⁵ Dennoch geht der Ausbau, im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energiequellen, langsamer von statten, was nicht nur an den geothermischen Gegebenheiten liegt, sondern auch an den Förderungen. Nur 10 der 27 EU-Mitgliedsstaaten haben Einspeisevergütungen für Geothermische Energie. Zum Erreichen der 20-20-20 Ziele könnte Geothermie aber eine große Rolle spielen. Gerade in Bezug auf die Abdeckung der Grundlast. Zusätzlich zur Stromerzeugung kann Geothermie auch einen großen Anteil der Wärmeproduktion abdecken. Der Einsatz von Wärmepumpen wird zwar von einem Großteil der Mitgliedsstaaten gefördert, aufgrund der hohen Investitionskosten wird das Potential noch nicht ausgeschöpft.

Die meisten Mitgliedsstaaten versuchen derzeit andere erneuerbare Energiequellen zu forcieren und Geothermie spielt eine untergeordnete Rolle. Einer der wenigen Staaten, die versuchen verstärkt auf Geothermie zu setzen ist Deutschland. Die deutsche Regierung unterstützt derzeit Projekte mit 60 Millionen Euro und 2011 wurden die Einspeisevergütungen erhöht.²⁴⁶

Der Ausbau wird auch an der technologischen Weiterentwicklung hängen. Derzeit sind die Investitionskosten einfach noch zu hoch, um wirtschaftliche geothermische Kraftwerke zu bauen. Aber gerade im kleinen Maßstab, vor allem durch Wärmepumpen und Erdwärmekollektoren könnte Geothermie schon bald eine größere Rolle in der EU spielen.

²⁴⁴ BMU, Erneuerbare Energien in Zahlen, Seite 70.

²⁴⁵ gea: Geothermal: International Market Overview Report, Seite 18.

²⁴⁶ Ebda, Seite 19.

3.4.3 Geothermie in den USA

Die USA befinden sich mit einer installierten Geothermie Kapazität von 3.187 MW an der Weltspitze. Jedoch werden sie, aufgrund des zunehmenden Marktwachstums in anderen Staaten, allmählich eingeholt. Das Potential in den USA ist beträchtlich. Auf einer Fläche von 2 Millionen Quadratkilometer könnten noch geschätzte 9 GW geothermische Leistung installiert werden, vor allem in den westlichen Staaten Nevada und Kalifornien.²⁴⁷

In den letzten Jahren wurde mit Geothermie 15 TWh Strom produziert und über 20 TWh Wärme. Bei den gesamten erneuerbaren Energiequellen hat Geothermie in den USA einen Anteil von 2%, bei den stromproduzierenden 3%. Die Stromproduktion ist in den letzten zehn Jahren relativ konstant gewesen, wie die nächste Grafik zeigt.

- Jährliche Stromproduktion aus Geothermie in den USA.²⁴⁸

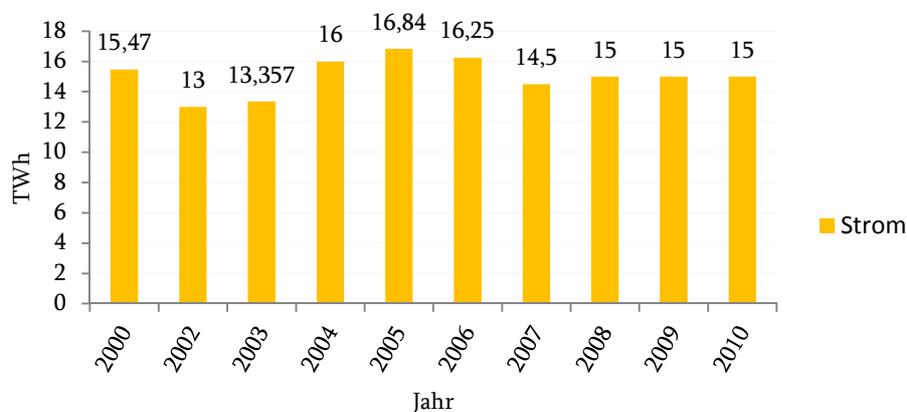


Abbildung 60: Jährliche Stromproduktion aus Geothermie in den USA, in TWh.

Gleich wie in der EU beläuft sich fast die ganze Kapazität auf einen Bundesstaat. In Kalifornien (2.600 MW) sind 80% der ganzen Geothermischen Kraftwerke installiert. 15% sind noch in Nevada (500 MW) installiert und die Bundesstaaten Utah (46 MW), Hawaii (36 MW) und Idaho (16 MW) belaufen sich die Werte auf 10 MW installiert. Dies liegt vor allem an den geothermischen Bedingungen in den Bundesstaaten.²⁴⁹

Der Ausbau an Geothermie soll in den USA in nächster Zeit wieder mehr in Schwung kommen, jedoch die nationalen Rahmenbedingungen erschweren dies. Nur eine größere Anstrengung auf nationaler Ebene, in Form von Unterstützung und Verkürzung der bürokratischen Verfahren für geothermische Projekte, kann einen zukünftigen Ausbau antreiben.

2005 wurden nationale Steuererleichterungen für Geothermie erlassen und auch einige Bundesstaaten unterstützen durch Förderungen geothermische Kraftwerke. Des Weiteren wurden 35

²⁴⁷ Vgl. Ebd. Seite 15.

²⁴⁸ Vgl IEA: Trends in Geothermal Application, Seite 10.

²⁴⁹ International Geothermal Association (2010): Geothermal in the World, USA (25.02.2010).

http://www.geothermal-energy.org/geothermal_energy/electricity_generation/usa.html

Millionen USD für die geothermische Forschung bereitgestellt. Diese Maßnahmen haben Wirkung gezeigt und in den Jahren 2011 und 2012 wurden neue Kraftwerke mit einer Leistung von 91 MW fertiggestellt und es sind weitere 147 Projekte mit einer Kapazität von 5.000 MW in der Planungsphase.²⁵⁰

In Zukunft soll Geothermie eine noch größere Rolle in den USA spielen. Ob eine weitere Steigerung des Ausbaues erfolgen wird, hängt von nationalen und bundesstaatlichen Förderungen ab. Durch den American Recovery and Reinvestment Act gibt es bis Ende 2013 noch eine Einspeisevergütung für eine Laufzeit von 10 Jahren bei einem Neubau von geothermischen Kraftwerken.²⁵¹ Wie es nach 2013 weitergeht, wird man sehen. Aufgrund der wirtschaftlich angespannten Situation und ohne Förderung ist aber anzunehmen, dass der Bau von teuren geothermischen Kraftwerken rückläufig sein wird. Das Potential in den USA wäre auf jeden Fall gewaltig, aber ob in näherer Zukunft Geothermie eine größere Rolle an der Energieerzeugung spielen wird, ist mehr als fraglich.

3.5 Energie aus Biomasse

Biomasse ist nach Öl, Kohle und Gas der am viertmeisten verwendete Energieträger der Welt und wird vorrangig für die Wärmeerzeugung genutzt. Unter Biomasse kann jede organische Substanz pflanzlichen, tierischen oder menschlichen Ursprungs verstanden werden, die nicht fossiler Art ist. Biomasse ist ein natürlicher Speicher der Sonnenenergie. Die Strahlung der Sonne wird über natürliche Systeme gebunden und in einen Energieträger komprimiert, der sich einfach nutzen lässt.²⁵²

Die traditionelle Verwendung von Biomasse ist die Wärmeerzeugung, sie lässt sich aber auch zur Gewinnung von Strom und Treibstoffen einsetzen. Weltweit deckt Biomasse zirka 10% des Primärenergiebedarfs.²⁵³ Besonders in ärmeren Regionen hängen die Menschen ausschließlich von Bioenergie in Form von Brennholz, Holzkohle oder Dung ab. Unter *moderner* Energie aus Biomasse versteht man die Nutzung land- und forstwirtschaftlicher Reststoffe und die Nutzung speziell angebauter Energiepflanzen.

Der weltweite geschätzte jährliche Verbrauch an Biomasse, beläuft sich auf 14.700 TWh. Davon werden 86% zur Erzeugung von Wärme, etwa 10% zur Stromproduktion und 4% zur Herstellung von Biotreibstoff verwendet.²⁵⁴ Diese Arbeit wird sich auf die moderne Nutzung von Biomasse konzentrieren, da diese hat in den letzten 10 Jahren ein rasantes Wachstum erfahren hat, auch in Europa und den USA. In beiden Regionen ist Biomasse die mit am Abstand meist genutzte erneuerbare Energiequelle und in Zukunft soll der Einsatz weiter steigen. Gründe dafür sind die Vielfältigkeit von Biomasse an sich und die unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten.

²⁵⁰ Vgl. gea: Geothermal: International Market Overview Report, Seite 16.

²⁵¹ vgl IEA: Trends in Geothermal Application, Seite 24.

²⁵² Bioenergieberatung Thüringen: Biomasse – Begriffsdefinition.

<http://www.biobeth.de/bioenergie/biomasse.html>

²⁵³ Vgl. REN21: Renewables 2012, Global Status Report, Seite 30.

²⁵⁴ Vgl. Ebda, Seite 31.

Die nachfolgenden Beschreibungen sollen einen Überblick über die Möglichkeiten und Arten von Biomasse geben.

3.5.1 Biomasse Einsatz

Der große Nutzen beim Einsatz von Biomasse generell ist, dass beim Entstehen wird der Atmosphäre zunächst das Treibhausgas CO₂ entzogen wird. Der Kohlenstoff wird in der Biomasse gebunden. Später wird er wieder in die Atmosphäre abgegeben, etwa bei der Verbrennung oder der Verrottung der Biomasse. Wird die Biomasse daher energetisch genutzt, wird nur das CO₂ freigesetzt, das zuvor beim Wachstum der Pflanzen aus der Atmosphäre entnommen wurde. Unter dem Strich hilft die Biomasseverwendung dem Klima allerdings nur dann, wenn die jährliche Menge die im gleichen Zeitraum nachwachsende nicht übersteigt. Daher sind nachhaltige Bewirtschaftungsstrategien, zum Beispiel für Wälder, erforderlich. Die Verwendung nachwachsender Biomasse ist daher weitgehend CO₂ neutral, soweit vernünftig gewirtschaftet wird.²⁵⁵

Beim Einsatz von Biomasse zu energetischen Zwecken ist zwischen nachwachsenden Rohstoffen (Energiepflanzen) und organischen Reststoffen zu unterscheiden. **Nachwachsende Rohstoffe** sind:

- Schnell wachsende Baumarten und spezielle einjährige Energiepflanzen mit hohem Trockenmasseertrag zur Gewinnung von Brennstoffen, z.B. Pappel, Weiden, Schilfgras, Elefantengras.
- Zucker- und stärkehaltige Ackerfrüchte für die Umwandlung in Äthanol und Ölfrüchte für den Einsatz im Treibstoffsektor, z.B. Raps, Mais, Getreide, Zuckerrüben.

