

Erneuerbare Energien

Verfasser:

MSc. Regina Fröhlich

Ing. Mag. Helmut Emminger

Datum: März 2019

Vorwort

Die Gemeinde Munderfing ist im Bereich Nachhaltigkeit und bei der Verwendung von erneuerbarer Energie äußerst engagiert. Als Beispiel sei der „Energiebaukasten“ angeführt (erstellt mit Unterstützung der Firma EWS). Hierbei ist es Ziel der Gemeinde, bis zum Jahre 2035 energieautark zu sein. Als großer Meilenstein hierzu wurde im Jahr 2014 der Windpark Munderfing mit vorerst 5 Windkraftanlagen eröffnet.

Das Warum und Wieso für den Einsatz erneuerbarer Energie sowie die allgemeinen Grundlagen des Klimas inklusive des Klimawandels soll mittels eines Lehrpfads allen Schichten der Bevölkerung nahe gebracht werden. Dieser soll auf der Strecke Parz – Windpark Munderfing errichtet werden, und einen Überblick über die derzeitige Situation der Energiepotentiale und der verfügbaren Technologien im Bereich erneuerbare Energien bieten.

Zusammenfassung

In dieser Arbeit über Erneuerbare Energien wird ein Überblick über den anthropogenen Energiekonsum gegeben. Dabei werden die verschiedenen Arten der Energienutzung erfasst, wie elektrische Energie, Energie zu Heizzwecken oder zu Transportzwecken. Die Wichtigkeit des Themas Energie wird unter anderem in Bezug auf die Auswirkungen auf die Umwelt aufgezeigt, wie z.B. dem Klimawandel. Für einen Überblick über den aktuellen Energieverbrauch wird der globale, als auch der österreichische Energieverbrauch beleuchtet und in Diagrammen und Grafiken möglichst verständlich dargestellt. Vom totalen Energieverbrauch und dem Verbrauch von fossilen Energieträgern führt die Arbeit in eine kurze Einleitung der aktuell am häufigsten angewandten erneuerbaren Energiegewinnungsmethoden: Solarkraft, Wasserkraft, Biomasse, Geothermie und Windkraft. In einzelnen Kapiteln werden die Funktionsweisen, Anwendungsgebiete sowie ökonomische und ökologische Auswirkungen behandelt. Ziel dieser Arbeit ist, dem Leser die globale Energiesituation sowie das Potential erneuerbarer Energien näher bringen.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	1
Zusammenfassung.....	1
Inhaltsverzeichnis.....	2
Einleitung	4
Problemstellung und Zielsetzung	4
Methodik	4
Systemabgrenzung.....	4
Definitionen.....	4
1. Der Klimawandel	6
1.1.1 Natürliche Klimaänderungen	6
1.1.2 Strahlungs- und Wärmehaushalt der Erde.....	8
1.1.3 Der Treibhauseffekt.....	10
1.1.4 Klimafaktor Mensch.....	12
1.1.5 Der anthropogene Treibhauseffekt	14
1.1.6 Der IPCC Bericht.....	15
1.1.7 Internationale Verträge und nationale Strategien.....	15
2. Energieverbrauch	17
2.1.1 Weltweiter Energieverbrauch	17
2.1.2 Energieverbrauch in Österreich.....	24
3. Technologien der erneuerbaren Energien	27
1. Energiegewinnung aus Sonnenkraft	27
3.1.1 Photovoltaik	27
3.1.2 Solarthermie.....	31
3.1.3 Solarkraftwerke	37
2. Energiegewinnung aus Wasserkraft.....	43
3.2.1 Laufwasserkraftwerke	46
3.2.2 Speicherkraftwerke	46
3.2.3 Sonstige Wasserkraftwerke.....	47
3. Energiegewinnung aus Biomasse	52
3.3.1 Biomasseheizwerke und Biomassekraftwerke.....	53
3.3.2 Biotreibstoffe	54
4. Energiegewinnung durch Geothermie.....	57
3.4.1 Wärmepumpen.....	60
3.4.2 Direktdampfnutzung	61
3.4.3 Flash-Kraftwerk (Entspannungsdampf-Anlage)	61

3.4.4	Binär-Kreislauf-Kraftwerk	61
3.4.5	Trockendampf-Kraftwerk	62
5.	Energiegewinnung durch Windkraft	64
3.5.1	Kleinwindkraftanlagen	69
3.5.2	Große, netzgekoppelte Windkraftanlagen	69
3.5.3	Offshore-Windparks	70
	Schlussfolgerung.....	73
	Literaturverzeichnis	74

Einleitung

Problemstellung und Zielsetzung

Ziel und Zweck dieser Arbeit ist es, eine breit gefächerte wissenschaftliche Basis für die für den Lehrpfad „erneuerbare Energien“ zu schaffen. Dabei soll nicht zu sehr in die Tiefe der Materie gegangen werden, sondern ein Überblick über den aktuellen Status und über das technisch Machbare geschaffen werden. Zusätzlich soll der Bürger auf die Problematik der Klimaerwärmung aufmerksam gemacht werden. Es soll jedoch keine einseitige Darstellung bzw. Beschönigung der Technologien erfolgen, sondern die Pro's und die Contra's dargebracht werden.

Folgende Bereiche sollen in der Arbeit angesprochen werden:

- Wird erneuerbare Energie benötigt und wenn ja, wieso
- Erklärung des natürlichen und des anthropogenen Klimawandels
- vorhandene Mengen der Rohstoffe und Potentiale der erneuerbaren Energien
- Energieverbrauch weltweit und in Österreich
- Energie aus Biomasse: Geschichte, Arten der Energienutzung, Ökonomie, Ökologie
- Geothermie: Geschichte, Arten der Energienutzung, Ökonomie, Ökologie
- Sonnenenergie: Geschichte, Arten der Energienutzung, Ökonomie, Ökologie
- Wasserkraft: Geschichte, Arten der Energienutzung, Ökonomie, Ökologie
- Windenergie: Geschichte, Arten der Energienutzung, Ökonomie, Ökologie
- Definition von Begriffen (z.Bsp. Was bedeutet eigentlich genau Nachhaltigkeit)

Methodik

Die Arbeit beruht auf Literaturrecherche. Als Grundlage für den Überblick über die Erneuerbaren Energien wird größtenteils das Werk „Erneuerbare Energien und Klimaschutz“ von Quaschnig Volker aus dem Jahr 2013 herangezogen. Ergänzend wird weiterführende Literatur als auch Internetquellen verwendet.

Systemabgrenzung

Es wird versucht, sofern möglich, detaillierte Daten aus Österreich zu verwenden. Sollte dies nicht möglich sein, werden Daten aus Deutschland herangezogen. Als Übersicht werden weltweite Daten bzw. grafische Darstellungen verwendet. Die zeitliche Abgrenzung ist das Jahr 2018. Bei der Erstellung dieser Arbeit waren hierzu die aktuellsten Daten abrufbar. Die Aktualität wird bei jedem einzelnen Datensatz mit der Jahreszahl angegeben. Es soll außerdem ein geschichtlicher Überblick über die einzelnen Technologien getätigt werden. Detaillierte Infos erfolgen über den aktuellen Stand (2018) der Technik. Es erfolgt eine thematische Abgrenzung. Es wird nur auf den Klimawandel, Potentiale der erneuerbaren Energien, Windkraft, Wasserkraft, Sonnenenergie, Biomasse und Geothermie eingegangen. Technologien wie Brennstoffzellen werden nicht behandelt.

Definitionen

Endenergie: Endenergie ist jene Energie, die dem Nutzer zur Verfügung gestellt wird, wie zum Beispiel Benzin, Diesel, Strom, Fernwärme oder Erdgas.

Klima: Das Wort „Klima“ stammt aus dem Griechischen (klino) und bedeutet „ich neige“ bzw. „neigen“. Dies bezieht sich auf den Neigungswinkel der einfallenden Sonnenstrahlen auf die jeweilige geographische Breite. (Schönwiese 2013, S. 11)

Es gibt unterschiedliche Definitionen des Begriffs: Klima. Eine bekannte Definition ist von J. von Hann aus dem Jahr 1883 welche aussagt, dass man *unter Klima „die Gesamtheit der meteorologischen Erscheinungen, die den mittleren Zustand der Atmosphäre an irgend einer Stelle der Erdoberfläche kennzeichnen“*, versteht. Schönwiese (2013) beschreibt „das terrestrische Klima als statistische Beschreibung der relevanten Klimaelemente eines Standorts/Region/weltweit, die für eine große zeitliche Größenordnung die Gegebenheiten der Erdatmosphäre charakterisieren. (Schönwiese 2013, S. 56-58)

Primärenergie: Primärenergie sind noch nicht technisch aufbereitete Energieformen, wie Kohle, Rohöl, Wind, Biomasse oder Solarstrahlung. Energieformen werden häufig auf Basis der Primärenergie miteinander verglichen. (Quaschnig 2013, S. 30)

Anthropogen: durch den Menschen beeinflusst, verursacht (Duden 2019)

1. Der Klimawandel

Seit der Existenz der Erde ändert sich auch ihr Klima. Über Jahrmillionen hat sich auf der Erde ein relativ stabiles Klima herausgebildet, was für die Natur ideale Bedingungen geschaffen hat. Aber auch wenn für uns der Anschein vorhanden ist, dass Klima sei stabil, so ist dem nicht so. Dabei sei erwähnt, dass es sowohl natürliche und in letzter Zeit auch menschliche Ursachen für den Klimawandel gibt. Folgend wird auf Grundlagen des Klimas und den menschlichen Einfluss auf selbiges eingegangen.

1.1.1 Natürliche Klimaänderungen

Abgesehen vom anthropogen erzeugten Klimawandel unterliegt das Klima dieser Erde auch natürlichen Klimaschwankungen. Es sei hier nur die letzte Eiszeit mit folgender Warmphase erwähnt.

Ein anderes äußerst bekanntes Beispiel ist jene Klimaänderung, die 65.000.000 Jahre vor der Menschheitsgeschichte zum Aussterben der Dinosaurier führte. Diesbezüglich gibt es verschiedenste Theorien. Die aktuell Bekannteste (und in Hollywood beliebteste) ist, dass durch den Einschlag eines Meteors (oder von Meteoriten) große Staubmengen freigesetzt wurden, welche durch die Reduzierung der Sonneneinstrahlung zu einem Abkühlen der Atmosphäre führte. Diese abrupte Abkühlung führte wiederum zu einem Artensterben, der vermutlich 75% der Fauna zum Opfer fielen. Eine weitere These ist, dass durch den Kontinentaldrift eine Eiszeit eingeleitet wurde. Oder dass durch die Entstehung von Gebirgen negative Rückkopplungseffekte auf das Klima einwirkten. (Schönwiese 2013, S. 294)

Die Eiszeitalter begannen vor etwa 2,3 Milliarden Jahren, vor 620 Millionen Jahre hat es vermutlich fast eine Totalvereisung der Erde gegeben. Es wird angenommen, dass die primäre Ursache für das Eintreten der Eiszeitalter im Kontinentaldrift zu finden ist. In hohen geografischen Breiten kann sich nur dann eine Schneedecke und infolge dessen eine dauerhafte Eisdecke bilden, wenn für die Eisbildung Landflächen vorhanden sind. Tritt dies ein, kann es zu einer Eis-Albedo-Rückkoppelung kommen. Aufgrund der hohen Albedo von Eis und Schnee verändert sich die Strahlungsbilanz der Erdoberfläche. Dies führt zu einer Abkühlung, was wiederum zu mehr Schnee als Niederschlag führt. (Schönwiese 2013, S. 290 . 292)

Für diesen Effekt muss es natürlich wiederum eine negative Rückkoppelung geben. Ansonsten würde sich ein sogenannter „Run-Away-Effekt“ einstellen, also ein Abgleiten des Klimas in lebensunmögliche Zustände. Einer dieser negativen Rückkopplungseffekte ist zum Beispiel, dass die vermehrte Eisbildung den Wasserdampfgehalt der Atmosphäre herabsetzt, was zu einem Rückgang der Niederschlagsmenge führt. Im umgekehrten Fall, also bei steigenden Temperaturen, verändert der erhöhte Wasserdampfgehalt der Atmosphäre den Strahlungshaushalt derart, dass es zu einer Abkühlung kommt. (Schönwiese 2013, S. 293)

In unserem derzeitigen Zeitalter Quartär gab es bereits mehrere Kalt- (Eiszeiten) und Warmzeiten. Wir leben aktuell in einer Warmzeit (Holozän genannt). Die letzte Kaltzeit wird im süddeutschen Sprachraum Würm-Eiszeit genannt. Der Name Würm bezieht sich auf

einen Fluss in Bayern. Die globale bodennahe Lufttemperatur lag, verglichen mit heute, um circa 4 bis 5 Kelvin niedriger. Es gab aber starke regionale Schwankungen. Im Jahresmittel war die Temperatur in Grönland rund 20 Kelvin unter der heutigen Temperatur. Eines der Hauptmerkmale einer Eiszeit sind die großflächigen Vereisungen. In der Würm-Kaltzeit waren die Eisflächen rund 3mal so groß wie zu Ende des 20.Jhdts. (Schönwiese 2013, S. 295 – 298)

Die Ursachen für die Zyklen im Quartär von Warm- und Kaltzeiten müssen, der Kontinentaldrift wird als generelle Voraussetzung für ein Eiszeitalter gesehen, anderweitig gesucht werden. Milankovic veröffentlichte 1920 seine Hypothese über den Einfluss der terrestrischen Orbitalparameter auf das Klimageschehen. Die Erdbahnparameter weisen nämlich bestimmte Zyklen auf, die wiederum Auswirkungen auf die Solarstrahlung haben. Dies sind folgende Parameter (Gebhardt et al. 2007, S. 540 – 542):

- Änderung der Kreisbewegung der Erdachse
- Änderung der Lage der Erdachse
- Veränderung der Form der Erdumlaufbahn von elliptisch zu mehr kreisförmig und umgekehrt.

Entscheidend für die Auswirkung der Erdbahnparameter auf das Klima ist die Veränderung der Verteilung der globalen Strahlung. Die Änderungen der Energie der Sonnenstrahlung auf die Erde durch diese Zyklen sind global gesehen relativ gering und liegen bei rund 0,1%. Regional und saisonal können jedoch Werte von bis zu 40 W/m² erreicht werden. Es handelt sich bei diesem hohen Wert zwar nur um eine Umverteilung der Sonnenenergie auf der Erdoberfläche, durch die bereits erwähnten Rückkoppelungseffekte könnten so jedoch auch Kaltzeiten entstehen. Bezogen auf die Milankovic-Zyklen wurden Modelle erstellt, welche Vorhersagen über die nächste Kaltzeit ermöglichen. Der Tiefpunkt der nächsten Kaltzeit wird in 60.000 Jahren erwartet. Kaltzeitähnliche Bedingungen würden in einigen tausend Jahren erwartet. (Schönwiese 2013, S. 296 – 298)

Einschub: Wie kommt man zu den Klimadaten?

Die genaueste Informationsquelle bezüglich Klimadaten ist die direkte Datenerfassung, also die direkte Messung der Werte wie Temperatur oder des Niederschlags. Die ersten Messgeräte wurden jedoch erst in der ersten Hälfte des 17.Jahrhundert entwickelt. Die für die Klimaforschung wichtigen vieljährigen und ununterbrochenen Messreihen starteten erst vereinzelt in der zweiten Hälfte des 17.Jahrhunderts. Zur heutigen Zeit gibt es über 10.000 Messstationen für die bodennahe Atmosphäre, aber auch die Messung (wie Temperaturverteilung) durch Satelliten hat enorm an Bedeutung gewonnen. Für Informationen vor dieser Zeit gibt es unterschiedliche Möglichkeiten diese zu erhalten. Mittels Witterungstagebücher, Gemälden, alten Hochwassermarken oder historischen Vorkommnissen (z. Bsp. große Manntänke) bekommt man einen Einblick in die Klimabegebenheiten und Extremwetterereignisse vergangener Tage. Mittels der Analyse von Baumringdaten kann ebenfalls eine Klimarekonstruktion erstellt werden. Mit Eisbohrungen kann die Temperatur bis zu 70.000 Jahre vor unserer Zeit erfasst werden, mit der Analyse von ozeanischen Sedimenten sogar bis zu 10⁸ Jahren Klimageschichte. Möglich ist dies durch das Temperaturabhängige Verhältnis der Sauerstoffisotope ¹⁸O und ¹⁶O. Speziell in Eisschichten kann zusätzlich Vulkanstaub, Gasblasen mit CO₂ und CH₄ Konzentrationen der damaligen Atmosphäre und Berylliumisotope (für die Rekonstruktion der Sonnenaktivität) gefunden werden. In Eiskernen oder Bodensedimente gefundene Pflanzenpollen erlauben

Einblicke in die Zusammensetzung der früheren Vegetation. Einen groben Überblick über die Klimageschichte der Erde erlauben Sedimente. Der maximale Zeitrahmen liegt bei 3,8 Milliarden Jahren, wobei das Alter der Erde auf 4,6 Milliarden Jahre geschätzt wird. (Schönwiese 2013, S. 284 – 288)

1.1.2 Strahlungs- und Wärmehaushalt der Erde

Das Klimasystem der Erde besteht aus mehreren Teilsystemen: der Atmosphäre, Biosphäre, Hydrosphäre, Geosphäre und der Kryosphäre. Der wichtigste Eingangsfaktor in das System ist die Sonnenstrahlung. Änderungen dieses Faktors beeinflussen dementsprechend auch das Klimasystem. Derartige Änderungen können zum Beispiel durch die Erdbahnbahn (Aphel, Perihel), die Erdachsneigung oder die Zusammensetzung der Atmosphäre erfolgen. (Gebhardt et al. 2007, S. 193)

Alle Wetter und Klimaprozesse finden in der Atmosphäre statt. Auf die genaue Untergliederung der Atmosphäre wird nicht näher eingegangen. Wir leben in der untersten Schicht, der Troposphäre mit einer Höhe von 6 bis 17 km über dem Erdboden. Davon abgesehen, dass wir ohne Atmosphäre, also ohne Luft, nicht leben könnten, werden noch weitere lebenswichtige Lebensumstände verursacht. So absorbiert die Ozonschicht den gefährlichen ultravioletten Anteil des Lichts. (Gebhardt et al. 2007, S. 194, 197)

Die Atmosphäre besteht aus verschiedensten Gasen. Mit rund 78% ist Stickstoff am stärksten vertreten, Sauerstoff folgt mit einem Anteil knapp unter 21%. Die wichtigsten Treibhausgase haben einen weit geringeren Anteil an der Atmosphäre. Der Anteil von Kohlendioxid (CO_2) steigt zwar stetig, liegt aber nur bei rund 0,038%, Ozon (O_3) liegt bei 15-50 ppb (parts per billion, Teile /Milliarden), Distickstoffoxid (N_2O , Lachgas) bei 0,5 – 5 ppb und Methan (CH_4) bei 1,75 ppm (parts per million, Teile/Millionen). Der Anteil von Wasserdampf variiert und beträgt im Mittel 2,6%. (Gebhardt et al. 2007, S. 196-198)

Würde die Erdatmosphäre keine Treibhausgase enthalten, würde sich auf der Erdoberfläche eine Temperatur von -18°C einstellen. Durch die Absorbierung von Wärmestrahlung durch die Treibhausgase H_2O , CO_2 , O_3 , N_2O und CH_4 erwärmt sich die Erdoberfläche auf eine Durchschnittstemperatur von $+15^\circ\text{C}$. (Watter 2013, S. 6)

Aber wie genau funktioniert nun der natürliche Treibhauseffekt? Werfen wir zuerst einen Blick auf den Strahlungshaushalt der Sonne. Die eingehende Sonnenstrahlung erleidet beim Durchdringen der Atmosphäre Verluste. Das Licht der Sonne besteht aus verschiedensten Strahlenlängen. Im sichtbaren Bereich hat Violett die kürzeste und Rot die längste Wellenlänge. Das kurzwellige ultraviolette Licht wird in der Ozonschicht fast vollständig absorbiert. Ein Teil der verbleibenden Solarstrahlung wird in der tieferliegenden Atmosphäre absorbiert oder reflektiert. Globalstrahlung ist jener Anteil, der vom Sonnenlicht die Erdoberfläche erreicht. Die Globalstrahlung setzt sich aus der direkten Sonneneinstrahlung und dem Streulichtanteil aus der Atmosphäre zusammen. Die höchsten Werte der Globalstrahlung sind aufgrund der niedrigen Bewölkungsdichte und des hohen Sonnenstandes im Bereich der subtropischen Klimazone (Nordafrika, Südastralien,...) anzutreffen. (Gebhardt et al. 2007, S. 199 – 202)

Ein Teil der Globalstrahlung wird von der Erdoberfläche wieder reflektiert, der andere Teil absorbiert. Bezeichnet wird diese Reflexion mit dem Ausdruck Albedo. Bei einer Albedo von 100% würde die gesamte einfallende Strahlung reflektiert. In der Natur herrschen jedoch andere Werte vor. Schnee hat eine Albedo von rund 95% und Nadelwald von rund 5% (Wert variiert natürlich, je nach Baumart und Alter). Die gemittelte Gesamtalbedo der Erdoberfläche mit Atmosphäre liegt bei 30%. (Gebhardt et al. 2007, S. 202)

Einschub: Wieso ist der Himmel blau?

Trifft das Licht auf die Atmosphäre, wird dieses gestreut (abgelenkt). Sieht man direkt in die Sonne (nicht empfehlenswert => Augenschäden!), so erscheint die Sonne gelblich weiß. Sieht man nicht in die Sonne, sieht man nur gestreutes Licht. Diese Streuung entsteht dadurch, dass die Sonnenstrahlung an den Luftmolekülen reflektiert wird. Der kurzwellige Strahlenbereich (blauer Spektralbereich) wird hierbei stärker reflektiert als langwelliges rotes Licht. Blaues Licht wird also stärker gestreut als rotes Licht. Dieses gestreute Licht bestimmt die Farbe des Himmels. Bei hohem Sonnenstand und dadurch geringen Weg des Lichtes durch die Atmosphäre wird fast ausschließlich blaues Licht gestreut. Violette Licht hätte zwar die kleinste Wellenlänge, wird aber wie bereits erwähnt größtenteils in der Ozonschicht absorbiert (Gebhardt et al. 2007, S. 201). Nähert sich die Sonne jedoch dem Horizont, so ist durch den relativ langen Weg durch die Atmosphäre der blaue Anteil des Lichtes bereits aus dem Licht herausgenommen. Die Sonne erscheint im Morgen- oder Abendrot. (weltderphysik.de, 2015)

Laut Schönwiese (2013) erreichen 50% der solaren Strahlung die Erdoberfläche (30% davon mit direkter Einstrahlung, 20% als Streustrahlung), wobei davon wiederum 5% reflektiert werden. Von der Atmosphäre werden zusätzlich 25% reflektiert, was die erwähnten 30% ergibt. 25 % der Solarstrahlung werden von der Atmosphäre aufgenommen. Da die Erde strahlt aber nun ebenfalls Energie ab (laut Schönwiese (2013) 390 W/m^2 , im Vergleich dazu strahlt die Sonne $6,3 \times 10^7 \text{ W/m}^2$ ab, von der die erwähnte Solarkonstante von rund 1367 W/m^2 die Erde erreichen). Die Wellenlänge der Erdstrahlung befindet sich aufgrund der niedrigeren Temperatur in einem langwelligen Bereich. Zum Vergleich, das Ausstrahlungsmaximum der Sonne liegt bei $0,48 \mu\text{m}$ (Temperatur Sonne bei 6000 Kelvin), das der Erde bei $10 \mu\text{m}$ (Temperatur Erde bei 288 Kelvin). Warum betrachten wir nun die unterschiedlichen Wellenlängen? Weil nämlich jedes Gas der Atmosphäre einen bestimmten Wellenlängenbereich hat, indem die Absorption stattfindet. Wasserdampf ist einer der wichtigsten Absorber und sorgt neben anderen Gasen dafür, dass hauptsächlich eine Sonnenstrahlung im Wellenlängenbereich von $0,3$ bis $2 \mu\text{m}$ den Erdboden erreicht. (Schönwiese 2013, S. 120)

1.1.3 Der Treibhauseffekt

Wie bereits erwähnt ermöglicht der natürliche Treibhauseffekt erst das Leben, wie wir es auf dem Planeten Erde kennen. Ohne Treibhauseffekt wird von der Wissenschaft angenommen, dass die Temperatur an der Erdoberfläche bei rund -18°C liegen würde. So herrscht auf der Erdoberfläche eine Durchschnittstemperatur von $+15^{\circ}\text{C}$. Wie funktioniert nun dieser lebensnotwendige Effekt? Wie bereits angeführt, wird die Strahlung in der Atmosphäre abhängig von ihrer Wellenlänge reflektiert. Diese Strahlung stammt sowohl von der Sonne (Energiezufluss) als auch von der Erde (Energieabfluss). Die Strahlung der Sonne ist eher kurzwellig (aufgrund der hohen Temperatur der Sonne), die Strahlung der Erde ist eher langwellig. Und gerade im langwelligen Strahlungsbereich haben einige Gase in der Atmosphäre eine starke Absorptionswirkung. Das heißt, die kurzwellige Sonnenstrahlung erreicht (zum Teil) die Erdoberfläche, erwärmt diese, und die Erdoberfläche strahlt langwellige Wärmestrahlen wieder ab. Ein Großteil dieser langwelligen Energiestrahlung wird von der Erdatmosphäre wieder absorbiert. Die erwärmte Atmosphäre strahlt selbst wiederum entsprechend ihrer Temperatur im langwelligen Bereich in alle Richtungen ab. Ein Teil geht ins Weltall, der andere Teil wird als atmosphärische Gegenstrahlung auf die Erdoberfläche zurückgestrahlt. Die Energie, die die Erdoberfläche durch die atmosphärische Gegenstrahlung erhält, ist laut Schönwiese (2013) etwa doppelt so groß wie die Globalstrahlung. (Gebhardt et al. 2007, S. 202) In Abbildung 1 ist dargestellt, wie die Treibhausgase zum natürlichen Treibhauseffekt beitragen.

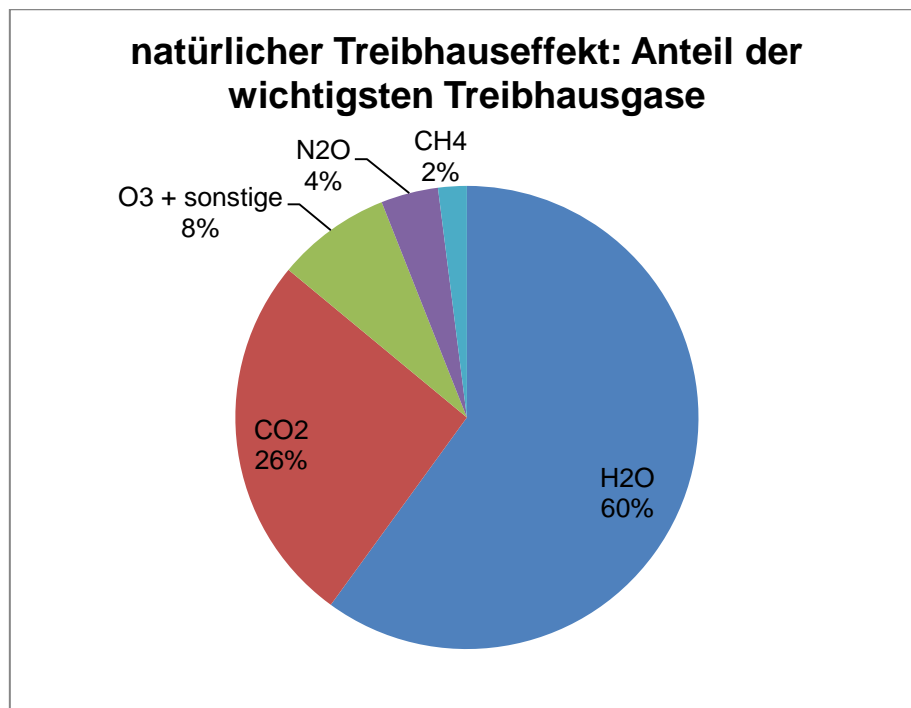


Abbildung 1 natürlicher Treibhauseffekt und der Anteil der wichtigsten Treibhausgase. (Datenquelle: Schönwiese 2013, S. 120)

Aus Abbildung 2 ist ersichtlich, wieso CO₂ ein wichtiges Treibhausgas ist. Obwohl der Anteil an der Atmosphäre bei nur 0,038 % liegt (stetig steigend), hat es einen Anteil von 26% am Treibhauseffekt.

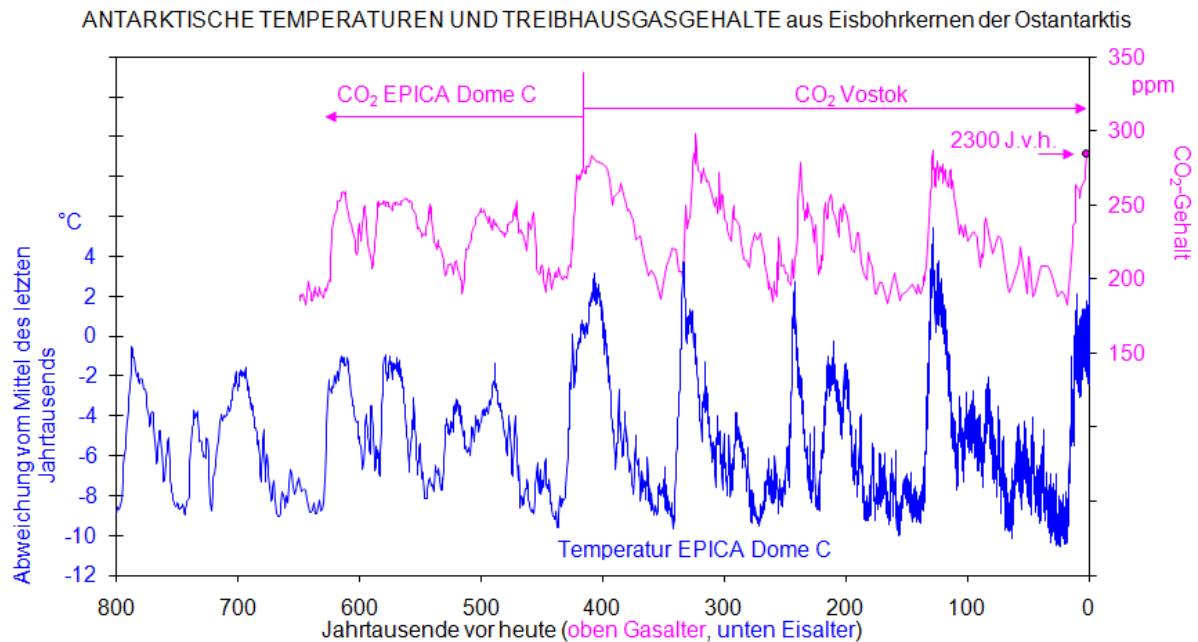


Abbildung 2 Korrelation Temperatur mit CO₂ (Quelle: zamg.at, letzter Zugriff am 18.06.2015)

Welche Ursachen können nun zu einem natürlichen Klimawandel führen? Hier unterscheiden wir zwischen externen Einflüssen und internen Einflüssen. Wichtig ist hierbei die Betrachtung der atmosphärischen und die ozeanischen Zirkulation, welche an allen Klimaänderungen beteiligt sind.

Interne (terrestrische) Einflüsse:

- Kontinentaldrift
- Gebirgsbildung
- Vulkanismus
- Waldbrände
- Atmosphärenzusammensetzung + Zirkulation
- Salzgehalt der Ozeane + Zirkulation
- Eis- und Schneebedeckung
- Vegetation

Externe (extraterrestrische) Einflüsse:

- Solarkonstante
- Meteore
- Gezeitenkräfte
- Orbitalparameter

(nach Schönwiese 2013, S. 329-330)

1.1.4 Klimafaktor Mensch

Die Auswirkungen des menschlichen Handelns auf das Klima haben bereits vor Jahrtausenden begonnen. Durch Waldrodungen oder Ausweitungen von Städten wurden seit jeher regionale Klimasysteme beeinflusst. Ein gutes Beispiel ist hierzu das Stadtklima, welches sich zum Teil deutlich vom Klima des umgebenden Landes unterscheidet. Der Treibhauseffekt lässt sich aufgrund der zusätzlichen, vom Menschen verursachten Emissionen ebenfalls gut untersuchen. (Schönwiese 2013, S. 337)

Ein Problem zur Ermittlung des tatsächlichen Einflusses des Menschen auf das Klima ist die Überlagerung der natürlichen Klimaänderung und der vom Menschen verursachten Veränderung. Der anthropogene Klimawandel kann unter anderem durch Veränderungen der Erdoberfläche, Änderungen im Wasserhaushalt und Änderung der Zusammensetzung der Atmosphäre verursacht werden. (Schönwiese 2013, S. 337) Zu beachten ist, dass aufgrund von Vernetzungen und Rückkoppelungen das Klimasystem ein äußerst komplexes System darstellt.

Beispiele für die anthropogene Klimabeeinflussung sind:

Waldrodungen: Bis zur Zeit der Industrialisierung war die Fläche des Waldes im Bereich Nordamerikas, Europas und des Mittelmeerraumes bereits auf 30% seines potentiellen Ausbreitungsgebietes reduziert. Die Auswirkungen auf das globale Klima waren damals vermutlich relativ gering (auch aufgrund des langen Zeitrahmens der Rodungen von der Antike bis zum Jahr 1800), regional betrachtet jedoch zum Teil beträchtlich. Auswirkungen auf das globale Klima entstehen dadurch, dass durch den gerodeten Wald kein CO₂ mehr gespeichert werden kann. (Schönwiese 2013, S. 338 - 340) Abbildung 3 zeigt einen Ausschnitt einer Regenwaldrodung in Indonesien.



Abbildung 3: Abgeholzter Regenwald in Indonesien (Spiegel.de, 2008)

Eingriffe in den Wasserhaushalt: Ein exzessiver Verbrauch von Wasser für Landwirtschaft und Industrie kann gerade in wasserarmen Gebieten extreme Auswirkungen haben. Ein trauriges Beispiel ist hierfür der Aralsee, dessen Volumen in 40 Jahren auf ein Zehntel

reduziert wurde, wie in Abbildung 4 dargestellt. Eine der Folgen war eine Versalzung des noch übrigen Wassers.



