

---

# DIPLOMARBEIT

---

Herr Ing.  
**Kevin Stani**

## **Energie Konzept- Sonnen- energie und Windenergie in Symbiose**

Mittweida, 2015

# **DIPLOMARBEIT**

---

## **Energie Konzept- Sonnen- energie und Windenergie in Symbiose**

Autor:

**Herr Ing.  
Kevin Stani**

Studiengang:

**Wirtschaftsingenieurwesen**

Seminargruppe:

**KW11wWA-F**

Erstprüfer:

**Prof. Dr. rer. oec. Johannes N. Stelling**

Zweitprüfer:

**Prof. Dipl.-Kfm. Dr. Andreas Hollidt**

Einreichung:

**Weiz, 29.Juli.2015**

Verteidigung/Bewertung:

Faculty of Economics

---

## **DIPLOMA- THESIS**

---

# **Energy Concept- Sun energy and wind energy in symbiotic**

author:

**Mr. Ing.  
Kevin Stani**

course of studies:

**Wirtschaftsingenieurwesen**

seminar group:

**KW11wWA-F**

first examiner:

**Prof. Dr. rer. oec. Johannes N. Stelling**

second examiner:

**Prof. Dipl.-Kfm. Dr. Andreas Hollidt**

submission:

**Weiz, 29.Juli.2015**

defence/ evaluation:



# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>III</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>V</b>
<b>Bibliographische Beschreibung</b> .....	<b>VII</b>
<b>Referat</b> .....	<b>VIII</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 <i>Abstract</i> .....	1
1.2 <i>Motivation</i> .....	1
1.3 <i>Problemstellung</i> .....	2
1.4 <i>Zielsetzung</i> .....	5
<b>2 Grundlagen</b> .....	<b>7</b>
2.1 <i>Erneuerbare Energien</i> .....	7
2.1.1 <i>Sonnenenergie</i> .....	9
2.1.1.1 <i>Solar</i> .....	10
2.1.1.2 <i>Photovoltaik</i> .....	12
2.1.1.3 <i>Vor und Nachteile der Sonnenenergie</i> .....	15
2.2 <i>Windenergie</i> .....	16
2.2.1 <i>Windräder</i> .....	19
2.2.2 <i>Windturbine</i> .....	20
2.3 <i>Wasserkraft</i> .....	21
2.4 <i>Konventionelle Energien</i> .....	22
2.4.1 <i>Fossile Energien</i> .....	23
2.4.1.1 <i>Erdöl</i> .....	23
2.4.1.2 <i>Erdgas</i> .....	24
2.4.1.3 <i>Kohle</i> .....	25
2.4.1.4 <i>Vorteile fossiler Energien</i> .....	26
2.4.1.5 <i>Nachteile fossiler Energien</i> .....	27
2.4.2 <i>Atomenergie</i> .....	27
2.4.2.1 <i>Funktionsweise eines Kernkraftwerkes</i> .....	28
2.4.2.2 <i>Abwägung der Vor- und Nachteile</i> .....	29