Organische Reststoffe fallen bei der Land- und Forstwirtschaft, der Industrie und in Haushalten an. Dazu zählen:

- Abfall- und Restholz
- Stroh, Gras, Laub
- Dung oder Gülle
- Klärschlamm
- organischer Hausmüll

Bevor Biomasse als Energieträger genutzt werden kann, sind verschiedene, auf die jeweiligen Ausgangsstoffe zugeschnittenen, Umwandlungstechnologien (Biokonversionsverfahren) erforderlich. Dazu gehören einerseits einfache, mechanisch-physikalische, andererseits aber auch aufwendigere, thermochemische und biologische Verfahren. Nach der Umwandlung stehen die Bioenergieträger dann als feste, flüssige oder gasförmige Energieträger bereit und können zur Wärme- und Stromgewinnung eingesetzt werden.²⁵⁶

²⁵⁵ Energien Innovation für die Zukunft, Berlin 2011, Seite 105,106.

²⁵⁶ Energien-Erneuerbar. Biomasse – Bioenergie. <http://www.energien-erneuerbar.de/biomasse.html>

Die älteste und einfachste Art der energetischen Nutzung ist die **Wärmeerzeugung** aus Biomasse. Wobei neue Biomasseheizungen nicht mehr viel mit den traditionellen Kachelöfen gemeinsam haben. Heute werden vorwiegend komfortable Anlagen wie Pellets- oder Hackgutheizungen in unterschiedlichen Anlagengrößen eingesetzt. Pellets-Heizungen finden Verwendung als Einzelöfen in Wohnräumen oder als Zentralheizung für Ein- und Zweifamilienhäuser. Hackgutanlagen können ebenfalls als Zentralheizung verwendet werden, oder als sogenannte Hackgutheizwerke. Dabei wird die erzeugte Wärme als Heißwasser oder Dampf an ein Nah- oder Fernwärmenetz abgegeben. Neben Pellets oder Hackschnitzel können auch Elefantengras oder andere schnellwachsende Gräser zur Befeuerung verwendet werden. Je nach Anlagengröße werden unterschiedliche Feuerungstypen verwendet um eine vollständige und emissionsarme Verbrennung zu gewährleisten. Im Wesentlichen unterscheiden sie sich in der Art der Brennstoffaufbereitung und -zufuhr. In modernen Feuerungen lassen sich sehr hohe Wirkungsgrade erreichen und eine geringe Abgabe an Emissionen. Die Wirkungsgrade lassen sich durch die Kondensation der Rauchgase und durch die Vortrocknung der Biomasse erheblich steigern. Die Abgaswerte werden durch einen kontinuierlichen Verbrennungsvorgang und durch eine effiziente Staubabscheidung verbessert.²⁵⁷

Es gibt mittlerweile eine Vielzahl an Biomassefeuerungsanlagen die sich in Größe, Verwendungszweck oder Brennstoffart unterscheiden. Durch stetige Weiterentwicklung wird der Einsatz immer effektiver und das Einsatzgebiet steigt dadurch.

Neben der Feuerung steigt das Interesse an der **Stromerzeugung** aus Biomasse. In heutigen Biomasseheizkraftwerken wird die Biomasse verbrannt und in der Regel mit der Hitze Dampf erzeugt. Dieser Dampf treibt dann eine Turbine oder einen Motor an. Besonders effizient ist es, die verbleibende Wärme durch Kraft-Wärme-Kopplungen ebenfalls zu nutzen.

Es gibt drei unterschiedliche Technologien bei der Stromerzeugung aus Biomasse:

- Strom aus fester Biomasse
- Strom aus flüssiger Biomasse
- Strom aus gasförmiger Biomasse

Bei der Stromerzeugung aus **fester Biomasse** (zum Beispiel Scheitholz) handelt es sich hauptsächlich um konventionelle Verbrennungstechniken oder Vergasungstechniken. Dabei wird die Biomasse ähnlich wie Kohle verbrannt, oder es wird in bestehenden Kraftwerken ein gewisser Teil des regulären Brennstoffes durch Biomasse ersetzt. Weil bei der Verbrennung von Biomasse viel mehr Wärme als Strom erzeugt wird, ist es sinnvoll, nicht nur den Strom, sondern auch die Wärme (als Fernwärme) zu nutzen. In Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen ist das auch möglich.

Flüssige Biokraftstoffe bieten ein breites Einsatzspektrum, welches vom Einsatz im Verkehrsbereich als Treibstoff bis hin zum Brennstoff für Wärme oder gekoppelter Wärme- und Stromerzeugung reicht. Flüssige Biobrennstoffe werden grob in zwei Kategorien unterteilt: Bio-Öle und Alkohole. Darunter fallen etwa Bioethanol, Biomethanol oder Pflanzenöle. Die

²⁵⁷ Energien Innovation für die Zukunft, Berlin 2011, Seite 106,107.

Herstellung von flüssigen Bioenergieträgern und Biokraftstoffen kann aus vielen verschiedenen biogenen Rohstoffen, mittels unterschiedlichster Verfahren erfolgen. Bei der Herstellung von flüssiger Biomasse auf Pflanzenölbasis ist der bei weitem wichtigste Ausgangsstoff die Rapspflanze. Weitere Ausgangsstoffe dafür sind Altspeiseöle und –fette sowie tierische Fette. Für die Gewinnung von Bioethanol werden hauptsächlich die Zuckerrübe, als zuckerhaltiger Grundstoff, sowie Winterweizen und Kartoffel als Stärkerohstoff herangezogen.

Eine vielversprechende Alternative zur Verbrennung ist die **Vergasung von Biomasse**. Dazu wird sie bei hohen Temperaturen zersetzt und in ein Gasmisch umgewandelt. Dieses besteht vorwiegend aus Methan und Kohlendioxid. Nach dem Zersetzen wird es abgekühlt, gereinigt und in einem Motor-Blockheizkraftwerk (BHKW) oder einer Turbine verbrannt. Rohstoffe für die energetische Biogasnutzung werden hauptsächlich aus Energiepflanzen gewonnen, vor allem Mais. Es können aber auch Speisereste und Reststoffe aus der Landwirtschaft, zum Beispiel Gülle, der Ernährungsindustrie und der Landschaftspflege eingesetzt werden.²⁵⁸

Der Einsatz von Biomasse bringt sehr viele **Vorteile** mit sich.²⁵⁹ Es besteht **Vielseitige Einsatzmöglichkeiten** und es können Wärme, Strom und Treibstoff erzeugt werden. Biomasse ist ein Rohstoff der relativ schnell nachwächst, deshalb steht immer **eine Menge zur Verfügung**. Biomasse kann sehr **gut gespeichert werden**, und steht dann zur Verfügung wenn sie benötigt wird. Biomasse **bindet** während des Wachstums **Kohlendioxid**. Durch Biomasse profitiert der ländliche Raum. Es werden in den ländlichen Gebieten **Arbeitsplätze erhalten** und **neue geschaffen**.

Es entstehen aber auch einige Probleme: Die **Menge an Biomasse**, die erzeugt werden kann, ist **begrenzt**. In Ländern in denen relativ wenig Flächen zur Verfügung stehen, ist der Ausbau der Nutzung von Biomasse nur bis zu einem bestimmten Grenzwert möglich, sofern der Rohstoff im eigenen Land erzeugt werden soll. Das **Leistungsangebot ist nicht konstant**, da die Pflanzen Zeit zum Wachsen brauchen. Energiepflanzen können **Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion** sein. Ein Anstieg der **Nahrungs- und Futtermittelimporte** aufgrund verstärkten Anbaus von Energiepflanzen ist möglich. Es werden **große Landflächen** benötigt und es werden Urwälder abgeholzt um Energiepflanzen anbauen zu können. **Düngung und Bewässerung** sind für hohe Erträge nötig. **Transport zum Verbraucher** ist kostenintensiv und ab einer gewissen Transportlänge, ist die CO₂-Neutralität nicht mehr gegeben. Im Vergleich zu fossilen Energieträgern, wie Erdöl oder Kohle, weist Biomasse zwar eine bessere CO₂-Bilanz auf, vergleicht man Biomasse als Energieträger jedoch mit anderen regenerativen Energieformen wie Sonnen- oder Windenergie, schneidet sie hinsichtlich der CO₂-Bilanz erheblich schlechter ab, da über die erforderlichen Verbrennungsprozesse immer noch Kohlendioxid-Emissionen entstehen.

2011 wurden weltweit 10 GWth moderner Biomasseheizungen neu installiert, was zu einem Anstieg der gesamten Kapazität auf 290 GWth führte. Zusätzlich waren 2011 72 GW stromerzeugende Biomassekraftwerke im Einsatz. Die USA und die EU sind im Einsatz von

²⁵⁸ E-Control: Strom aus Biomasse. <http://www.e-control.at/de/konsumenten/oeko-energie/basiswissen/oekostrom-arten/biomasse>

²⁵⁹ Energien-Erneuerbar. Biomasse – Bioenergie. <http://www.energien-erneuerbar.de/biomasse.html>

Biomasse weltweit führend.²⁶⁰ Jedoch wie oben erwähnt, geht der Einsatz auch mit erheblichen Problemen einher. Wie die aktuelle Nutzung aussieht und der Ausbau für die Zukunft geplant ist, wird nun erläutert.

3.5.2 Biomasse in der EU

Die EU ist der größte Biomassemarkt der Welt. In Europa sind 85% der weltweiten Biomasseheizungen installiert. Auch im Einsatz von stromproduzierenden Biomassekraftwerken und Biogas ist die EU weltweit führend. 2011 waren 68% der eingesetzten erneuerbaren Energieträger in der EU Biomasse und Abfall.²⁶¹

Im Jahr 2010 wurde in der EU aus Biomasse eine Heizleistung von 737 TWh erzeugt, was zum Jahr davor einen Anstieg von fast 11 Prozent bedeutet. Die Stromproduktion aus Biomasse hat einen bedeutend kleineren Beitrag mit 123 TWh, jedoch hat sich der Anteil seit 2000 verfünffacht. Damit stieg der Anteil von Biomasse bei den stromproduzierenden, regenerativen Energiequellen auf 19%. Die nächste Abbildung zeigt die Marktentwicklung von Biomasse in der Strom- und Wärmeproduktion seit 1990.