Abbildung 4: Die Veränderung des Aralsees von 1960 bis 2009. (ESA, 2016)

In der Sahelzone breitet sich aufgrund von Überweidung und zu hohem Wasserverbrauch die Wüste immer weiter aus (sogenannte Desertifikation). Durch das Verringern der Vegetation wird jedoch auch weniger Wasser verdunstet, was wiederum zu weniger Wolken und zu weniger Niederschlag führt. Die Folge ist, dass sich die Wüsten noch weiter ausbreiten. (Schönwiese 2013, S. 339 - 340)

Stadtklima: Der Anteil der Stadtbevölkerung steigt stetig. So stieg er zwischen 1950 und 2000 von 29% auf 50% an. In den meisten Großstädten gibt es den Effekt der „städtischen Wärmeinsel“. Dieser bezeichnet die Temperaturüberhöhung bestimmter Teile der Stadt gegenüber dem Umland, welche besonders in der Nacht ausgeprägt ist. In den am dichtesten verbauten Gebieten ist dieser Effekt im Normalfall am stärksten ausgeprägt (regionale Gegebenheiten wie Kessellage oder Windsysteme sind auch entscheidend). Die Gebäude wirken wie ein Wärmespeicher, welcher die Temperatur in der Nacht wieder abgibt. Geringe Vegetation (kein Schatten, keine Abkühlung durch Verdunstungsleistung der Pflanzen) und Dunstglocken über der Stadt (eine verringerte Wärmeabstrahlung der Stadt) tun ihr übriges. Aufgrund der Bebauung sind auch die lokalen Windsysteme behindert und die Luftzirkulation mit dem Umland wird verringert. (Schönwiese 2013, S. 341 - 344)

1.1.5 Der anthropogene Treibhauseffekt

Der folgende Abschnitt bezieht sich, sofern nicht anders angegeben, auf Schönwiese 2013, Seiten 346 bis 347. Im Gegensatz zu den vorangegangenen anthropogen beeinflussten Klimasystemen ist die globale Erwärmung, wie der Name schon ausdrückt, nicht ein regionales sondern globales Phänomen. Die physikalischen Grundlagen für den menschlich verursachten Treibhauseffekt sind ident mit dem natürlichen Treibhauseffekt (Beschreibung siehe dort). Bereits im 19. Jahrhundert erwarteten Wissenschaftler durch die Nutzung von fossilen Energieträgern und des dadurch erhöhten CO₂ Konzentrationsanstieges in der Atmosphäre einen Anstieg der globalen Temperatur. In Abbildung 5 ist die globale Temperaturabweichung von 1880 bis 2010 abgebildet.

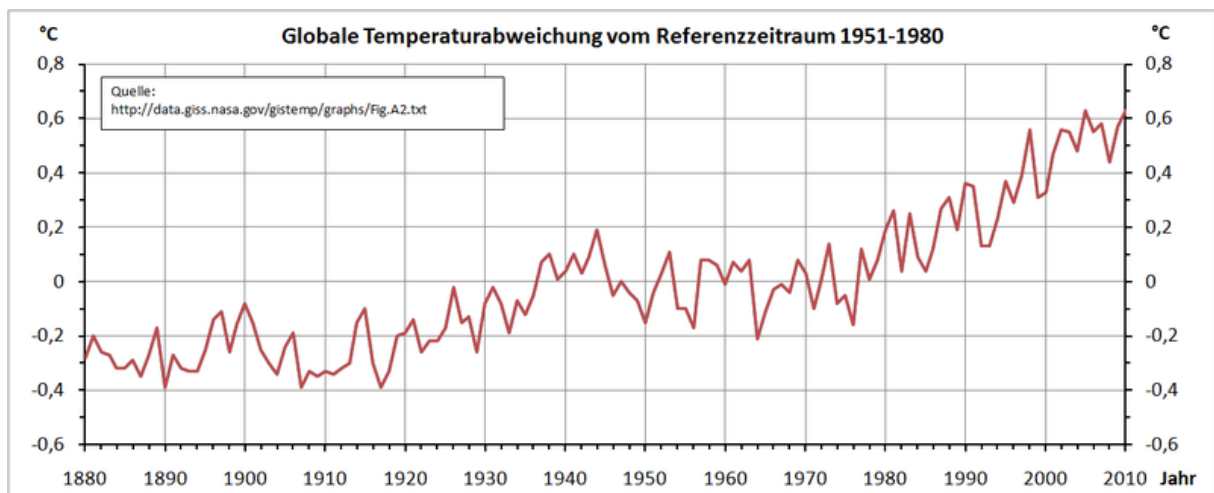


Abbildung 5: Die Entwicklung der globalen Temperatur 1880-2012 (Spektrum.de, 2013)

Heutzutage gibt es ein weltumspannendes Netzwerk aus Messstationen zur Messung des CO₂ Anstieges. Die längste kontinuierliche Messreihe von CO₂ wurde 1958 in Hawaii gestartet. Es gab bereits vorher sporadische Messungen. Meist muss man jedoch auf indirekte Rekonstruktionen von Messdaten zurückgreifen. Am verlässlichsten sind hier polare Eisbohrungen, da sich im Eis Luftblasen mit der damaligen Zusammensetzung der Atmosphäre erhalten haben. Die daraus gewonnenen Daten zeigen für die letzten 10.000 Jahre vor dem Beginn des Industriezeitalters (um das Jahr 1800) einen Wert der CO₂ Konzentration von um die 280 ppm (parts per million, Teilchen pro Millionen). Seit der industriellen Revolution stieg der Wert jedoch rasant auf rund 391 ppm im Jahr 2011 (Messstation Mauna Loa auf Hawaii).

Die Ursachen für den globalen Klimawandel sind einerseits der Anstieg der Weltbevölkerung auf derzeit rund 7 Milliarden Menschen und der gleichzeitigen Vervielfachung der Primärenergienutzung um den Faktor 12 bis 15. Während sich der Bevölkerungsanstieg in den Entwicklungsländern abspielt, sind die Verursacher der „Energieexplosion“ bei den Industrienationen zu finden. Da die Primärenergienutzung zu 90% auf fossilen Energieträgern basiert, wird dementsprechend auch viel CO₂ emittiert.

1.1.6 Der IPCC Bericht

Man hört in den Nachrichten immer wieder vom IPCC Bericht. Was kann man sich unter diesem Bericht vorstellen? IPCC steht für Intergovernmental Panel on Climate Change (Zwischenstaatlicher Ausschuss über Klimaänderungen). Der IPCC ist ein wissenschaftliches zwischenstaatliches Gremium und wurde 1988 von der WMO (Weltorganisation für Meteorologie) und der UNEP (Umweltprogramm der Vereinten Nationen) als objektive Informationsquelle für politische Entscheidungsträger gegründet. Im IPCC wird der aktuelle wissenschaftliche Stand wieder gegeben. Außerdem sei erwähnt, dass es nicht nur einen IPCC-Bericht gibt. Die Berichte umfassen Beiträge von Experten aus allen für den Klimawandel relevanten Bereichen. Die Politik bezieht sich immer wieder auf den IPCC-Bericht, so wurde bei den Verhandlungen für das Kyoto-Protokoll 1997 der IPCC-Bericht für die Argumentation herangezogen. 2014 wird der 5. IPCC Sachstandsbericht herausgegeben. Der IPCC besteht aus 3 Arbeitsgruppen und einer Task Force, spezialisiert auf Treibhausgasemissionen. Die Erste Arbeitsgruppe behandelt die wissenschaftlichen Grundlagen von Klimaänderungen, Nr. 2 betrachtet die Auswirkungen, Anpassungen und Verwundbarkeiten durch den Klimawandel und Arbeitsgruppe 3 beschäftigt sich mit Möglichkeiten zur Abschwächung/Abfederung des Klimawandels. Die jeweiligen Berichte werden von Politikern und Beamten freigegeben. (de-ipcc.de 2015) Der IPCC Bericht ist durch seine Szenarien bezüglich der Temperaturerhöhung bekannt.

1.1.7 Internationale Verträge und nationale Strategien

Das bereits erwähnte Kyoto Protokoll hat deswegen einen derartigen hohen Stellenwert, weil hiermit erstmals in einem völkerrechtlichen Vertrag eine bindende Begrenzung der Treibhausgasemissionen festgelegt wurde. In der ersten Verpflichtungsperiode von 2008 bis 2012 sagte die EU zu, die Emissionen bezogen auf 1990 um 8 % zu senken. Dieses Ziel wurde EU-intern aufgeteilt, Österreich hat sich dabei verpflichtet eine Reduktion von 13 % der Treibhausgase bezogen auf 1990 zu realisieren (Klimaschutzbericht 2013), bei Deutschland beträgt der Wert sogar 21 %. Im Kyoto Protokoll wurden auch sogenannte „flexible Mechanismen“ (Emissionshandel, Gemeinschaftsreduktion, Mechanismus für umweltverträgliche Entwicklung) festgelegt. Ziel dieser Mechanismen ist es, die Emissionsminderung dort durchzuführen, wo es am kostengünstigsten möglich ist. Entscheidend ist hierbei, dass die Emissionen global gesehen abnehmen. (Umweltbundesamt.de 2015)

Die EU setzte sich für die zweite Verpflichtungsperiode des Kyoto Protokolls das sogenannte „20-20-20-Ziel“. Dieses Ziel besagt, dass bis zum Jahre 2020 die Treibhausgasemissionen um 20 % reduziert werden sollen (bezogen auf 1990), die Energieeffizienz auf 20 % gesteigert werden soll, und der Anteil von erneuerbarer Energie auf 20 % des Gesamtenergieverbrauches erhöht werden soll. Eine Anhebung des Zieles auf 30 % scheiterte an der Unentschlossenheit der EU-Mitgliedsstaaten. (Umweltbundesamt.de 2015)

Im Juni 2009 startete in Österreich die „Energiestrategie Österreich“. Durch die von der EU und von Österreich gesetzten Ziele (20-20-20) muss Österreich bis 2020 20 % mehr Energieeffizienz, 34 % mehr erneuerbare Energie und eine Reduktion von 21 % der Treibhausgase umsetzen. (bmwfw.gv.at 2015)

Der folgende Abschnitt bezieht sich, sofern nicht anders angegeben, auf die „Energiestrategie Österreich“ aus dem Jahr 2010.

Die Strategie baut auf 3 Säulen auf.

- Eine konsequente Steigerung der Energieeffizienz in allen wichtigen Sektoren
- Ausbau der erneuerbaren Energie in Österreich
- Sicherstellung der Energieversorgung und sorgsame Nutzung der eigenen Energieressourcen

Es herrscht derzeit der Trend eines stetig steigenden Energieverbrauches vor. Zur Erreichung des Zieles: „Energieeffizienz“ bis zum Jahr 2020 soll der Endenergieverbrauch auf das Niveau von 2005 bei 1100 PJ stabilisiert werden. Wie in Abbildung 6 ersichtlich, soll die Effizienzsteigerung ungefähr 200 PJ an Primärenergie einsparen. Der Ausbau der erneuerbaren Energie soll, bezogen auf 2008 einen Wert von ungefähr 70 PJ erreichen. Abbildung 6 zeigt auch sehr eindrucksvoll die derzeitige Abhängigkeit von fossilen Primärenergieträgern.

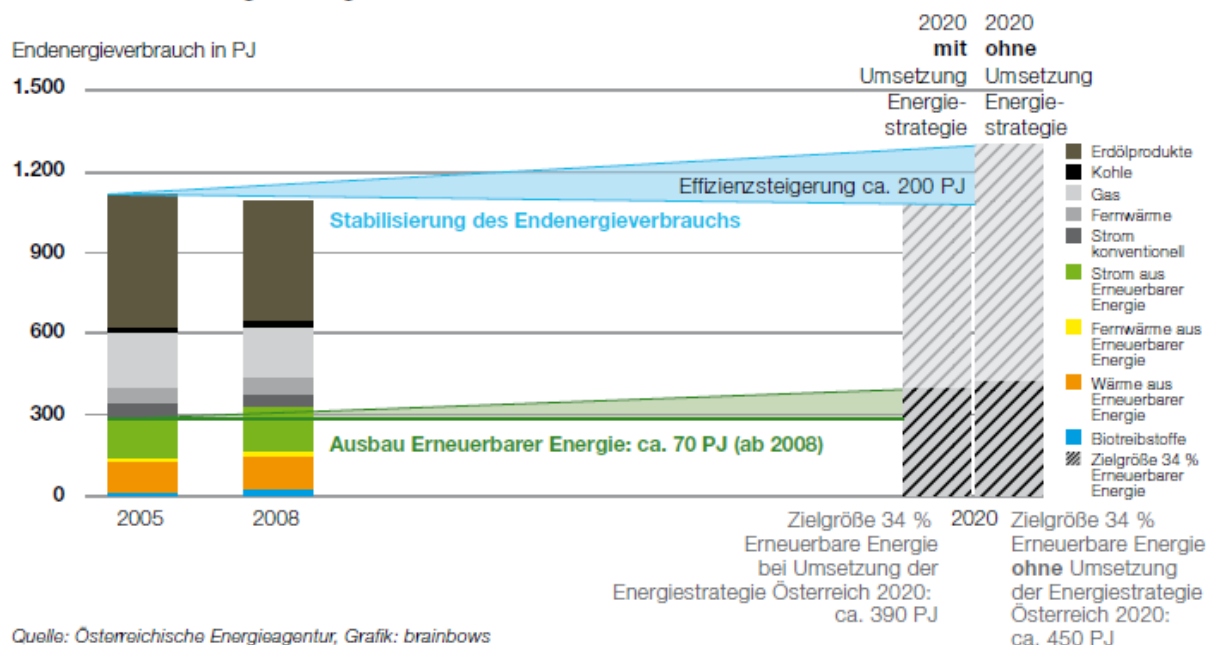


Abbildung 6 Modell der Energiestrategie für den Bereich Energieeffizienz (Quelle: Bmlfuw u. Bmwfj (Hrsg.) 2010)

Im Bereich erneuerbarer Energie soll die Wasserkraft um 12,6 PJ ausgebaut werden, die Windkraft bis 2020 verdoppelt werden und Integration von Photovoltaikanlagen in Gebäude vorangetrieben werden. Da die elektrische Netzinfrastruktur in Zukunft vermehrt mit dezentraler Einspeisung und erhöhten Durchflussmengen zurecht kommen muss, sollen unter anderem die Übertragungs- und Verteilernetze modernisiert werden und Energiespeichersysteme als auch Smart-Metering ausgebaut werden. Laut dem ersten „Umweltdachverband-Kontrollbericht“ aus dem Jahr 2011 werden die Ziele klar verfehlt.

2. Energieverbrauch

Der Klimawandel, verstärkt durch emittierte Treibhaushase, hängt mit dem immer größer werdenden Energiehunger der menschlichen Bevölkerung zusammen. Als zusätzliche Problematik ergibt sich neben der Emission von Treibhausgasen der Umstand, dass ein Großteil der verwendeten Energieträger fossiler Herkunft, und somit endlich, ist. Schon alleine aus diesem Grund ist ein Umstellen der Energieversorgung auf erneuerbare Energien notwendig.

2.1.1 Weltweiter Energieverbrauch

Der weltweite Energieverbrauch steigt stetig. Vor allem der starke Anstieg des globalen Handels führte zu einer Erhöhung des Energieverbrauchs. Allein in den letzten vier Jahrzehnten lässt sich eine Verdoppelung des weltweiten Energieverbrauchs verzeichnen, wie in Abbildung 7 ersichtlich wird. In dem Diagramm ist ein Vergleich des Energieverbrauchs in der Einheit Mio. Tonnen Öläquivalent angegeben (linke Diagrammachse). Die Anteile der Gesamtversorgung durch verschiedene Energieträger ist prozentual angegeben. (Bundeszentrale für politische Bildung, 2019)

Nach Energieträgern, Anteile in Prozent, Gesamtversorgung in Mio. t Öläquivalent, weltweit 1973 und 2016

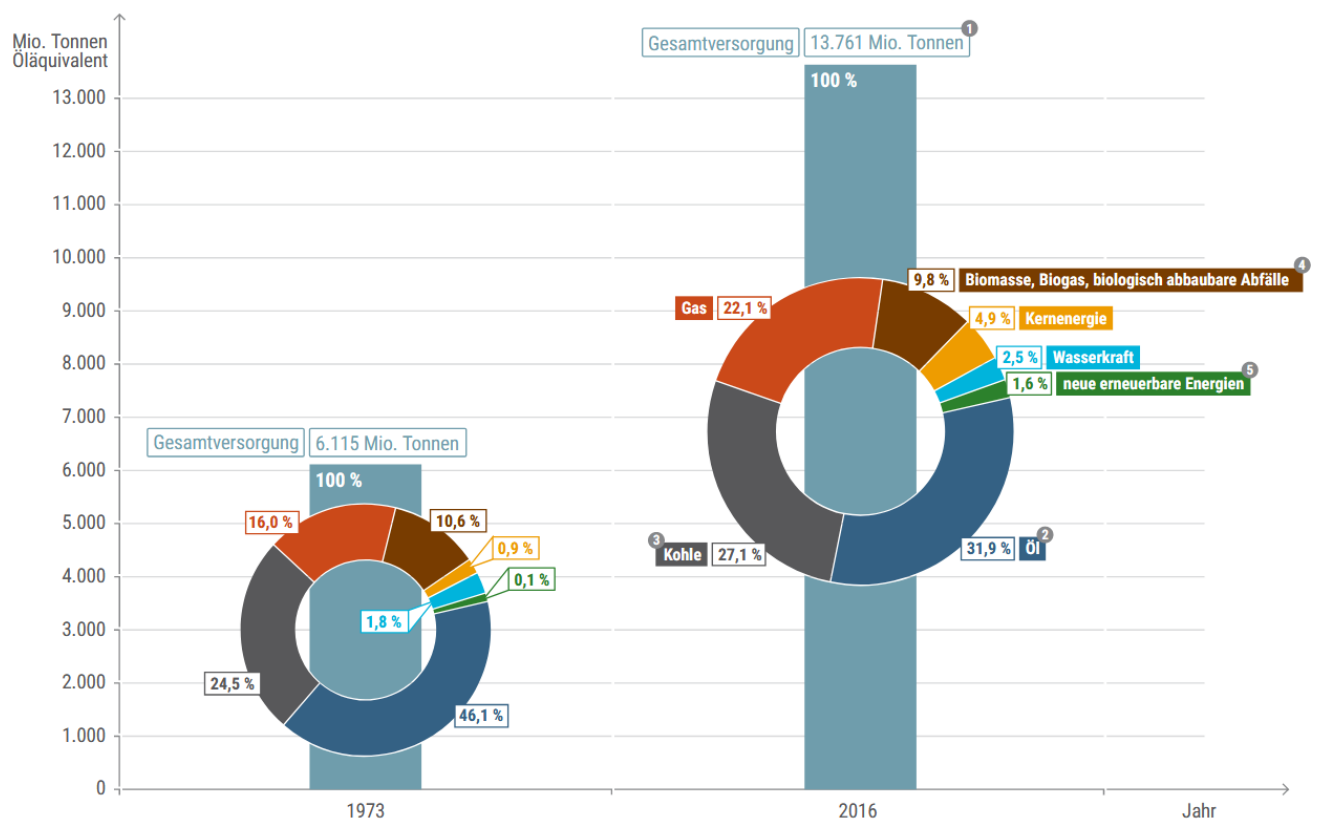


Abbildung 7: Primärenergieversorgung weltweit im Vergleich 1973 zu 2016. (IEA World Energy Balances database OECD/IEA 2018, OECD/IEA 2008; Bundeszentrale für politische Bildung, 2019)

Der prozentuelle Anteil der Energieträger für den weltweiten Energieverbrauch hat sich von 1973 bis 2016 verändert. Erdöl als einer der Hauptenergieträger verzeichnet einen Rückgang von ca. -14,2%. Die Anteile von Erdgas und Kohle haben dagegen um jeweils 2,6% und 6,1% zugenommen. Für die weltweite Energieversorgung wurden 2016 zu 81,1% fossile Energieträger verwendet. (Bundeszentrale für politische Bildung, 2019)

Der Primärenergieverbrauch ist vom Jahr 2004 bis 2014 z.B. in Asien um 56,6% gestiegen, im nahen Osten um ähnliche 57,2%. In Europa ist zwar ein leichter Rückgang von 4,6 % des Primärenergieverbrauches feststellbar, der Energieverbrauch pro Einwohner ist jedoch mit rund 36,6 MWh (ohne ehemalige Sowjetrepubliken) weit über dem weltweiten Durchschnitt von rund 21 MWh, siehe Abbildung 8. Der Energieverbrauch von Österreich lag im Jahr 2014 bei rund 378 TWh (Terawattstunden: 1TWh = 1.000.000.000KWh). Rechnet man diese Daten auf die Anzahl der Einwohner um (Abbildung 9), liegt der durchschnittliche Verbrauch pro Einwohner mit rund 46 MWh weit über dem europäischen Durchschnitt, und sogar noch über dem pro Kopf Verbrauch unserer deutschen Nachbarn. Spitzenreiter beim Primärenergieverbrauch im Jahr 2014 pro Staat ist China mit rund 34,6 PWh. Der größte pro Kopf Verbrauch wird aber mit weitem Abstand in den USA mit gerundeten 83,8 MWh verursacht. Das ist fast doppelt so viel wie der Durchschnittsverbrauch pro Kopf in Österreich. Bei diesen Zahlen muss man natürlich erwähnen, dass hierbei der gesamte Energieverbrauch des Landes, also auch Industrie und Gewerbe als auch Tourismus und ähnliches, eingerechnet ist. Die verwendeten Daten wurden dem British Petrol Bericht „Statistical Review of World Energy June 2015“ entnommen. Die Daten der Statistik Austria zeigen leichte Abweichungen (max. 3%).

Um diese Zahlen ein bisschen fassbarer zu machen, ein kleiner Vergleich. Die Salzach hat laut Wikipedia.org im Bereich Burghausen eine mittlere Durchflussmenge von 252 m³ pro Sekunde. Wenn wir jetzt annehmen, statt dem Wasser würde Rohöl fließen (was hoffentlich niemals passieren wird), und der Einfachheit halber die Dichte von Wasser mit Rohöl gleichsetzen, so würde der Primärenergieverbrauch von Österreich (32,5 Mio. t Ölequivalent) rund eineinhalb Tage benötigen, um an Burghausen vorbeizufließen. Für China wären es übrigens rund 136,5 Tage und bei den USA rund 105,5 Tage.

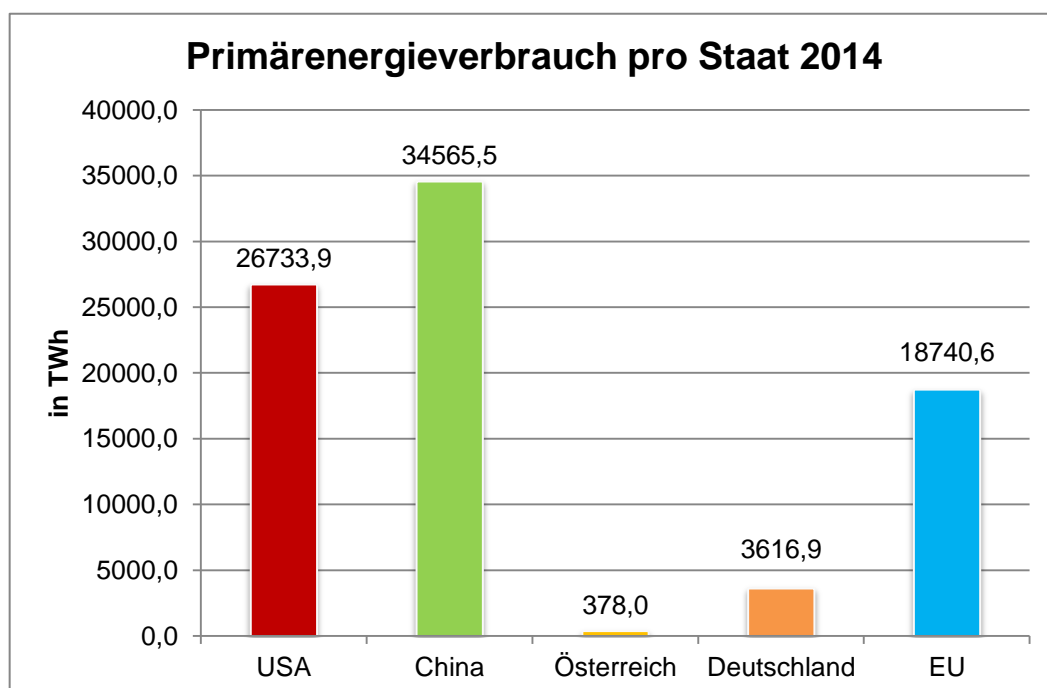


Abbildung 8: Primärenergieverbrauch im Jahr 2014, ausgewählte Staaten und EU, Gesamtverbrauch (eigene Erstellung, Datenquelle: BP (2015))

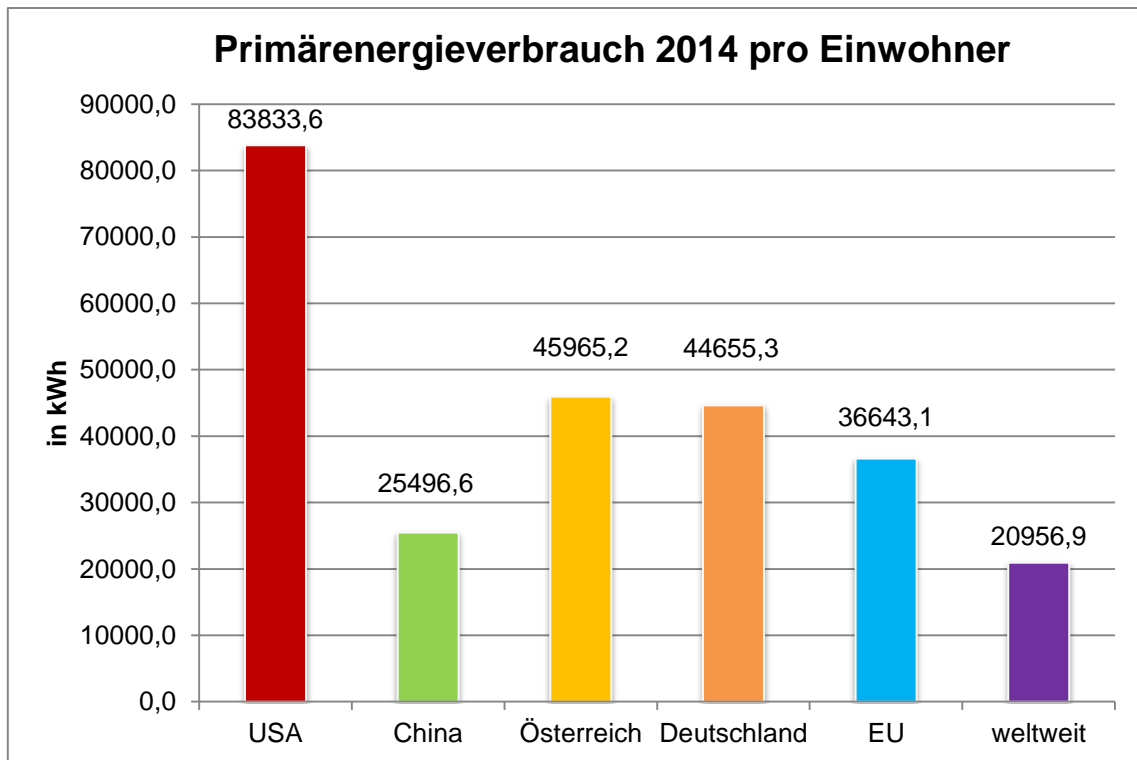


Abbildung 9 Primärenergieverbrauch im Jahr 2014, ausgewählte Staaten und EU, pro Kopf Verbrauch (eigene Erstellung, Datenquelle: BP (2015), CIA (2015))

Erdöl stellt die bedeutendste Energiequelle dar. In Abbildung 10 ist der weltweite Erdölverbrauch von den Jahren 1965 bis 2017 dargestellt, darin ist der deutliche Anstieg des Verbrauchs erkennbar. Der Verbrauch bezieht sich auf die Inlandsnachfrage, Tanklager für den internationalen Luft- und Schiffsverkehr, Raffineriebrennstoffe und Verluste. Der Verbrauch von Ethanol und Biodiesel ist in dieser Auflistung mitgezählt. Im Jahr 2017 erzielte der weltweite Erdölverbrauch durchschnittlich ca. 98 Millionen Barrel pro Tag. (Statista.com, 2018)

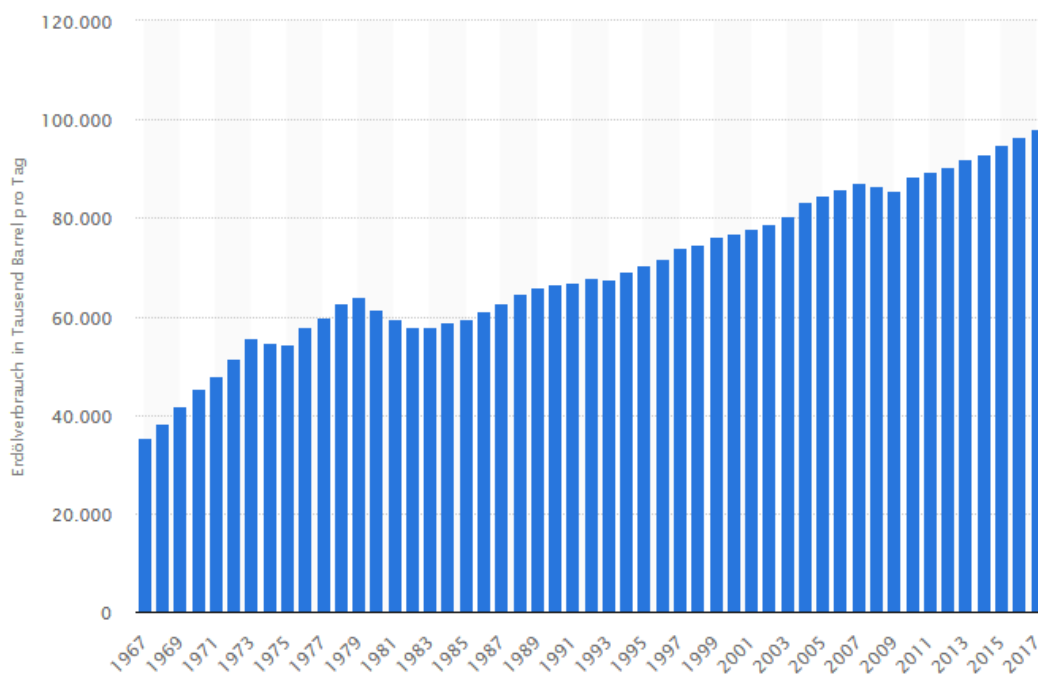


Abbildung 10: Erdölverbrauch weltweit in den Jahren 1965 bis 2017 (in 1.000 Barrel pro Tag). (Statista.com, 2018)

Betrachten wir hierzu noch einige Daten näher. Zwischen den Jahren 2004 (Abbildung 11) und 2014 (Abbildung 12) stieg der Verbrauch an Erdöl von 3870,8 Millionen Tonnen auf 4211,1 Millionen Tonnen weltweit. Dies ist eine Steigerung um 8,8 % in 10 Jahren. Betrachtet man die einzelnen Kontinente, so sieht man in den Industrieregionen einen leichten Rückgang von 9 % bzw. 10,7 % (Abbildung 13). (British Petroleum, 2015)

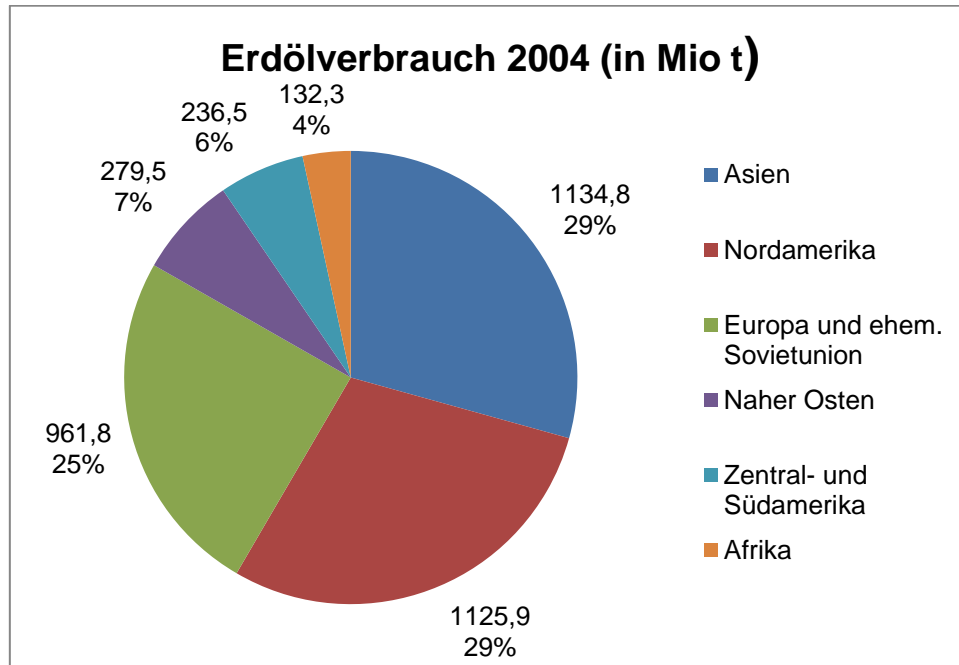


Abbildung 11 Erdölverbrauch im Jahr 2004, aufgeteilt auf Kontinente (eigene Erstellung, Datenquelle: BP (2015))