2.5	<i>Energiespeicher</i> .....	31
2.5.1	Bleiakkumulator .....	32
2.5.1.1	Blei-Gel Akku .....	33
2.5.2	Nickel Cadmium (NiCD) Akku .....	34
2.5.3	Nickel Metallhydrid (NiMH) Akku .....	35
2.5.4	Lithium Ionen (Li Ionen) Akku.....	36
2.5.5	Lagerung von Akkus .....	38
2.5.6	Ladung und Entladung eines Bleiakkus .....	39
2.5.7	Memory-Effekt.....	41
2.5.8	Zukunft der Batterie .....	42
<b>3</b>	<b>Ist-Betrachtung</b> .....	<b>45</b>
3.1	<i>Ausgangssituation</i> .....	45
3.1.1	Graz.....	47
3.1.1.1	Zahlen, Daten und Fakten.....	48
3.1.2	Politische Situation.....	49
3.1.3	Bestehende Risiken .....	50
<b>4</b>	<b>Soll-Betrachtung</b> .....	<b>51</b>
4.1	<i>Beschreibung des Konzeptes</i> .....	51
4.1.1	Planung Photovoltaik .....	52
4.1.1.1	Planungsschritte .....	53
4.1.1.2	Verwendbare Dachfläche .....	53
4.1.1.3	Ermittlung des Energiepotentials.....	54
4.1.1.4	Ergebnis.....	54
4.1.2	Planung Windenergie.....	55
4.1.2.1	Wahl der Windturbine.....	55
4.1.2.2	Ermittlung des Energiepotentials.....	57
4.2	<i>Betrachtung der Verbindung von Photovoltaik und Windenergie</i> .....	58
4.3	<i>Vorteile des Konzeptes</i> .....	59
4.4	<i>Nachteile des Konzeptes</i> .....	59
4.5	<i>Handlungsbedarf</i> .....	60
4.6	<i>Wirtschaftlichkeitsanalyse</i> .....	61
<b>5</b>	<b>Fazit</b> .....	<b>63</b>
5.1	<i>Endergebnisse</i> .....	63
5.2	<i>Ausblick</i> .....	64
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>IX</b>
	<b>Selbstständigkeitserklärung</b> .....	<b>XIII</b>

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bevölkerungszuwachs Österreich.....	3
Abbildung 2: Erneuerbare Energien .....	7
Abbildung 3: Funktionsweise einer Solar-Anlage.....	12
Abbildung 4: Solarmodul .....	14
Abbildung 5: Inselbetrieb Blockschaltbild.....	15
Abbildung 6: Windmühle .....	17
Abbildung 7: Windpark .....	19
Abbildung 8: Windturbine (Becker) .....	20
Abbildung 9: Die wichtigsten Energieträger Weltweit 2013.....	23
Abbildung 10: Aufbau eines klassischen Bleiakkus .....	33
Abbildung 11: Aufbau eines NiCd Akkus .....	34
Abbildung 12: Aufbau eines NiMH Akkus .....	35
Abbildung 13: Aufbau eines Li Ionen Akkus .....	37
Abbildung 14: Ladung und Entladung eines Bleiakkus .....	39
Abbildung 15: Wichtige elektrische Größen von Akkus.....	40
Abbildung 16: Wichtige Spannungswerte von Akkus.....	40
Abbildung 17: Memory-Effekt .....	41
Abbildung 18: Tesla Powerwall.....	43
Abbildung 19: Stromverbrauch pro Kopf in Österreich.....	46
Abbildung 20: Dachlandschaft Graz- Blick vom Schlossberg.....	49

---

Abbildung 21: Technische Daten, Fa. hellbrok, BVT- Broschüre .....	55
Abbildung 22: BVT- 0.5 Windturbine .....	56



# Abkürzungsverzeichnis

<b>Bsp.</b>	Beispiel
<b>bzw.</b>	beziehungsweise
<b>ca.</b>	circa
<b>cm</b>	Zentimeter
<b>cm<sup>2</sup></b>	Quadratcentimeter
<b>EVU</b>	Elektrizitätsversorgungsunternehmen
<b>GWh</b>	Gigawattstunde
<b>kg</b>	Kilogramm
<b>km</b>	Kilometer
<b>km<sup>2</sup></b>	Quadratkilometer
<b>km<sup>3</sup></b>	Kubikkilometer
<b>kWh</b>	Kilowattstunde
<b>kWh/m<sup>2</sup></b>	Kilowattstunde pro Quadratmeter
<b>m</b>	Meter
<b>mm</b>	Millimeter
<b>Mrd.</b>	Milliarde
<b>m/s</b>	Meter pro Sekunde
<b>mV</b>	Millivolt
<b>PV</b>	Photovoltaik
<b>Stk.</b>	Stück
<b>TWh</b>	Terrawattstunde
<b>V</b>	Volt
<b>VDC</b>	Voltage direct current
<b>W</b>	Watt
<b>z. Bsp.</b>	zum Beispiel

**vgl.**           vergleiche

---

## **Bibliographische Beschreibung**

Stani, Kevin:

Energie Konzept- Sonnenenergie und Windenergie in Symbiose - 2015. – 65 S.