- Jährliche Strom- und Wärmeproduktion aus Biomasse in der EU.²⁶²

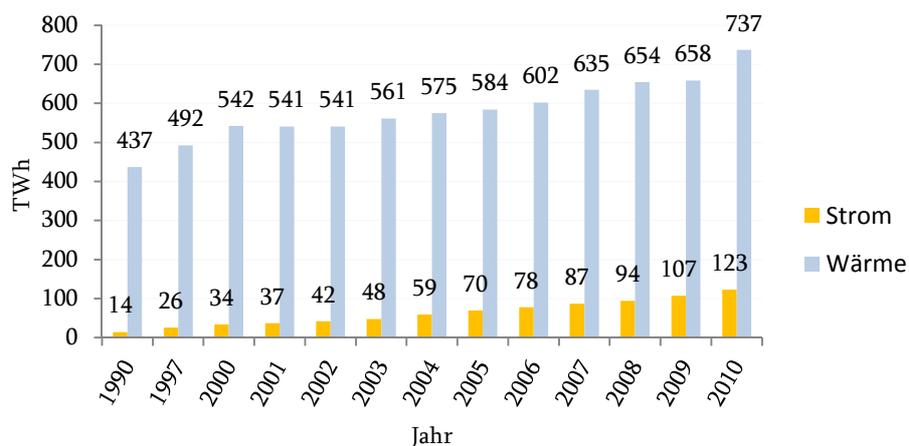


Abbildung 61: Jährliche Strom- und Wärmeproduktion aus Biomasse in der EU, in TWh. (seit 1990)

Bei der Wärmeproduktion sind 95% (700 TWh) der Brennstoffe Holz bzw. Holzabfälle. 85% (626 TWh) der installierten Kapazitäten sind Kleinheizungsanlagen oder als Zentralheizung installiert. 11% (83 TWh) der Wärme wird in Fernwärmeheizkraftwerken produziert und Biogasanlagen haben einen Anteil von 4% (30,5 TWh). Der Großteil der großen Anlagen verwendet eine Kraft-Wärme-Kopplung.²⁶³

Die Hälfte der installierten Kapazitäten an Biomasseheizungen befinden sind in Frankreich, Deutschland und Schweden. Biomasse-Fernwärmeheizkraftwerke finden den größten Einsatz in

²⁶⁰ REN21: Renewables 2012, Global Status Report, Seite 31.

²⁶¹ Ebda Seite 32.

²⁶² Vgl. BMU, Erneuerbare Energien in Zahlen, Seite 70,80.

²⁶³ Vgl. REN21: Renewables 2012, Global Status Report, Seite 32.

Schweden, Finnland, Dänemark und Österreich. Biomethan wird nur in 11 europäischen Ländern erzeugt, und Marktführer sind dabei Deutschland und Großbritannien. In der EU waren 2010 mit 26,2 GW an stromproduzierender Biomassekraftwerke um knapp 13% mehr installiert als im Jahr zuvor. 64% davon sind Kraftwerke mit Kraft-Wärme-Kopplungen und 36% werden rein zur Stromerzeugung verwendet. In Deutschland, Schweden, Finnland, Großbritannien und den Niederlanden stehen zwei Drittel der stromproduzierenden Biomassekraftwerke. Daneben sind noch Polen, Italien, Dänemark und Österreich größere Produzenten. Biogas wird ebenfalls zur Stromproduktion verwendet. 2010 wurden 30.3 TWh erzeugt was ein Plus von 20,9% zum Jahr 2009 war.²⁶⁴ Der Markt für Biomasseheizungen wuchs in der EU in den letzten Jahren. Ein Grund dafür ist der große Einsatzbereich von Kleinanlagen für Wohnräume bis hin zu großen Fernwärme-kraftwerken und Anlagen für die Industrie, sowie die doppelte Nutzung durch Kraft-Wärme-Kopplungen. In Deutschland zum Beispiel, stieg die Nummer der installierten Pellets-Heizungen von 3.000 im Jahr 2000 auf 155.000 im Jahr 2011. Auch in Italien stieg der Anteil an kleinen Pellets-Öfen 2011 um 14% auf nunmehr über 1.56 Millionen.

Biomasse soll in der EU in Zukunft weiter ausgebaut werden. Nach den nationalen Aktionsplänen soll bis 2020 eine weitere Kapazität von 850 TWh neu installiert werden. Dies wäre eine Verdopplung der aktuellen Leistung auf 1.650 TWh. Geht der Ausbau ähnlich weiter wie in den letzten Jahren, mit 35 TWh neu installierter Leistung pro Jahr, würde dieses Ziel aber nicht erreicht werden. Das würde eine Steigerung von 350 TWh auf 1.200 TWh bedeuten.²⁶⁵

Es gibt verschiedene Gründe warum der Biomasse Markt langsamer wächst als die Ausbaupläne der Mitgliedsländer vorgeben. Ein Hauptproblem sind die Unsicherheiten die mit Biomasse zusammenhängen. Die Industrie sowie die Politik sind sich erstens nicht sicher, ob genügend Biomasse für die Ausbauziele vorhanden ist. Zweitens ist nicht sicher, wie sich die benötigte Aufstockung des Energiepflanzenanbaus auf den herkömmlichen Anbau von Lebensmittel und Futter auswirken. Sind nicht genug Flächen vorhanden, müsste Biomasse von andern Ländern importiert werden, dadurch würde aber die CO₂-Neutralität verloren gehen und somit der Nutzen für den Klimaschutz nicht mehr gegeben sein. Drittens ist nicht ganz klar, wie die zukünftige Preisentwicklung von Energiepflanzen sein wird und ob Biomassekraftwerke einmal ohne Förderungen wirtschaftlich sein werden.²⁶⁶

Durch diese Unsicherheiten kann die Entwicklung von Biomasse noch sehr von den erhofften Ausbauzielen abweichen. Derzeit boomt in einigen Mitgliedsstaaten Biomasse und ist der mit Abstand größte Lieferant an regenerativer Energie. Insbesondere die Kleinanlagen für Wohnräume oder Zentralheizungen werden noch stark ausgebaut. Solange die biogenen Brennstoffe noch preisgünstig verfügbar sind, wird sich dies auch nicht ändern. Sollte aber durch die erhöhte Nachfrage an Biomasse der Preis steigen, könnte der Ausbau schnell ins Stocken geraten. Wichtig wird sein, dass die Politik Rahmenbedingungen erstellt, die einen weiteren Ausbau von Biomasse ermöglichen, aber gleichzeitig die ökologischen und sozialen Risiken bewältigen.

²⁶⁴ Vgl. Ebd. Seite 98.

²⁶⁵ Vgl. Hogan Michael: Biomass for heat and power – opportunity and economics, 2010.

²⁶⁶ Vgl. Ebd. Seite 61.

3.5.3 Biomasse in den USA

Nach der EU sind die USA der zweitgrößte Biomassemarkt. In den USA trägt Biomasse und Abfall 48% zu den erneuerbaren Energien bei. Jedoch sind, im Unterschied zur EU, davon 21% Biotreibstoffe und nur 22% feste Brennstoffe, wie zum Beispiel Holz. Sieht man sich die Entwicklung in den letzten zehn Jahren an, so steigt zwar die gesamte Nutzung von Biomasse deutlich an, jedoch nur aufgrund der aufstrebenden Produktion von Biokraftstoff. Feste Biomasse blieb in den letzten Jahren etwa auf dem gleichen Level, wie die nachfolgende Grafik zeigt.

- U.S. Biomasseerzeugung seit 2000.²⁶⁷

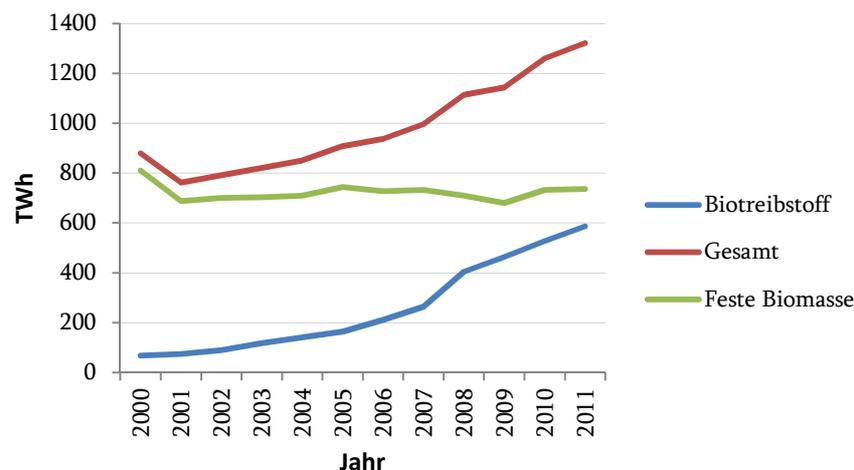


Abbildung 62: U.S. Biomasseerzeugung seit 2000, in TWh.

Die USA sind mit einer jährlichen Produktion von 57,4 Billionen Liter Biotreibstoff weltweit führend. Mit einer Kapazität von 13,7 GW an Biomasseheizkraftwerken Ende 2011 sind sie aber nach Europa auf Platz zwei. Es wurden 56,7 TWh Strom produziert, was einen Anteil von 9% der stromproduzierenden regenerativen Energiequellen darstellte. Des Weiteren sind in den USA aktuell über 550 Deponiegaskraftwerke im Einsatz, mit einer Leistung von 14,3 TWh. Biogasanlagen erzeugen außerdem eine jährliche Wärmeleistung von 0,5 TWh. Zusätzlich wuchs das Heizen in Haushalten mit Biomasse um 34% schneller als jeder anderer Energieträger. Damit sind aktuell mehr als 12 Millionen Holz- und Pellets-Öfen in den USA installiert.²⁶⁸

Wie sich der Markt weiter entwickeln wird, hängt stark von den verfügbaren Biomasseressourcen ab. Die USA sind der weltweit größte Importeur von Biomasse. Wie auch schon bei anderen erneuerbaren Energieträgern will die USA damit versuchen nicht mehr von Energieimporten abhängig zu sein. Deshalb wird auch verstärkt Biotreibstoff erzeugt. Durch diesen, und den Bau sparsamerer Autos, sowie dem geförderten Öl in Amerika, will man unabhängig von Ölimporten werden.

²⁶⁷ U.S. Energy Information Administration (eia) (2011): Table 10.1 Renewable Energy Production and Consumption by Primary Energy Source, Selected Years, 1949-2011. http://www.eia.gov/totalenergy/data/annual/pdf/sec10_3.pdf

²⁶⁸ Vgl. REN21: Renewables 2012, Global Status Report, Seite 98,100.

Generell bei Biomasse eine Prognose abzugeben, ist schwierig, da die Verfügbarkeit und die bereits erwähnten Unsicherheiten eine große Rolle spielen. Zurzeit ist Öl und Gas in den USA so billig, dass sich meistens keine Pellets- oder Hackschnitzelheizung rechnet. Deshalb wird es dahingehend keinen größeren Ausbauboom geben. Der Fokus liegt derzeit auf der Produktion von Biotreibstoffen.