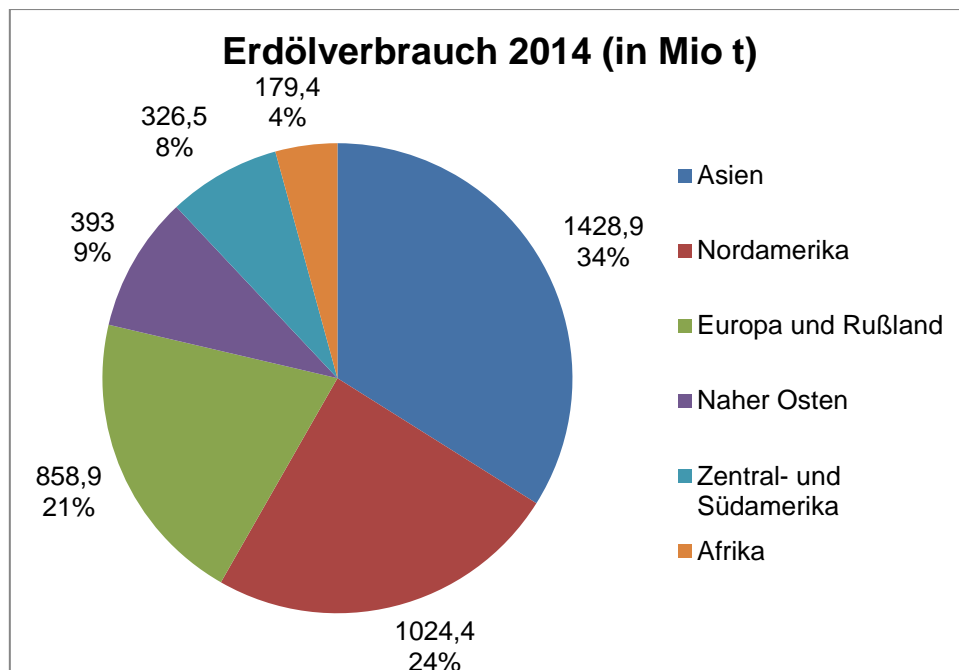


Abbildung 12 Erdölverbrauch im Jahr 2014, aufgeteilt auf Kontinente (eigene Erstellung, Datenquelle: BP (2015))

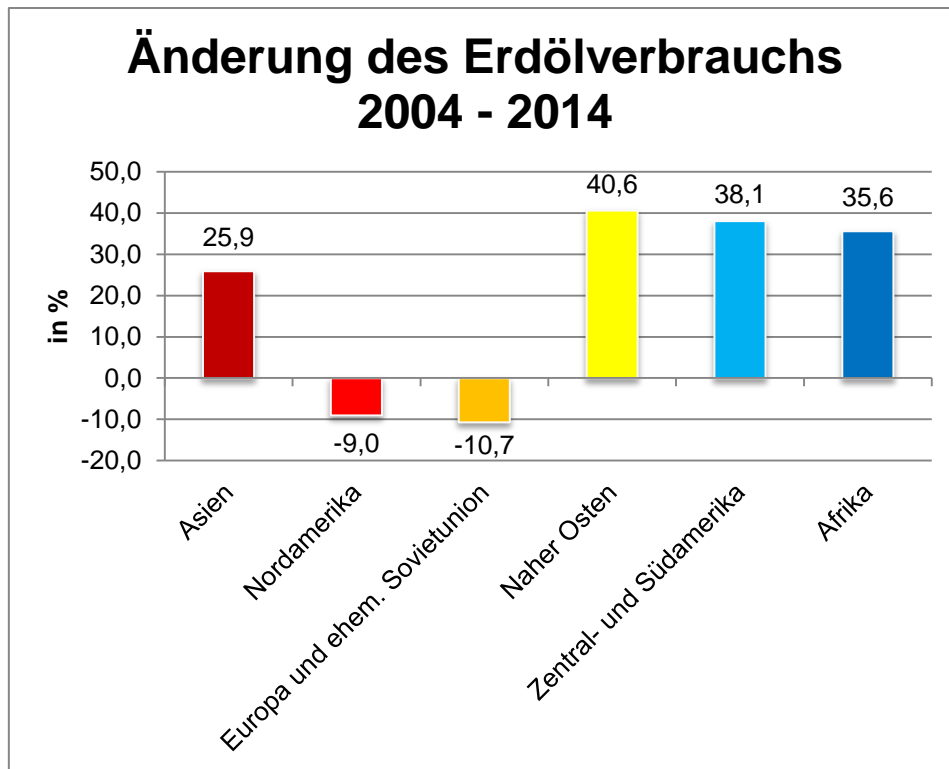


Abbildung 13 Änderung des Erdölverbrauch von 2004 auf 2014, aufgeteilt auf Kontinente (eigene Erstellung, Datenquelle: BP (2015))

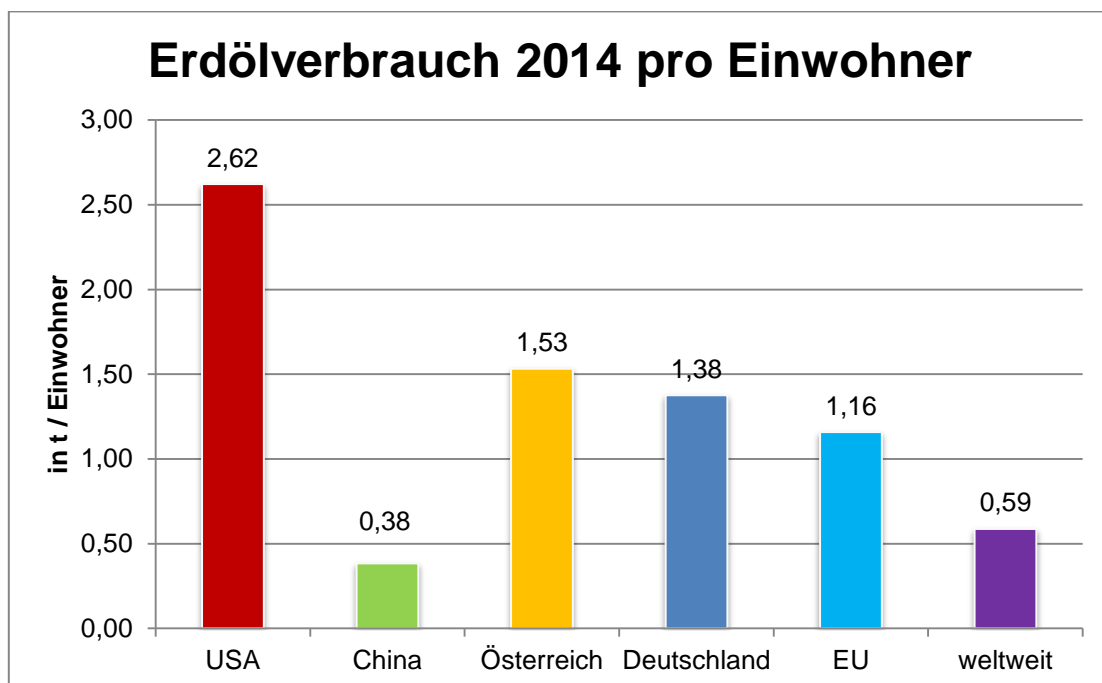


Abbildung 14 Erdölverbrauch im Jahr 2014, ausgewählte Staaten und EU, pro Kopf Verbrauch (eigene Erstellung, Datenquelle: BP (2015), CIA (2015))

Für Österreich liegt der Verbrauch 2014 bei 12,6 Millionen Tonnen Erdöl. Im Vergleich zum Vorjahr ist dies ein leichter Rückgang um 100.000 Tonnen. Den Höchststand der letzten Jahre erreichte Österreich 2006 mit 14,2 Millionen Tonnen. Seit dem Jahr 2007 (Wirtschaftskrise!) sinkt der Verbrauch leicht ab. Wie Abbildung 14 aufzeigt, ist der pro Kopf

Verbrauch in Österreich jedoch noch immer weit über dem europäischen Durchschnitt. Mit 1,53 Tonnen pro Einwohner verbrennt der Österreicher um 996 kg mehr als der weltweite Durchschnitt. China liegt mit 380 kg pro Einwohner zwar weit unter Österreich, aber in diesem Fall gilt der Spruch: „die Masse macht's“. An weltweiter Spitze liegt wiederum der durchschnittliche US-Amerikaner mit einem pro Kopf Verbrauch von 2,62 Tonnen. Dabei muss erwähnt werden, dass seit 2004 in den USA der Erdölverbrauch um 10,7 % gesenkt wurde. Seit der wirtschaftlichen Erholung der USA 2012 steigt jedoch der Verbrauch wieder an. (British Petroleum, 2015)

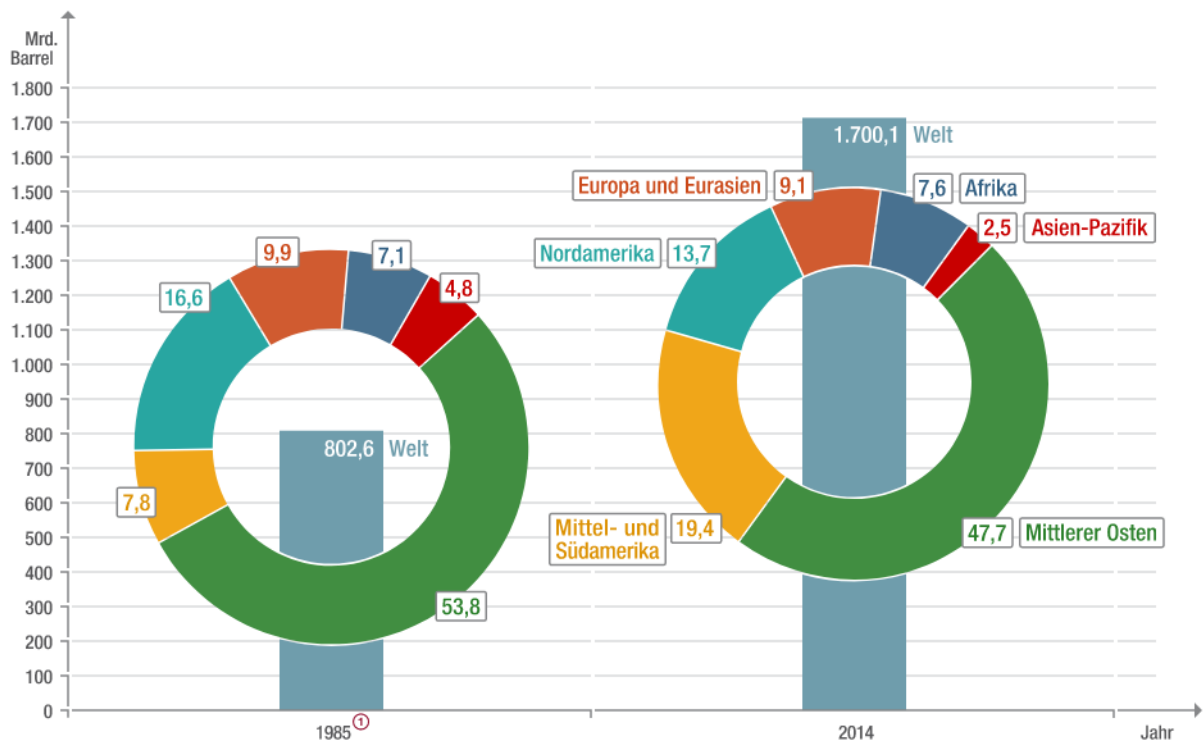


Abbildung 15 Ölreserven der Jahre 1985, 2004 und 2014 (British Petroleum, 2015)

Seitens British Petroleum werden die Erdölreserven im Jahr 2014 auf 1700,1 Milliarden Barrel geschätzt, siehe Abbildung 15. Das sind umgerechnet 231,9 Milliarden Tonnen und würden, wenn sich unser Verbrauch an Erdöl nicht steigert und es keine weiteren Lagerstätten gefunden werden, für rund 55 Jahre reichen. Diese Zahlen beinhalten auch Öl aus Schieferlagerstätten. Laut BPB (Bundeszentrale für politische Bildung, 2015) ist zu beachten, dass die Neufunde an Lagerstätten abnehmen und dass die Steigerung der Reserven aus einer Neubewertung der bestehenden Lagerstätten herrührt. Müsst die einzelnen Regionen ihren Bedarf aus den eigenen Reserven decken, würde in Europa der Verkehr bald zum Stehen kommen. Die Lagerstätten innerhalb der EU würden für etwas weniger als 1,5 Jahre bei unserem derzeitigen Verbrauch reichen. (Bundeszentrale für politische Bildung, 2015)

Vom Heringsfass zum Erdölbarrel: Mit dem Start der Erdölförderung im europäischen Raum 1735 im Elsass, bestand auch der Bedarf nach einem billigen Abfüll- und Lagerbehältnisses. Dazu wurden ausrangierte und gereinigte Heringsfässer verwendet. Mit Steigerung der Produktionsmengen wurden nun eigens für die Erdölproduktion benötigte Fässer der gleichen Größe produziert. Zur Unterscheidung von Fässern mit Nahrungsmitteln wurde der Fassboden blau gestrichen. Mit dem Beginn der kommerziellen Erdölförderung in den Vereinigten Staaten wurde diese Technik übernommen. Aus dem Fass wurde ein „barrel“,

aufgrund des blauen Fassbodens wurde es „blue barrel“ genannt, abgekürzt bbl. Ein bbl hat ein Fassungsvermögen von 158,9871 Liter. (Quaschning 2013, S. 19)

Da die Nutzung erneuerbarer Energien immer relevanter wird, befinden sich viele erneuerbare Energieträger im Aufschwung. Im folgenden Diagramm, erstellt von der Bundeszentrale für politische Bildung (2016), wird der prozentuelle Zuwachs verschiedener erneuerbarer Energien von 1990 bis 2013 gezeigt. In Abbildung 16 ist ersichtlich, dass im Zeitraum der betrachteten 23 Jahre die Photovoltaik mit 46,6% den höchsten Zuwachs erreicht hat.

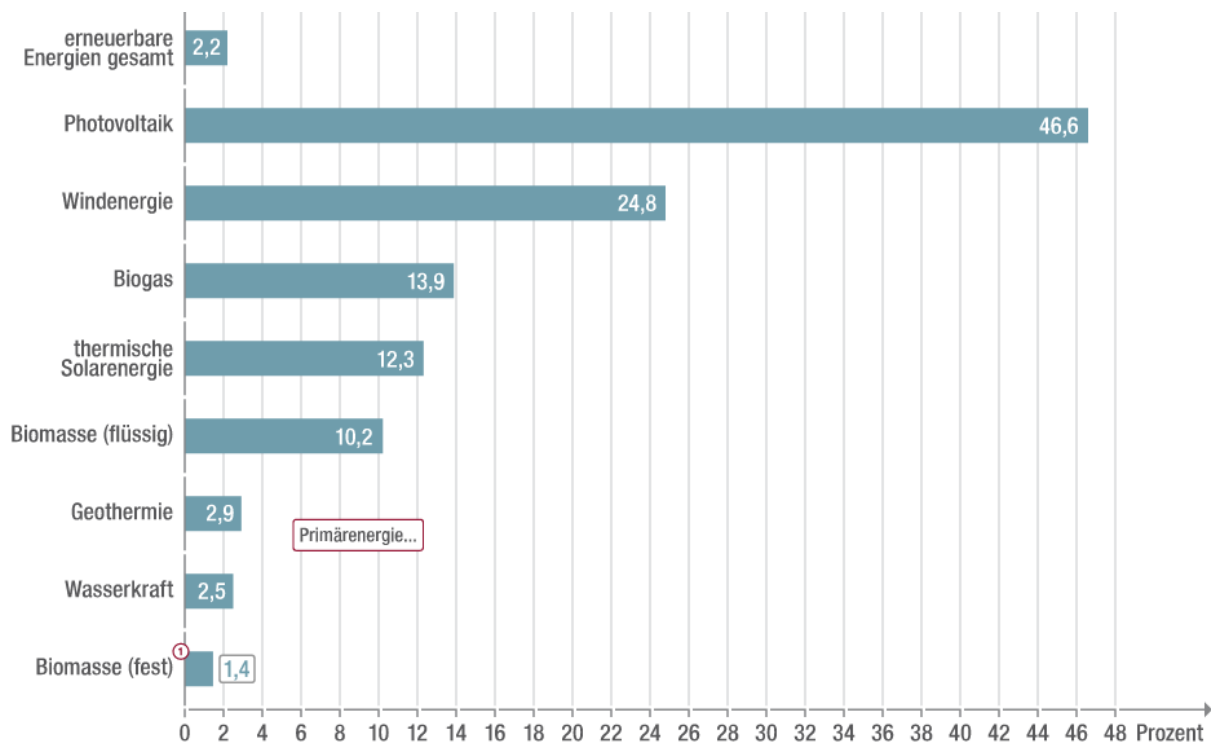


Abbildung 16: Durchschnittliche Wachstumsrate der Primärenergie-Versorgung pro Jahr in Prozent, nach Energieträgern, weltweit 1990 bis 2013. (International Energy Agency, 2015; Bundeszentrale für politische Bildung, 2016)

2.1.2 Energieverbrauch in Österreich

Der Energieverbrauch in Österreich ist von 1970 bis 2005 kontinuierlich gestiegen. Seit dem Jahr 2005 lässt sich jedoch eine allgemeine Stagnation des Energieverbrauchs in Österreich verzeichnen. In Abbildung 17 ist der Energieverbrauch Österreichs von 1970 bis 2016 dargestellt, der grüne Bereich stellt den Anteil erneuerbarer Energien dar, der graue Bereich den Anteil fossiler Energien. (Bundesministerium Nachhaltigkeit und Tourismus, 2018)

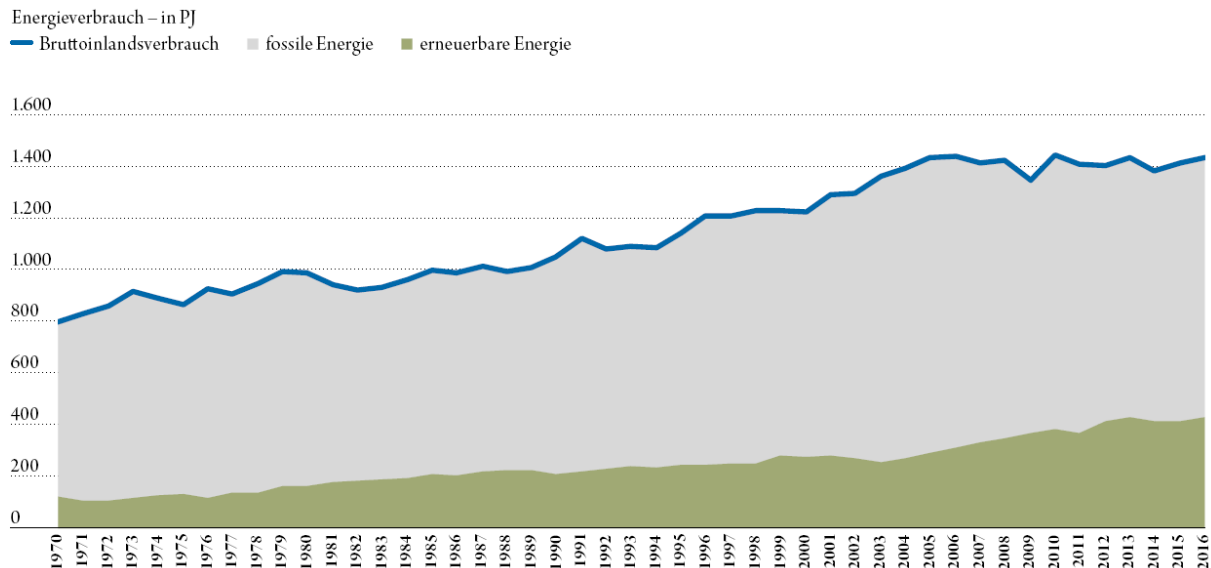


Abbildung 17: Bruttoenergieverbrauch Österreichs von 1970 bis 2016. Fossile Energien (grau), erneuerbare Energien (grün). (Bundesministerium Nachhaltigkeit und Tourismus, 2018)

Für die Deckung des Stromverbrauchs werden zu 70% erneuerbare Energiequellen verwendet. Im Bereich der Energieerzeugung wird in Österreich vor allem Energie aus Biomasse und Wasserkraft produziert. Im Rahmen des Klimapakets 2020 wurden von der Europäischen Union Vorgaben an die Mitgliedsstaaten vergeben. Im Zuge dessen hat Österreich sich verpflichtet, den Anteil erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch bis 2020 auf 34 % zu steigern und nicht mehr als 1.050 PJ Endenergie bis 2020 zu verbrauchen. Österreichs Energiebedarf wird durch mehrere verschiedene Energieerzeugungsquellen gedeckt. Einen großen Anteil übernehmen dabei fossile Energieträger wie Erdgas, Erdöl und Kohle, wie in Abbildung 18 dargestellt. (Bundesministerium Nachhaltigkeit und Tourismus, 2018)

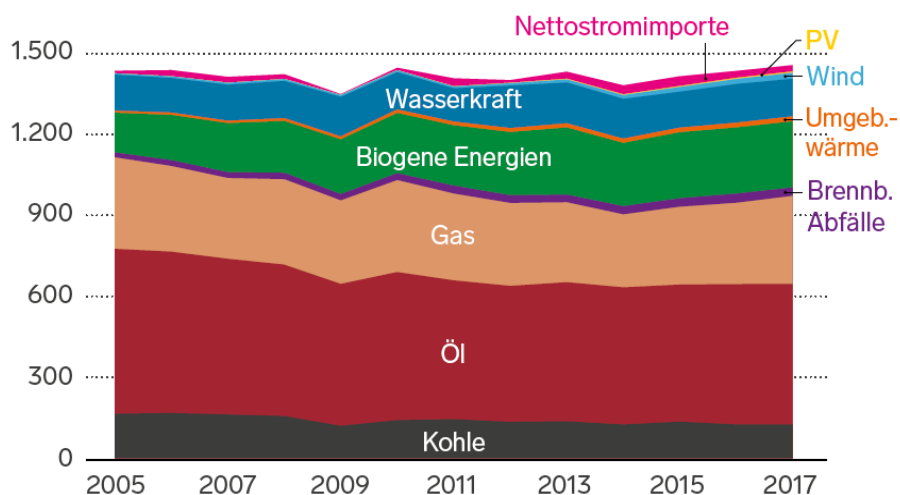


Abbildung 18: Der Bruttoinlandsverbrauch an Energie in Österreich von 2005 bis 2017, aufgeteilt nach Energieträgern. (Bundesministerium Nachhaltigkeit und Tourismus, 2018)

Im Zuge von #mission2030 soll bis zum Jahr 2030 der Anteil erneuerbarer Energie am Bruttoendenergieverbrauch auf 45% bis 50% angehoben werden. (Bundesministerium Nachhaltigkeit und Tourismus, 2018)

Der Endenergieverbrauch Österreichs teilt sich auf verschiedene wirtschaftliche Sektoren auf. In Abbildung 19 sind diese Sektoren als Landwirtschaft, Produzierender Bereich, Private Haushalte, Dienstleistungen und Verkehr prozentuell aufgeteilt. (Bundesministerium Nachhaltigkeit und Tourismus, 2018)

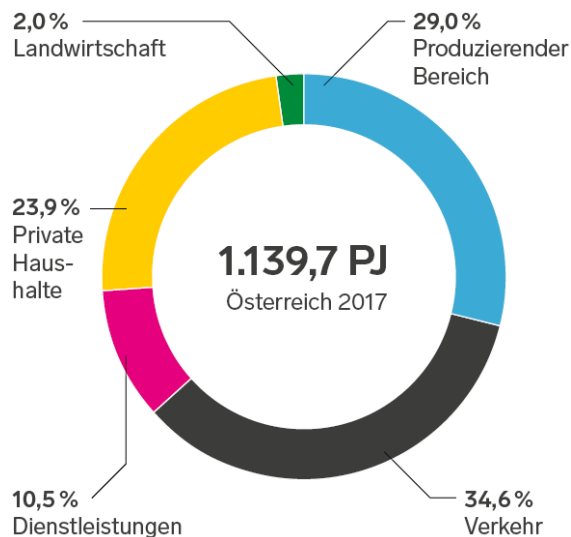


Abbildung 19: Struktur des energetischen Endverbrauches in Österreich nach wirtschaftlichen Sektoren in Prozent. (Bundesministerium Nachhaltigkeit und Tourismus, 2018)

Die in Österreich erzeugte elektrische Energie stammte 2016 zu ca. 78% aus erneuerbaren Energiequellen. In Abbildung 20 ist die Bruttostromerzeugung Österreichs anhand ihrer verschiedenen Quellen dargestellt. (Bundesministerium Nachhaltigkeit und Tourismus, 2018)

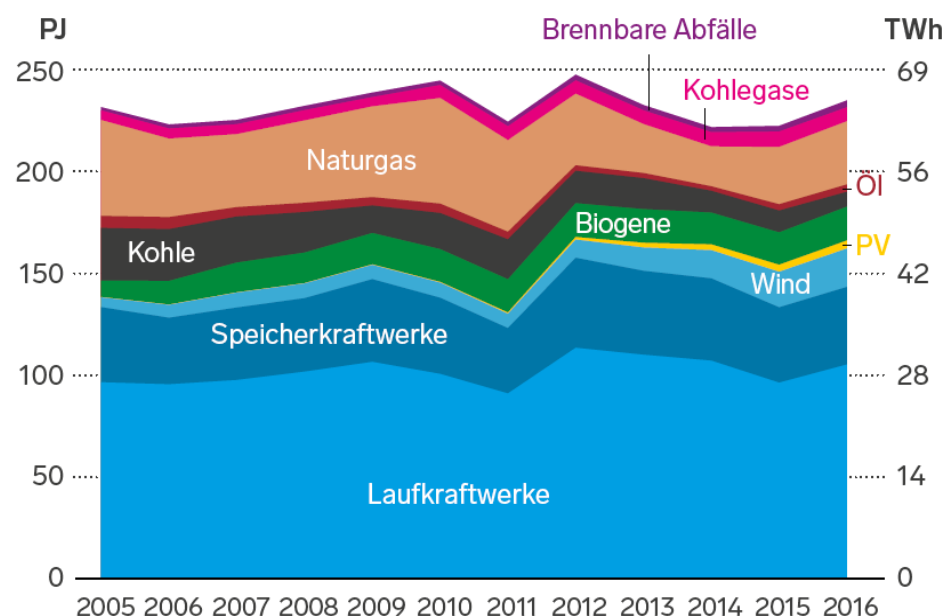


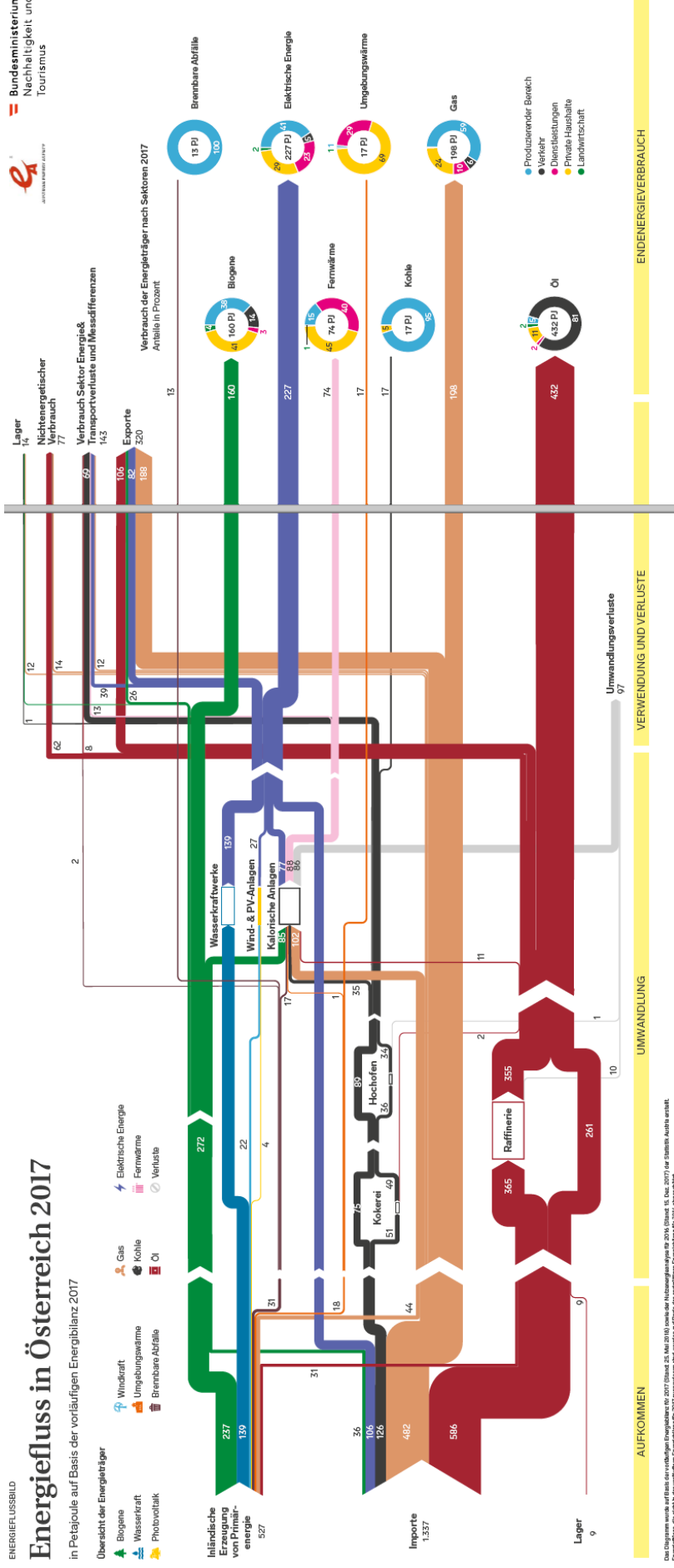
Abbildung 20: Bruttostromerzeugung in Österreich von 2005 bis 2016 in Petajoule (PJ, links) und Terawattstunden (TWh, rechts). (Bundesministerium Nachhaltigkeit und Tourismus, 2018)

Energiefluss in Österreich 2017

in Petajoule auf Basis der vorläufigen Energiebilanz 2017

Übersicht der Energieträger

- Biogene
- Windkraft
- Wasserkraft
- Photovoltaik
- Gas
- Umwandlungswärme
- Brennbare Abfälle
- Elektrische Energie
- Fernwärme
- Verluste



Das Diagramm wurde auf Basis der vorläufigen Energiebilanz für 2017 (Stand: 26. Mai 2018) sowie der Nutzungsgesamten für 2016 (Stand: 16. Oct. 2017) für Österreich erstellt. Energieträger, die nicht in der vorläufigen Energiebilanz für 2017 ausgewiesen sind, werden auf Basis der vorläufigen Energiebilanz für 2016 eingeschätzt.

Abbildung 21: Energieflussdiagramm Österreich im Jahr 2017 (Bundesministerium Nachhaltigkeit und Tourismus, 2017)

3. Technologien der erneuerbaren Energien

Energie, sowohl als Strom, als auch zum Heizen und für Transport lässt sich auch aus erneuerbaren Energiequellen gewinnen. In diesem Bericht werden die fünf wichtigsten erneuerbaren Energietechniken vorgestellt: Die Energiegewinnung aus Solarkraft, Wasserkraft, Biomasse, Erdwärme und Windkraft.



Die auf die Erde auftretende Sonnenenergie schwankt leicht zwischen 1325 W/m^2 und 1420 W/m^2 . Grund hierfür ist der unterschiedliche Abstand der Erde zur Sonne im Sommer (größter Abstand: Aphel) und im Winter (kleinster Sonnenabstand: Perihel). Die Jahreszeiten gelten natürlich nur für die entsprechenden geographischen Breiten, in Australien ist es der Aphel im Winter. Die Solarkonstante wird mit 1367 W/m^2 angegeben. Durch die Neigung der Erdachse von $23,5^\circ$ variiert die Sonnenstrahlung im Laufe des Jahres (Bsp. Hamburg (liegt auf $53,5^\circ$ nördlicher Breite), Sommeranfang 60° ($90 - (53,5 - 23,5)$) und Winteranfang bei 13° ($90 - (53,5 + 23,5)$)). Die Strahlung muss mehr Atmosphäre durchdringen und wird dadurch mehr abgeschwächt. (Watter 2013, S. 5)

3.1.1 Photovoltaik



Geschichte

Der Name Photovoltaik ist zusammengesetzt aus dem griechischen Wort „Photós“ (griechisch für Licht) und dem Namen des Erfinders der Batterie „Volta“ (Alessandro Giuseppe Antonio Graf von Volta, um genau zu sein). Volta war auch der Namenspatron für die elektrische Einheit „Volt“ für die elektrische Spannung. Unter Photovoltaik versteht man die direkte Umwandlung von Sonnenenergie in elektrische Energie. (Quaschning 2013, S. 122)

Alexandre Becquerel stellte im 19. Jahrhundert fest, dass ein Bestrahlen mit Licht bei einer Batterie mit Zink- und Platinen-elektroden eine Zunahme der elektr. Spannung verursacht.

1883 wurde schließlich von Charles Fritts eine Selen-Solarzelle hergestellt. Die genaue Funktionsweise war jedoch noch nicht bekannt. Erst durch Albert Einstein, welcher den Photoeffekt beschrieb und dafür im Jahre 1921 den Nobelpreis in Physik erhielt, konnte die Ursache, weshalb bestimmte Materialien bei Sonnenstrahlung Elektrizität erzeugen, erklärt werden. 1954 wurde schließlich die erste Silizium Solarzelle entwickelt. (Quaschnig 2013, S. 122)

Potential der Sonnenenergie

Für den potentiellen Nutzer von Sonnenenergie ist natürlich von Interesse, wieviel Energie man an einem bestimmten Standort gewinnen kann. Die Globalstrahlung besteht, wie bereits erwähnt, aus Direkt- und Diffusstrahlung. Laut Watter (2013) ist für die technische Nutzung zur Stromgewinnung primär die Direktstrahlung entscheidend. Abbildung 22 zeigt für Österreich die über das Jahr einfallende solare Strahlungsenergie.