Mittweida, Hochschule Mittweida (FH), Fakultät Wirtschaftswissenschaften, Diplomarbeit, 2015

## Referat

Mit dieser Arbeit soll ein Energiekonzept erstellt werden, mit welchem es möglich ist, dass sich Unternehmen, aber auch vor allem Städte, autark versorgen. Zudem soll durch dieses Konzept ein hoher Nutzen für die Umwelt entstehen. Diese Arbeit beschreibt ein autarkes Energieversorgungskonzept für Städte, das einen hohen Nutzen für die Umwelt (CO<sub>2</sub> neutrale Energieerzeugung) stiftet und einen nachhaltigen Beitrag zum Umweltschutz darstellt.

Im ersten Teil der Diplomarbeit sind die Grundlagen der in Betracht kommenden Energiequellen, sowie vorhandene Techniken erläutert. Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde eine Ist- Aufnahme der Gegebenheiten für die Stadt Graz durchgeführt, die auf die Energieversorgung und den Energiehaushalt der Kommune abstellt. Um Potentiale zu evaluieren, wird zu diesem Ist-Stand eine Soll-Betrachtung aufgezeigt. Dazu wird das Konzept zuerst im Detail beschrieben, um anschließend die Umsetzung modellhaft durchzuführen.

Zum Schluss dieser Arbeit werden die Ergebnisse der fiktiven Durchführung dargestellt, Maßnahmen, welche man in Wirklichkeit durchführen könnte, erörtert und ein Ausblick für die Zukunft gegeben.

# 1 Einleitung

Um einen raschen und einfachen Überblick über die Thematik zu bekommen, sind einleitend eine Kurzfassung, ein allgemeiner Überblick, sowie die Beweggründe und die Motivation dieser Diplomarbeit dargestellt. Darauf aufbauend sind die Problemstellung und die Zielsetzung detaillierter dargestellt.

## 1.1 Abstract

With this work, an energy concept should be created, which allows companies but especially cities to provide self-sufficient power. Furthermore there will be built a great benefit for the environment.

At first I will explain the fundamentals of energy as well as the existing technologies in this topic. Based on this knowledge, an actual observation takes place using the example of the city of Graz. It explains how and where this city is supplied with energy and it also takes a look at the general energy budget from this city. In the nominal consideration, the concept is first described in detail in order to be subsequently carried out, to transfer this concept into reality.

Finally, the results of this work will be presented, discussed and an outlook for the future will be given.

## 1.2 Motivation

Die Motivation zum Verfassen dieser Arbeit entspringt der Vorlesung von Prof. Dr. Ing. Ralf Hartig zum Thema Regenerative Energien. Die Erkenntnis aus der Darstellung Prof. Hartigs, dass die Bevölkerung nicht bereit ist, Kompromisse zugunsten der erneuerbaren und nachhaltigen Energien einzugehen, wird massive energie- und umweltpolitische Probleme in den kommenden Jahren mit sich bringen und neue Ansätze – wie der hier beschriebene – zur Lösung der aufgeworfenen Probleme und Fragen erfordern.

Als konkretes Bsp. kann jenes der in Deutschland in Betrieb befindlichen Windkraftanlagen genannt werden. Diese Anlagen produzieren ausreichend elektrische Energie, um damit einen Großteil der derzeit noch auf der atomaren Technologie basierenden Energieerzeugung zu substituieren. Die Umsetzung scheitert, - wie in vielen Fällen -, an der Bereitschaft der Bevölkerung. Diese ist nicht bereit, die Versorgungsstrassen zu akzeptieren, da nach Ansinnen der Betroffenen das schöne Landschaftsbild zerschnitten wird.