4 Aussichten für nachhaltige Energiesysteme in der EU und den USA

Für eine nachhaltige Energieversorgung müssen erneuerbare Energien stark ausgebaut werden. Ohne politische Rahmenbedingungen wird dies, aus heutiger Sicht, aber nicht in dem, speziell für den Klimaschutz, gewünschten Ausmaß erfolgen. Die EU setzt daher auf verpflichtende Ausbauziele und gezielte Förderprogramme. Die USA versuchen derzeit ihre Energieunabhängigkeit durch die starke Forcierung von Schiefergas im eigenen Land zu erlangen. Doch auch in den Vereinigten Staaten gibt es nationale sowie bundesstaatliche Fördermechanismen und es wird verstärkt in die Forschung von nachhaltigen Energiesystemen investiert. Außerdem hat ein Großteil der Bundesstaaten Ziele für den Ausbau von regenerativen Energien beschlossen. Nicht nur aufgrund der politischen Vorgaben, sondern auch speziell wegen den überwältigenden Vorteilen, erlebt der Großteil der erneuerbaren Energien eine sehr positive Entwicklung. Der nachfolgende Punkt gibt noch einen abschließenden Überblick über die Entwicklung der einzelnen nachhaltigen Energiesysteme.

4.1 Entwicklung nachhaltiger Energiesysteme

Die tatsächliche Entwicklung erneuerbarer Energieträger wird sich erst in Zukunft zeigen. Eines ist aber klar, Biomasse und Wasserkraft werden die wichtigsten regenerativen Energien bleiben. Den größten Ausbau wird es aber bei Wind- und Sonnenenergie geben. Geothermie wird global gesehen weiter nur einen kleinen Teil zur Abdeckung des Gesamtenergieverbrauchs beisteuern.

4.1.1 Photovoltaik

Der PV-Markt verzeichnete 2011 einen außerordentlichen Zuwachs. In Europa wuchs die Kapazität von 30 GW im Jahr 2010 auf 52 GW im Jahr 2011. In den USA sind vergleichsweise wenige PV-Anlagen installiert, jedoch konnte 2011 eine Steigerung von 45% auf über 5 GW verzeichnet werden. Photovoltaik erlebt eine stetig technische Weiterentwicklung und deshalb werden die Wirkungsgrade und die Wirtschaftlichkeit laufend erhöht. Der damit verbundene Preisfall für PV-Module und die staatlichen Förderungen werden den Photovoltaik-Markt in Zukunft noch stärker wachsen lassen.

4.1.2 Solarthermie

Die Neuinstallation von Sonnenkollektoren war in beiden Regionen, in den letzten Jahren halbwegs konstant. Aktuell wird aber Photovoltaik gegenüber Sonnenkollektoren bevorzugt, und auch aufgrund der Finanzkrise gibt es daher seit 2009 eine deutliche Ausbaureduktion. Sonnenkollektoren sind eine der einfachsten und effektivsten Systeme zur Bereitstellung von Wärme. Durch neue Anreize in Form von Förderungen könnte ein weiterer Ausbauboom erfolgen.

Werden aber keine neuen Subventionen beschlossen, wird die Stagnation, ähnlich den letzten Jahren weiter gehen.

Solarthermische Kraftwerke werden derzeit vor allem in Spanien und Kalifornien neugebaut. Aufgrund der hohen Investitionskosten, der aktuellen wirtschaftlichen und politischen Situation wird die Entwicklung in den nächsten Jahren aber gering sein. Daher sind Initiativen wie *Desertec* momentan nur Zukunftsvisionen und solarthermische Kraftwerke werden vermehrt als Photovoltaik Kraftwerk realisiert. Was für Solarthermische Anlagen spricht, sind die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten und ihr großes Potential. Gelingt es die wirtschaftlichen und politischen Hindernisse zu überwinden, können Sonnenkraftwerke in naher Zukunft einen wichtigen Beitrag für eine nachhaltige Energieversorgung leisten.

4.1.3 Windenergie

Windenergie lässt in den nächsten Jahren den größten Ausbau aller erneuerbaren Energien erwarten. Die Wachstumsrate betrug in der EU in den letzten Jahren 15% und in den USA sogar 33%. Begründet wird der Ausbauboom dadurch, dass Windenergie nach Wasserkraft die effektivste erneuerbare Energieart ist, und sich daher Windparks schon heute wirtschaftlich rechnen. Die technische Weiterentwicklung von Windkraftanlagen lässt in Zukunft noch höhere Leistungen erwarten. Das Potential ist bei weitem noch nicht erschöpft und mit der Expansion an Offshore Windparks kann das Wachstum expandieren. In den kommenden Jahren wird weiter sehr stark in Windenergie investiert werden und bis 2020 könnte Windkraft, Wasserkraft als wichtigste stromproduzierende erneuerbare Energiequelle abgelöst haben.

4.1.4 Wasserkraft

Das Potential von Wasserkraft ist in der EU und in den USA weitgehend erschöpft und der Neubau von Wasserkraftwerken ist sehr gering. Außerdem müssen bei der Realisierung oft soziale und ökologische Hindernisse überwunden werden. Der Ausbau, gerade bei Laufkraftwerken wird sich deswegen in Zukunft mehr auf die Erneuerung von alten Kraftwerksanlagen beschränken. Hier gibt es besonders in den USA große Möglichkeiten, da viele Kraftwerke veraltet sind. Bei Pumpspeicherkraftwerken ist die Situation anders. Diese werden in einer zukünftigen, nachhaltigen Energieversorgung als Energiespeicher eine wichtige Rolle spielen. Der Ausbau von Pumpspeicherkraftwerken in gebirgigen Ländern wäre deswegen notwendig. Es sind bei Speicherkraftwerken aber ebenfalls keine großen Neuinstallationen, in den nächsten Jahren zu erwarten.

4.1.5 Geothermie

Geothermische Kraftwerke zur Stromproduktion sind immer noch eine Randerscheinung und werden es in Zukunft auch bleiben. In der EU gab es zwar in Deutschland neue Installationen doch in der gesamten Energieversorgung spielen diese keine wichtige Rolle. Ähnlich sieht es in den USA aus. Es werden zwar stetig neue Projekte realisiert, aber bei weitem nicht das mögliche Potential erschlossen. Insbesondere die hohen Investitionskosten sind ein großes Hemmnis und daher werden auch in den nächsten Jahren nur vereinzelt neue Anlagen gebaut werden. Bei der

Nutzung oberflächennaher Geothermie sieht es anders aus. Durch Förderungen und den sehr guten Wirkungsgrad von Wärmepumpen, in Kombination mit Erdwärmekollektoren, ist oberflächennahe Geothermie mittlerweile eine gute Alternative zu anderen Systemen. Neue Gebäude werden immer öfter mit dieser Technik ausgestattet und dies wird in den nächsten Jahren so bleiben.

4.1.6 Biomasse

Biomasse ist in der EU und in den USA die meistverwendete erneuerbare Energieressource und das wird sich in Zukunft nicht ändern. Derzeit stagnieren jedoch die Neuinstallationen von Biomasseanlagen. Grund dafür sind die Unsicherheiten die mit Biomasse zusammenhängen, wie die Preisentwicklung der Energiepflanzen und die Verfügbarkeit von Anbauflächen. Zusätzlich ersetzen andere nachhaltige Energiesysteme Biomasseanlagen immer häufiger. In den USA wird Biomasse außerdem sehr stark zur Treibstoffherzeugung verwendet. Die Wärmeherzeugung aus Biomasse wird dennoch in Zukunft einer der wichtigsten nachhaltigen Energiesysteme bleiben.

Die tatsächliche Entwicklung erneuerbarer Energien wird von den politischen Vorgaben, der Preisentwicklung, der Technologienentwicklung und vom Energiepreis abhängen. Nachhaltige Energiesysteme sind aktuell nur bedingt wirtschaftlich einsetzbar und für einen verstärkten Ausbau sind politische Maßnahmen nötig.

4.2 Politische Maßnahmen für eine nachhaltige Energieversorgung

Die Regierungen haben mittlerweile erkannt welches Potential in nachhaltigen Energiesystemen stecken und es gibt Ambitionen diese zu forcieren, jedoch muss dies noch intensiver und zielführender geschehen. Für eine Energiewende müssen die Regierungen der EU und den USA jetzt politische Schritte tätigen.

4.2.1.1 Politische Rahmenbedingungen müssen erstellt werden

Die EU und die USA müssen vorrangig den Marktakteuren ermöglichen, die Kosten für erneuerbare Energien, durch bessere Forschung und Fördersysteme zu senken. Des Weiteren muss durch eine steigende Erneuerbare-Energien-Quote, die Marktintegration von nachhaltigen Energiesystemen erhöht werden. Die Herangehensweise muss dabei überstaatlich ausgerichtet sein um das volle Potential an erneuerbaren Energien ausschöpfen zu können. Die Staaten sollten verpflichtende Zielsetzungen für den Ausbau von nachhaltigen Energiesystemen erstellen und mittels gezielter Förderung umsetzen.

Eine Energiewende kann nur möglich sein, wenn die Politik geeignete Rahmenbedingungen für die Marktintegration von erneuerbarer Energien schafft.

4.2.1.2 Weiterentwicklung der Technologien

Viele Technologien im Bereich der erneuerbaren Energien müssen weiterentwickelt werden, um die Kosten zu senken. Zum Beispiel durch eine Vergrößerung der Offshore-Windturbinen und -Rotoren, um mehr Wind einzufangen, und durch bessere Photovoltaikpanelle, um die

Sonnenenergieausbeute zu erhöhen. Je stärker die Technologien ausgereift sind, desto mehr werden die Kosten sinken und die finanzielle Förderung können verringert werden. Ferner muss in neue Technologien investiert werden, etwa in die Meeresenergie, in solarthermische Kraftwerke und in Biokraftstoffe der zweiten und dritten Generation. Die Politik muss daher die Forschung in nachhaltige Energiesysteme intensiv mit Fördergeldern unterstützen.

4.2.1.3 Weiterentwicklung und Erneuerung der Infrastruktur

Intelligente Zähler und Stromnetze sind der Schlüssel zur vollständigen Nutzung des Potenzials, das erneuerbare Energien bergen. Die Stromnetze in Europa und den USA sind veraltet und entsprechen diesen Anforderungen nicht und müssen daher erneuert werden. Es müssen am bestehenden Netz Optimierungs- und Flexibilisierungsmaßnahmen getroffen werden, um den zunehmenden transnationalen Stromhandel ermöglichen zu können. Außerdem muss die Vernetzung dezentraler Erzeugung zu sogenannten virtuellen Kraftwerken erfolgen, um eine optimale Integration von erneuerbaren Energien zu erreichen.