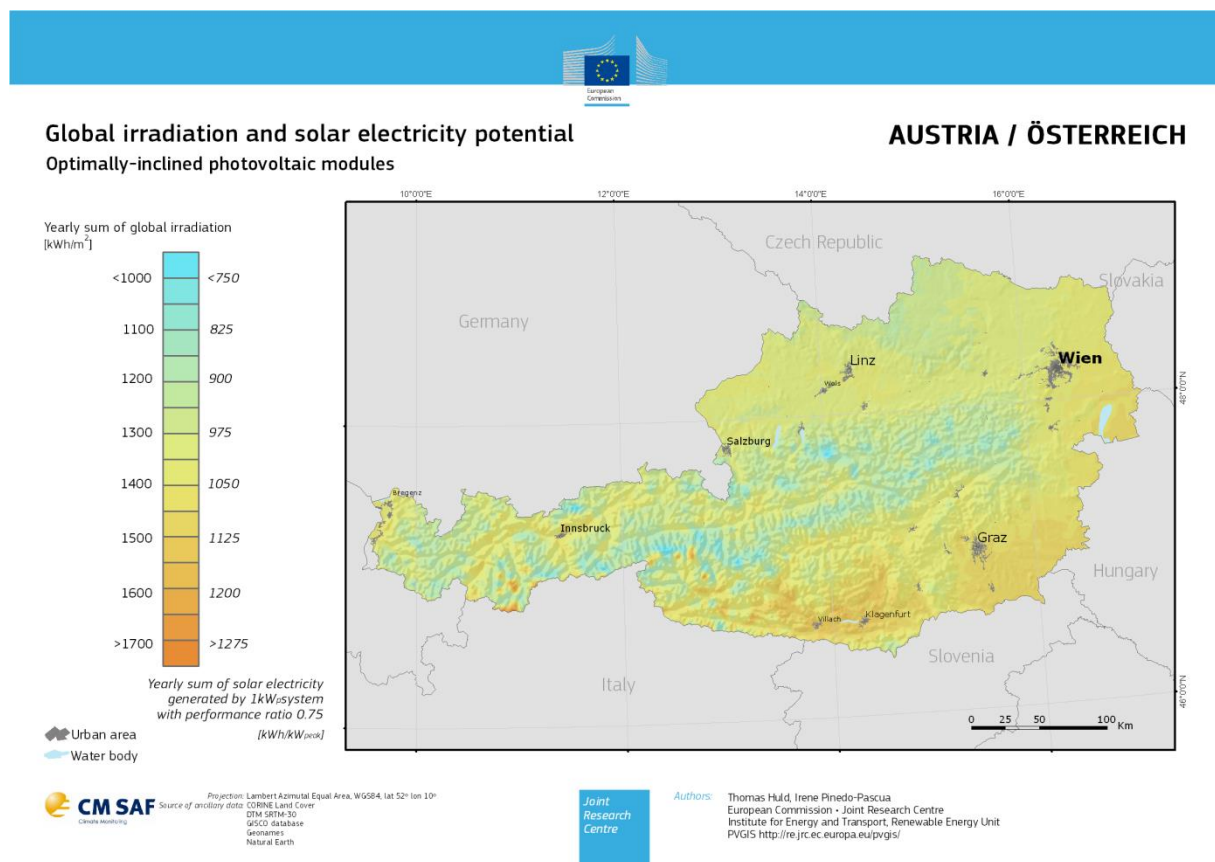


Abbildung 22 solare Strahlungsenergie in Österreich, gemittelt aus den Jahren 1998 – 2011 (Huld, 2012; Suri, 2007)

In Abbildung 22 werden die Werte in zwei unterschiedliche Skalen angegeben. Linkerseits wird die jährliche solare Strahlungsenergie [kWh] in Österreich angegeben, rechts die jährliche Summe an gewonnener Energie durch ein 1kW_{peak} Photovoltaiksystem, mit einem Wirkungsgrad von 75%. Die Abbildung zeigt, dass im südlichen Bereich Österreichs zwischen 1100 kWh und 1200 kWh pro Jahr gewonnen werden können. In unseren Breiten liegt der Betrag zwischen 1000 kWh und 1100 kWh. Unter der Internetseite <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#> kann man das Photovoltaik-Potential einzelner Regionen aufrufen.

Um diese Daten etwas besser zu veranschaulichen, ein kleines Anschauungsbeispiel. Der Primärenergiebedarf in Österreich liegt 2014 bei rund 378 TWh (BP, 2015). Um diesen Betrag mit Sonnenenergie zu produzieren, würde man in unseren Breiten (1000 kWh im Jahr) 378 km² an Photovoltaikanlagen benötigen. Das ist etwas mehr als ein 1/3 der Fläche des Bezirks Braunau. Der Weltenergiebedarf lag 2014 bei rund 150.000 TWh. Zur Erzeugung dieser Energiemenge würde man in Österreich dementsprechend 150.000 km² benötigen, also eine Fläche weit größer als Österreich ist. In Algerien gewinnt man jedoch aus einem m² Photovoltaik etwa 2000 kWh im Jahr. Die Fläche für die Weltenergieversorgung würde sich also auf „nur“ 75.000 km² halbieren.

In Abbildung 23 ist die Entwicklung der Photovoltaiknutzung anhand der weltweit installierten Leistung im Zeitraum von 2000 bis 2017 dargestellt. Von den dargestellten Ländern findet sich in China die größte installierte Leistung von Energiegewinnung durch Photovoltaik.

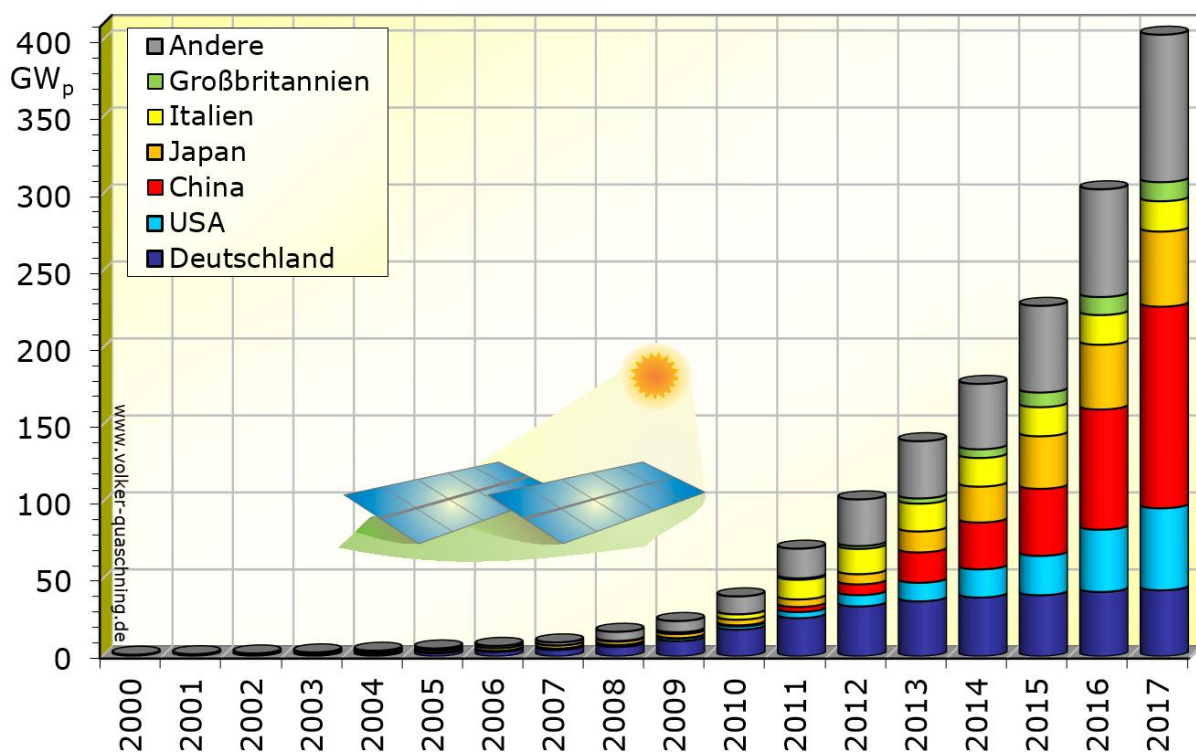


Abbildung 23: Weltweit installierte Photovoltaikleistung von 2000 bis 2017. (Quaschnig, 2019)

Funktionsweise

Abbildung 24 zeigt eine schematische Darstellung der Vorgänge in einer Solarzelle. Die Zelle besteht aus mehreren Schichten, die unterschiedliche Funktionen erfüllen. In der Raumlandungszone befinden sich positiv geladene Teilchen (Protonen, blauer Punkt mit +) und negativ geladene Teilchen (Elektronen, roter Punkt mit -). Treffen durch Lichteinfall Photonen auf die in der Abbildung blaue Antireflexbeschichtung, werden die Elektronen und Protonen voneinander getrennt. Die Protonen wandern nach unten, während die Elektronen aufsteigen und von der Stromsammelschiene eingesammelt werden. Durch diesen Vorgang wurde ein Pluspol und ein Minuspol geschaffen und somit elektrischer Strom produziert. (Quaschnig, 2013, S.125)

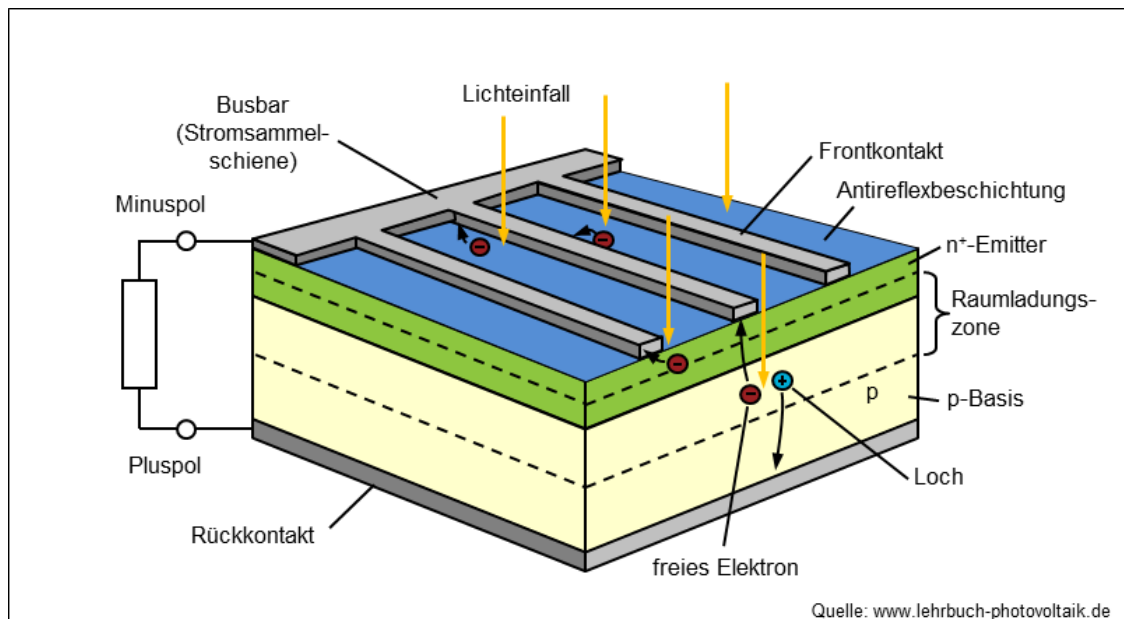


Abbildung 24 Aufbau und Funktion einer Solarzelle (Quelle: www.lehrbuch-photovoltaik.de, 2015)

Es gibt verschiedene Arten von Solarzellen, für deren Herstellung unterschiedliche Materialien und Verarbeitungsprozesse verwendet werden und die unterschiedliche Wirkungsgrade erzielen. Je höher der Wirkungsgrad, desto mehr elektrischer Strom kann pro m^2 erzeugt werden. Solarzellen mit höheren Wirkungsgraden sind meist aufwändiger in ihrer Herstellung und deshalb teurer. Von den verschiedenen Solarzellen, die aktuell zur Stromerzeugung verwendet werden, schwankt der Wirkungsgrad von 6 – 30 % in Modulen und bei 12,5 – 43,6% im Labor. (Quaschnig, 2013, S.122)

Der Zustand, in dem ein Photovoltaikmodul die größte Leistung erzielen kann, wird Maximum Power Point (MPP) genannt. Um diesen Zustand zu erreichen, muss im Modul eine gewisse Spannung erreicht werden, die sogenannte MPP-Spannung (U_{MPP}). Da ein Photovoltaikmodul diese Spannung nicht immer von selbst erreicht, ein Wechselrichter angeschlossen, der die Spannung im Modul auf U_{MPP} regelt. Ein weiterer wichtiger Faktor für die Leistung eines Photovoltaikmoduls ist die Sonneneinstrahlungsstärke, sie verhält sich linear zur Leistung. Wenn also die Sonneneinstrahlung um die Hälfte reduziert wird, verringert sich auch die Leistung um die Hälfte. Erhöhte Temperaturen senken ebenfalls die Leistung eines Photovoltaikmoduls, eine Erwärmung von ca. 25K vermindert bei kristallinen Solarzellen die Leistung um 10%. Für eine optimale Leistungsentnahme ist deswegen eine gute Durchlüftung bzw. Kühlung wichtig. Um die Leistung von verschiedenen Photovoltaikmodulen vergleichen zu können, wurde im Hinblick auf internationale Standardbedingungen (STC) der Watt Peak (W_p) als Größe eingeführt. Der W_p beschreibt die Leistung, die erreicht wird, wenn das Modul unter optimalen Bedingungen verwendet wird. Diese Bedingungen entsprechen einer Bestrahlungsstärke von $1000\text{W}/\text{m}^2$ bei einer Modultemperatur von 25°C . (Quaschnig, 2013, S.127)

Ökonomie

Die Preise für Photovoltaikanlagen sind stark gesunken. Für eine 5kW_p Anlage ohne Batteriespeicher mussten im Jahr 2005 rund 30.000€ investiert werden, im Jahr 2012 nur mehr 8000€. Ein Großteil der Investitionen fällt dabei jedoch nicht auf die Photovoltaikmodule, sondern in die Wechselrichter, Montagematerial, Montage, Planung und

gegeben falls Batterien. Die Betriebskosten sind vergleichsweise niedrig, da bis auf eventuelle Reparaturen, Versicherung und Zählermiete keine Investitionen notwendig sind. Die durchschnittliche Lebensdauer von Photovoltaikanlagen beträgt rund 20 bis 30 Jahre. Ein großer Vorteil von Photovoltaikanlagen ist, dass sie dezentral direkt beim Kunden installiert werden können und somit keine Leitung benötigt wird. (Quaschnig, 2013, S.151)

3.1.2 Solarthermie



Solarthermie – was ist dabei der Unterschied zur Photovoltaik? Bei der Solarthermie wird ein Solarkollektor zur Erwärmung von Wasser genutzt, es wird also Solarstrahlung in Wärme umgewandelt. Bei der Photovoltaik wandelt eine Solarzelle die Solarstrahlung in Strom um. Dabei ist Wärme unerwünscht, da sie den Wirkungsgrad der Stromerzeugung verschlechtert. Solarthermieranlagen sind eine der umweltverträglichsten regenerativen Energieanlagen:

- Einsparung von fossilen Brennstoffen
- Kein Landverbrauch (wenn z.B. auf dem Dach montiert)
- Verwendete Materialien unkritisch (Glas, Kupfer, Kunststoffe)
- Ein solarthermisches System benötigt 1 -3 Jahre, bis die für die Herstellung benötigte Energie erwirtschaftet wird
- Lediglich die Frostschutzmittel könnten für die Umwelt bedenklicher sein (Quaschnig, 2013, S.180-182)

Geschichte:

Das erste Patent zur Wassererwärmung erhielt Clarence Kemp 1891 auf einen Speicherkollektor zur Wassererwärmung. 1909 wurde durch Bailey William ein Anlagenkonzept entwickelt, welches Solarkollektor und Wasserspeicher trennt. Durch den Einsatz von fossilen Energieträgern kam der Ausbau von Solarkollektoren weitgehend zum Erliegen. Die Ölkrise in den 1970ern führte zu einer Wiederentdeckung der Solarthermie (wie bei so manchen Technologien). Heute (Stand 2019) ist die Wärmeerzeugung durch Solarthermie weitgehend technisch ausgereift. (Quaschnig, 2013, S.160)

Funktionsweise Wassererwärmung

Das Sonnenlicht wird von dem Solarkollektor aufgefangen, der darin enthaltene Solarabsorber absorbiert das Sonnenlicht. Dadurch wird das Sonnenlicht in Wärme umgewandelt und an das Wärmeträgermedium weitergegeben, welches meistens aus Wasser, Luft, Öl, oder Salz besteht. In Abbildung 25 wird die Funktionsweise einer

Solarthermieanlage dargestellt. Das vom Kollektor erwärmte Wärmeträgermedium wird in einem geschlossenen Kreislauf in den Warmwasserspeicher geleitet und erwärmt dort das Wasser. Da warmes Wasser aufsteigt, wird vom oberen Teil des Speichers das warme Brauchwasser angezapft. Während das Wärmeträgermedium im Wärmetauscher seine Wärme an das Wasser abgibt, kühlt es ab. Im unteren Teil des Warmwasserspeichers verlässt das abgekühlte Wärmeträgermedium den Warmwasserspeicher und wird von einer Pumpe wieder zurück in den Solarkollektor geleitet. (Quaschning, 2013, S.162)

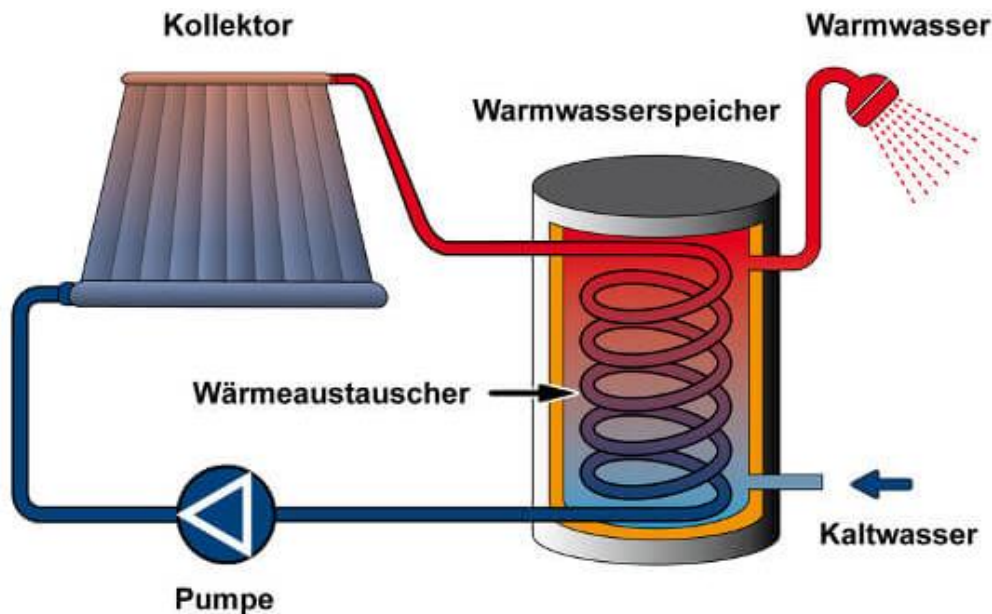


Abbildung 25: Funktionsweise einer Solarthermieanlage. (ICB Unternehmensberatung 2019)

Funktionsweise eines Solarkollektors

Die allgemeine Funktionsweise eines Solarkollektors ist in Abbildung 26 dargestellt. Das isolierte Gehäuse des Kollektors wird eine schräge Position gebracht, um im besten Fall in einem Winkel von 90° zur Solarstrahlung zu stehen und um Wasser, Schnee und Schmutz leicht ablaufen lassen zu können. Hinter der Frontglasscheibe befindet sich der Solarabsorber, welcher die Solarenergie in Wärmeenergie umwandelt.

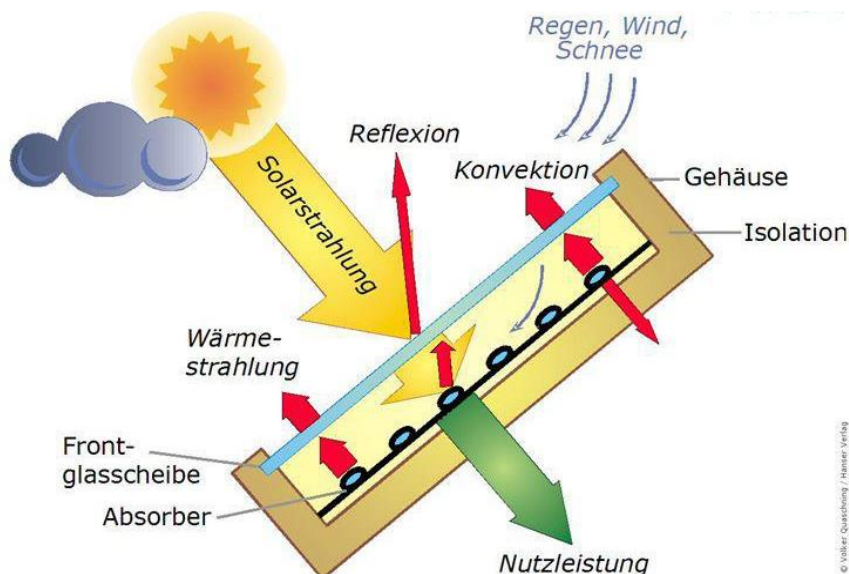


Abbildung 26: Funktionsweise eines solaren Flachkollektors im Profil. ((Quaschning, 2013, S.162)

Ähnlich wie bei der Photovoltaik kann auch bei der Solarthermie nicht die gesamte Solarstrahlung in (Wärme-) Energie umgewandelt werden. Durch Reflexionen und Wärmeverluste geht ein Anteil der Energie verloren (rote Pfeile in Abbildung 26). Um diese Verluste so gering wie möglich zu halten, wurden verschiedene Arten von Solarkollektoren entwickelt, die bei unterschiedlichen Bedingungen möglichst effizient funktionieren und somit einen hohen Wirkungsgrad erreichen. Der Wirkungsgrad summiert sich aus dem optischen Wirkungsgrad und den Wärmeverlusten der Anlage. Die Wärmeverluste werden umso größer, je wärmer der Kollektor wird. Wärmeverluste hat man jedoch nicht nur im Kollektor sondern ebenfalls in den Leitung und dem Speicher, diese sollten daher gut isoliert sein. Große Speicher haben geringere spezifische Wärmeverluste als kleine Speicher, wobei die Speicherverluste von der Größe der Oberfläche des Speichers abhängen. (Quaschnig, 2013, S.163)

Typen von Solarkollektoren

- **Schwimmbadabsorber:** Der Schwimmbadabsorber ist der einfachste Kollektortyp, der nur aus einem Absorber besteht. Der Absorber ist meistens ein schwarzes Rohr aus witterungsbeständigen Kunststoff (wegen UV-Licht und Chlor im Wasser). Vor allem im hohe Wärmeverluste.
- **Flachkollektor:** Beim Flachkollektor werden Wärmeverluste durch eine Frontglasscheibe reduziert, allerdings entstehen durch Reflexion des Sonnenlichts wieder leichte Wärmeverluste. Bei hohen Temperaturen ist der Wirkungsgrad gegenüber dem Schwimmbadabsorber deutlich höher, bei niedrigen Temperaturen aufgrund der Reflexion eventuell niedriger. Wegen der hohen Temperaturen, die erreicht werden können, werden im Flachkollektor keine Kunststoffrohre, sondern Kupfer- oder Aluminiumrohre verwendet. Die Rohre erhalten eine selektive Beschichtung, durch die sich Wärmestrahlungsverluste minimieren lassen.
- **Luftkollektoren:** Diese Art der Solarkollektoren eignet sich vor Allem für Raumluftheizung. Das Prinzip ist das gleiche wie beim Erwärmen von Wasser. Da Luft Wärme wesentlich schlechter aufnimmt, sind allerdings größere Absorberquerschnitte nötig. Luftkollektoren eignen sich speziell zur Unterstützung der Raumheizung, eine Wärmespeicherung ist jedoch aufwendig.
- **Vakuum-Röhrenkollektor:** Die Luft, die beim Flachkollektor zwischen der Frontglasscheibe und dem Absorber liegt, verursacht hohe Wärmeverluste. Durch ein Vakuum können diese Verluste vermindert werden. Um das Vakuum langfristig stabil zu halten, befindet sich der Absorber nicht länger in einer Fläche, sondern in mehreren Glasröhren. Dieses aufwändigere Prinzip resultiert in einer teureren Anschaffung, bringt aber den Vorteil höherer Energieerträge auch in der kalten Jahreszeit. (Quaschnig, 2013, S.164-169)

Typen von Solarthermie-Anlagen

- **Solare Schwerkraftanlage:** Bei der Schwerkraftanlage erwärmt der Kollektor das Wasser, welches in den oberhalb des Kollektors angebrachten Wasserspeicher steigt. Das kalte Wasser ist schwerer als das warme Wasser und sinkt daher ab, in diesem Fall beim Wasserkreislauf zum Kollektor nach unten. Das kalte Wasser wird

wieder vom Kollektor erwärmt und steigt wieder in den Speicher auf. Warmwasser entsteht jedoch nur bei ausreichender Sonneneinstrahlung, daher ist dieser Anlagentyp vor allem in südlichen Ländern häufig vertreten. (Quaschnig, 2013, S.171) In Abbildung 27 ist die Funktionsweise einer solaren Schwerkraftanlage schematisch dargestellt.

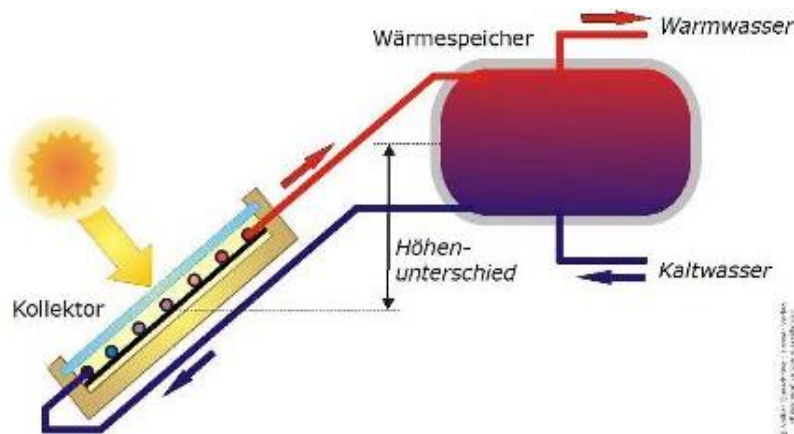


Abbildung 27: Schematische Darstellung einer solaren Schwerkraftanlage. (Quaschnig, 2013, S.164-169)

- **System mit Zwangsumlauf:** Diese Art der Solarthermie-Anlagen wird in Gegenden verwendet, in denen Frost auftreten kann. Um ein Einfrieren des Solarkreislaufs zu verhindern, wird dem Wärmeleitmedium ein Frostschutzmittel beigelegt. Mittels Wärmetauscher wird die Wärme vom Wärmeleitmedium an das (Trink)wasser abgegeben. Warmwasserspeicher befindet sich in unseren Breiten normalerweise unter den Kollektoren, daher wird eine Pumpe eingesetzt, um das kalte Wasser wieder in den Kollektor zu fördern. Da die Leistung im Winter meist nicht ausreicht, um das Brauchwasser ausreichend zu erwärmen, wird das Wasser im Wärmespeicher durch eine zusätzliche Heizquelle erwärmt, wie in Abbildung 28 zu sehen ist. (Quaschnig, 2013, S.172)

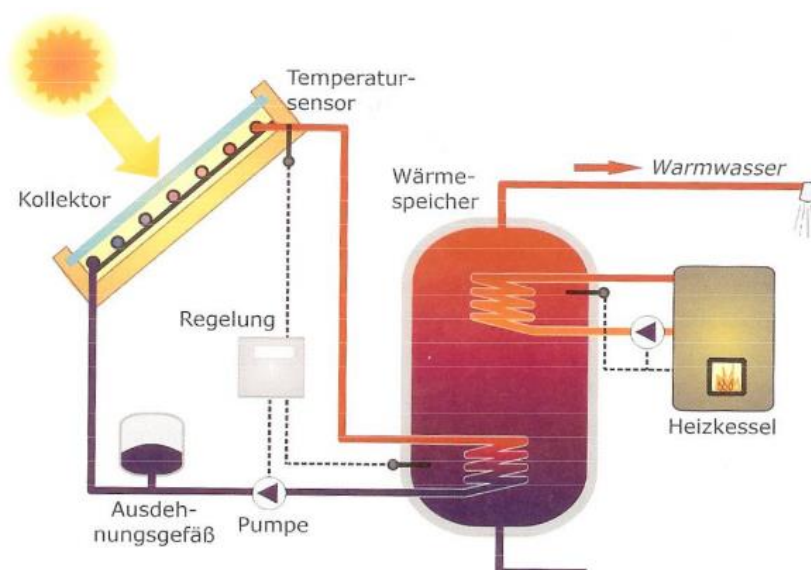


Abbildung 28: Gepumptes solarthermisches System zur Brauchwassererwärmung. (Quaschnig, 2013, S.172)

- **Heizung:** Mit der Solarthermie kann natürlich nicht nur das Trinkwasser, sondern auch die Heizung betrieben werden. Dafür ist ein getrennter Heizkreislauf notwendig, denn das Trinkwasser und das Heizwasser befinden sich in separaten Kreisläufen. Der Trinkwassercontainer kann dabei in den Heizwassercontainer integriert werden, so wird Platz gespart und die reduzierte Containeroberfläche vermindert den Wärmeverlust. Abbildung 29 zeigt eine schematische Darstellung eines solarthermischen Systems zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung. In der Schweiz und in Deutschland wurden sogenannte Solarenergiehäuser gebaut, welche ihren gesamten Heizenergiebedarf durch Sonnenenergie decken. Für ein Einfamilienhaus werden z.B. eine Kollektorfläche von 80 m² und Speicher von 40.000l benötigt. (Quaschnig, 2013, S.173-175)

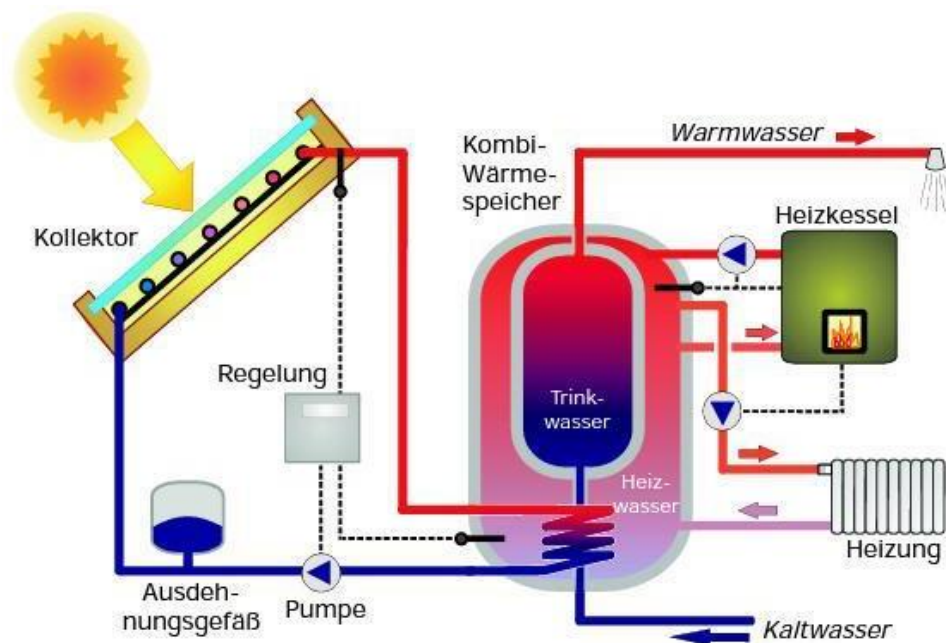


Abbildung 29: Solarthermisches System zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung. (Quaschnig, 2013, S.173)

- **Klimaanlage:** Bei heißem Wetter mit hoher Sonnenstrahlung entsteht der Bedarf zur Kühlung von Gebäuden. Mit Solarkollektoren kann praktischerweise nicht nur geheizt, sondern auch gekühlt werden. Je mehr Sonnenstrahlung, desto höher die Leistung eines thermischen Kollektors. Die produzierte Wärme wird über mehrere Kreisläufe durch eine Absorptions-Kältemaschine geleitet, die durch ein sorbierbares Kältemittel mit niedrigem Siedepunkt ausgestattet ist. Das Kältemittel verdampft schon bei geringen Temperaturen, wobei es einem Kühlsystem (Klimaanlage) Wärme entzieht. Das nun gasförmige Kältemittel wird durch Versetzen mit einem Lösungsmittel wieder in flüssigen Zustand gebracht. Dadurch entsteht wieder Wärme, welche zur Trinkwassererwärmung verwendet werden kann. In einem separaten Kreislauf werden das Kühlmittel und das Lösungsmittel voneinander getrennt, indem sie wieder erhitzt werden. Die dafür benötigte Wärme von etwa 100 bis 150°C davon stammt vom Solarkollektor. Die beiden vermischten Flüssigkeiten haben unterschiedliche Siedepunkte, wodurch sie wieder gut getrennt werden können. So kann der Prozess wieder von neuem beginnen. (Quaschnig, 2013, S.177)

- **Kochen mit der Sonne:** Bei ausreichend Solarstrahlung kann die Sonne verwendet werden, um Speisen zu erwärmen und sogar zum Siedepunkt bringen. Dazu gibt es einerseits die Kochkiste, eine einfache Holzkiste, die innen schwarz gestrichen ist und mit einer Glasplatte abgedeckt ist. Zum Kochen besser geeignet ist der sogenannte Solarkocher wie in Abbildung 30 dargestellt. Bei dieser Konstruktion befindet sich der Kochtopf im Brennpunkt eines Hohlspiegels. Zwar muss der Spiegel alle 15min neu zur Sonne ausgerichtet werden, trotzdem können auf diese Weise 3 Liter Wasser in 30min zum Kochen gebracht werden. (Quaschning, 2013, S.179)



Abbildung 30: Solarkocher mit Kochtopf im Brennpunkt des Hohlspiegels. (Solarkocher.info 2019)

Finanzierung

Wenn man sich die benötigte Größe der Anlage für Trinkwasser ausrechnen möchte, kann man mit einer vereinfachten Faustregel rechnen. Pro Person werden ca. 1 – 1,5 m² Kollektorgröße benötigt und rund 80 – 100l an Speicherkapazität. Die Klimaregionen, in denen wir uns in Österreich und Deutschland befinden, decken solarthermische Trinkwassererwärmungssysteme im Jahresmittel ca. 50-60% des Warmwasserbedarfs. In den Sommermonaten liefert eine Anlage beinahe 100% des benötigten Warmwassers, in den Wintermonaten, bei abnehmender Solarstrahlung, sinkt die Effizienz deutlich und es muss mit zusätzlichen Heizsystemen geheizt werden. Abbildung 31 zeigt eine Übersicht über die prozentuelle Effizienz solarthermischer Trinkwasseranlagen. (Quaschning, 2013, S.180).