Diese Faktenlage motivierte mich, mir über diesen Zielkonflikt Gedanken zu machen. Die zündende Idee kam mir im Anschluss an die Vorlesung von Prof. Hartig, als ich mich mit Freunden in einem Cafe auf dem Grazer Schloßberg traf. Der Blick auf die wunderschöne – unter UNESCO Schutz stehende – Dachlandschaft der Grazer Altstadt legte den Schluss der Nutzung dieser Dachflächen für die Energieerzeugung nahe. Um das einzigartige Bild dieser wunderschönen Dachlandschaft nicht zu zerstören, muss der Eingriff schonend erfolgen. Im Zuge einer Recherche wurde ich auf eine Technologie aufmerksam, die eine Energieerzeugung direkt über ein integriertes Photovoltaik Element im Dachziegel ermöglicht. Dieser Ansatz beeinträchtigt somit das Erscheinungsbild der Grazer Dachlandschaft nur unwesentlich und ermöglicht eine effiziente Nutzung der verfügbaren Sonnenenergie. Diese Technologie schien aber nach weiterer Recherche noch nicht ausreichend entwickelt und somit fokussierte ich meinen Ansatz auf die vorhandene, durchaus schon weit entwickelte, Photovoltaik Technologie mit ihren Solarmodulen.

Die Energie muss bei diesem gewählten Ansatz nicht zur Bevölkerung gebracht werden, sondern wird vor Ort erzeugt und verbraucht. Dadurch entfallen auch Blindleistungsverluste, die mit derzeitigen Technologien für den Energietransport aufgewendet werden müssen. Eine Kombination von Wind- und Sonnenenergie liefert in sonnenschwachen Monaten ausreichend Energie an die Versorgungssysteme und beseitigt die Schwachstellen der photovoltaischen Energieerzeugung in erheblichem Ausmaß.

Ein weiterer Antrieb zur Erstellung dieser Arbeit ist auch jener, dass sich zunehmend mehr Leute in meinem Verwandten- und Bekanntenkreis Gedanken über erneuerbare Energien und vorhandene technische Realisierungskonzepte machen und diese Alternativen bereits partiell für die autarke Energieerzeugung umsetzen. Diese Umsetzungen steuern einen kleinen Anteil zu einer verbesserten Umwelt bei und sind ein guter Antrieb, dieses wichtige Thema wissenschaftlich aufzubereiten.

### 1.3 Problemstellung

Hoch entwickelte Technologien und die schnelllebige Zeit gehen einher mit stetig steigendem Energieverbrauch der Menschheit. Zudem wächst die Bevölkerung auf unserem Planeten kontinuierlich weiter, was auch in den sogenannten Entwicklungsländern zu einem Anstieg des Energiekonsums beiträgt. Diese Energie muss in Kraftwerken erzeugt und über lange Transportwege zum Endverbraucher gebracht werden. Der derzeitige Energiemix in Österreich zeigt, dass die Energieerzeugung zum überwiegenden Anteil auf veralteten (Ausnahme Wasserkraft) Technologien basiert, die eine massive Beeinträchtigung der Umwelt nach sich ziehen (Bsp. kalorische Energieerzeugung).

Zur Veranschaulichung dieses Problems ist im Folgenden ein Auszug aus der Volkszählung 2011 dargestellt, die das Bevölkerungswachstum im „sehr kleinen“ Österreich zeigt und den ansteigenden Bedarf an Energie verdeutlicht.

#### A01 Bevölkerung 1869-2011 (Volkszählungsergebnisse) nach Bundesländern

Population since 1869-2011 (census results) by Länder

Stichtag	Österreich	Bundesland								
		Burgenland	Kärnten	Niederösterreich	Oberösterreich	Salzburg	Steiermark	Tirol	Vorarlberg	Wien
31.12.1869	4.497.880	254.301	315.397	1.077.232	736.856	153.159	720.809	236.426	102.702	900.998
31.12.1880	4.963.528	270.090	324.857	1.152.767	760.091	163.570	777.453	244.736	107.373	1.162.591
31.12.1890	5.417.360	282.225	337.013	1.213.471	786.496	173.510	828.375	249.984	116.073	1.430.213
31.12.1900	6.003.845	292.426	343.531	1.310.506	810.854	192.763	889.017	266.374	129.237	1.769.137
31.12.1910	6.648.310	292.007	371.372	1.425.238	853.595	214.737	957.610	304.713	145.408	2.083.630
22.03.1934	6.760.044	299.656	405.412	1.447.688	903.597	245.973	1.015.630	349.342	155.511	1.937.235
01.06.1951	6.933.905	276.136	474.764	1.400.471	1.108.720	327.232	1.109.335	427.465	193.657	1.616.125
21.03.1961	7.073.807	271.001	495.226	1.374.012	1.131.623	347.292	1.137.865	462.899	226.323	1.627.566
12.05.1971	7.491.526	272.319	526.759	1.420.816	1.229.972	405.115	1.195.023	544.483	277.154	1.619.885
12.05.1981	7.555.338	269.771	536.179	1.427.849	1.269.540	442.301	1.186.525	586.663	305.164	1.531.346
15.05.1991	7.795.786	270.880	547.798	1.473.813	1.333.480	482.365	1.184.720	631.410	331.472	1.539.848
15.05.2001	8.032.926	277.569	559.404	1.545.804	1.376.797	515.327	1.183.303	673.504	351.095	1.550.123
31.10.2011	8.401.940	285.685	556.173	1.614.693	1.413.762	529.066	1.208.575	709.319	370.440	1.714.227