Ein weiteres kritisches Element ist die Speichertechnologie. Die Speicherung ist derzeit häufig teurer als zusätzliche Übertragungskapazität und gasgestützte Reserveerzeugungskapazität. Die herkömmliche Wasserkraftspeicherung, mittels Pumpspeicherkraftwerke, ist begrenzt und daher muss in die Forschung neuer Speichertechnologien investiert werden. Mit ausreichenden Verbindungskapazitäten und intelligenteren Netzen können Schwankungen in der Stromerzeugung ausgeglichen werden, dies könnte den Bedarf an Speicher-, Reserve- und Grundlastkapazität verringern.

Eine klare Politik und gemeinsame Standards für die intelligente Verbrauchserfassung und für intelligente Netze sind bereits jetzt notwendig, um den Ausbau von nachhaltigen Energiesystemen zu gewährleisten.

4.3 Chancen einer nachhaltigen Energieversorgung

Die Schaffung politischer Rahmenbedingungen sind nötig, um das volle Potential und die Chancen erneuerbarer Energien zu entfalten. Neben den umwelt- und klimatechnischen Vorteilen hat der Einsatz von nachhaltigen Energiesystemen auch wirtschaftliche Gewinne. Durch erneuerbare Energien können Europa und die USA ihre Energieproduktion wieder im eigenen Land bewerkstelligen. Beide Wirtschaftssysteme kämpfen derzeit mit erheblichen Problemen und erneuerbare Energien können ein Weg aus der Wirtschaftskrise sein.

4.3.1.1 Volkswirtschaftlicher Nutzen

Erneuerbare Energien schaffen trotz Finanzkrise Arbeitsplätze und ein Wirtschaftswachstum. Insbesondere die Wind- und Photovoltaikenergie ist eine kriseneindämmende Industrie und wirkt durch permanentes Wachstum und Schaffung von Arbeitsplätzen der allgemeinen Rezession entgegen. In der Forschung entstehen dadurch immer mehr neue Arbeitsplätze. EU-weit waren im Jahr 2010 bereits mehr als eine Million Menschen in der erneuerbare Energie Branche beschäftigt. Weltweit waren nach einer Schätzung von REN21 ungefähr 5 Millionen Menschen

entweder direkt oder indirekt in der Erneuerbare-Energien-Branche beschäftigt. Des Weiteren werden erneuerbare Energien oft in wirtschaftsschwache Gebiete gebaut und stärken somit die lokale Industrie. Für die Landwirtschaft ergibt sich durch Biomasse außerdem eine große zusätzliche Einnahmequelle.²⁶⁹

4.3.1.2 Senkung der Abhängigkeit von Importen

Durch erneuerbare Energien kann die Importabhängigkeit von fossilen Brennstoffen minimiert werden und somit eine Alternative gegen deren Preiserhöhung geschaffen werden. Durch erneuerbare Energien kann jetzt teilweise schon billigere Energie bereitgestellt werden. Somit werden nicht nur die Energieimporte minimiert, sondern durch nationale Erzeugung der Energie wird zusätzliche wirtschaftliche Wertschöpfung geschaffen.

4.3.1.3 Senkung des CO₂-Ausstoßes

Einer der Hauptgründe für den Ausbau von erneuerbarer Energien ist natürlich die Senkung der klimaschädlichen Treibhausgase. In Zukunft wird dies aber auch einen volkswirtschaftlichen Nutzen haben, denn die sogenannten Sekundärkosten, welche durch Klimakatastrophen und dem steigenden Meeresspiegel anfallen, werden massiv zunehmen. Durch eine nachhaltige Energieversorgung kann diesem entgegengesteuert werden.

4.3.1.4 Verringerung der Umweltzerstörung

Da fossile Energien begrenzt sind, müssen immer neue Abbaustellen erschlossen werden. Diese werden immer exponierter und dringen in sensible Umweltsysteme vor. Ein Beispiel sind die Abbaupläne in der Arktis. Laut Greenpeace wäre eine Ölkatastrophe, ähnliche wie im Golf von Mexiko, in der Arktis noch verheerender, da der Zugang weitaus schwieriger ist um das Leck zu schließen. Der Abbau von Schiefergas durch die Fracking-Methode geht auch mit einer schwerwiegenden Umweltzerstörung einher. Erneuerbare Energien bieten die Chance, unsere Umwelt zu schonen und für zukünftige Generationen zu erhalten.

Eine wettbewerbsfähige, nachhaltige und sichere Energieversorgung ist das Schlüsselement für die weitere positive Entwicklung der Wirtschaft und Industrie in der EU und den USA. Nur der Ausbau von erneuerbaren Energien, kann unsere Energieversorgung nachhaltig gestalten. Gleichzeitig wird der Ausstoß von Treibhausgasen durch eine nachhaltige Energiebereitstellung reduziert. Somit ist es in unserem Sinn, dass der Einsatz von erneuerbarer Energien in Zukunft noch verstärkter forciert wird.

²⁶⁹ Vgl. REN21: Renewables 2012, Global Status Report, Seite 7.

5 Anhang

5.1 Erläuterungen

Energie	Energie ist die Fähigkeit oder Möglichkeit eines Systems, Arbeit zu verrichten. Gemessen wird Energie in der Einheit Joule (J). physikalisch betrachtet kann Energie weder erzeugt noch vernichtet werden, sondern nur von einer Form in die andere umgewandelt werden.
Endenergie	Vom Endverbraucher genutzte Energieträger.
Energiereserven	Die in der Erde lagernden Vorräte an Brennstoffen, die nachgewiesen, sicher verfügbar und mit heutiger Technik wirtschaftlich gewinnbar sind.
Energieressourcen	Neben den Energiereserven gibt es nachgewiesene und vermutete Vorräte von Energieträgern (sogenannte Energieressourcen), die jedoch derzeit aus technischen und/oder wirtschaftlichen Gründen noch nicht gewinnbar sind
Erneuerbare Energien	auch regenerative Energien, sind Energiequellen, die nach den Zeitmaßstäben des Menschen unendlich lange zur Verfügung stehen. Die drei originären Quellen sind: Solarstrahlung, Erdwärme (Geothermie) und Gezeitenkraft. Diese können entweder direkt genutzt werden oder indirekt in Form von Biomasse, Wind, Wasserkraft, Wellenenergie sowie Umgebungswärme.
Fossile Energieträger	aus Biomasse im Verlaufe von Jahrmillionen entstandene Energierohstoffe: Öle, Kohlen, Gase.
Kohlendioxid CO₂	Eines der Treibhausgase mit der Eigenschaft, für langwellige Wärmestrahlung undurchlässig zu sein. Verhindert damit die gleichgewichtige Abstrahlung der auf die Erde treffenden kurzwelligeren Sonnenstrahlung. Gefahr einer Temperaturerhöhung auf der Erdoberfläche.
Primärenergie	Primärenergie ist der Energiegehalt eines natürlich vorkommenden Energieträgers, bevor er zum Beispiel durch Verbrennung umgewandelt wird. Zu den Primärenergieträgern zählen erschöpfliche Energieträger wie Stein- und Braunkohle, Erdöl, Erdgas und Uranerz sowie erneuerbare Energien (Sonnenenergie, Windkraft, Wasserkraft, Erdwärme)
Treibhauseffekt	Verschiedene Treibhausgase tragen durch Absorption und erneute Emission von Strahlung zur Erwärmung der Erde bei. Dies wird als Treibhauseffekt bezeichnet. Es wird zwischen einem natürlichen und einem anthropogenen (vom Menschen verursachten) Treibhauseffekt unterschieden.

5.2 Einheiten

Einheiten **1 Joule** (J) ist die Basiseinheit für Energie. $1 \text{ J} = 1 \text{ Nm}$ (Newtonmeter) = 1 Ws (Wattsekunde). da 1 J nur einer geringen Energiemenge entspricht, werden meist Vielfache dieser Einheit verwendet:

$\text{kJ} = 10^3 \text{ Joule} = \text{Tausend Joule (Kilo-)}$

$\text{MJ} = 10^6 \text{ Joule} = \text{Millionen Joule (Mega-)}$

$\text{GJ} = 10^9 \text{ Joule} = \text{Milliarden Joule (Giga-)}$

$\text{TJ} = 10^{12} \text{ Joule} = \text{Billionen Joule (Tera-)}$

$\text{PJ} = 10^{15} \text{ Joule} = \text{Billiarde Joule (Peta-)}$

$\text{EJ} = 10^{18} \text{ Joule} = \text{Trillionen Joule (Exa-)}$

Eine gebräuchliche Einheit ist auch die **kWh** (Kilowattstunde).

$1 \text{ kWh} = 3.600 \text{ kJ} = 3,6 \text{ MJ}$

$1 \text{ GWh} = 10^6 \text{ kWh} = 1 \text{ Million kWh} = 3.600 \text{ GJ}$

$1 \text{ TWh} = 10^9 \text{ kWh} = 1 \text{ Milliarden kWh} = 3.600 \text{ TJ}$

In Statistiken vielfach verwendete Einheiten sind: **1 Mio. t SKE** = 1 Millionen Tonnen Steinkohleeinheiten = 8,14 TWh

1 Mill. t ROE = 1 Millionen Tonnen Rohöleinheiten = 11,63 TWh

1 W ist die Basiseinheit für die Leistung von Energieanlagen. Sie entsteht durch Division der Energieeinheit durch die Zeit, also

$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$

$\text{kW} = 10^3 \text{ Watt} = \text{Tausend Watt}$

$\text{MW} = 10^6 \text{ Watt} = \text{Millionen Watt}$

$\text{GW} = 10^9 \text{ Watt} = \text{Milliarden Watt}$

5.3 Leitlinien für eine weltweite nachhaltige Energieversorgung

- 1. Zugang und Verteilungsgerechtigkeit für alle:
Alle Menschen sollten vergleichbare Chancen beim Zugang zu Energieressourcen und Energiedienstleistungen haben.
- 2. Ressourcenschonung:
Wir dürfen die heutigen Energiequellen nicht zu Lasten kommender Generationen ausbeuten.
- 3. Erhaltung der biologischen Vielfalt:
Die Ausgestaltung der künftigen energetischen Basis darf nicht zu einer Gefährdung der biologischen Vielfalt führen.
- 4. Umwelt-, Klima- und Gesundheitsverträglichkeit:
Die Anpassungs- und Regenerationsfähigkeit der Umwelt darf nicht durch energiebedingte Emissionen und Abfälle überfordert werden.
- 5. Soziale Verträglichkeit:
Bei der Gestaltung von Energieversorgungssystemen sollten alle Betroffene teilhaben.
- 6. Risikoarmut und Fehlertoleranz:
Die Risiken der Energiebereitstellung und –nutzung müssen gering gehalten werden.
- 7. Umfassende Wirtschaftlichkeit:
Energie soll für den Einzelnen und gesamtwirtschaftlich bezahlbar bleiben.
- 8. Bedarfsgerechte Nutzungsmöglichkeiten und dauerhafte Versorgungssicherheit:
Die Energieversorgung soll auf so vielen verschiedenen Säulen beruhen, dass sie flexibel auf die Bedürfnisse der Gesellschaft zugeschnitten ist und auf mögliche Krisen reagieren kann.
- 9. Internationale Kooperation:
Die Energieversorgung soll sich so entwickeln, dass Ressourcenkonflikte mit anderen Staaten gelöst werden und eine friedliche Kooperation durch gemeinsame Nutzung der jeweiligen Fähigkeiten und Potentiale gefördert wird.