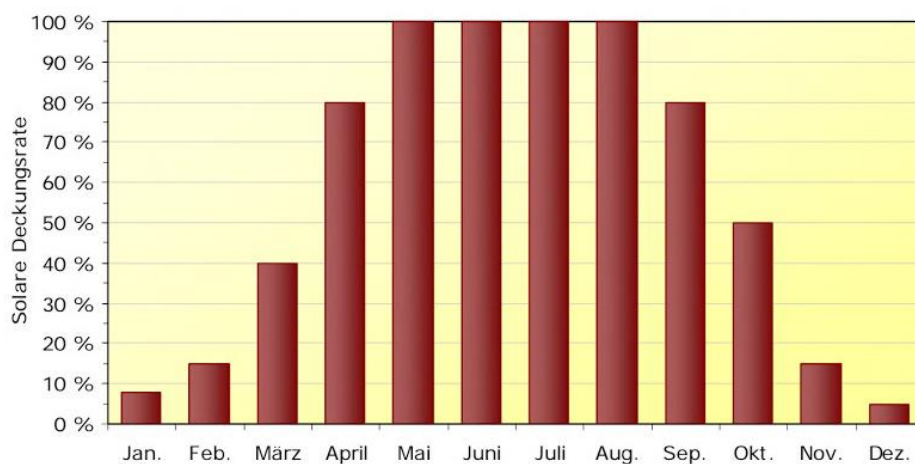


Abbildung 31: Typischer Verlauf der solaren Deckungsrate solarthermischer Trinkwasseranlagen. (Quaschning, 2013, S.180).

Möchte man Solaranlagen zum Heizen verwenden, können sie unterstützend zu anderen Heizsystemen fungieren. Da im Winter die Solarstrahlung aber relativ gering ist, wird eine größere Kollektorfläche benötigt. Je größer die Kollektorfläche, desto höher ist der von der Sonne gedeckte Teil des Wärmebedarfs. Allerdings produzieren große Kollektorsysteme auch Überschüsse, die schwer genutzt werden können. Abbildung 32 gibt einen Überblick über die Deckung des Warmwasserbedarfs und Heizungsbedarf von Solaranlagen und zusätzlicher Heizungssysteme. Im Schnitt deckt eine Solaranlage bei einem Altbau den Heizungs- und Warmwasserbedarf von ca. 20%. (Quaschnig, 2013, S.183).

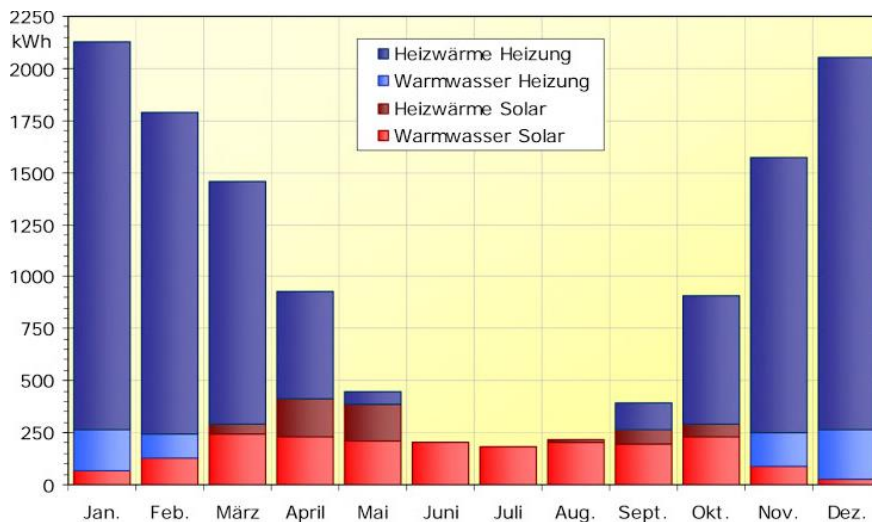


Abbildung 32: Typischer Verlauf von Heizwärmebedarf und Warmwasserbedarf in Deutschland. Rot stellt den Anteil der Solaranlage dar, blau den Anteil des zusätzlichen Heizungssystems. (Quaschnig, 2013, S.183).

3.1.3 Solarkraftwerke

In diesem Abschnitt widmen wir uns den Großanlagen zur Stromerzeugung. Natürlich kann und wird auch aus den bereits erwähnten Photovoltaikanlagen Strom in der Größenordnung eines Kraftwerks produziert. Da die Funktionsweise einer Großanlage sich nicht wesentlich von einer Kleinanlage auf einem Hausdach unterscheidet, werden wir hier die anderen Möglichkeiten, aus Sonnenenergie Strom zu gewinnen, betrachten. Diese Systeme sind:

- Parabolinnenkraftwerk
- Heliostatenkraftwerk
- Dish-Sterling-Kraftwerk
- Aufwindkraftwerk
- Konzentrierte Photovoltaikkraftwerke

Es gibt hier generell zwei Systeme der Energiegewinnung. Die Photovoltaik, welche aus Sonnenenergie direkt elektrischen Strom gewinnt. Und solarthermische Kraftwerke, welche die Sonnenenergie zuerst in Wärme umwandeln und dann erst in Strom produzieren. Die Informationen werden hierbei, wenn nicht anders angegeben, aus Quaschnig (2013) (S. 191 – 212) und Watter (2013) (S. 255 – 270) entnommen.

Parabolrinnenkraftwerk:

Die ersten Kraftwerke mit Parabolrinnen wurden bereits vor dem ersten Weltkrieg in den USA und in Ägypten errichtet. Aufgrund technischer Schwierigkeiten wurden diese Projekte jedoch nicht aufgegeben. 1984 wurde das erste kommerzielle Kraftwerk in der kalifornischen Mojave-Wüste eröffnet. 1991 waren es bereits 9 Solarkraftwerke mit einer elektrischen Leistung von 354 MW. Deren jährliche Einspeiseleistung liegt bei rund 800 GWh im Jahr.

Das augenfälligste Merkmal eines Parabolrinnenkraftwerkes sind die Parabolrinnenkollektoren. Ein Parabolrinnenkollektor ist ein gewölbter Spiegel, welcher die Sonnenenergie auf ein im Brennpunkt verlaufendes Absorberrohr konzentriert. Solche Parabolrinnen können je nach Anlage mehrere hundert Meter erreichen und sind meist parallel angeordnet. Ausgerichtet sind die Spiegel in der Regel in Nord-Südrichtung. Die Kollektoren werden einachsigt (von Osten nach Westen) der Sonne nachgeführt.

Der Spiegel erreicht eine bis zu 80fache Konzentration des Sonnenlichts im Brennpunkt bzw. auf das Absorberrohr. Im Absorberrohr befindet sich Thermoöl, welches auf 300 – 400°C erhitzt wird. Über einen Wärmetauscher wird die Hitze des Thermoöls an einen Wasserdampfkreislauf abgegeben. Der Wasserdampf treibt wiederum eine Turbine bzw. einen Generator an. Um eine kontinuierliche Energiegewinnung zu gewährleisten, kann der Wasserdampf auch mit konventionellen Mitteln auf die geforderte Temperatur erhitzt werden. Eine Darstellung eines Parabolrinnenkraftwerks ist in Abbildung 33 gezeigt.

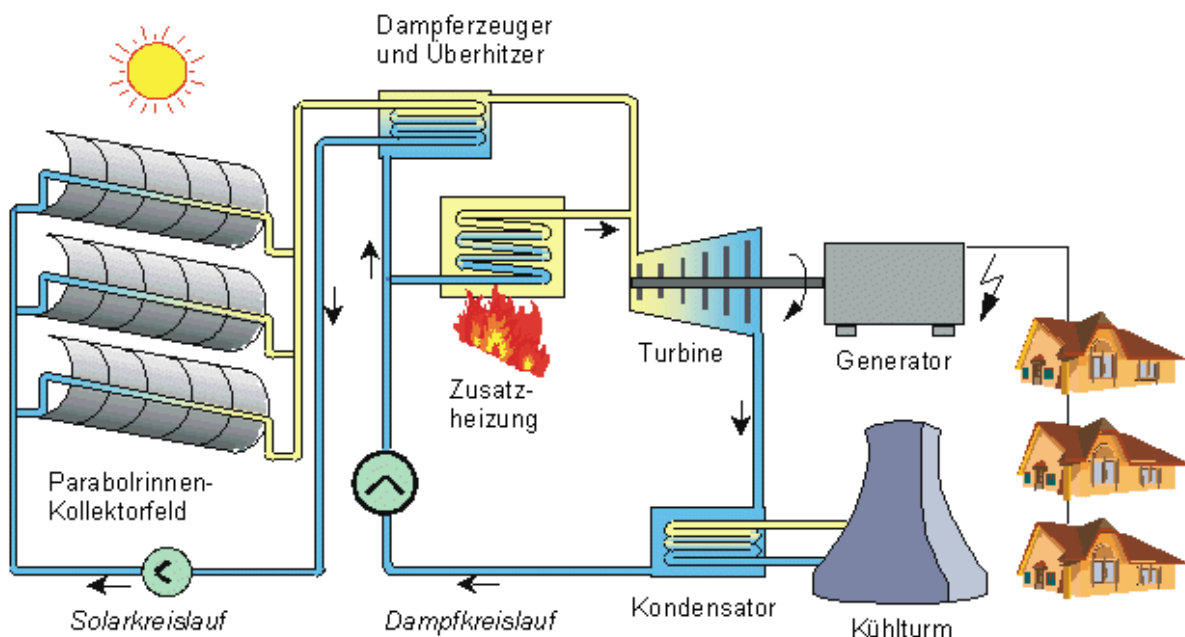


Abbildung 33: Schema eines Parabolrinnenkraftwerks. (Quaschning, 1999)

Dadurch können Schlechtwetterperioden und die Nachtstunden überbrückt werden. Der Spitzenwirkungsgrad des Parabolrinnenkraftwerkes liegt bei 18-21 %, der mittlere Wirkungsgrad liegt bei 10 – 15%.

Alternativ zum Thermoöl kann als Wärmeträger auch Wasserdampf verwendet werden. Bei diesem Verfahren fällt der Wärmetauscher weg. Die Betriebstemperatur liegt hierbei zwischen 400 und 500°C. Ein Nachteil ist jedoch die Auslegung des Systems auf einen

Betriebsdruck von 100 – 120 bar. Das System ist jedoch noch in der Forschung und Entwicklung.

Heliostatenkraftwerk (Solarturm-Kraftwerk):

Das Solarturm-Kraftwerk ist wiederum ein thermisches Kraftwerk. Um einen Solarturm sind zahlreiche zweiachsig drehbare Spiegel (Heliostaten) angeordnet. Die Spiegel werden computergesteuert der Sonne nachgeführt und reflektieren das einfallende Sonnenlicht auf einen Brennpunkt am Solarturm. Das dortige Wärmeträgermedium wird auf 600 – 850°C erwärmt. Als Wärmeträgermedium wird Wasserdampf (für Gasturbine), Heißluft (für Gasturbine) oder flüssiges Nitratsalz (druckloser Wärmeträger, für Wärmeweitergabe an Wasser oder Luft) verwendet. Der mittlere Wirkungsgrad liegt aktuell bei 14 – 25%. Es wurden bereits einige Anlagen realisiert. Eine der größten davon, die „Planta Solar 20 (PS20)“, befindet sich in Andalusien. Das Turmkraftwerk hat eine Nennleistung von 20 MW. Das Solarfeld umfasst 850.000 m² und 1255 Spiegel. Im 165m hohen Turm wird Wasser in Dampf umgewandelt und damit eine Turbine angetrieben. Ein Speichersystem sorgt dafür, dass ebenso in der Nacht oder bei bewölktem Himmel Energie produziert werden kann. (Quaschnig, 2013, S. 199) Abbildung 34 zeigt die „Planta Solar 10“ und die daneben, in Bau befindliche Planta Solar 10. (Wikipedia, 2007)



Abbildung 34: Heliostatenkraftwerk in Spanien: "Planta Solar 10" (Vordergrund) und "Planta Solar 20" (Hintergrund). (Wikipedia, 2007)

Dish-Stirling Kraftwerk

Dish bezieht sich auf den Paraboloidspiegel, welcher die Form einer Schüssel (english: dish) aufweist. Der Hohlspiegel konzentriert das Licht auf einen Brennpunkt in dem sich ein Sterling-Heißgasmotor befindet, siehe Abbildung 35. Dieser wandelt Wärme in Bewegung um, womit wiederum ein Generator angetrieben wird. Die Größe des Spiegels liegt zwischen 3 und 25 Meter, die Leistung bis zu 50 kW. Der Wirkungsgrad liegt bei 16 – 23 %.



Abbildung 35: Prototyp einer 10kW Dish-Stirling-Anlage bei Almería in Spanien.

Aufwindkraftwerk:

Bei einem Aufwindkraftwerk wird die Sonnenstrahlung nicht mehr auf einen Punkt konzentriert. Das Kraftwerk besteht aus einem Kollektorfeld, in dessen Mitte sich ein Kamin mit eingebauter Turbine befindet. Zum Antrieb der Turbine wird der sogenannte Kamineffekt ausgenutzt. Es wird hierbei die Luft unter dem Kollektorfeld (Glas oder Kunststoffdach) mittels der Sonnenstrahlung erwärmt. Die warme Luft steigt durch den Kamin auf, wobei die Turbine angetrieben wird. In Abbildung 36 ist dieses Prinzip schematisch dargestellt. Die Wärme unter den Kollektoren lässt sich zum Beispiel mit Wasser gefüllten Schläuchen speichern, wodurch ein kontinuierlicher Betrieb gesichert werden kann. Der Wirkungsgrad derartiger Anlagen ist relativ gering und hängt linear von der Turmhöhe ab (je höher, desto besser Wirkungsgrad).

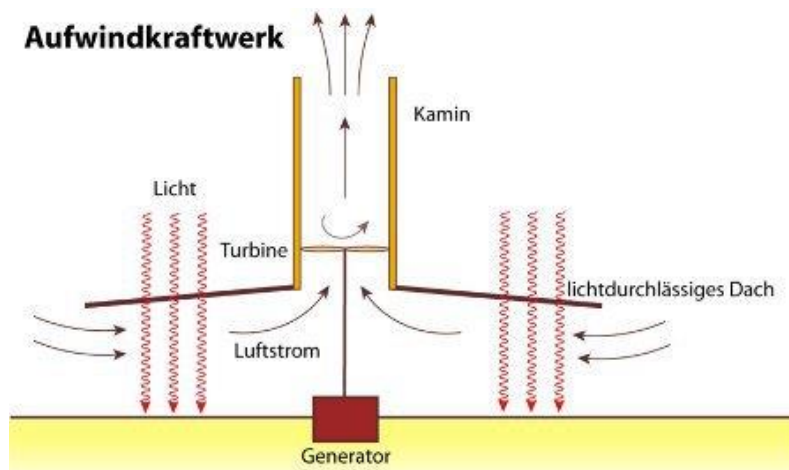


Abbildung 36: Darstellung eines Aufwindkraftwerks.

In den 1980ern wurde in Spanien eine Versuchsanlage mit einem Kollektordurchmesser von 244m und einer Turmhöhe von 195 Meter bei 5 Meter Durchmesser errichtet. Es wurden damit Leistungen von bis zu 50 kW erreicht. Laut welt.de (2012) ist ein in Australien geplantes Projekt einer 200 MW mit einer Schlothöhe von 1000 Meter gescheitert. In Namibia ist ein 1,5 km hoher Turm geplant, in Arizona eine 400 MW Anlage. Ob diese Kraftwerke letztendlich gebaut werden, ist noch nicht sicher. (welt.de, 2012)

Konzentrierte Photovoltaikzellen

Konzentrierte Photovoltaikzellen werden auch CPV (concentrated photovoltaics) genannt. Der Hintergrund von konzentrierten Photovoltaikzellen ist jener, dass dadurch Material für die Solarzelle eingespart werden kann, bzw. aus der gleichen Fläche mehr Energie gewonnen werden kann. Zum Beispiel kann bei einer 100fachen Konzentration des Lichtes auch die Photovoltaikzelle auf 1/100tel reduziert werden, womit auch weniger Kosten für die Zellen anfallen. Wegen dem geringeren Materialverbrauch kann auch ein kostenintensiveres Material verwendet werden, mit dem höhere Wirkungsgrade erzielt werden können. Die Ausführungsformen sind unterschiedlich. Es sind Parabolrinnen, Hohlspiegel oder die Flatcon-Technik möglich.

Um den hohen Wirkungsgrad von 25 % zu erreichen, werden mehrere Solarzellen übereinander gestapelt. Die Mehrfachzelle kann auf 3 mm² reduziert werden, einem fünfhundertstel eines herkömmlichen Solarmodul. Bei der Flatcon-Technik wird über der Solarzelle, in einer Höhe von 10 cm, eine Fresnel-Linse installiert, welche das Licht um den Faktor 400 – 500 konzentriert. Die Zellen sind zur Wärmeableitung auf Kupferträgern montiert und werden dadurch ausreichend passiv gekühlt.

Ökonomie

Die Herstellung von Solarzellen ist relativ energieaufwendig, für den Betrieb von Photovoltaikanlagen wird aber keine weitere Energie benötigt. In Mitteleuropa dauert es ca. zwei bis drei Jahre, bis eine Photovoltaikanlage dieselbe Menge an Energie produziert hat, die für ihre Herstellung benötigt wurde (Stand 2013). Bei einer Lebensdauer von 20 bis 30 Jahren erzeugt eine Photovoltaikanlage somit ein Vielfaches der Herstellungsenergie.

Energieaufwand zur Herstellung sinkt jährlich. Wurde laut Hagedorn im Jahr 1989 für Mono-Silizium Module noch bei 12.200 - 20.500 kWh/kW(p), so lag die benötigte Energie im Jahr 2010 nur mehr bei 10.420 - 13.280 (lt. Ito et al). Mono Silizium Module sind hierbei die Energieaufwendigsten Module, für CIS/CIGS Module wurde laut Kim Fthenakis nur 2.400 - 4.870 kWh/kW(p) benötigt. Bei durchschnittlich 1000 kWh pro m² im Jahr sieht man, dass sich bei Dünnschichtmodulen der energieaufwand in rund 2,5 bis 5 Jahren amortisiert hat. Zu beachten ist hierbei auch, dass die Technologien immer weiter verbessert werden und infolgedessen auch die benötigte energie für die Herstellung sinkt. Es laufen auch vielversprechende Versuche, ausgediente Photovoltaikzellen aufgrund ihrer Bestandteile zu recyceln. (Quaschnig, 2013, S.152)

Der Hauptvorteil solarthermischen Anlagen ist die einfache Implementierung von Wärmespeichern, womit eine Versorgungssicherheit (wenn auch nur für relativ kurze Zeit) gewährleistet werden kann. Der Nachteil gegenüber Photovoltaikanlagen ist geringe Bandbreite an Nennleistung. Während bei Photovoltaikanlagen von mW bis MW alle Anlagen realisierbar sind, ist bei solarthermischen Anlagen eine Wirtschaftlichkeit erst ab 50 – 200 MW gegeben (mit Ausnahme der Dish – Sterling – Kraftwerke). Zusätzlich wird für ein Kraftwerk eine relativ große Fläche benötigt.

Im Jahr 2012 lagen die Kosten für die Stromerzeugung durch Parabol- und Solarturm Kraftwerken in Spanien bei 20 Cent /kWh, in Nordafrika bei 15 C/kWh, und waren somit

deutlich teurer als konventionelle Kraftwerke. Es ist jedoch davon auszugehen, dass bei einer Großserienfertigung von Solarthermischen Kraftwerken, wie bei Photovoltaikanlagen vorgezeigt, eine Kostensenkung des Materials eintreten wird.

Ökologie:

Der Energiebedarf für die Herstellung von thermischen Solaranlagen ist laut Quaschnig (2013) bereits unter einem Jahr amortisiert. Das heißt, nach einem Jahr hat die Anlage bereits mehr Energie produziert, als für die Herstellung aufgewendet wurde. Die CO₂ Emissionen liegen im Betrieb bei Null. Wird jedoch zur Überbrückung von „Energielücken“ ein parallel betriebener fossiler Brenner verwendet, sollte der fossile Anteil an der Energiegewinnung nicht 10% überschreiten. Ansonsten können durchaus höhere CO₂ Emissionen als bei einem reinen kalorischen Kraftwerk entstehen. Konventionelle Kraftwerke mit zusätzlichen kleinen Solarkraftwerken bringen generell keinen Nutzen für den Klimaschutz. Solare Kraftwerke lassen sich im Regelfall nicht in Gebäude integrieren. Daraus resultiert ein großer Flächenbedarf. Ein zusätzlicher Faktor ist der Bedarf an Kühlwasser. Gerade in sonnenreichen Gebieten ist Wasser oft eine Mangelware. Es lässt sich zwar ein solares Kraftwerk auch mit Trockenkühlung betreiben, dadurch sinkt jedoch leicht der Wirkungsgrad und die Kosten steigen leicht an. Theoretisch könnte in der Nähe zum Meer die Verwendung von Meereswasser zur Kühlung verwendet werden und dieses mit der Abwärme des Kraftwerkes dabei gleich entsalzen werden.



Geschichte der Wasserkraft

Es wird angenommen, dass in China bereits vor 5000 Jahren Wasserkraft genutzt wurde. In Mesopotamien wurde rund 1500 v.Chr. Wasserkraft zur Bewässerung der Felder verwendet. In der Zeit des römischen Imperiums wurden Wasserräder benutzt, um Mühlsteine anzutreiben. 1767 wurde in England das erste gusseiserne Wasserrad entwickelt, welches eine höhere Belastungsgrenze aufwies und daher auch eine höhere Leistung ermöglichte. Bis zum Ende des 19. Jhdts wurde bei der Wasserkraft nur die mechanische Energie genutzt. 1880 wurde in England das erste elektrische Wasserkraftwerk in Betrieb genommen. 1890 wurde in Bad Reichenhall das erste Wechselstromkraftwerk Deutschlands in Betrieb genommen. (de.wikipedia.org, 2015)

Der Wasserkreislauf

Der Wasserkreislauf beschreibt die Transportprozesse und den Weg des Wassers durch die einzelnen Sphären der Erde, dargestellt in Abbildung 37. Durch Sonneneinstrahlung entsteht Verdunstung, sowohl auf dem Meer als auch auf dem Festland, das nun gasförmige Wasser steigt auf, bis es in der Höhe auf kühlere Luftschichten trifft. In der kühleren Umgebung kondensiert der Wasserdampf und es bilden sich Wolken, welche ihre Last als Niederschlag wieder an die Erdoberfläche zurückgeben. Das als Niederschlag an der Erdoberfläche angekommene Wasser versickert entweder in den Erdboden, wird als Schnee oder Eis zwischengespeichert, von Vegetation absorbiert oder fließt direkt in Oberflächengewässer. Durch Oberflächenabfluss und Grundwasserströme bewegt sich das Wasser wieder ins Meer und der Kreislauf schließt sich. (Paeger, J., 2006-2017)

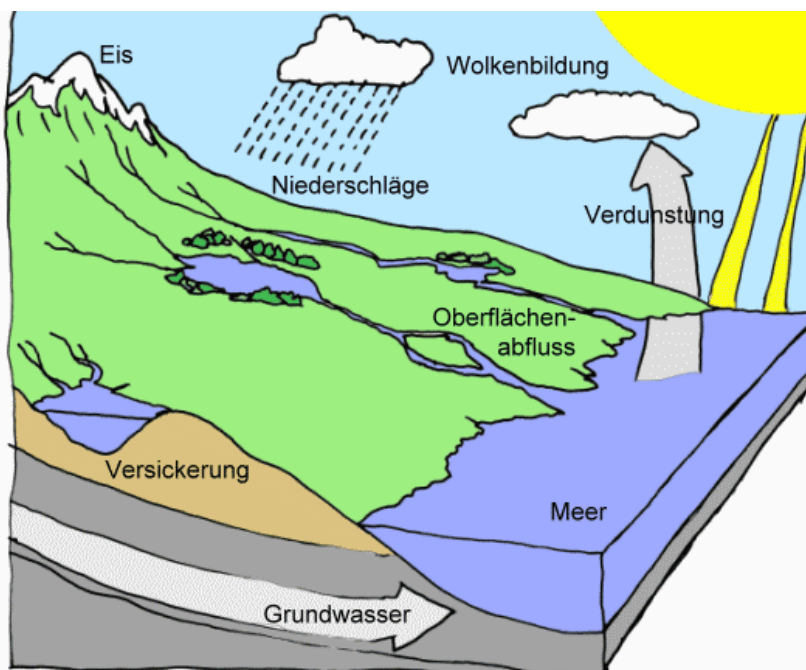


Abbildung 37: Schema des globalen Wasserkreislaufs. (Raven et al., 1993, S. 82.)

Als Gesamtmenge an auf der Erde vorkommenden Wassers wird $1,566 \times 10^9 \text{ km}^3$ angegeben (Gebhardt et al., 2007, S. 500). Diese Menge teilt sich wie in Abbildung 38 dargestellt folgendermaßen auf:

	Volumen [in 1000 km ³]	Anteil [%]	Zirkulation [Jahre / Tage]
Ozeane	1476000	94,23	2911 Jahre
Grundwasser	60000	3,83	5000 Jahre
Gletscher und Permafrost	30000	1,92	7500 Jahre
Seen und Sümpfe	290	0,0185	7,4 Jahre
Flüsse	2	0,000128	17 Tage
Bodenfeuchte	16	0,00102	390 Tage
Wasser in Lebewesen	2	0,000128	14 Tage
Wasser in Atmosphäre	14	0,000894	8 Tage

Abbildung 38 Tabelle mit Wasservorkommen der Erde (Datenquelle: Gebhardt et al., 2007, S. 501, eigene Erstellung)

70,7% der Erde ist von Wasser bedeckt, das sind rund 361 Millionen km². Addiert man die Eisflächen mit einer Fläche von 16,1 Millionen km² hinzu, kommt man sogar auf rund 75%. Betrachtet man Abbildung 38, so sieht man, dass weniger als 6% des Wassers als Süßwasser vorhanden ist. Und von diesem Süßwasservorrat sind wiederum 95% in Gletschern, Permafrost oder Grundwasser gespeichert. Abbildung 38 zeigt ebenso die Zirkulationsdauer des Wassers. Man kann hier in zwei verschiedene Wasserkreisläufe unterscheiden. Den schnellen Wasserkreislauf mit der Atmosphäre, Landoberfläche und der oberen Schicht der Ozeane, und dem langsamen Wasserkreislauf, bestehend aus der Tiefenzirkulation der Ozeane, teilweise dem Grundwasser und den Gletschern. (Gebhardt et al., 2007, S. 500 – 501)

Potenzial der Wasserkraft

In Österreich bestehen bereits mehr als 5000 Wasserkraftwerke (Stand 2017). Damit sind 70% der technisch-wirtschaftlichen Wasserkraft für Österreichs Fließgewässer bereits ausgebaut. Eine 2017 zusammengetragene Erhebung der Wasserkraftwerke, die in Österreich kürzlich fertiggestellt wurden oder sich in Planung befinden, gibt einen Überblick über das aktuelle Potenzial der Wasserkraft in Österreich. Dabei wurden 211 Wasserkraftwerke als in Planung befindlich erhoben, also entweder nur Vorhaben oder bereits bei der Behörde eingereicht bzw. bewilligt, jedoch noch nicht in Bau. Zusätzlich zu diesen geplanten Wasserkraftwerken befanden sich 2017 davon 148 in Bau oder seit kurzem in Betrieb, was eine Gesamtzahl von 359 (geplanten und bereits realisierten) Wasserkraftprojekten ergibt. Seit 2010 steigt die Zahl an geplanten und bereits realisierten Wasserkraftprojekten jährlich um ca. 7,5%. Abbildung 39 gibt einen Überblick über die Entwicklung der Wasserkraftwerke in Österreich von 2010 bis 2017. (Schabhüttl, S. 2017)

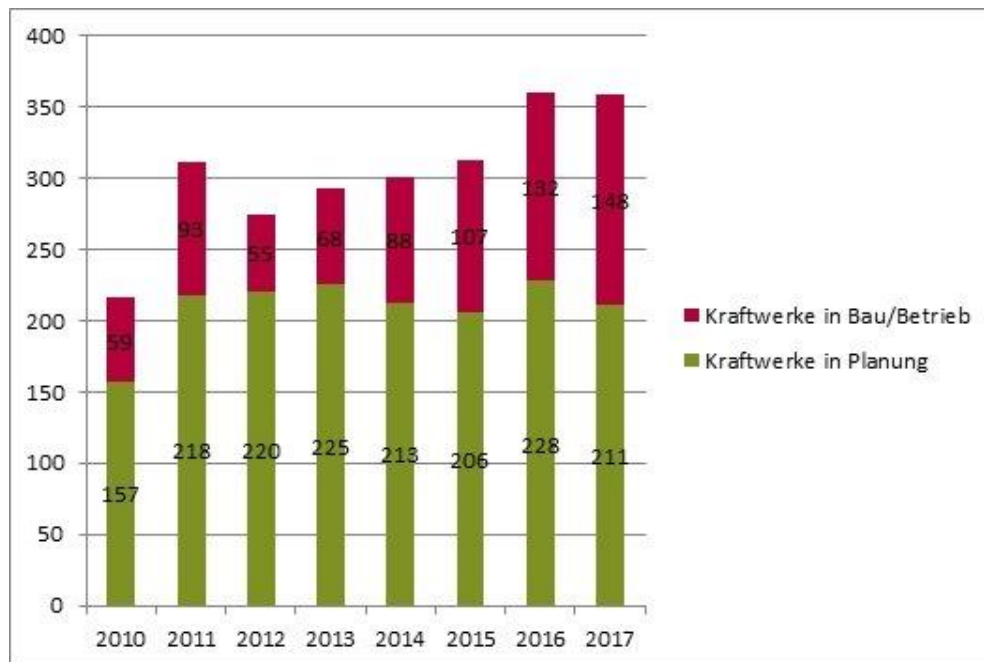


Abbildung 39: Entwicklung der Kraftwerke in Planung, Bau oder kürzlich in Betrieb 2010-2017. (Schabhüttl, S., 2017)

Bei 58 (16 %) der 359 erhobenen Kraftwerke handelt es sich um Ausbauten an bestehenden Kraftwerksstandorten, 301 (84 %) sind Neubauten. Im Bundesländervergleich sind Steiermark, Kärnten und Tirol Spitzenreiter mit 81, 80 und 73 Kraftwerken, gefolgt von Oberösterreich (44), Vorarlberg (36), Salzburg (30), und Niederösterreich (15). (Schabhüttl, S. 2017)

Funktionsweise

Ein Wasserkraftwerk nutzt die Strömung des Wassers, um aus der kinetischen Energie (Bewegungsenergie) elektrische Energie zu produzieren. Diese Umwandlung wird durch eine Turbine ermöglicht. Das Herz eines Wasserkraftwerkes ist daher die Wasserturbine. Es gibt für unterschiedliche Fallhöhen des Wassers und Durchflussmengen jeweils optimierte Wasserturbinen. Abbildung 40 zeigt die Einsatzgebiete unterschiedlicher Wasserturbinen (Pelton, Francis, Kaplan, Ossberger, Rohr), abhängig von der Durchflussmenge des Wassers und dessen Fallhöhe. (Quaschnig, 2013, S.246)

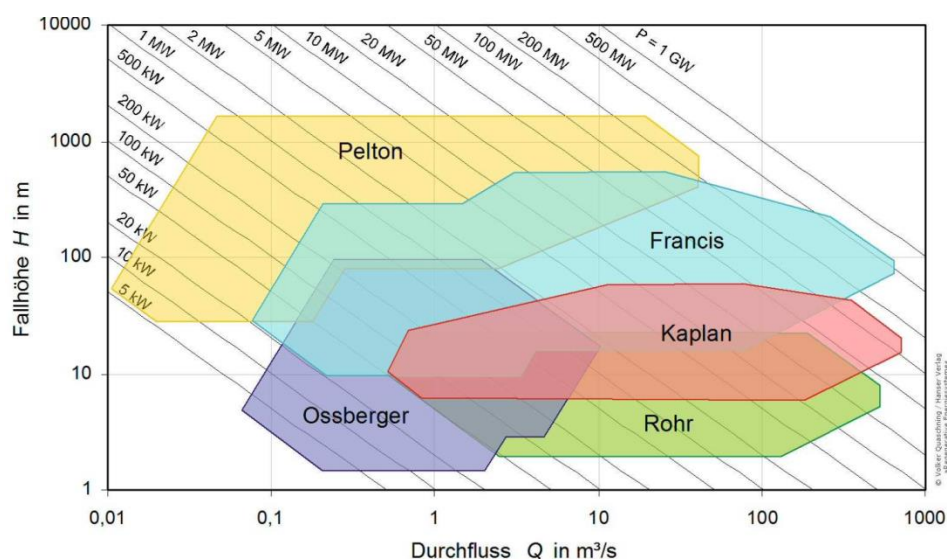


Abbildung 40: Einsatzbereiche verschiedener Wasserturbinenarten (Quaschnig, 2013, S. 246)

3.2.1 Laufwasserkraftwerke

Ein Laufwasserkraftwerk wird auch als Laufkraftwerk oder Flusskraftwerk bezeichnet. Das Wasser wird hierbei mit einer Stauwehr rückgestaut. Die Turbinen sind entsprechen entweder der Kaplan oder Francis Bauweise. Die Fallhöhe von Laufwasserkraftwerken ist meist sehr gering, was durch die hohe Durchflussmenge kompensiert wird. Diese Art von Kraftwerk produziert rund um die Uhr Energie, und wird daher zur Grundlastversorgung verwendet. (Watter, 2013, S. 100)

Ein Rechen beim Turbineneinlauf verhindert eine Beschädigung der Turbine durch Treibgut. Die Kaplan- oder Francis-Turbine treibt einen Generator an, welcher die Bewegung in elektrische Energie umwandelt. Große Laufkraftwerke haben mehrere parallele Turbinen. Bei Niedrigwasser wird eine Anzahl der Turbinen abgeschaltet, um die restlichen Turbinen mit ausreichend Wasser versorgen zu können und einen hohen Wirkungsgrad zu gewährleisten. Bei Hochwasser muss das überschüssige Wasser ungenutzt über die Wehranlage geleitet werden. (Quaschnig, 2013, 249 – 250)



Abbildung 41 Donaukraftwerk Altenwörth (Verbund.com, 2015)

Österreichs größtes Laufkraftwerk liegt erwartungsgemäß an der Donau. In Altenwörth wurde im Jahr 1976 das Kraftwerk mit einer Nennleistung von 328 MW eröffnet (siehe Abbildung 41). Im Laufe eines Jahres werden 1967,6 GWh Strom produziert. Es werden Kaplan-Turbinen verwendet. (Verbund.com, 2015)

3.2.2 Speicherkraftwerke

Hierbei wird Wasser in hoch gelegenen Lagen gespeichert (Speichersee) und bei Bedarf Strom erzeugt. Das Wasservolumen ist bei diesem Kraftwerktyp meist gering, dafür ist die Fallhöhe des Wassers hoch, daher werden als Turbinen meist Francis- oder Pelton-Turbinen verwendet. Ein großer Vorteil ist, dass die Leistung eines Speicherkraftwerkes innerhalb weniger Minuten zur Verfügung steht und flexibel geregelt werden kann. (Watter, 2013, S. 101)

Die Staudämme zur Speicherung des Wassers können bis zu 300m Höhe erreichen. Mittels einer Druckrohrleitung wird das gespeicherte Wasser in das Maschinenhaus geleitet (bis zu 200 bar Wasserdruck), indem die Turbine angetrieben wird. Wie bei einem Laufkraftwerk

treibt die Turbine wiederum einen Generator an, welcher die kinetische Energie in elektrische Energie umwandelt. (Quaschnig, 2013, S. 251 – 252)

Eine Spezialform des Speicherkraftwerkes ist das Pumpspeicherkraftwerk. Bei diesem Typ wird meist das für die Stromproduktion verwendete Wasser in einem Unterbecken gesammelt. Treten im Netz nun Leistungsüberschüsse auf, werden diese genutzt um das Wasser vom Unterbecken wieder zurück in das Speicherbecken zu pumpen. Durch das Hochpumpen des Wassers entstehen natürlich Verluste (aufgewendete Energie zum Hochpumpen / erzeugte Energie durch hochgepumptes Wasser). Diese liegen bei 20 – 30%. Da Elektrizitätsüberschüsse jedoch relativ billig bezogen werden können, und (Pump)Speicherkraftwerke meist für Spitzenlast (= hoher Strompreis) verwendet werden, ist ein Pumpspeicherkraftwerk wirtschaftlich meist sehr attraktiv. (Quaschnig, 2013, S. 252 – 253)



Abbildung 42 Pumpspeicherkraftwerk Malta, Kölnbreinsperre (Quelle: verbund.com, 2015)

Abbildung 42 zeigt die Kölnbreinsperre der „Malta Hauptstufe“. Mit einer Nennleistung von 730 MW ist die „Malta Hauptstufe“ das größte Pumpspeicherkraftwerk in Österreich. 1979 startete der Betrieb. Es werden 618,4 GWh im Jahr erzeugt. Die mittlere Fallhöhe beträgt 1106 Meter. Als Wasserturbinen dienen Pelton-Turbinen. (verbund.com 2015)

3.2.3 Sonstige Wasserkraftwerke

Die Kraft des Wassers wird auf verschiedenste Arten genutzt. Hier werden diesbezüglich das Gezeitenkraftwerk, das Wellenkraftwerk, das Meeresströmungskraftwerk, Wave Star, Bodenwellengenerator, Seeschlange und Strom Boje vorgestellt.