5.4 Ausbauziele für erneuerbare Energien der U.S. Bundesstaaten.

Bundesstaat	Programmziel
Arizona	15% des Stromverbrauchs bis 2025 aus erneuerbaren Energiequellen zu decken.
Kalifornien	33% des Stromverbrauches bis 2020 aus erneuerbaren Energiequellen zu decken.
Colorado	20% des Stromverbrauches bis 2015 aus erneuerbaren Energiequellen zu decken, und bis 2020 30%.
Connecticut	27% Anteil erneuerbarer Energien an der Energieversorgung und 4% Energieeffizienzsteigerung bis 2020.
Delaware	25% Anteil erneuerbarer Energien an der Energieversorgung bis 2025; 3,5% davon aus Solarenergie.
Hawaii	30% Anteil erneuerbarer Energien an der Energieversorgung bis 2030.
Illinois	25% Anteil erneuerbarer Energien an der Energieversorgung bis 2025; 75% davon aus Wind und 6% aus Solarenergie.
Kansas	20% Anteil erneuerbarer Energien an der Energieversorgung bis 2020.
Maryland	20% des Stromverbrauchs bis 2022 aus erneuerbaren Energiequellen zu decken. 2% sollen davon aus Solarenergie erfolgen.
Massachusetts	15% Anteil erneuerbarer Energien an der Energieversorgung bis 2020.
Michigan	10% des Stromverbrauches bis 2015 aus erneuerbaren Energiequellen zu decken.
Minnesota	30% Anteil erneuerbarer Energien an der Energieversorgung bis 2020 (für den staatlichen Versorger) und 25% bis 2025 für die privaten Versorger. 24% davon aus Wind und 1% aus Solar.
Missouri	15% Anteil erneuerbarer Energien an der Energieversorgung bis 2021.
Nevada	25% des Stromverbrauches bis 2025 aus erneuerbaren Energiequellen zu decken.
New Hampshire	28% des Stromverbrauches bis 2025 aus erneuerbaren Energiequellen zu decken.
New Jersey	22,5% des Stromverbrauches bis 2025 aus erneuerbaren Energiequellen zu decken. 3,5% davon aus Solarenergie.
New Mexico	20% des Stromverbrauches bis 2020 aus erneuerbaren Energiequellen zu decken. 3,5% davon aus Solarenergie.
New York	30% des Stromverbrauches bis 2015 aus erneuerbaren Energiequellen zu decken. 3,5% davon aus Solarenergie.
North Carolina	12,5% Anteil erneuerbarer Energien an der Energieversorgung bis 2021. 25% Energieeinsparung bis 2018.
Ohio	25% des Stromverbrauches bis 2025 aus erneuerbaren Energiequellen zu decken.

Oregon	25% Anteil erneuerbarer Energien an der Energieversorgung bis 2025.
Pennsylvania	18% des Stromverbrauches bis 2021 aus erneuerbaren Energiequellen zu decken. 3,5% davon aus Solarenergie.
Washington	15% Anteil erneuerbarer Energien an der Energieversorgung bis 2020.
West Virginia	25% des Stromverbrauches bis 2025 aus erneuerbaren Energiequellen zu decken.
Wisconsin	10% des Stromverbrauches bis 2015 aus erneuerbaren Energiequellen zu decken.

Tabelle 3: Ziele zum Ausbau erneuerbaren Energien, der einzelnen Bundesstaaten.

6 Verzeichnisse

6.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: EU-27, Energiefluss (in Mtoe), (2010).....	13
Abbildung 2: USA, Energiefluss (in Mtoe), (2011).....	14
Abbildung 3: EU-27: Primärenergieverbrauch nach Energieträger (in %), (2010).....	15
Abbildung 4: U.S.: Primärenergieverbrauch, nach Energieträger (in %), (2011).....	17
Abbildung 5: Gesamt-Primärenergieaufkommen pro Kopf in Tonnen Rohöleinheiten (t RÖE), (2010).....	18
Abbildung 6: EU-27 und U.S. Energieproduktion nach Energieträger, im Vergleich (in %), (2010).....	19
Abbildung 7: Weltweit geprüfte Erdölreserven nach Region (in Milliarden Barrels), (2011).....	21
Abbildung 8: Weltweit geprüfte Kohlereserven nach Region (in Milliarden Tonnen), (2011).....	22
Abbildung 9: Weltweit geprüfte Erd- und Schiefergasreserven nach Region, (in Milliarden m ³), (2011).....	23
Abbildung 10: Weltweit geprüfte Uranvorkommen nach Region (in Millionen Tonnen), (2006).....	24
Abbildung 11: EU-27 und U.S. Elektrizitätserzeugung nach Energieträgern (in %), (2010).....	25
Abbildung 12: EU-27 und U.S. Wärmeerzeugung nach Energieträgern (in %), (2010).....	26
Abbildung 13: Europäisches Verbundnetz.	27
Abbildung 14: U.S. Stromnetz aufgeteilt auf die drei Regionen.....	28
Abbildung 15: Entwicklung der globalen energiebedingten CO ₂ -Emissionen seit 1870 und ihre Hauptursachen: Bevölkerungszuwachs und Verbrennung von Kohle Mineralöl und Erdgas. (1 Gt SKE [Steinkohleeinheiten] entspricht 29,3 EJ).....	32
Abbildung 16: Entwicklung der energiebedingten CO ₂ -Emissionen in verschiedenen IPCC-Szenarien im Vergleich zum historischen Verlauf und ihre Auswirkungen auf CO ₂ -Konzentration und Temperatur in der Atmosphäre. (<i>A1FI</i> : Wachstum Szenario mit Deckung durch weitgehend fossile Energieträger; <i>450</i> und <i>550</i> : jeweilige Mittelwerte von Szenarien, die zu einer stabilen Konzentration von CO ₂ in der Atmosphäre führen).....	33
Abbildung 17: Treibhausgasemissionen nach Region, (2009).....	34
Abbildung 18: Reichweite fossiler Energieträger, (in Jahre).....	35
Abbildung 19: Einsatz erneuerbarer Energiequellen.	36
Abbildung 20: EU-27 und U.S. Energieproduktion nach erneuerbaren Energieträgern (in %), (2010).....	44

Abbildung 21: EU-27 und U.S. Elektrizitätserzeugung nach erneuerbaren Energieträgern, (in %), (2010).	46
Abbildung 22: Potential Sonnenenergie Europa.	47
Abbildung 23: Potential Sonnenenergie USA.....	47
Abbildung 24: Aufbau einer Siliziumsolarzelle.	49
Abbildung 25: Installierte Photovoltaik-Freianlagen in Europa, 2011.	51
Abbildung 26: EPIA - Photovoltaik Szenarien in der EU, sowie Norwegen und der Türkei, in GW bis 2030.	54
Abbildung 27: U.S. Karte, installierte Leistungen von PV-Anlagen nach Bundesstaat, in KW. (2011)	55
Abbildung 28: EPIA - Photovoltaik Szenarien in den USA, in MW bis 2016.	57
Abbildung 29: Funktionsweise einer thermischen Solaranlage.....	59
Abbildung 30: Flach- und Vakuumröhrenkollektor.	60
Abbildung 31: Länderanteil an installierten Sonnenkollektoren in der EU in %. (2011).....	61
Abbildung 32: Entwicklung des Solarthermie-Markts in der EU-27 und der Schweiz. (2000-2011)	62
Abbildung 33: Vergleich der Wärmeproduktion der Mitgliedsstaaten aus Sonnenkollektoren 2011 und der geschätzten Produktion, laut den nationalen Aktionsplänen, 2020, in GWh pro Jahr. (2011, 2020)	65
Abbildung 34: Entwicklung des Sonnenkollektor-Marktes in den USA, in MW(th). (2001-2010)	66
Abbildung 35: Sonnenkraftwerke und Funktionsweise.....	67
Abbildung 36: Sonnenturmkraftwerk PS 10 in Spanien.....	70
Abbildung 37: Skizze einer möglichen Infrastruktur für eine nachhaltige Versorgung von Europa, dem Nahen Osten und Nordafrika.	72
Abbildung 38: Parabolrinnen-Kraftwerk SEGS I.	73
Abbildung 39: Europäische Windkarte. Durchschnittliche jährliche Windgeschwindigkeit (80 m Onshore, 120m Offshore) nach der Korrektur von geographischen und lokalen Hindernissen.....	75
Abbildung 40: U.S. jährliche durchschnittliche Windgeschwindigkeit.	76
Abbildung 41: Luv-Leeläufer Windkraftanlagen.	77
Abbildung 42: Hauptkomponenten einer Windenergieanlage.	78
Abbildung 43: Entwicklung der Dimensionierung von Windenergieanlagen seit 1980.	80
Abbildung 44: EU-27 kumulierte Windenergie-Leistungen seit 1995, in GW.	83
Abbildung 45: EU-27: Jährlich installierte Windenergie-Leistung seit 1995, in GW.....	84

Abbildung 46: EU-27 Vergleich Onshore – Offshore Installationen seit 2001, in MW.	84
Abbildung 47: Europa, Gesamtleistung Windenergie, pro Land, in MW. (2011)	85
Abbildung 48: Szenarien der EU-27 Wind-Markt Entwicklung bis 2020.	88
Abbildung 49: U.S. kumulierte Windenergie Leistung in GW, seit 2001.....	89
Abbildung 50: U.S.: Jährlich installierte Windenergie-Leistung seit 2001, in GW.....	90
Abbildung 51: U.S. Gesamtleistung Windenergie, pro Bundesstaat im März 2012.	91
Abbildung 52: GWEC Szenarien für die USA bis 2030.....	93
Abbildung 53: Lauf- und Speicherkraftwerk - Schema.....	96
Abbildung 54: Jährliche Stromproduktion aus Wasserkraft in der EU, in TWh, seit 1990.	99
Abbildung 55: EU-27: Stromproduktion aus Wasserkraft, nach Ländern. (in %).....	100
Abbildung 56: Jährliche Stromproduktion aus Wasserkraft in den USA, in GWh seit 2002.	102
Abbildung 57: USA: Stromproduktion aus Wasserkraft, nach Bundesstaaten. (in %).....	102
Abbildung 58: Geothermische Systeme.	107
Abbildung 59: Jährliche Strom- und Wärmeproduktion aus Geothermie in der EU, in TWh. (seit 1990).....	109
Abbildung 60: Jährliche Stromproduktion aus Geothermie in den USA, in TWh.....	110
Abbildung 61: Jährliche Strom- und Wärmeproduktion aus Biomasse in der EU, in TWh. (seit 1990).....	115
Abbildung 62: U.S. Biomasseerzeugung seit 2000, in TWh.....	117