Ein **Gezeitenkraftwerk** nutzt den Tidenhub, also die Höhenunterschiede des Meeresspiegels zwischen Ebbe und Flut) im Küstenbereich zur Energiegewinnung. Hierzu wird mittels eines Dammes eine Bucht abgeriegelt. Die folgende Abbildung 43 stellt die Funktionsweise eines Gezeitenkraftwerkes dar. Meerwasser kann nur durch eine Turbine in die Bucht strömen, und treibt dabei dieselbe an. Bei der Gezeitenumkehr strömt Wasser aus

der Bucht ins offene Meer und treibt wiederum die Turbine an. Nachteilig ist hierbei, dass die Leistungsabgabe nicht kontinuierlich ist und bei der Gezeitenumkehr aufgrund der fehlenden Strömung keine Energie produziert wird. (Quaschnig, 2013, S. 254)

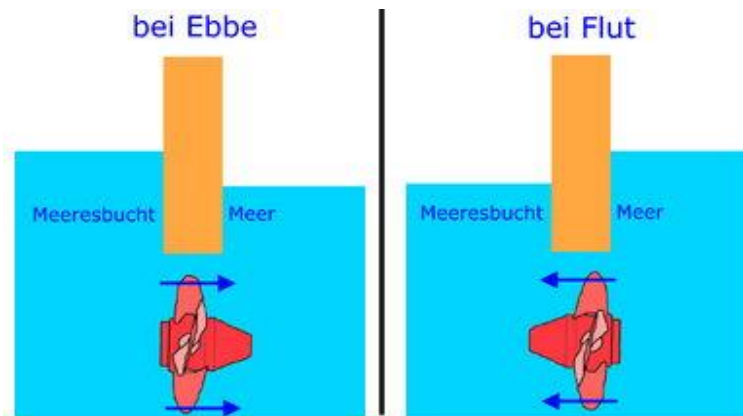


Abbildung 43: Funktionsweise eines Gezeitenkraftwerks. (Gezeitenkraftwerke.info, 2008)

Bei einem **Wellenkraftwerk** wird die Bewegung der Wellen in Energie umgewandelt (Abbildung 44). Es gibt verschiedenste Systeme, hier angeführt werden das Schwimmersystem und das Kammersystem. Bei den Schwimmersystemen ist ein Schwimmkörper mit dem Grund verankert. Mit der Auf- und Abbewegung des Schwimmers kann ein Kolben angetrieben werden. Und bei einem Kammersystem wird die Turbine durch die Luftströmung des oszillierenden Wasserstands angetrieben. Stürme fordern den Anlagen eine extreme Anlagenhaltbarkeit ab. Der große Durchbruch bei Wellenkraftwerken ist bis jetzt noch nicht gelungen. (Quaschnig, 2013, S. 254 – 255)

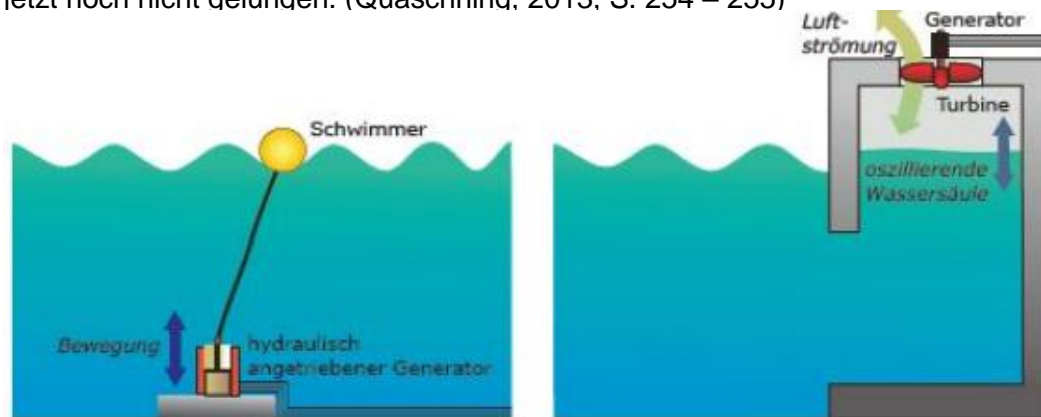


Abbildung 44: Prinzip von Wellenkraftwerken. Schwimmersystem (links) und Kammersystem (rechts). (Quaschnig, 2013, S. 255)

Ein **Meeresströmungskraftwerk** funktioniert ähnlich wie ein Windkraftwerk an Land, nur dass sich der Rotor unter Wasser dreht (Abbildung 45). Zu Wartungszwecken kann der Rotor über die Wasseroberfläche gehoben werden. Da Wasser eine deutlich höhere Dichte als Luft hat, kann bereits bei geringen Strömungsgeschwindigkeiten eine hohe Leistung erzielt werden. Der Bau von Meeresströmungskraftwerken beschränkt sich auf Gebiete mit Wassertiefen von ca. 25m, also an Landspitzen, Meeresbuchten, zwischen Inseln und Meerengen. (Quaschnig, 2013, S. 256)

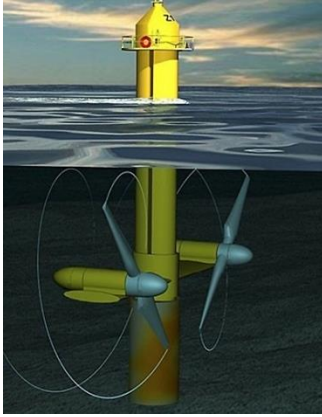


Abbildung 45: Darstellung eines Meeresströmungskraftwerks. (Sea Generation Ltd)

Die Funktionsweise des **Wave Star** nutzt die Wellenbewegung der Meeresoberfläche und ist in Abbildung 46 dargestellt. Von einem Hauptträger gehen Seitenarme aus, an deren Ende ein Schwimmkörper befestigt ist. Der Schwimmkörper folgt der Bewegung der Wellen und speist durch seine auf und ab Bewegung einen hydraulischen Zylinder. Durch die im Zylinder bewegte Flüssigkeit wird ein Generator angetrieben. (Watter, H., 2009)

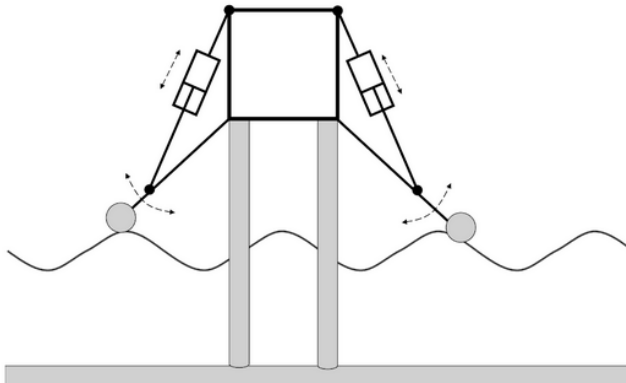


Abbildung 46: Schematische Funktionsweise eines Wave Star Kraftwerks. (Watter, H., 2009)

Der **Bodenwellengenerator** nutzt die Druckschwankungen, die durch die Wellenbewegung an der Meeresoberfläche entsteht und auch in größeren Tiefen herrscht. Die Druckschwankungen werden auf eine Stahlplatte übertragen und deren Bewegungen hydraulisch verstärkt. Eine Turbine wandelt die dadurch entstandene kinetische Energie in elektrische Energie um. Abbildung 47 zeigt eine schematische Darstellung eines Bodenwellengenerators. (Watter, H., 2009)

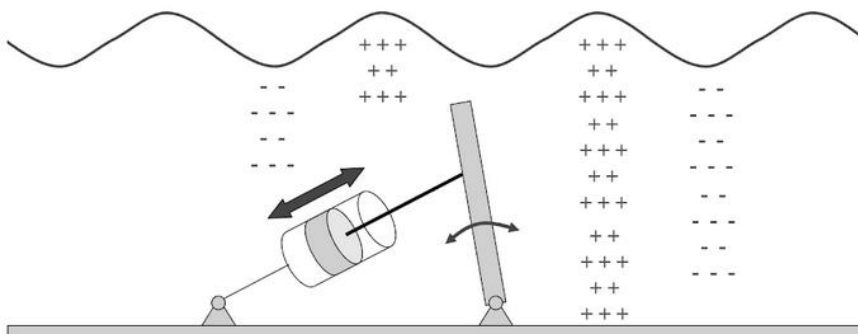


Abbildung 47: Darstellung eines Bodenwellengenerators. (Watter, H., 2009)

Das Prinzip der **Seeschlange** funktioniert ähnlich wie der Bodenwellengenerator, nur dass die vom Wasser bewegten Körper auf der Wasseroberfläche treiben. Dabei werden mehrere zylindrische Auftriebskörper aneinander gekettet. In den Körpern befinden sich Verdrängungszylinder. Die Wellenbewegung löst eine relative Bewegung der Auftriebskörper zueinander aus, wodurch die Verdrängungszylinder in Gang gesetzt werden. In Abbildung 48 ist das Prinzip der Seeschlange dargestellt. (Watter, H., 2009)

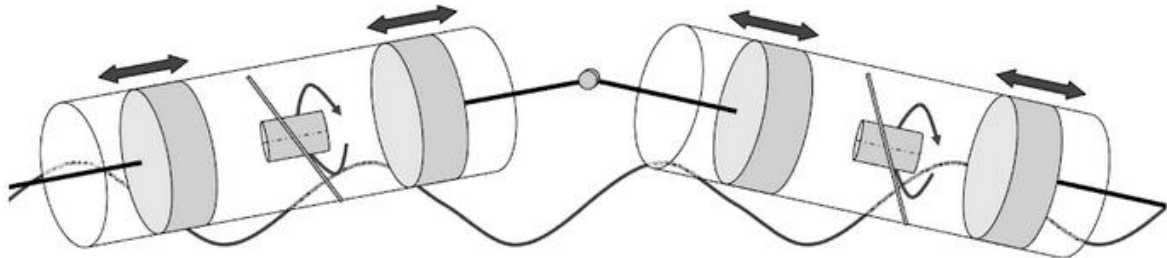


Abbildung 48: Darstellung des Funktionsprinzips einer Seeschlange. (Watter, H., 2009)

Die **Strom Boje** ist ein „Kleinstkraftwerk“, welches auf Flüssen mit ruhiger, gleichmäßiger und schneller Strömung installiert werden kann. An der Boje ist eine Turbine angebracht, die von der Strömung betrieben wird und einen Generator antreibt. Abbildung 49 zeigt die Funktionsweise einer Strom Boje. (Watter, H., 2009)

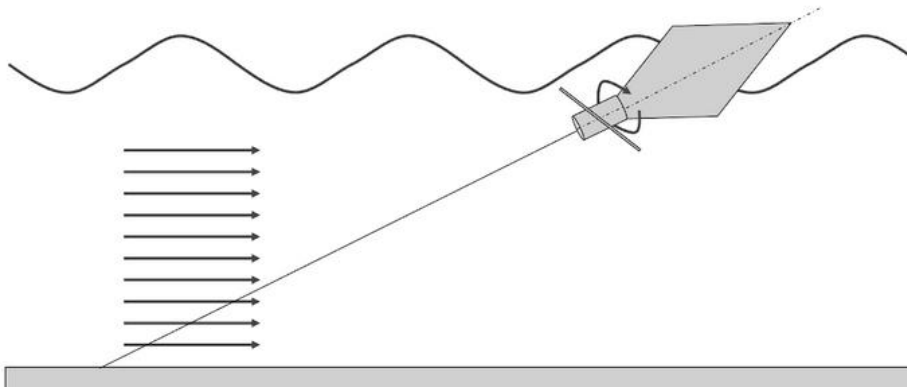


Abbildung 49: Darstellung des Funktionsprinzips einer Strom Boje. (Watter, H., 2009)

Ökonomie

Wasserkraftwerke zählen zu den kostengünstigsten Möglichkeiten für erneuerbare Energieerzeugung. Vor allem ältere Anlagen, deren Baukosten schon getilgt sind, liefern unter geringem finanziellen Aufwand wirtschaftliche Beträge. Österreich wird der Energiebedarf zu ca. 62% aus Wasserkraft gedeckt. Ebenso in Kanada, in Norwegen zu fast 100%, Brasilien zu 86%, China zu 15% und die USA zu 8%.

Ökologie

Der Bau eines Wasserkraftwerks bedeutet große Eingriffe in die Natur. Die Ökosysteme der Bäche und Flüsse werden durch die baulichen Veränderungen und auch die Reduzierung der Fließgeschwindigkeit stark verändert. Stauanlagen bilden, wenn keine Fischaufstiegshilfen vorhanden sind, für wandernde Fische eine unüberwindbare Hürde. Ein negatives Beispiel für Wasserkraft sind die gigantischen Flusskraftwerke wie der

Dreischluchtendamm in China oder der Damm in der Türkei. Der Dreischluchtendamm produziert pro Jahr 84 Milliarden kWh Strom. Würde dieselbe Menge Strom von einem Kohlekraftwerk produziert, entstünden 70 Millionen Tonnen CO₂, was der gesamten CO₂ Emission Österreichs entspricht. In der gesamten Betrachtung ist es allerdings wichtig, die Nutzen gegenüber den ökologischen Schäden abzuwiegen, um ökologisch vertretbare Anlagen zu errichten. (Quaschning, 2013, S. 260)



3. Energiegewinnung aus Biomasse

Geschichte:

Biomasse ist seit der Entdeckung des Feuers der am längsten genutzte Energieträger durch die Menschheit. Bis ins 18. Jahrhundert war Biomasse auch der wichtigste Energieträger der Welt. In manchen Ländern der Welt wird auch heute noch bis zu 90% der Energie mit Biomasse erzeugt, wie z.B. Mozambique oder Äthiopien. In Deutschland wurde im Jahr 2000 nur 3% der Primärenergie durch Biomasse erzeugt. In den letzten Jahren ist allerdings wieder ein Anstieg in der Verwendung von Biomasse zu beobachten, jedoch zum Teil nicht mehr in der herkömmlichen Form als Brennholz. Während in Entwicklungs- und Schwellenländern meist noch die traditionelle Nutzung von Biomasse vorherrscht (z.Bsp. als Feuerholz zum Kochen), werden in den Industrieländern häufig modernere Methoden der Nutzung durchgeführt. Der Anteil der Biomasse an der Primärenergie ist abhängig vom möglich nutzbaren Potential. (Quaschnig, 2014, S. 292 / 320)

Definition Biomasse

Biomasse besteht aus organischem Material, d.h. dazu gehören alle Lebewesen, abgestorbenen Organismen und organische Stoffwechselprodukte. Nur Pflanzen können mittels Photosynthese Biomasse in Form von Kohlenstoffhydraten aufbauen. Tiere benötigen zum Aufbau von Biomasse andere Biomasse. . (Quaschnig, 2014, S. 294)

Nutzung der Biomasse

Mensch nutzt derzeit insgesamt rund 4% der neuentstehenden Biomasse. Davon werden ca. 50% für die Nahrungsmittel- und Futtermittelproduktion verwendet. 25% der von den Menschen genutzten neu entstehenden Biomasse werden energetisch genutzt, und damit werden rund 10% des weltweiten Primärenergiebedarfs gedeckt. Die effizientesten Pflanzen bei der Photosynthese sind sogenannte C4-Pflanzen, dazu gehören z.B. Mais, Hirse und Zuckerrohr. Auch Reststoffe aus der Landwirtschaft werden genutzt. Die Biomasse deckt dabei ähnliche Einsatzbereiche wie fossile Rohstoffe ab, wie zur Stromgewinnung, Heizung oder als Treibstoff. (Quaschnig, 2014, S. 294-295)

Heizung

Holz ist der vorherrschender Brennstoff für Biomasseheizungen. Es wird als Rundholz, Brikett oder Pellets verheizt. Aufgrund der Größe lassen sich vor allem Pellets gut für automatische Förderanlagen verwenden.

Beim Holz geht es vor allem um den Heizwert. Nasses Holz hat einen geringeren Heizwert als trockenes Holz, denn beim Verbrennen verdampft das im Holz befindliche Wasser. Da zum Verdampfen aber Energie benötigt wird, entsteht ein Energieverlust. Zum Vergleich: Bei getrockneten Holz (z.B. Buche) beträgt der Heizwert 4,15 kWh/kg (Wassergehalt von 15%), bei frisch geschlagenen Holz mit einem Wassergehalt von 50% beträgt der Heizwert nur noch 2,16 kWh/kg. Durch die unterschiedlichen Wuchsarten von Bäumen entstehen Hölzer mit unterschiedlichen Dichten. Diese Unterschiede beziehen sich auf den

volumenbezogenen Heizwert. In Abbildung 50 sind vier verschiedene Holzsorten, Buche, Birke, Kiefer und Fichte auf deren Heizwert miteinander verglichen. (Quaschning, 2014, S. 299)

Tabelle 12.2 Eigenschaften verschiedener Brennholzarten

	Heizwert darrtrocken	Dichte darrtrocken	Heizwert H_i bei $w = 15\%$		
	H_{10} in kWh/kg	in kg/Fm	in kWh/kg	in kWh/Fm	in kWh/Rm
Buche	5,0	558	4,15	2 720	1 910
Birke	5,0	526	4,15	2 570	1 800
Kiefer	5,2	431	4,32	2 190	1 530
Fichte	5,2	379	4,32	1 930	1 350

Abbildung 50: Eigenschaften verschiedener Brennholzarten. (Quaschning, 2014, S. 300)

Der Wirkungsgrad der Heizung hängt auch von der Art der Heizung ab. Der Wirkungsgrad **offener Kamine** liegt dabei bei ca. 20 – 30%. Bei geschlossenen Kaminen wird ein Wirkungsgrad von 70 – 80 % erreicht. Ein **Scheitholzkessel** hat einen größeren Holzvorratsbehälter als ein Kamin und meist eine Brenndauer von einigen Stunden. Ein Wirkungsgrad von bis zu 90% kann erreicht werden. Bei einer **Holzpelletsheizung** transportiert eine automatische Fördereinrichtung die Pellets in die Brennkammer. Dadurch entsteht nur sehr geringer Zeitaufwand für den Nutzer. (Quaschning, 2014, S. 304)

3.3.1 Biomasseheizwerke und Biomassekraftwerke

Biomasseheizwerke werden, wie im Namen schon enthalten, zum Erzeugen von Wärme durch Biomasse benutzt. Bei Biomasseheizwerken sind die Wirkungsgrade meist höher als wie bei kleinen dezentralen Anlagen, wie in Einfamilienhäusern. Allerdings sind wegen der längeren Rohre des Fernwärmenetzes höhere Wärmeverluste zu verzeichnen. Wegen der strengerer Auflagen und meist besseren Filtersysteme, ist die Schadstoffbelastung von Fernwärmeheizwerken deutlich geringer als bei dezentralen Anlagen. (Quaschning, 2014, S. 304)

Biomassekraftwerke nutzen die Biomasse um elektrische Energie zu erzeugen. Die Funktionsweise von Biomassekraftwerken zur Stromproduktion ist ähnlich wie bei Kohlkraftwerken. Die Biomasse wird verbrannt und erzeugt Wasserdampf, der eine Dampfturbine antreibt, die wiederum einen Generator antreibt und damit Strom erzeugt. Wird von einer Kraft-Wärmekopplung gesprochen, so wird sowohl Strom als auch Wärme für ein Fernwärmenetz erzeugt. Der große Vorteil der Biomassenutzung gegenüber Photovoltaik oder Windkraft ist die Unabhängigkeit von äußeren Umwelteinflüssen, wie dem Wetter. Die Lagerung von Biomasse ist im Normalfall unkompliziert und kann gezielt dann verwendet werden, wann sie gebraucht wird. Daher bietet die Energiegewinnung aus Biomasse eine gute Ergänzung zu anderen regenerativen Energiesystemen. (Quaschning, 2014, S. 305)

3.3.2 Biotreibstoffe

Flexibler und vielseitiger einsetzbar als Holz sind flüssige oder gasförmige Biotreibstoffe. Sie können nicht nur zur Wärme- und Stromerzeugung, sondern auch als Kraftstoff im Transportbereich verwendet werden. (Quaschning, 2014, S. 307)

Bioöl ist von den Biotreibstoffen am einfachsten herzustellen. Am meisten verbreitet ist die Herstellung aus Rapsöl, Sojaöl oder Palmöl. Pflanzenöl ist etwas zäher als Diesel und benötigt höhere Temperaturen zur Zündung. Standardmäßige Dieselmotoren benötigen einige Umbauten, um problemlos mit Bioöl betrieben werden zu können. (Quaschning, 2013, S. 307)

Biodiesel weist dem Diesel ähnliche Eigenschaften auf als das Bioöl. Der Rohstoff für Biodiesel ist Pflanzenöl, in Europa meist Rapsöl. Auch bei Biodiesel sollte der Motor vom Hersteller dafür freigegeben sein. Biodiesel könnte unter Umständen Schläuche und Dichtungen zersetzen. Kleine Mengen Biodiesel gemischt mit herkömmlichem Diesel stellen jedoch meist kein Problem dar. (Quaschning, 2013, S. 308)

Bioethanol wird aus Zucker oder Getreide (Glukose, Stärke und Zellulose) hergestellt. Zucker kann direkt zu Alkohol vergärt werden, Stärke und Zellulose müssen hierfür erst aufgespaltet werden. Reststoffe der Ethanolgewinnung lassen sich wie bei der Bioölgewinnung und der Biodiesलगewinnung als Futtermittel weiterverwenden. Bioethanol lässt sich problemlos mit Benzin mischen. (Quaschning, 2013, S. 308)

BtL-Kraftstoffe steht für Biomass-to-Liquid Kraftstoffe und resultiert aus einer synthetischen Herstellung von Biotreibstoffen aus Biomasse. Anders als bei Pflanzenöl, Biodiesel und Bioethanol lassen sich hier nicht nur die Öl-, Zucker- und Stärkehaltigen Teile der Pflanze nutzen. Durch die synthetische Aufarbeitung ist eine Komplettnutzung der Energiepflanzen möglich, was in einem höheren Flächenertrag resultiert. Das bekannteste Syntheseverfahren ist die Fischer-Tropsch-Synthese. In Deutschland wurde im zweiten Weltkrieg damit aus Kohle flüssiger Treibstoff gewonnen. Allerdings sind Syntheseverfahren aus Biomasse noch nicht Serienreif (Stand 2013). Der Vorteil wäre, dass beim Motor keine Anpassungen durchgeführt werden müssten. Als Nachteil stehen die zurzeit noch hohen Kosten gegenüber. (Quaschning, 2013, S. 310)

Aus Biomasse lässt sich durch Bakterien in feuchter Umgebung und Luftabschluss **Biogas** herstellen. Das gewonnene Biogas besteht zu 50 – 75 % aus Methan, der Rest ist zum Großteil Kohlendioxid. Kleinere Reste sind Wasserdampf, Sauerstoff, Stickstoff, Ammoniak, Wasserstoff und Schwefelwasserstoff. Das Biogas wird gereinigt, entschwefelt und zwischengespeichert. Ausbeute variiert je nach Grundstoff, bei z.B. Rindergülle ca. 45 m³ pro Tonne, bei einer Maissilage ca. 200 m³ pro Tonne. Biogas kann für den Antrieb von Gas-Motoren, Generatoren oder zur Einspeisung in das Erdgasnetz verwendet werden.

Ökonomie

Aufgrund der stark variierenden Preise im Bereich Biomasse ist eine Aussage über die ökonomische Entwicklung schwer vorherzusagen. Da das Potential zur Herstellung von z.B. Pellets bei weitem nicht ausreicht, um dem gesamten österreichischen Markt zu versorgen, kann ein Ansteigen der Nachfrage auch ein Ansteigen des Preises nach sich ziehen. Die

Rentabilität von z.B. einer Holzpellets-Heizung hängt auch vom Preisunterschied zu Erdöl und Erdgas ab. (Quaschnig, 2014, S. 315) In Abbildung 51 ist ein Überblick über die Preisentwicklung von Holzpellets, Erdöl und Erdgas über den Zeitraum von 2003 bis 2009 gegeben.



Abbildung 51: Vergleich der Endverbraucherpreise für Erdöl, Erdgas und Holzpellets. (Quaschnig, 2014, S. 316)

Durch die Produktion von Treibstoffen aus Biomasse kommen auch die Preise für die Lebensmittel unter Druck. Dies ist ein ethisches und ökologisches Problem, gerade in einer Welt in der rund 1,2 Milliarden Menschen von Hunger bedroht sind. (Quelle?)

Ökologie

Energiepflanzen wie die C4-Pflanzen stellen einen nachwachsenden Rohstoff für Energieerzeugung dar. Da Energiepflanzen aber um die Ackerflächen zur Nahrungsmittelproduktion konkurrieren, ist der extensive Anbau von solchen Pflanzen umstritten und sollte im Hinblick auf die ökologische und soziale Kosten-Nutzen Frage abgestimmt werden. (Quaschnig, 2014, S. 318)

Die Biomassenutzung als Brennstoff ist Kohlendioxidneutral. Das Kohlendioxid, dass bei der Verarbeitung frei gesetzt wird, wurde beim Wachsen der Biomasse gespeichert. Voraussetzung ist eine Nachhaltige Nutzung der Biomasse. Die indirekte Kohlendioxidbelastung durch Ernten, Transport und Verarbeitung wird bei dieser Betrachtung vernachlässigt, da vergleichsweise gering. Auch wenn die Kohlendioxidbelastung neutral ist, so ist die Belastung bei Verbrennung durch andere Schadstoffe deutlich höher. Große Anlagen schneiden hier naturgemäß besser ab, einerseits aufgrund der Filteranlagen, andererseits wegen der der höheren Temperaturen bei der Verbrennung. (Quaschnig, 2014, S. 318)

Weiterverarbeitung von Biomasse zu Biotreibstoffen ist energieintensiv. Wird für den Anbau von Biomasse Tropenwald abgeholzt, werden auf der einen Seite erhebliche Mengen Kohlendioxid freigesetzt und auf der anderen Seite ein einzigartiges Stück Natur zerstört. Ein

weiteres Problem sind die begrenzten Anbauflächen. (Quaschnig, 2014, S. 320) Die Anbauflächen reichen auf der einen Seite nicht aus, den gesamten Bedarf an Treibstoff zu decken und verursachen gleichzeitig eine Reduzierung der Anbaufläche für Lebensmittel, welche diese verteuert. Bei Treibstoffen der zweiten Generation (BtL) wäre eine wesentlich bessere Ausnutzung der Fläche bezogen auf der draus gewonnenen Energie gewährleistet. (BtL zu Biodiesel rund Nettoertrag 3mal so hoch). Verglichen mit anderen regenerativen Energieformen ist die energetische Ausbeute jedoch gering (Quaschnig, 2014, S. 320).



Die Wärme der Erde

Der schalenförmige Aufbau der Erde lässt sich grob in den inneren und äußeren Erdkern, den Erdmantel und die Erdkruste einteilen. In Abbildung 52 ist der Aufbau der Erde dargestellt, mit Angabe der ungefähren Temperaturspanne der jeweiligen Schichten. (Quaschning, 2013, S. 264)

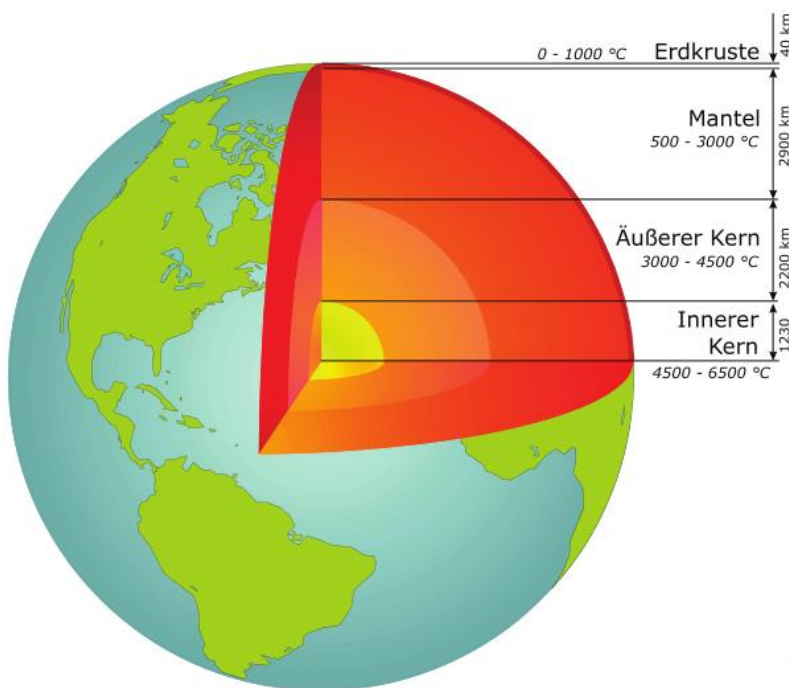


Abbildung 52: Der Schalenförmige Aufbau der Erde. (Quaschning, 2013, S. 264).

Die hohe Temperatur im Erdinneren stammt teilweise noch aus der Zeit der Entstehung der Erde, zum Größeren Teil resultiert sie aus radioaktiven Zerfallsprozessen. Für den Menschen mit der aktuellen Technologie erreichbar ist nur der obere Teil der Erdkruste. Gemeinsam mit dem obersten Teil des Erdmantels bildet die Erdkruste die Lithosphäre, die zwischen wenigen Kilometern und mehr als 100 Kilometern dick sein kann. Die Lithosphäre ist aber keine durchgehende Schicht, die die Erde bedeckt, sondern besteht aus 7 größeren und etlichen kleineren Platten, wie in Abbildung 53 dargestellt. Diese Platten „schwimmen“ auf der darunterliegenden, flüssigen Schicht des Mantels und befinden sich daher ständig in Bewegung. Daher driften die Platten an manchen Stellen voneinander weg, an anderen Stellen stoßen sie gegeneinander. An solchen Grenzen finden sich häufig Vulkane und Erdbeben.

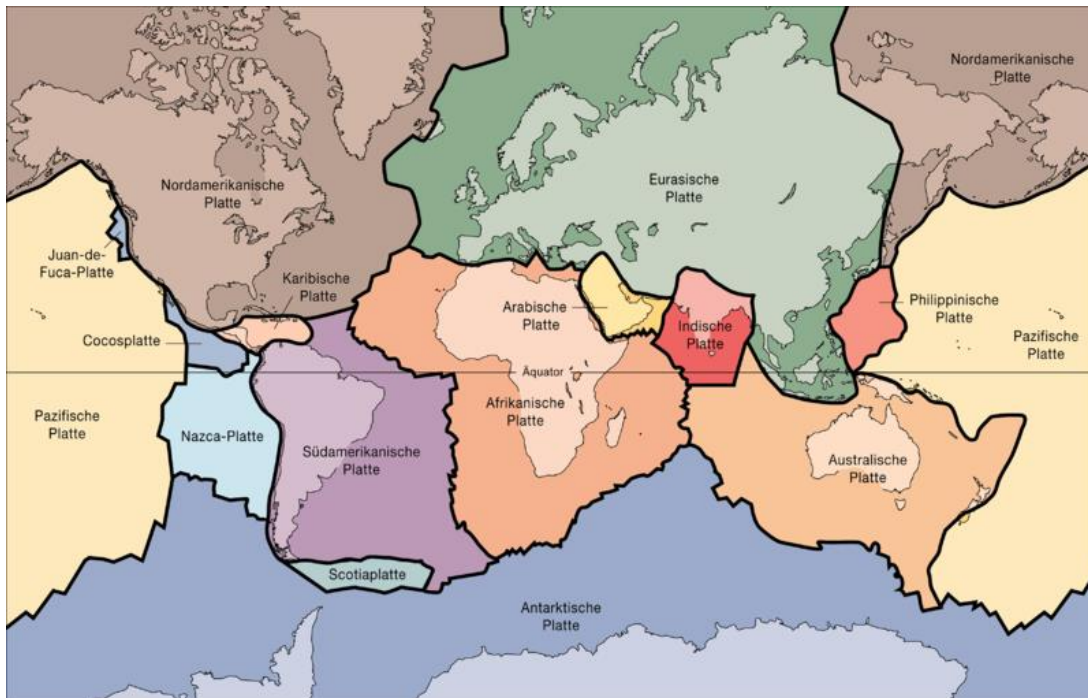


Abbildung 53: Tektonische Platten der Lithosphäre. (USGS – Earthquake Glossary)

Recht häufig treten in Gebieten nahe Plattengrenzen Wärmeanomalien auf, was bedeutet, dass die Temperatur im Boden sich anders als zum Durchschnitt verhält und meist schon in geringen Tiefen höhere Temperaturen vorkommen. Solche Gebiete eignen sich besonders effektiv für die Nutzung von Erdwärme. In Gebieten, die nicht an solchen Plattengrenzen liegen, muss meist tiefer gebohrt werden, um höhere Temperaturen zu erreichen.

Geschichte der Geothermie

Die Nutzung von geothermalen Wässern wird schon seit mehreren tausend Jahren betrieben. Quellen wurden in erster Linie zum Baden und für Trinkkuren verwendet, sowie zum Kochen oder zum Gewinnen von Mineralien, wie z.B. Schwefel. Später wurden natürliche heiße Wasservorkommen auch infrastrukturell verwendet, z.B. zu Heizzwecken. Vor allem die Römer verstanden sich darauf, Bäder und Heizungen optimal zu verknüpfen.

Eine wichtige Erkenntnis wurde im 16. und 17. Jahrhundert durch den Bergbau erzielt. Es wurde festgestellt, dass die Temperatur in der Tiefe zunimmt. 1971 wurde schließlich von Alexander von Humboldt der geothermische Gradient ermittelt, ergab einen Anstieg der Temperatur um $3,8^{\circ}\text{C}$ pro 100m (Stober & Bucher, 2012). Dieser kontinuierliche Anstieg ist jedoch nur in einem stabilen Kontinuum gegeben. In Gebieten mit Wärmeanomalien kann der geothermische Gradient viel höhere Temperaturen ergeben.

Die Energiegewinnung durch die geothermische Wärme fand ihren Ursprung in Italien. Das erste geothermische Kraftwerk wurde 1827 von Francesco Larderel bei den Thermalen Quellen von Larderello errichtet. Der Dampf der heißen Quellen wurde eingesetzt, um Maschinen und Pumpen zu betreiben. Ein wichtiger positiver Nebeneffekt davon war, dass dadurch viel Holz eingespart werden konnte. Dies war der Beginn der Umwandlung der thermischen Energie der Erde in elektrischen Strom. (Stober & Bucher, 2012).

Geothermische Nutzung zur Stromerzeugung

In Deutschland wurde im Jahr 2003 das erste Geothermiekraftwerk in Neustadt-Glewe gebaut. Eine ORC-Anlage mit einer Leistung von 230 KW. Die Nutzung zu Heizzwecken wurde bereits 1994 realisiert, mit einer Heizleistung von 10,4 MW. Österreich weist keine optimalen Bedingungen für die Nutzung geothermaler Ressourcen. Da sich in Österreich nur wenige und geringe Wärmeanomalien finden, wären große Bohrtiefen nötig. Die besten Bedingungen finden sich in Bereichen der Thermenregionen. Länder bzw. Gebiete, die nahe an tektonischen Plattengrenzen oder gar geologischen Hot-Pots liegen, weisen deutlich mehr und stärkere Wärmeanomalien auf (siehe Abbildung 53). Zum Vergleich: Während man in Deutschland in ca. 3000m eine Temperaturzunahme von 90° erwartet, erreicht man dies in Island bereits nach einigen hundert Metern. (Quaschnig, 2014, S. 265).

Die Geothermische Nutzung zur Stromgewinnung ist in Österreich problematisch, wie Tiefenbohrungen für ein Geothermieprojekt in Aspern zeigten. Bei rund 4000m wurde das Projekt abgebrochen, das gewünschte heiße Thermalwasser war in einer größeren Tiefe wie erwartet. Geplant wäre hier eine 40 MW Anlage, welche 40.000 Haushalte hätte versorgen sollen (derstandard.at, 12/2012). Die Thermalwasservorkommen in Österreich werden hauptsächlich für Thermalbäder, aber auch für Heizkraftwerke verwendet. Abbildung 54 zeigt eine Übersicht über die Geothermie und die Thermalwassernutzungen in Österreich.

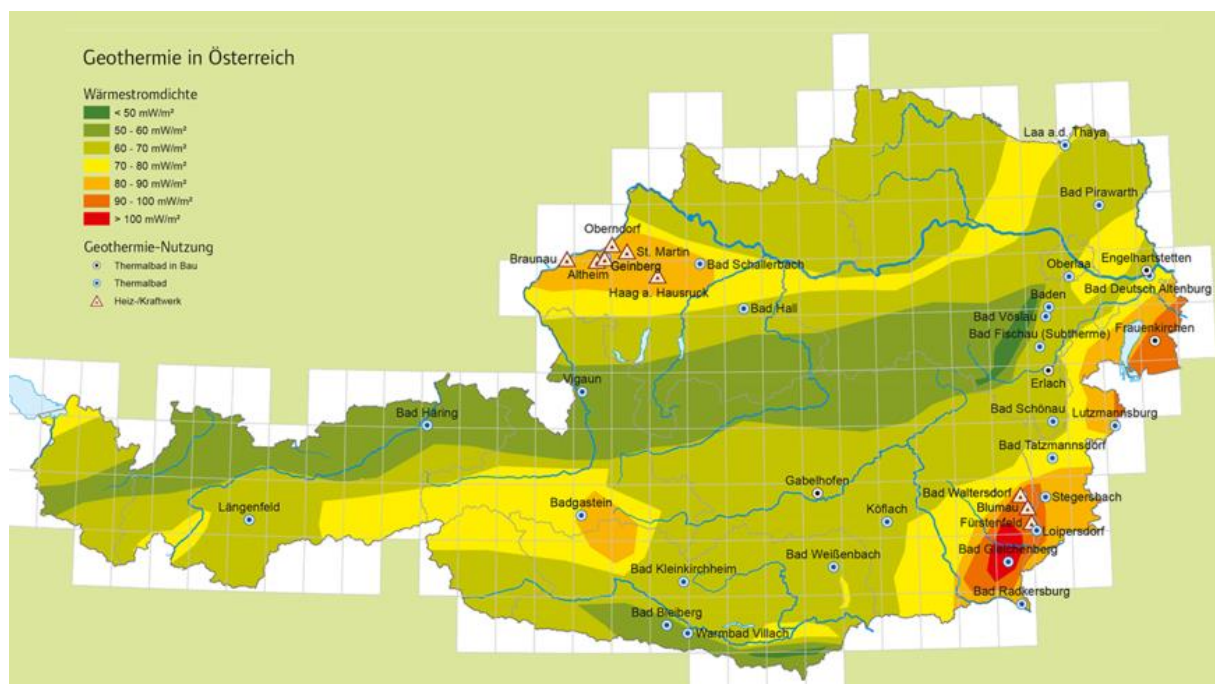


Abbildung 54: Wärmestromdichte des Bodens und die Geothermie-Nutzung in Österreich. (Geologische Bundesanstalt, 2012)

Die weltweit maximalen technischen Bohrtiefen sind zurzeit rund 12 km (Tiefenbohrung auf der Halbinsel Kola). In diesen Tiefen herrschen bereits Temperaturen von 300°C und ein Druck über 3000bar. Für die geothermische Nutzung in unseren Breiten reichen jedoch bereits maximale Bohrtiefen von bis zu 5000m. (Quaschnig, 2014, S. 267).

Geothermie zu Heizzwecken

Meist wird mittels des heißen Thermalwassers über einen Wärmetauscher ein Fernwärmenetz erhitzt, da das Thermalwasser stark salzhaltig und leicht radioaktiv sein kann. Mittels einer zweiten Bohrung (Reinjektionsbohrung) wird das kalte Thermalwasser wieder in die Erde gepresst. (Quaschnig, 2014, S. 268)

3.4.1 Wärmepumpen

Wärmepumpen können aus niedrigen Temperaturen höhere Temperaturen erzeugen. Je höher dabei das Temperaturniveau der Niedrigtemperaturquelle ist, desto effizienter kann die Wärmepumpe arbeiten. Niedrigtemperaturquellen können z.B. aus dem Grundwasser, dem Erdreich oder der Umgebungsluft abgewonnen werden. Je höher/niedriger die gewonnene Temperatur ist, desto niedriger/höher ist der Energieverbrauch der Wärmepumpe. (Quaschnig, 2014, S. 278) Abbildung 55 zeigt die Funktionsweise einer Kompressionswärmepumpe.

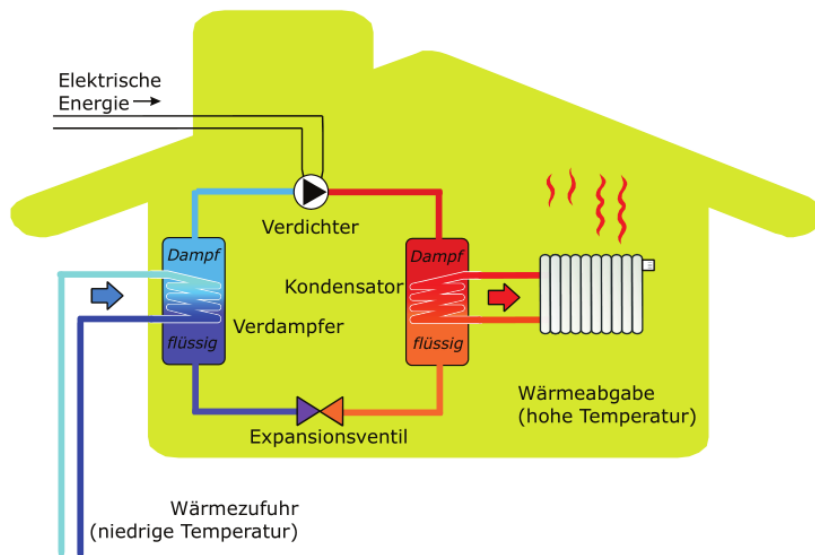


Abbildung 55: Funktionsweise einer Kompressionswärmepumpe. (Quaschnig, 2014, Seite 281)

Die Kompressionswärmepumpe ist die am weitesten verbreitete Variante der Wärmepumpe. Darin wird ein Kältemittel mit sehr niedrigem Siedepunkt durch die geringe Umgebungswärme vom Erdreich, Grundwasser oder Umgebungsluft erwärmt und zum Verdampfen gebracht. Der Dampf wird durch einen elektrisch betriebenen Verdichter stark verdichtet, durch den hohen Druck erreicht das Kältemittel hohe Temperaturen. Nachdem es die Heizung mit Wärme versorgt hat, wird der Druck des abgekühlten Kältemittels durch ein Expansionsventil wieder gesenkt, wodurch es sich weiter abgekühlt. Daraufhin beginnt der Kreislauf von neuem.

Geothermie zur Stromerzeugung:

Das Prinzip der Stromerzeugung bei der Geothermie ist das gleiche wie bei den meisten Wärmekraftwerken. Durch die Wärme wird Dampf erzeugt, welcher eine Turbine antreibt, von deren Energie ein Generator dann Strom erzeugt. Das dafür benötigte heiße Wasser wird aus einer Produktionsbohrung entnommen und nach dem Abkühlen durch eine Injektionsbohrung wieder in den Untergrund geleitet. Der genaue Prozess der Umwandlung

von Wärme in elektrische Energie hängt von der Art des Geothermiekraftwerks und der geologischen Gegebenheiten ab. (Strecker, M., 2017)

3.4.2 Direktdampfnutzung

An geothermisch optimalen Standorten, also Gebieten, in denen schon in geringen Tiefen hohe Temperaturen und Wasservorkommen zu finden sind, können teilweise Wässer mit zwischen 200 – 300°C gefördert werden. Unter solchen Bedingungen können normale Dampfdruckturbinen zur Stromerzeugung verwendet werden. (Strecker, M., 2017)

3.4.3 Flash-Kraftwerk (Entspannungsdampf-Anlage)

Heißes, unter Druck stehendes Thermalwasser (z.B. 180°C) kann am besten durch das Flash-Verfahren in elektrische Energie umgewandelt werden. Das Verfahren ist in Abbildung 56 vereinfacht dargestellt. Wenn das Wasser während dem Pumpverfahren aufsteigt, verringert sich der Druck und ein Teil des Wassers verdampft. In einem Entspannungstank wird der Druck zusätzlich verringert und noch mehr Wasser verdampft. Durch den Dampf wird eine Turbine angetrieben. Das restliche Wasser sowie das wieder kondensierte Wasser werden durch eine Injektionsbohrung unter hohem Druck wieder zurück ins Erdreich gepumpt, um das Wasserreservoir nicht zu erschöpfen und den Druck nicht zu mindern. (Strecker, M., 2017)

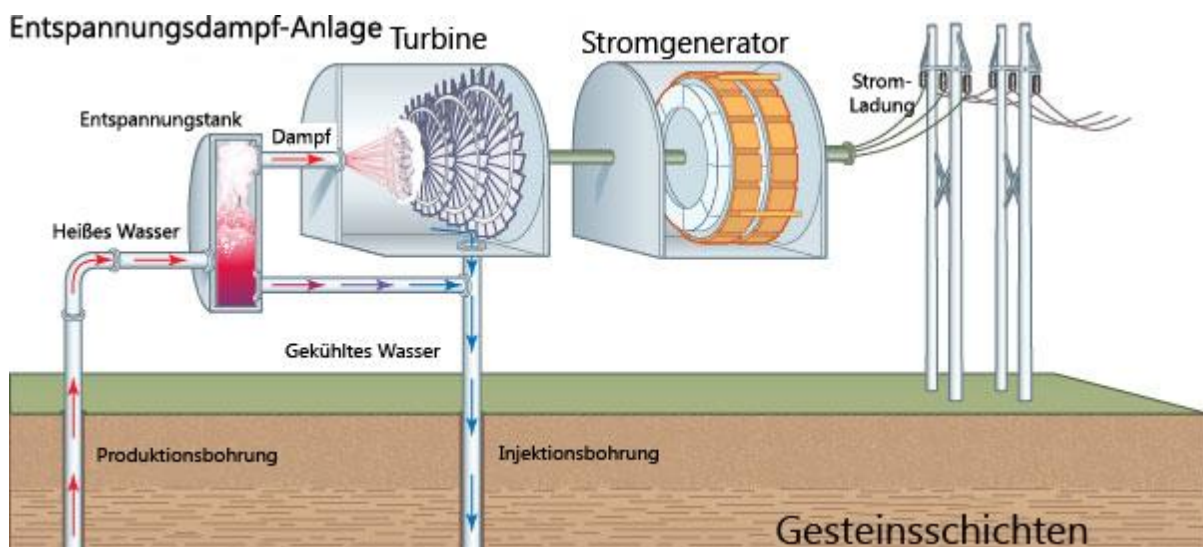


Abbildung 56: Aufbau einer Flash- bzw. Entspannungs- oder Dampf-Anlage. (Strecker, M., 2017)

3.4.4 Binär-Kreislauf-Kraftwerk

Bei einem Binär-Kreislauf-Kraftwerk, auch ORC-Kraftwerke (Organic Rankine Cycle) genannt, können niedrigere Wassertemperaturen (z.B. 100°C) verwendet werden. Da Wasser erst ab 100°C verdampft, kann es nicht als Medium zum Antreiben der Turbine verwendet werden. Daher wird in einem geschlossenen, zweiten Kreislauf eine Flüssigkeit mit geringerem Siedepunkt verwendet. Denn so entsteht auch bei niedrigeren Temperaturen Dampf zum Antreiben der Turbine. In einem Kondensator wird das Arbeitsmittel wieder

verflüssigt. (Strecker, M., 2017) In Abbildung 57 ist der Aufbau einer Binär-Kreislaufanlage dargestellt.

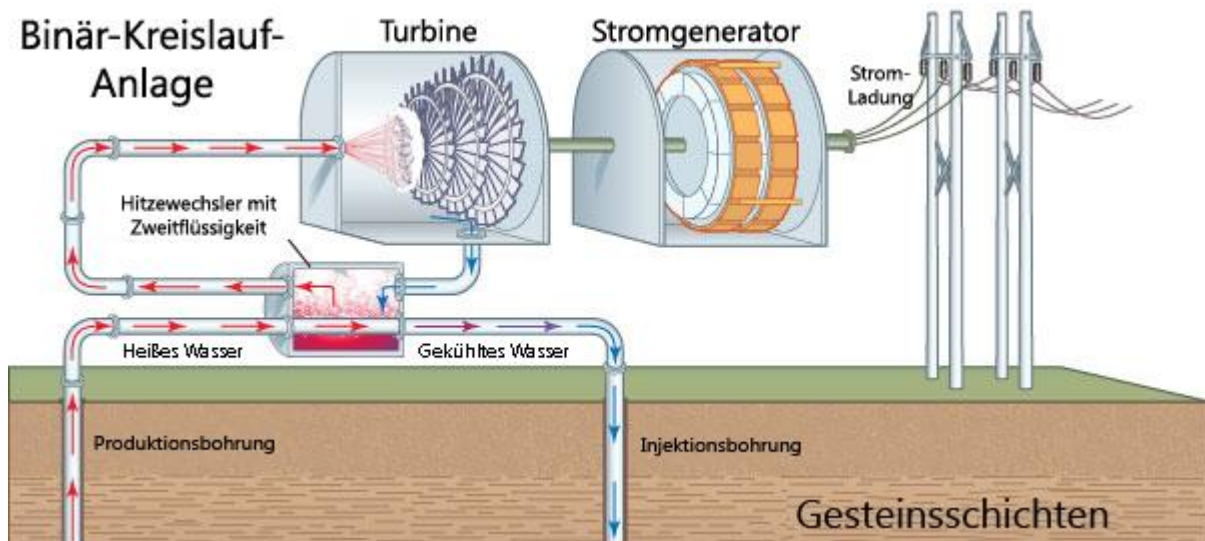


Abbildung 57: Aufbau einer Binär-Kreislauf-Anlage. (Strecker, M., 2017)

3.4.5 Trockendampf-Kraftwerk

Trockendampf oder HDR (Hot Dry Rock) Kraftwerke, werden eingesetzt, wo in größeren Tiefen zwar hohe Temperaturen, aber kein Wasser mehr erreicht werden. In großen Tiefen (in Deutschland z.B. bis zu 5000m) findet sich kein heißes Wasser mehr, sondern nur mehr heißes, trockenes Gestein. Mit hohem Druck wird Wasser in eine Bohrung gepresst, dadurch entstehen Hohlräume in der Tiefe. Es wird also durch diese Injektionsbohrung kaltes Wasser in Tiefe gepumpt, wo es sich in den künstlich geschaffenen Hohlräumen auf bis zu 200°C erwärmt. Über eine Produktionsbohrungen wird das heiße Wasser letztlich wieder nach oben gefördert. (Quaschnig, 2013, S.271) In Abbildung 58 ist der Aufbau einer Trockendampf-Anlage dargestellt.

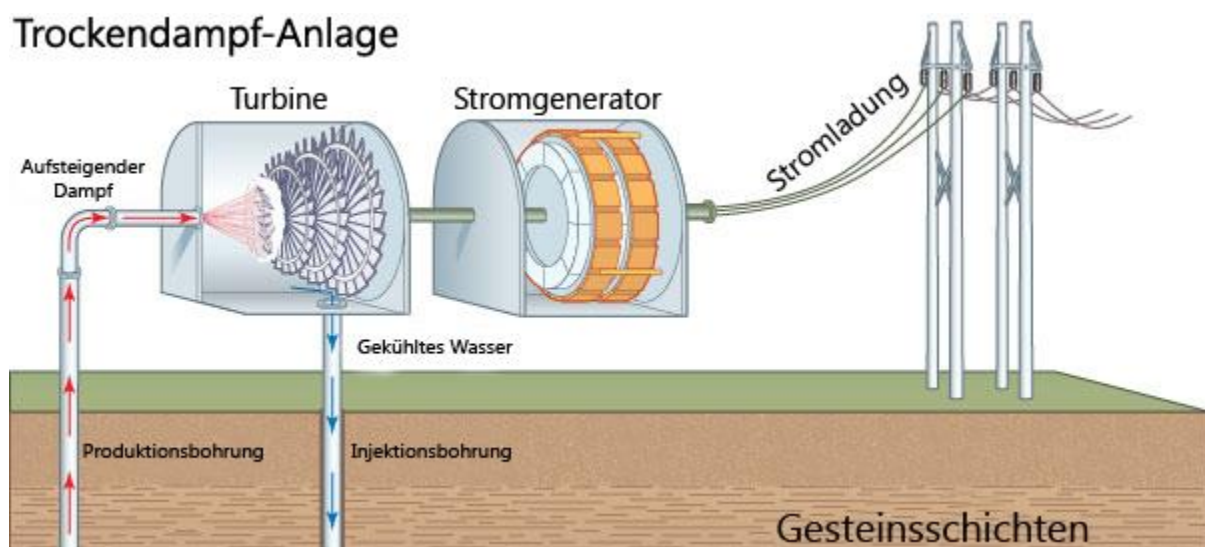


Abbildung 58: Aufbau einer Trockendampf-Anlage. (Strecker, M., 2017)

Ökonomie

Bei Wärmepumpen erreicht vor allem die Fußboden- und Wandheizung eine hohe Effizienz, da die dafür benötigte Temperatur wesentlich geringer ist, als die, der herkömmlichen Heizkörper. Im einem Vergleich schnitt ein Wärmepumpensystem durch Erdreich am besten ab, siehe Abbildung 59.

Wärmepumpe	Wärmequelle	Jahresarbeitszahl mit Fußbodenheizung	Jahresarbeitszahl mit Radiatorheizkörpern
Sole/Wasser	Erdreich	3,6	3,2
Wasser/Wasser	Grundwasser	3,4	3,0
Luft/Wasser	Luft	3,0	2,3

Abbildung 59: Vergleich der typischen Jahresarbeitszahlen für Elektro-Wärmepumpen. (Quaschnig, 2013, S. 279)

Für den Bau eines Geothermie-Kraftwerkes zur Stromerzeugung sind mehrere Faktoren ausschlaggebend. Einerseits muss bekannt sein, welche Wassertemperaturen erreicht werden, denn darauf beruht die Auslegung des entsprechenden Wärmetauschers und der Fernwärmenetze. Außerdem ist die förderbare Wassermenge wichtig, diese ergibt sich aus dem Potenzial der Pumpen und des Durchmesser des Bohrlochs. Die höchsten Kosten für ein Geothermie-Kraftwerk entstehen durch die Bohrung, daher ist eine korrekte Berechnung und Planung der Örtlichkeit und Tiefe für das Projekt überlebenswichtig. Wenn Bohrkosten aufgrund nicht erwarteten Gesteins steigen und die gewünschte Temperatur nicht erreicht wird, müssen Bohrungen aus Kostengründen teilweise abgebrochen werden (siehe Bsp. Aspern (A)). Auch ist eine Vorhersage der Gesteinsschichten nicht zu hundert Prozent möglich. In Speyer (D) z.B. stieß man bei Bohrungen nicht auf das erwartete Heißwasser sondern in 2000m Tiefe auf Erdöl. (Quaschnig, 2014, S. 273).

Die Hälfte der Kosten eines Kraftwerks entstehen durch die Bohrungen. Die Kosten für Strom aus Geothermie in Deutschland sind höher als die für Wasser-, Windenergie und Sonnenenergie. Zum Vergleich reichen in Island teilweise schon Bohrtiefen von nur einigen hundert Metern um hohe Temperaturen zu erreichen. Daher wird in Island auch 60% des Primärenergiebedarfs mit Geothermie gedeckt. Da große Kraftwerke dem erschlossenen Bereich langfristig Temperatur entziehen, werden die Anlagen so geplant, dass über einen Zeitraum von ca. 30 Jahren Wasser mit der gewünschten Temperatur entnommen werden kann (Quaschnig, 2014, S. 273). Bei niedrigeren Wassertemperaturen, wie sie z.B. bei Binär-Kreislauf-Kraftwerken verwendet werden, beläuft sich der Wirkungsgrad meist auf unter 10%. Bei solchen Gegebenheiten ist unter Umständen die thermische Nutzung, also die Heizung, der elektrischen Nutzung vorzuziehen. (Quaschnig, 2013, S.270)

Ökologie

Bei Projekten mit HDR (Hot-Dry-Rock, Trockendampf-Kraftwerken) sind die Risiken von Erdbeben noch nicht erforscht. In Basel (2006) wurde deswegen ein Geothermieprojekt nach Auftreten von kleineren Erdbeben eingestellt. Die lokale begrenzten Auskühlungen im Untergrund haben nach heutiger Sicht keine negativen Auswirkungen. Das beim ORC-Prozess verwendete Arbeitsmittel PF5050 hat hohes Treibhausgaspotential. (Quaschnig, 2014, S. 274)

5. Energiegewinnung durch Windkraft



Unsplash(2019): Zbynek Burival

Wind

Die Sonne scheint auf die Erde und erwärmt sie unterschiedlich stark. Durch die Temperaturunterschiede entstehen auch Unterschiede im Luftdruck, es bilden sich Gebiete mit niedrigerem und Gebiete mit höherem Luftdruck. Luft strebt immer vom höheren Luftdruck (Hochdruckgebiet) zum niedrigeren Luftdruck (Tiefdruckgebiet), wodurch Wind entsteht. Die Luft strömt als Wind so lange, bis der Druckunterschied zwischen den beiden Gebieten ausgeglichen ist. Je höher die Druckdifferenz, desto stärker ist auch der Wind. Zusätzlich zu diesem Windsystem gibt es noch andere Systeme, wie z.B. regionale Windsysteme wie Hangauf- und Abwind oder Talein- und Talauswind oder Föhnwind. Globale Windsysteme, wie z.B. die Passatwinde, sind ausschlaggebend für großräumige Wettergeschehnisse. (Quaschning, 2013, S. 215)

Geschichte

Die Kraft des Windes wurde in Europa im 12. Jahrhundert in Form von Blockwindmühlen zum Getreidemahlen eingesetzt. Mitte des 19. Jahrhunderts fanden sich in Europa rund 200.000 Windmühlen. Im Laufe des 20. Jahrhunderts wurden jedoch so gut wie alle historischen Windräder durch anderweitige Motoren ersetzt. Erst im Laufe der 1980er und 1990er Jahre setzte eine Renaissance der Windkraft ein, die nun jedoch nicht zum Mahlen von Getreide oder als Wasserpumpen verwendet wurde, sondern zur Erzeugung von Strom. (Quaschning, 2013, S. 214)

Das größte Angebot von Windenergie findet sich auf offener See, wo keine Hindernisse den Wind abbremsen. Am Festland verliert der Wind durch die unebene Oberfläche und Hindernisse schnell an Geschwindigkeit. Daher werden Windkraftanlagen entweder auf weiten Ebenen oder in größeren Höhen installiert, wo der Wind weniger stark abgebremst wird. Erst in einigen hundert Metern Höhe ist die Windgeschwindigkeit ähnlich stark wie auf dem offenen Meer. Daher wird die Nutzung des Windes durch zunehmenden Abstand zur Küste schwieriger. In z.B. Deutschland besteht ein Potenzial für die Deckung des Energiebedarfs durch Windkraft bei ca. 33%. Großbritannien hingegen könnte theoretisch durch die vielen Küsten potentiell seinen gesamten Energiebedarf decken und darüber hinaus noch Energie exportieren. (Quaschning, 2013, S. 216)

Nutzung von Wind

Die Kraft des Windes wird schon seit vielen tausend Jahren vom Menschen genutzt, ob als Antrieb für Mühlenräder oder in der Schifffahrt. Die Leistung des Windes steigt dabei mit der dritten Potenz seiner Geschwindigkeit. Das bedeutet, dass wenn sich die

Windgeschwindigkeit verdoppelt, steigt die Leistung um das Achtfache. Aus diesem Verhalten wurde durch die Schifffahrt die Beaufort-Skala aufgebaut. Dabei wurde das Segelverhalten von Schiffen beobachtet und die Windgeschwindigkeit in 12 verschiedene Grade eingeteilt. Auch heute wird die Beaufort-Windskala noch in der Meteorologie verwendet. Ihre Einteilung ist in Abbildung 60 abgebildet. (Quaschning, 2013, S. 217)

bft	v in m/s	Bezeichnung	Auswirkung
0	0 ...0,2	Windstille	Rauch steigt gerade empor
1	0,3 ...1,5	leiser Zug	Windrichtung nur am Rauch erkennbar
2	1,6 ...3,3	leichter Wind	Wind fühlbar, Blätter säuseln
3	3,4 ...5,4	schwacher Wind	Blätter und dünne Zweige bewegen sich
4	5,5 ...7,9	mäßiger Wind	Wind bewegt Zweige und dünne Äste, hebt Staub
5	8,0 ...10,7	frischer Wind	kleine Bäume beginnen zu schwanken
6	10,8 ...13,8	starker Wind	starke Äste in Bewegung, Pfeifen an Drahtleitungen
7	13,9 ...17,1	steifer Wind	Bäume in Bewegung, fühlbare Hemmung beim Gehen
8	17,2 ...20,7	stürmischer Wind	Wind bricht Zweige von den Bäumen
9	20,8 ...24,4	Sturm	kleine Schäden an Haus und Dach
10	24,5 ...28,4	schwerer Sturm	Wind entwurzelt Bäume
11	28,5 ...32,6	orkanartiger Sturm	schwere Sturmschäden
12	≥ 32,7	Orkan	schwere Verwüstungen

Abbildung 60: Die Beaufort-Windskala. (Quaschning, 2013, S. 218)

Da die Leistung des Windes zur dritten Potenz seiner Geschwindigkeit steigt, ist die Fläche interessant, die genutzt wird, um Energie aus dem Wind zu gewinnen. In Abbildung 61 sind anhand von Kreisen die Flächen dargestellt, die der Wind proportional zu seiner Geschwindigkeit benötigt, um 100 KW (Kilowatt) zu erzeugen. (Quaschning, 2013, S. 217)

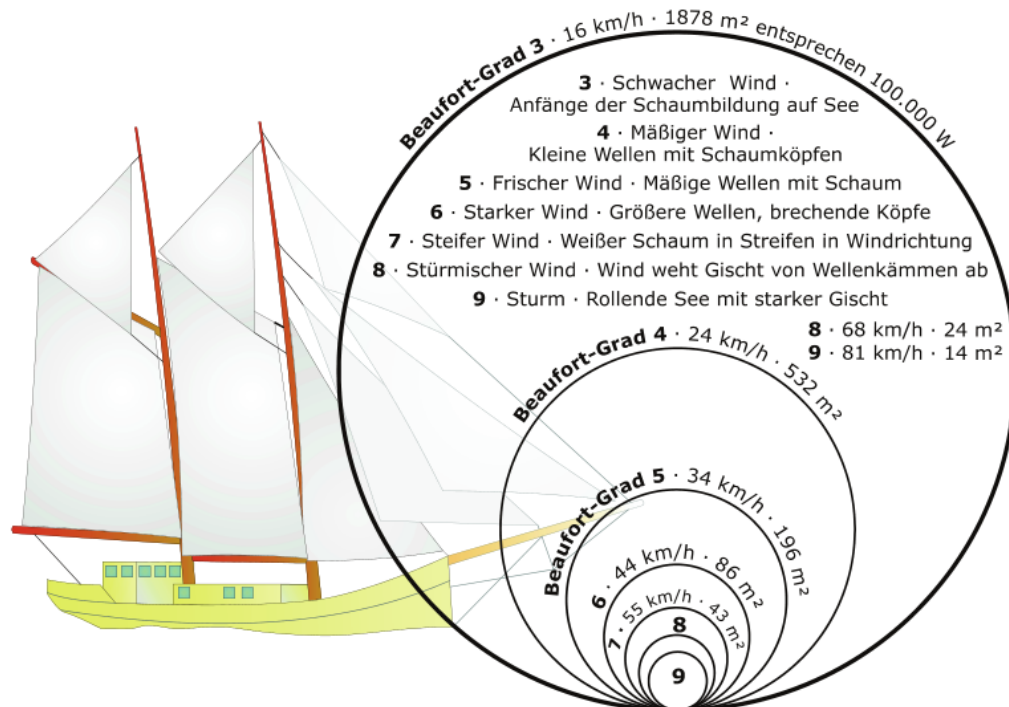


Abbildung 61: Kreise stellen die Flächen dar, die der Wind benötigt, um bei verschiedenen Geschwindigkeiten eine Leistung von 100KW zu erreichen. (Quaschning, 2013, S. 217)

Bei der Nutzung von Wind kann man nach zwei verschiedenen Arten unterscheiden: dem Widerstandsprinzip und dem Auftriebsprinzip. Das Widerstandsprinzip wird in der Seefahrt genutzt und entspricht dabei dem Segel als Widerstand, gegen den der Wind drückt und das Segel und damit das Schiff in eine Richtung drückt. Das Auftriebsprinzip kann dem Wind noch mehr Leistung abgewinnen als das Widerstandsprinzip und wird auch in der Luftfahrt verwendet. Generell wird beim Auftriebsprinzip eine speziell geformte Oberfläche von Luft aus einem bestimmten Winkel angeströmt. (Quaschnig, 2013, S. 220) Abbildung 62 Zeigt das Profil einer für das Auftriebsprinzip verwendbaren Flügelform. Ein Rotorblatt eines Windkraftwerkes ist auf dieselbe Weise aufgebaut.