6.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Prognose weltweiter Primärenergiebedarf nach Region, 2008-2035 (in Mtoe).....	30
Tabelle 2: Zukünftige Entwicklung der erneuerbaren Energien in der EU – Abschätzung auf Basis der Nationalen Aktionspläne für erneuerbare Energie (NREAPs) der EU-Mitgliedstaaten.....	39
Tabelle 3: Ziele zum Ausbau erneuerbaren Energien, der einzelnen Bundesstaaten.....	127

6.3 Abkürzungsverzeichnis

ARRA - American Recovery and Reinvestment Act
CCS - Carbon Capture and Storage-Technologie
Co₂ – Kohlenstoffdioxid
eia – U.S. Energy Information Administration
EERE – Office of Energy Efficiency and Renewable Energy
EJ - Exajoule
EPIA - European Photovoltaik Industry Association
ESTIF - European Solar Thermal Industry Federation
EU – Europäische Union
EU – 27 – 27 Mitglieder der Europäischen Union
EWEA - European Wind Energy Association
GWEC - Global Wind Energy Council
GJ – Gigajoule
GW – Gigawatt
GWh – Gigawattstunde
IAEA - International Atomic Energy Agency
IEA – International Energie Agentur
IAEFA - Internationalen Atomenergie Organisation
IPCC - Internationale Panel on Climate Change
KW – Kilowatt
KWh - Kilowattstunde
Mtoe - Megatonnen – Öläquivalent
NEA - Nuclear Energy Agency
NREAP -National Renewable Energy Action Plan
NREL - National Renewable Energy Laboratory
OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development
OPEC – Organization of the Petroleum Exporting Countries
PJ – Petajoul
SET-Plan - European Strategic Energy Technology Plan
SKE - Steinkohleeinheiten
t RÖE - Tonnen Rohöleinheiten
TWh - Terawattstunde
USA – United States of America

6.4 Literaturverzeichnis

American Wind Energy Association, AWEA: AWEA U.S. Wind Industry Report, First Quarter 2012, Market Report.

Amtsblatt der Europäischen Union: Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG, 5.6.2009.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Erneuerbare Energien Innovation für die Zukunft, Berlin 2011

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Erneuerbare Energien in Zahlen, Nationale und Internationale Entwicklung, Juli 2012.

Brauner Günther, SET-Plan der EU und Auswirkungen auf die Erzeugung. Würzburg 2011.

Brundtland 1987: Rio-Agenda 21, 1992.

European Photovoltaic Industry Association, EPIA: Global Market Outlook for Photovoltaic until 2016, Mai 2012.

European Photovoltaic Industry Association, EPIA: SET FOR 2020, Solar Photovoltaic Electricity: A mainstream power source in Europe by 2020, Brüssel 2008.

European Commission: EU energy in figures, Statistical Pocketbook 2012, European Union, 2012

European Commission: Europe's energy position, 2010 Annual Report, European Union 2011.

European Environment Agency, EEA: Europe's onshore and offshore wind energy potential An assessment of environmental and economic constraints. EEA Technical Report, 6/2009.

European Solar Thermal Industry Federation, ESTIF: Solar Thermal Markets in Europe, Trends and Market Statistics 2011, June 2012.

Ernst & Young Environmental Finance team: Renewable energy country attractiveness indices, May 2012.

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, ISE: Jahresbericht 2011, Freiburg 2012.

Geothermal Energy Association, gea: Geothermal: International Market Overview Report, May 2012.

Global Wind Energy Council, GWEC: Global Wind Report. Annual market update 2011, March 2012.

Global Wind Energy Council, GWEC: GLOBAL Wind Energy Outlook, November 2012.

Hogan Michael: Biomass for heat and power – opportunity and economics, 2010.

IG-Windkraft, Austrian Wind Energy Association, IGW: Weltweite Windkraftleistung wird sich bis 2016 verdoppeln. Leitevent der europäischen Windbranche EWEA 2012 zieht erfolgreich Bilanz, Kopenhagen 2012.

IG-Windkraft, Austrian Wind Energy Association, IGW: Rekord für den Ausbau erneuerbarer Energien in Europa, Brüssel 06.02.2012.

International Atomic Energy Agency, IAEA: International Status and Prospects for Nuclear Power 2012, August 2012.

International Energy Agency, IEA: Geothermal Implementing Agreement, Trends in Geothermal Application. Survey Report on Geothermal Utilization and Development in IEA-GIA Member Countries in 2010 with trends in geothermal power generation and heat use 2000 – 2010, July 2012.

International Energy Agency, IEA: Key World Energy Statistics 2011, Paris 2011.

International Energy Agency, IEA: World Energy Outlook 2011, OECD/IEA, 2011.

IPCC 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Summary for Policymakers.

Kommunalkredit: Investieren in Windenergie 2012.

Lu, Xi, Michael B. McElroy, and Juha Kiviluoma. 2009. Global potential for wind-generated electricity. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 106(27): 10933-10938.

Mitteilung der Europäischen Kommission: Energie 2020 Eine Strategie für wettbewerbsfähige, nachhaltige und sichere Energie. Europäische Union, 2011.

Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: Energiefahrplan 2050, Brüssel 12.12.2011.

National Renewable Energy Laboratory (NREL): U.S. Renewable Energy Technical Potential: A GIS-Based Analysis, July 2012.

Sauer Karl, Erneuerbare Energien: Windenergie Technik der Zukunft.

Seitz Bernhard, Desertec. Solarthermische Energie als gemeinsame Energiepolitische Strategie für Europa, Nordafrika und den Nahen Osten? Wien 2010.

Sherwood Larry: U.S. Solar Market Trends 2010, June 2011.

Steffen Holger: Geothermie kompakt, Entwicklungsstand und Perspektiven nach der EEG-Novelle 2011. Branchenstudie 2011, Erneuerbare Energien, Juni 2011.

The European Wind energy Association, EWEA: Thirty years growing together, The European Wind Energy Association Annual Report 2011.

The European Wind energy Association, EWEA: Pure Power, Wind energy targets for 2020 and 2030, A report by the European Wind Energy Association, 2011.

The European Wind Energy Association, EWEA: Wind in Power, 2011 European statistics. February 2012.

The World Wind Energy Association, WWEA: 2012 Half –year Report. October 2012.

U.S. Energy Information Administration (eia): Annual Energy Review 2011, September 2012.

U.S. Energy Information Administration (eia): Annual Energy Outlook 2012 with Projections to 2035, June 2012.

U.S. Energy Information Administration (eia): International Energy Outlook 2011, Washington 2011.

Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, REN21: Renewables 2012, Global Status Report, 2012.

Weiss Werner, Mauthner Franz: Solar Heat Worldwide, Markets and Contribution to the Energy Supply 2010. Edition 2012.

Weltenergierat Deutschland e.V., EfD 2010 Energiepolitik der USA, Berlin 2010.

Windkraft, Austrian Wind Energy Association, IGW: Rekord für den Ausbau erneuerbarer Energien in Europa, Kopenhagen 2012.

Winkelmeier Hans: Energiesysteme – Windenergie, 02 – Bauformen und Aerodynamik von Windkraftanlagen, WS 2005/06.

Internet

American Wind Energy Association, AWEA: Industry Statistics, (1.30.2013).

http://www.awea.org/learnabout/industry_stats/index.cfm, 15-02-2013.

American Recovery and Reinvestment Act: Total Funds Allocated (06.2012).

<http://www.recovery.gov/Transparency/fundingoverview/Pages/fundingbreakdown.aspx>, 06-01-2013.

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch: Reichweite von Energieträgern (10.11.2005). http://asue.de/themen/umwelt---klimaschutz/grafiken/grafik_323.html, 15-10-2012.

Augsten, Eva: Sonnenergie, Nicht viel los, (Ausgabe 2012/05)

[http://www.sonnenenergie.de/index.php?id=30&no_cache=1&tx_ttnews\[tt_news\]=230](http://www.sonnenenergie.de/index.php?id=30&no_cache=1&tx_ttnews[tt_news]=230), 20-01-2013.

- Bioenergieberatung Thüringen: Biomasse – Begriffsdefinition.
<http://www.biobeth.de/bioenergie/biomasse.html>, 20-02-2012.
- Bundesverband Deutscher Wasserkraftwerke: Kleinwasserkraft. <http://www.bundesverband-deutscher-wasserkraftwerke.de/>, 12-02-2013.
- Bundesinstitut für Bau, Stadt- und Raumforschung: Erneuerbare Energien in Europa: Strom aus Photovoltaik (03.01.2012).
http://www.bbsr.bund.de/nn_622452/BBSR/DE/Raumebeobachtung/AktuelleErgebnisse/Raumentwicklung/PhotovoltaikEuropa/Photovoltaik.html, 18-01-2013.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Erneuerbare Energien (1.08.2010). <http://www.erneuerbare-energien.de/die-themen/eu-international/eu-richtlinie-zur-nutzung-von-energie-aus-erneuerbaren-quellen-rl-200928eg/eu-richtlinie/>, 05-11-2012.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Rahmenbedingungen.
<http://www.renewables-made-in-germany.com/de/start/windenergie/windenergie/rahmenbedingungen.html>, 05-02-2013.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Windenergie. <http://www.renewables-made-in-germany.com/de/start/windenergie/windenergie/allgemein.html>, 01-02-2013.
- Bundesverband Windenergie, BWE: Windenergieanlagen mit horizontaler Achse.
<http://www.wind-energie.de/infocenter/technik/funktionsweise/leelaeufer>, 25-02-2013.
- Clean Technica: Can the US Reach 23 GW Installed Utility-Scale PV Solar? (06.2012)
<http://cleantechnica.com/2012/06/27/utility-scale-solar-pv-us/>, 15-01-2013.
- Deutsche Energie Agentur, dea: Vor- und Nachteile von Wasserkraft. <http://www.thema-energie.de/energie-erzeugen/erneuerbare-energien/wasserkraft/grundlagen/vor-nachteile-der-wasserkraft.html>, 12-02-2013.
- E-Control: Strom aus Biomasse. <http://www.e-control.at/de/konsumenten/oeko-energie/basiswissen/oekostrom-arten/biomasse>, 18-02-2013.
- E-Control: Wasserkraft. <http://www.e-control.at/de/konsumenten/oeko-energie/basiswissen/oekostrom-arten/wasserkraft>, 15-02-2013.
- energiesroute.de: Aufbau einer Windenergieanlage. <http://www.energiesroute.de/wind/wind2.php>, 05-02-2013.
- Energieleben: Energiepolitik, 2012 Höhenflug für die Windkraft in den USA.
<http://www.energieleben.at/2012-hohenflug-fur-windkraft-in-den-usa/>, 16-02-2013.
- Energien-Erneuerbar. Biomasse – Bioenergie. <http://www.energien-erneuerbar.de/biomasse.html>, 18-02-2013.