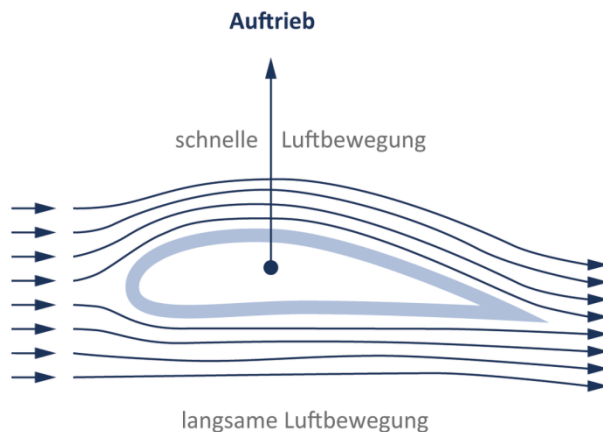


Abbildung 62: Profil eines für das Auftriebsprinzip verwendbaren Form und deren Auswirkung auf die Luftströmung. (Bundesverband WindEnergie, 2018)

Die in Abbildung 62 vereinfachte Darstellung des Auftriebsprinzips zeigt das Verhalten der Luft, die auf ein Objekt strömt. Dabei kann es sich um den Flügel eines Flugzeugs, den Schirm eines Paragliders oder das Rotorblatt eines Windkraftwerkes handeln. Die Luft strömt von vorne auf das Objekt und wird durch die Form nach oben und unten abgelenkt. Durch die Wölbung auf der Oberseite muss die Luft einen längeren Weg zurücklegen als auf der Unterseite, wodurch sie schneller fließen muss. Durch die schnellere Bewegung entsteht ein Unterdruck, welcher das Objekt nach oben „saugt“. (Bundesverband WindEnergie, 2018)

Die meisten Windkraftanlagen sind daher nach dem Auftriebsprinzip ausgerichtet. Dabei wird von den Rotorblättern nicht nur die von vorne, vom Wind anströmende Luft genutzt, sondern auch der Fahrtwind, der sich durch die Bewegung der Rotorblätter ergibt. Der Fahrtwind wird durch die Rotorblätter geteilt. Durch die Form und den Anstellwinkel des Rotorblattes zum Fahrtwind generiert sich auf der Vorderseite des Rotorblattes ein Überdruck und auf der Unterseite ein Unterdruck, siehe Abbildung 63. (Quaschnig, 2013, S. 220)

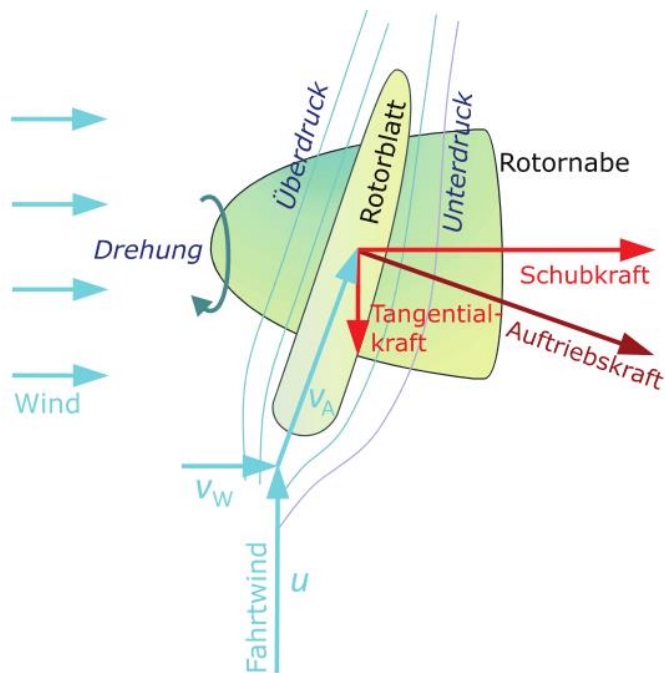


Abbildung 63: Ein Rotorblatt eines Windkraftwerks im Profil. Der Fahrtwind umströmt das Rotorblatt von vorne und erzeugt auf den Flächen jeweils Überdruck und Unterdruck. (Quaschnina. 2013. S. 220)

Durch den Unterdruck wird das Rotorblatt von zwei Kräften in zwei Richtungen gedrückt. Einerseits durch die Schubkraft nach hinten, andererseits durch die Tangentialkraft entgegen des Fahrtwindes. Die Auftriebskraft ergibt sich dabei als Resultat der beiden kombinierten Kräfte. Bei der Windkraftnutzung ist es das Ziel, eine möglichst große Tangentialkraft zu erreichen. Leider ist diese meist kleiner als die Schubkraft, welche sich nicht sinnvoll nutzen lässt, sie biegt lediglich die Rotorblätter nach hinten. (Quaschning, 2013, S. 220)

Aus physikalischen Gründen können Windkraftanlagen nur einen Teil der Energie des Windes nutzen. Würde man die gesamte Windkraft abfangen, müsste der Wind bis zum Stillstand abgebremst werden. Der deutsche Physiker Albert Betz definierte im Jahr 1920 die maximale Nutzung der im Wind enthaltenen Energie von ca. 59,3%. Dabei wird der Wind auf ca. 1/3 seiner ursprünglichen Geschwindigkeit abgebremst. Man spricht daher vom Betz'schen Leistungswert. Moderne Anlagen schaffen aktuell rund 50% Leistungsausbeute und erreichen somit beinahe die physikalischen Grenzen. (Quaschning, 2013, S. 219).

Windkraft zur Stromerzeugung

Das Potential der Windenergie kann Windkarten für Österreich anhand der gemessenen Windstärke errechnet werden. Der Windatlas.at (Abbildung 64) ist eine Webapplikation, die einen Überblick über die durchschnittlichen Jahresmittelwerte der Windstärke in Österreich verschafft. Die Windgeschwindigkeit ist in Meter pro Sekunde (m/s) angegeben und kann für die Höhe von 50m über Grund und 100m über Grund angezeigt werden. (Windatlas.at, 2010)

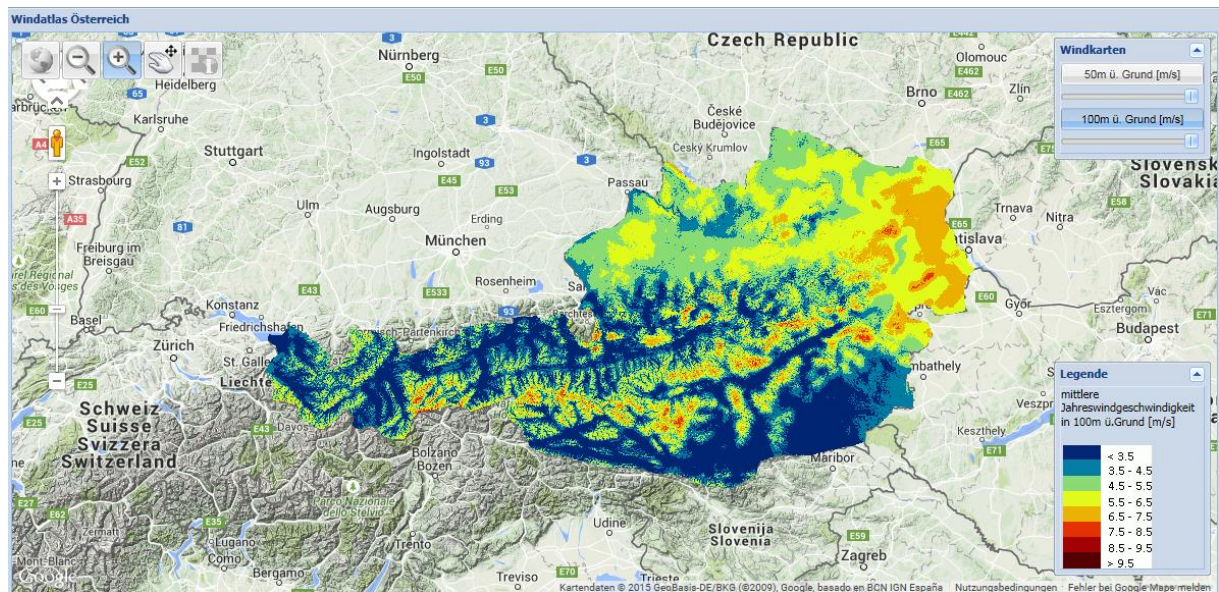


Abbildung 64 Jahresmittelgeschwindigkeit des Windes in Österreich in 100m über Grund. (Windatlas.at, 2010)

Die Nutzung der Windkraft ist in den letzten Jahren beträchtlich gestiegen, wie in Abbildung 65 ersichtlich. China, USA und Deutschland sind dabei die Länder mit den meisten installierten Windkraftwerken. Im Jahr 2015 war die durch Windkraft generierte Leistung für Stromerzeugung erstmals höher als die der Kernenergie. (Quaschnig, 2019)

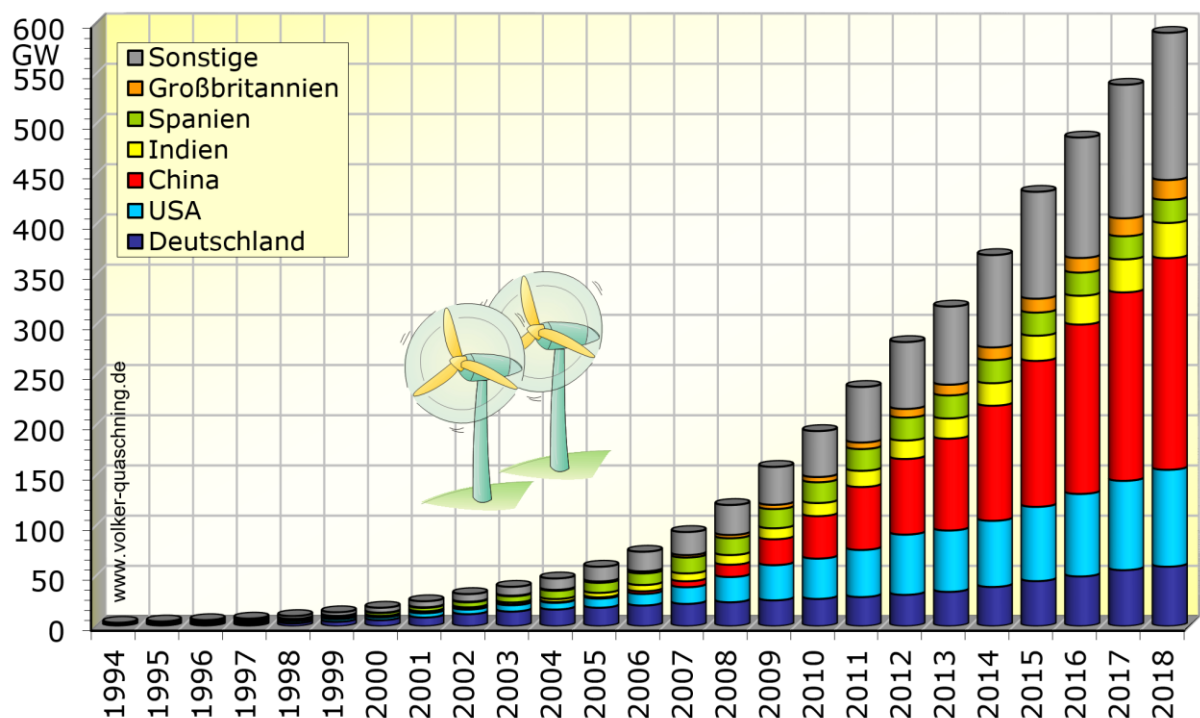


Abbildung 65: Entwicklung der weltweit installierten Windkraftleistung. (Quaschnig, 2019)

3.5.1 Kleinwindkraftanlagen

Kleine Windkraftanlagen werden häufig zum Laden von Batteriesystemen verwendet. Da sie an kein weiteres Netz angeschlossen sind, werden sie als Wind-Inselsystem bezeichnet. Solche Systeme sind vor allem in der Schifffahrt verbreitet, um die Boardbatterie aufzuladen. Jedoch stellt sich bei solchen Anlagen das Problem des Energieüberschusses, sobald die Batterie geladen ist. Denn sobald der Windgenerator von der Batterie getrennt wird, der Wind aber weiterhin antreibt, können im Generator hohe Geschwindigkeiten entstehen und das System beschädigen. Um das zu vermeiden, wird bei aufgeladener Batterie die Energie auf einen Heizwiderstand gelenkt, um die Drehzahl zu begrenzen. In Abbildung 66 ist ein einfaches Wind-Inselsystem dargestellt. (Quaschning, 2013, S. 221)

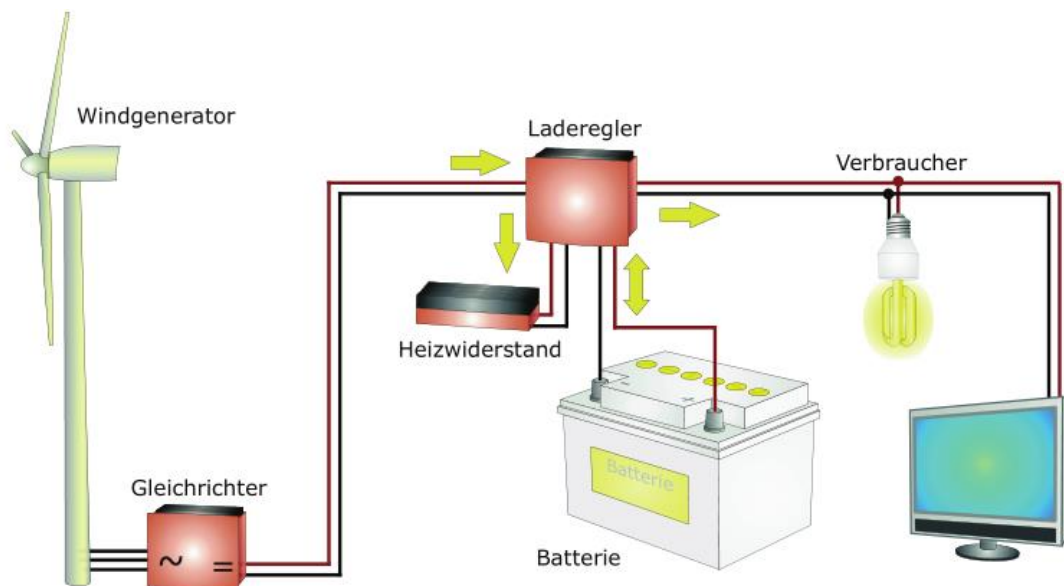


Abbildung 66: Aufbau eines Wind-Inselsystems. (Quaschning, 2013, S. 222)

Bei zu starken Windgeschwindigkeiten besteht die Gefahr der Beschädigung der Anlage. Große Windkraftwerke verfügen meist über eine spezielle Sturmstellung, um Schäden zu vermeiden. Bei kleinen Kraftwerken ist das meist nicht der Fall, diese werden häufig, wenn möglich, rechtzeitig abgebaut. (Quaschning, 2013, S. 222)

3.5.2 Große, netzgekoppelte Windkraftanlagen

Die Windkraftnutzung im großen Stil hat seit den 1980er Jahren eine große Entwicklung durchgemacht. Der damalige Rotordurchmesser betrug im Schnitt 20m, die typische Leistung entsprach in etwa 100KW. Seit 2005 erreichen Windkraftanlagen eine Leistung von ca. 5000KW und arbeiten mit Rotordurchmessern von bis zu über 110m. Die Gondel bildet das Zentrum einer modernen Windkraftanlage und ist drehbar auf dem Turm platziert. Durch eine Windmessenanlage dreht sich die Gondel dem Wind entgegen. Die drei Rotorblätter sind an der Nabe aufgehängt, sie treiben über eine Welle einen elektrischen Generator an, der dadurch elektrische Energie produziert. Bei einem Kraftwerk mit einer Leistung von 5000KW und einem Rotordurchmesser von 126m entsteht eine Drehzahl von maximal 12 Umdrehungen pro Minute. Ein Getriebe passt die relativ langsame Drehung der Welle an die schnellere Drehung des Generators an. (Quaschning, 2013, S. 225) In Abbildung 67 ist das Innenleben einer Gondel dargestellt.

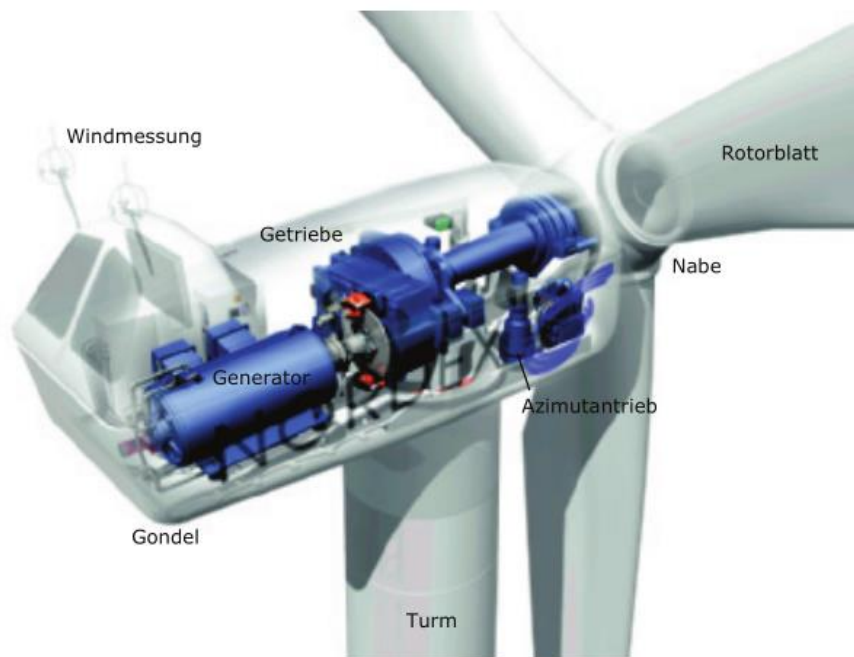


Abbildung 67: Innenleben einer Gondel einer Großwindkraftanlage. (Quaschnig, 2013, S. 225)

3.5.3 Offshore-Windparks

Wenn Windkraftanlagen direkt im Meer stehen, bezeichnet man dies als Offshore-Windpark. Der Vorteil dieser Windparks ist die große Fläche, die bebaut werden kann und der, verglichen zum Land, stärkere und gleichmäßigere Wind. Dadurch können hohe Leistungserträge erzielt werden. Verglichen mit Binnenkraftwerken liefern Offshore-Windparks bis zu 50% mehr Ertrag. Für eine optimale Nutzung sollten die Anlagen nicht zu tief ins Wasser gebaut werden und nicht zu weit vom Ufer entfernt sein. Der Nachteil dieser Anlagen ist die wesentlich schwierigere Wartung als bei Anlagen an Land. Für die Wartung werden spezielle Schiffe benötigt, die nur bei ruhigem Wellengang einsetzbar sind. Bei starkem Wellengang oder Sturm kann die Anlage nicht gewartet werden. Zusätzlich kann das Salzwasser die Konstruktion angreifen, daher muss die Anlage besonders geschützt werden und korrosionsbeständig sein. (Quaschnig, 2013, S. 229) In Abbildung 68 ist der Rampion Offshore-Windpark im Vereinigten Königreich abgebildet. Es befindet sich im Ärmelkanal, ca 3km südlich der Küste von Sussex. Alle 116 Turbinen gemeinsam haben ein Potenzial von 400MW (also 400.000KW) und können bis zu ca. 345.000 Haushalte mit Strom versorgen. (Offshore WIND, 2018)



Abbildung 68: Rampion Offshore-Windpark im Vereinigten Königreich. (Doherty, 2019)

Die Errichtung und Wartung von Windkraftanlagen eines Offshore-Windparks sind wesentlich aufwendiger als an Land und daher auch kostenintensiver. In Deutschland konnten Offshore-Windparks noch nicht optimal umgesetzt werden. Dafür gibt es mehrere Gründe, Probleme und Risiken bei der Anlagenerrichtung, dem Netzanschluss und der Finanzierung, die zur Verzögerung von Offshore-Windparkprojekten führten. In Deutschland wird der höhere Anteil elektrischer Energie in der Mitte und im Süden des Landes konsumiert, die Energie müsste also über Kabel weite Wege zurücklegen, wodurch Energieverlust entsteht. (Quaschnig, 2013, S. 232)

Aufbau

Kleine Windkraftanlagen für den eigenen Garten müssen meist genehmigt werden, was vom Baurecht des jeweiligen Landes bzw. Bundeslandes abhängt. Bei großen Windkraftanlagen müssen mehrere Anforderungen erfüllt werden, rechtliche Baugenehmigungen unter Anbetracht der Raumplanung der Gemeinden und eventuelle Umweltverträglichkeitsprüfungen. Wichtig für die Wirtschaftlichkeit einer Windkraftanlage ist die Kenntnis der Windverhältnisse am geplanten Standort. Im besten Fall wird eine Windmessaanlage errichtet, die am Standort für den Zeitraum von mindestens einem Jahr die Windverhältnisse aufzeichnet. Die Ergebnisse werden mit Aufzeichnungen von nahe liegenden Messstationen verglichen und ein Jahresdurchschnitt berechnet. Durch weitere Berechnungen kann bestimmt werden, wie oft im Jahr eine bestimmte Windgeschwindigkeit vorkommt. Auch der potentielle Jahresertrag der Anlage kann berechnet werden. (Quaschnig, 2013, S. 233-234) An Land lassen sich selbst sehr große Windkraftanlagen in wenigen Tagen aufstellen. Da moderne Anlagen die Drehzahl des Generators an die Windgeschwindigkeit anpassen können, können schon geringe Geschwindigkeiten von 9-13km/h ausgenutzt werden. Bei ca. 47km/h können Windkraftanlagen die höchste Leistung erzielen. Bei höheren Geschwindigkeiten muss abgeregelt werden, die Anlage dreht sich leicht aus dem Wind, um weiterhin ihr größtmögliches Potential auszuschöpfen. (Quaschnig, 2013, S. 224)

Ökonomie

Die Kosten für eine Kleinwindkraftanlage sind unterschiedlich, ab einigen hundert Euro kann man einen Generator und Batterie erwerben. Laut Quaschnig (2013) ergibt sich für solche Anlagen meistens ein Kostenaufwand von ca. 8€ pro Watt, was ein Fünffaches dem einer Photovoltaikanlage entspricht. Bei großen, netzgekoppelten Anlagen sinken die spezifischen Kosten in Euro pro Watt. Der Bau der Anlage inklusive Planung und Netzanschluss bedingt ca. 1,20€ pro Watt, wobei diese Kosten je nach Standort und Technik variieren können. Die Kosten für einen Offshore-Windpark sind meist doppelt, auch bis zu viermal so hoch wie die Kosten einer Windkraftanlage an Land. Diese Kosten können je nach Wassertiefe und Entfernung zur Küste variieren. (Quaschnig, 2013, S. 235-236)

Ökologie

Verglichen mit Photovoltaik wird für die Erstellung einer Windkraftanlage weniger Energie benötigt. Der Energiebedarf für die Herstellung eines Windkraftwerkes ist dabei bereits in wenigen Monaten produziert. Eine 5 Megawattanlage kann in 20 Jahren 200.000.000 kWh erzeugen. Dieselbe Menge an Energie würde bei einem kalorischen Kraftwerk ca. 120.000 t Kohlendioxid produzieren. Aufgrund ihrer Größe sind Windkraftanlagen meist über weite

Entfernungen sichtbar. Auswirkungen auf die Tierwelt halten sich gering, es tritt schnell eine Gewöhnung ein und der Vogelschlag ist verglichen mit Glasfronten bei Gebäuden gering. Windkraftanlagen werden außerhalb von Wohngebieten und Naturschutzgebieten erstellt, wodurch sich Belästigung durch Geräusche und Schattenwurf gering hält. (Quaschnig, 2013, S.239).

Schlussfolgerung

Ob elektrische Energie, Wärmeenergie oder Energie für Transport – der weltweite Energiebedarf steigt stetig. Um diesen Bedarf zu decken, wird auf verschiedenste Weise Energie produziert. Die am weitesten verbreitete, konventionelle Energiegewinnung durch fossile Energien, Kohle- und Kernkraftwerke sind einerseits schädlich für unsere Umwelt und andererseits in vielerlei Hinsicht risikobehaftet. Die Verbrennung fossiler Kraftstoffe fördert viele schädliche Abgase in die Atmosphäre und bedingt eine Veränderung der Luftzusammensetzung, deren Ausmaß nicht komplett absehbar ist. Die Zunahme von Treibhausgasen in der Atmosphäre begünstigt die Klimaerwärmung, die mittlerweile vielerorts auf der Welt in Form von extremen Wetterereignissen spürbar wird. Eine Reduzierung der Luftverschmutzung ist daher unabdingbar. Doch nicht nur Umweltverschmutzung und verstärkter Klimawandel sind negative Nebeneffekte konventioneller Energiegewinnung. Die Abhängigkeit von fossilen Energien führt weltweit zu ökonomischen und dadurch auch zu sozialen Problemen. Der Ölpreis ist ausschlaggebend für die weltweite Wirtschaft, wodurch er auch für die Politik einen wichtigen Faktor darstellt. Viele Kriege und Unruhen entstanden durch den Kampf um den fossilen Rohstoff. Durch die Loslösung konventioneller Energiegewinnung könnte größere Unabhängigkeit geschaffen und solche Probleme und Risiken vermieden werden. Die in dieser Arbeit vorgestellten Systeme zur regenerativen Energiegewinnung sollen einen Überblick über deren Funktionsweise, Nutzen und Potenzial aufzeigen. Auch erneuerbare Energiesysteme können Risiken und Probleme bergen, z.B. hoher Energiekonsum bei der Herstellung, die Verwendung von knappen Ressourcen oder die Auswirkungen auf das Ökosystem, in welches die Anlage gebaut wird. Dabei sollten diese negativen Aspekte jedoch mit denen konventioneller Anlagen verglichen werden. Allgemein ist nicht nur die ökonomische, sondern auch die ökologische und soziale Kosten-Nutzen-Frage bei der Errichtung einer erneuerbaren Energieanlage zu beachten und kritisch zu hinterfragen. Dieser beginnt schon bei der Gewinnung der für die Anlage benötigten Ressourcen, geht über die einzelnen Verarbeitungsschritte bis hin zur funktionstüchtigen Anlage und deren Lebenserwartung. Denn nur so kann wirklich nachhaltige Energiegewinnung gewährleistet werden.

Literaturverzeichnis

BMLFUW U. BMWFJ (Hrsg.) (2010): Energiestrategie Österreich. Wien, 149 Seiten

BRITISH PETROLEUM (2015): Statistical Review of World Energy June 2015. 64ste Ausgabe, London, 46 Seiten

BUNDESVERBAND WINDENERGIE (2018): Widerstands- und Auftriebsläufer.
<https://www.wind-energie.de/themen/anlagentechnik/funktionsweise/widerstandlaeufer-auftriebslaeufer/>
Letzter Zugriff am 13.05.2019

BMFW.GV.AT (2015): Energiestrategie und Energiepolitik,
<http://www.bmfw.gv.at/EnergieUndBergbau/EnergiestrategieUndEnergiepolitik/Seiten/Energiestrategie.aspx>; Letzter Zugriff am 30.06.2015

BUNDESZENTRALE FÜR POLITISCHE BILDUNG (2015): Verteilung nachgewiesener Erdölreserven. <http://www.bpb.de/nachschlagen/zahlen-und-fakten/globalisierung/52764/erdoel-reserven> , Letzter Zugriff am 09.07.2015

BUNDESZENTRALE FÜR POLITISCHE BILDUNG (2019): Zahlen und Fakten Globalisierung. Primärenergie-Versorgung.
<https://www.bpb.de/nachschlagen/zahlen-und-fakten/globalisierung/52741/primaerenergie-versorgung><https://www.google.at>
Letzter Zugriff: 15.05.2019

CIA (2015): The World Factbook; <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/hk.html> , Letzter Zugriff am 06.07.2015

DE-IPCC.DE (2015): Intergovernmental Panel on Climate Change: über IPCC; <http://www.de-ipcc.de/de/119.php>, Letzter Zugriff am 29.06.2015

DUDEN.DE (2019): Rechtschreibung <https://www.duden.de/rechtschreibung> , letzter Zugriff am 09.03.2019

ENDLICHER, W; GERSTENGARBE, F.-W. (Hrsg.) (2007): Der Klimawandel. Potsdam: Humboldt-Universität, 142 Seiten

ENERGYGLOBE.AT (2015): <http://www.energyglobe.at/awards/details/awdid/7308/>, Letzter Zugriff am 16.07.2015

FRAUNHOFER.DE (2015):
<https://www.fraunhofer.de/de/leistungsangebot/referenzbeispiele/referenzbeispiel-concentrix-solar.html> , Letzter Zugriff am 16.07.2015

GEBHARDT, H.; GLASER, R.; RADTKE, U.; REUBER, P.; (2007): Geographie: Physische Geographie und Humangeographie. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 1096 Seiten

GREEN JOBS AUSTRIA (2013): <http://www.umwelttechnik.at/de/erneuerbare-energie-technologie/wasserkraft/daten-fakten/> , Letzter Zugriff am 22.07.2015

HULD (2012): Huld T., Müller R., Gambardella A., 2012. A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and Africa. Solar Energy, 86, 1803-1815. Statistik Austria (Hrsg.) (2014): Energiedaten Österreich 2013; Wien, 24 Seiten

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2015): Renewables Information 2015.
<https://www.iea.org/classicstats/relateddatabases/renewablesinformation/>
Letzter Zugriff am 12.05.2019

ICB UNTERNEHMENSBERATUNG (2019): Solarthermieranlage – Funktionsweise, Nutzen und Vorteile. <http://www.regenerative-energie24.de/solarthermie/solarthermieranlagen-warmwasser-einfach-und-umweltschonend> , Letzter Zugriff am 02.05.2019

OFFSHORE WIND (2018): Rampion Offshore Wind Farm Hits Full Stride.
<https://www.offshorewind.biz/2018/04/17/rampion-offshore-wind-farm-hits-full-stride/>
Letzter Zugriff am 14.05.2019

PAEGER, J. (2006-2017): Das globale Ökosystem. Die Quelle des Lebens. Die Hydrosphäre.
<http://www.oekosystem-erde.de/html/wasser.html>
Letzter Zugriff am 07.05.2019

QUASCHNING, VOLKER (2013): Erneuerbare Energien und Klimaschutz. 3.Auflage, München: Carl Hanser Verlag, 380 Seiten

QUASCHNING, VOLKER (2019): Statistiken: Weltweit installierte Windkraftleistung.
<https://www.volker-quaschning.de/datserv/windinst/index.php>
Letzter Zugriff am 14.05.2019

SCHABHÜTTL S. (2017): Aktuelle Wasserkraftwerksplanungen in Österreich.
Umweltdachverband.
<https://www.umweltdachverband.at/themen/wasser/wasserkraft/wk-planungen/>
Letzter Zugriff am 07.05.2019

SCHÖNWIESE, CHRISTIAN-DIETRICH (2013): Klimatologie. 4.Auflage; Stuttgart: Ulmer Verlag, 489 Seiten

STATISTA.COM (2018): Energie und Umwelt. Erdölverbrauch weltweit bis 2017.
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/40384/umfrage/welt-insgesamt---erdoelverbrauch-in-tausend-barrel-pro-tag/>
Letzter Zugriff am 13.05.2019

STATISTIK AUSTRIA (Hrsg.) (2015): Gesamtenergiebilanz Österreich 1970 – 2013
http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html
Letzter Zugriff am 20.04.2019

STRECKER, M. (2017): So funktioniert ein Geothermie-Kraftwerk. Energie Initiative.org.
<http://energieinitiative.org/so-funktioniert-ein-geothermie-kraftwerk/#prettyPhoto>
Letzter Zugriff am 10.05.2019

SURI (2007): Šúri M., Huld T.A., Dunlop E.D. Ossenbrink H.A., 2007: Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries. Solar Energy, 81, 1295–1305, <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>.

UMWELTBUNDESAMT.DE (2015): <http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie>,
Letzter Zugriff am 30.06.2015

VERBUND.COM (2015): <http://www.verbund.com/pp/de/> , letzter Zugriff am 28.07.2015

WELT.DE (2012) <http://www.welt.de/dieweltbewegen/article13801960/Aufwindkraftwerke-so-effektiv-wie-Atommeiler.html> , letzter Zugriff am 16.07.2015

WIKIPEDIA.ORG (2015): Geschichte der Wasserkraft. <https://de.wikipedia.org/wiki/Wasserkraft>,
Letzter Zugriff am 22.07.2015

WATTER, HOLGER (2013): Regenerative Energiesysteme. 3.Auflage, Wiesbaden: Springer Verlag, 380 Seiten

WATTER, H. (2009): Nachhaltige Energiesysteme. Grundlagen, Systemtechnik und Anwendungsbeispiele aus der Praxis.
https://books.google.at/books?id=IBTITDN8sTYC&pg=PA91&lpg=PA91&dq=bodenwellengenerator&source=bl&ots=_eeBVA4J9I&sig=ACfU3U0s-riHKJbYlr-5ud7nT3tqUBPPoQ&hl=de&sa=X&ved=2ahUKEwjRtpucgoniAhUvposKHZFxAUwQ6AEwBXoECAgQAQ#v=onepage&q=bodenwellengenerator&f=false
letzter Zugriff am 07.05.2019

WINDATLAS.AT (2010): AuWiPot - Windatlas und Windpotentialstudie Österreich (2009 - 2011). <https://www.windatlas.at/>
Letzter Zugriff am 13.05.2019

ZAMG (2015): natürliche Treibhausgase.