European Commission, Eurostat: Energieverbrauch (September 2011).

http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Consumption_of_energy/de, 17-09-2012.

European Commission, Eurostat: Energieerzeugung und einführen, (September 2011).

http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Energy_production_and_imports, 17-09-2012.

European Commission: Eurostat. Statistik der erneuerbaren Energien (11.2011).

http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Renewable_energy_statistics/de, 10-01-2013.

European Commission, Strategic Energy Technologies Information Systems: Hydropower Generation. <http://setis.ec.europa.eu/newsroom-items-folder/hydropower-generation>, 15-02-2013.

European Network of Transmission System Operators for Electricity (entsoe): The European Network of Transmission System Operators for Electricity (2012). <https://www.entsoe.eu/about-entso-e/>, 20-02-2012.

Erneuerbare Energien: Die Windenergie (04.02.2006).

http://www.erneuerbareenergiequellen.com/die_windenergie.html, 05-02-2013.

faktwert: Nutzung der Wasserkraft in Europa.

[http://www.faktwert.de/artikel.html?tx_ttnews\[tt_news\]=1071](http://www.faktwert.de/artikel.html?tx_ttnews[tt_news]=1071), 12-02-2013.

Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie, DGS: Sonnenwärme – Solarthermie.

<http://www.dgs.de/137.0.html>, 15-12-2013.

Desertec Foundation: Desertec Konzept. <http://www.desertec.org/de/konzept/>, 03-02-2013.

Die Welt: Weltgrößte Sonnenkraftwerk für 600.000 Menschen (25.07.2008)

<http://www.welt.de/wissenschaft/article2248044/Weltgroesstes-Solarkraftwerk-fuer-600-000-Menschen.html>, 30-01-2013.

Financial Times Deutschland: Energiewende in den USA, (27.11.2012) .

<http://www.ftd.de/politik/international/:energiewende-in-den-usa-windbranche-fleht-obama-an/70122415.html>, 15-02-2012.

GeoModel Solar: Solargis, I-Maps (15.01.2013).

<http://solargis.info/imaps/#loc=48.283193,-45.878906&c=46.437857,-16.523437>, 15-01-2013.

Germany Trade & Invest: Ausbau der Wasserkraft schreitet in den USA nur langsam voran

(02.02.2012) <http://www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/maerkte,did=444266.html>, 17-02-2012.

http://wizard.webquests.ch/pics/upload/2341/schema_speicherkraftwerk1_400.jpg, 15-02-2012.

- International Geothermal Association (2010): Geothermal in the World, USA (25.02.2010). http://www.geothermal-energy.org/geothermal_energy/electricity_generation/usa.html, 18-02-2013.
- iQ Netzwerk Berlin: Windenergie. <http://kompetenzen-erneuerbareenergien.de/arbeitsfelder-entdecken/windenergie/>, 02.02.2013
- Karlsruhe Institut für Technologie (15.11.2012): Chancen der Nutzung von Geothermie in städtischen Ballungsräumen. http://www.kit.edu/besuchen/pi_2012_12275.php, 18-02-2013.
- Klußmann Jens, Studenteninitiative Wirtschaft und Umwelt: Fracking. http://www.wirtschaftumwelt.de/index.php?option=com_content&view=article&id=27:fracking&catid=5:artikel&Itemid=4, 25-09-2012.
- Laufkraftwerke. <http://www.schema.at/nawi/kraftwerke/laufkraftwerke.html>, 12-02-2013.
- Magento Agentur: Alternative Energiequellen, Funktionsweise der Photovoltaikzellen (15.01.2013). http://www.alternative-energiequellen.com/funktion_photovoltaik.html, 15-01-2013.
- Milk the Sun: Photovoltaik in den Vereinigten Staaten von Amerika (11.12.2012). <http://blog.milkthesun.com/de/photovoltaik-in-den-vereinigten-staaten-von-amerika-usa-einfuehrung/>, 17-01-2013.
- National Renewable Energy Laboratory, NREL: The Open PV Project (02.2013). <https://openpv.nrel.gov/rankings>, 05-02-2013.
- npr: Visualizing The U.S. Electric Grid (24.04.2009) <http://www.npr.org/templates/story/story.php?storyId=110997398>, 10-05-2012.
- Nuklearforum, Red Book 2005: Uranreserven erlauben Ausbau der Kernenergie (31.05.2006). <http://www.nuklearforum.ch/de/aktuell/e-bulletin/red-book-2005-uranreserven-erlauben-ausbau-der-kernenergie>, 24-09-2012.
- Maerkische Allgemeine: Energiewende auf amerikanische Art (09.08.2012). <http://www.maerkischeallgemeine.de/cms/beitrag/12372933/485072/Die-USA-wollen-energieautark-werden-und-verstaerken-vor.html>, 20-09-2012.
- OECD (2012): Pro-Kopf-Energieaufkommen, in Die OECD in Zahlen und Fakten 2011-2012: Wirtschaft, Umwelt, Gesellschaft, OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264125469-48-de>, 15-01-2013.
- photovoltaic.org: Hoher Photovoltaik Zubau in den USA. <http://www.photovoltaik.org/news/international/hoher-photovoltaik-zubau-den-usa-12245>, 16.01.2013.
- photovoltaic.org: Solarzelle. <http://www.photovoltaik.org/wissen/solarzellen>, 15-01-2013.

Photovoltaik-web.de: Vorteile – Nachteile Photovoltaik. <http://www.photovoltaik-web.de/vor-und-nachteile-pv.html>, 16-01-2013.

Regenerative Energie Strom Lexikon: Vor- und Nachteile Sonnenenergie. <http://www.strom-infos.net/vor-und-nachteile-der-sonnenenergie.html>, 15-01-2013.

Regenerative Energie Strom Lexikon: Vor- und Nachteile der Windenergie. <http://www.strom-infos.net/vor-und-nachteile-der-windenergie.html>, 05-02-2013.

Richter, Christoph/Teske, Sven/Short, Rebecca: Sauberer Strom aus den Wüsten. Globaler Ausblick auf die Entwicklung solarthermischer Kraftwerke (2009). http://www.greenpeace.de/fileadmin/gpd/user_upload/themen/energie/Studie_Sauberer_Wuesten_strom.pdf, 25-01-2013.

Sonnenenergie, Dunkle Wolken über Wüstenkraftwerke (01.2013) [http://www.sonnenenergie.de/index.php?id=30&no_cache=1&tx_ttnews\[tt_news\]=244](http://www.sonnenenergie.de/index.php?id=30&no_cache=1&tx_ttnews[tt_news]=244), 02-02-2013,

Süddeutsche: Wie die neue US-Energiepolitik die Welt verändert, (14.11.2012). <http://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/boom-fossiler-rohstoffe-in-amerika-wie-die-neue-us-energiepolitik-die-welt-veraendert-1.1522501>, 05-01-2013.

Uni Kassel: Geothermie Vorlesung SS 2012. http://www.lfu.bayern.de/geologie/geothermie/pic/nzmd_blockbild_erdwaerme_gr.jpg, 20-12-2013.

Uni-Protokolle: Windenergieanlagen. http://www.uni-protokolle.de/Lexikon/Windenergieanlage.html#Lee-_und_Luv-L%C3%A4ufer, 25-02-2013.

US Department of Energy: Recovery Act and the State Energy Program. http://www1.eere.energy.gov/wip/recovery_act_sep.html, 06-01-2013.

U.S. Energy Information Administration, (eia): Electric Power Monthly. http://www.eia.gov/electricity/monthly/epm_table_grapher.cfm?t=epmt_1_1, 15-02-2013.

U.S. Energy Information Administration, (eia): Hydroelectric. <http://www.eia.gov/cneaf/solar.renewables/page/hydroelec/hydroelec.html>, 15-02-2013.

U.S. Energy Information Administration (eia): U.S. States. <http://www.eia.gov/beta/state/search/#?1=104&2=185>, 10-01-2013.

U.S. Energy Information Administration (eia): State Renewable Electricity Profiles (08.03.2012). <http://www.eia.gov/renewable/state/>, 10-01-2013.

U.S. Energy Information Administration (eia) (2011): Table 10.1 Renewable Energy Production and Consumption by Primary Energy Source, Selected Years, 1949-2011. http://www.eia.gov/totalenergy/data/annual/pdf/sec10_3.pdf, 18-02-2012.

U.S. Energy Information Administration, (eia): Today in Energy, (August 20, 2012)
<http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=7610>, 10-11-2012.

Solaranlagen Ratgeber: Nachteile der Photovoltaik. <http://solaranlagen-ratgeber.de/photovoltaik/nachteile-photovoltaik>, 16-01-2013.

Vor- und Nachteile der Geothermie. <http://www.strom-infos.net/vor-und-nachteile-der-geothermie.html>, 12-02-2013.

Welt der Energie: Windenergie. <http://www.weltderenergie.de/energiekompass/erneuerbare-energie/windkraft/>, 20-02-2013.

Wind Energy Resource Atlas of the United States
<http://rredc.nrel.gov/wind/pubs/atlas/maps/chap2/2-01m.html>, 02-02-2013.

Wikipedia: Concentrated solar power. http://en.wikipedia.org/wiki/Concentrated_solar_power, 30-01-2013.

Wikipedia: File:Solar Plant kl.jpg. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solar_Plant_kl.jpg, 05-02-2013.

Wikipedia: File:ElectricityUCTE.svg, (24.11.2012).
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:ElectricityUCTE.svg>, 20-02-2013.

Wirtschafts Blatt: Obamas viel beachtete Rede zur Lage der Nation, (13-02-2013).
<http://wirtschaftsblatt.at/home/nachrichten/international/1344194/Obamas-viel-beachtete-Rede-zur-Lage-der-Nation>, 25-02-2013.

Zukunftsenergie Region Stuttgart: Solar für Alle, Funktionsprinzip.
<http://zukunftsenergien.region-stuttgart.de/sixcms/detail.php/237591>, 05-01-2013.