Q: STATISTIK AUSTRIA, Volkszählungen (bis 2001), Registerzählung 2011. - Bis 1910 anwesende Bevölkerung, 1934-2011 Wohnbevölkerung. Heutiger Gebietsstand. Digitalpräferenzen wurden ausgeglichen (bis 1910). Die Personen unbekanntes Alters (1934: 11.908, 1951: 3.931, 1961: 838) wurden aliquot aufgeteilt.

#### Abbildung 1: Bevölkerungszuwachs Österreich

Quelle: STATISTIK AUSTRIA,

[http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/bevoelkerung/bevoelkerungsstand\\_und\\_veraenderung/index.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/bevoelkerung/bevoelkerungsstand_und_veraenderung/index.html) (abgerufen am 04.05.2015).

À la longue wird uns dieser schonungslose Umgang mit der Umwelt auf den Kopf fallen und irreversible Schädigungen nach sich ziehen. Abgesehen von der Verschmutzungsproblematik sind fossile Energien endlich; was hinsichtlich der Energieerzeugung bedeutet, dass in absehbarer Zeit kein Erdöl oder keine Kohle mehr als Energieträger zur Verfügung stehen wird. Daher muss sich die Menschheit insgesamt, und hier insbesondere die handelnden Akteure am politischen Terrain, massiv mit der Frage nach alternativen Szenarien beschäftigen und erneuerbare Erzeugungsformen fördern.

Die Politik ist daher gefordert, diese neuen Technologien verstärkt in ihre energiepolitischen Überlegungen einzubeziehen. Besonders spürbar ist das Energieproblem in Städten mit einer hohen Bevölkerungsdichte und einem damit einhergehenden sehr hohen Energiebedarf. Die im Speckgürtel dieser Großstädte ansässigen Firmen haben ein sehr großes Energieeinsparungspotential, welches derzeit in den überwiegenden Fällen brach liegt.

Verstärkt wird die Energieproblematik durch die Abhängigkeit von Ländern, die selbst nicht über eine ausreichende Eigenerzeugung verfügen. Energie ist in den letzten Jahrzehnten zu einem politischen Machtinstrument „hochstilisiert worden“, welches geschickt von demokratisch gewählten zentralistischen Regierungen (vgl. Putin in Russland) vermehrt zur Durchsetzung politischer Strategien verwendet wird, die aus demokratischer Sicht bedenklich scheinen. Der hohe Energiekonsum der amerikanischen Bevölkerung (5% der Weltbevölkerung verbrauchen 25% der gesamten Energie) hat in der Vergangenheit sogar zu Kriegen (vgl. Golfkrieg I und II) geführt, da diese unersättliche Verschwendungssucht des durchschnittlichen Amerikaners mit geringem Denkvermögen nicht auf friedlichem Wege zu befriedigen war.

Da sich 18% der weltweiten Erdgas Vorkommen in Russland befindet, bedienen die russischen Gasproduzenten (Gazprom) ein Drittel des weltweiten internationalen Gasmarktes. Betrachtet man die Energiesituation in Österreich und die Abhängigkeit von Erdgas, werden alleine in Österreich 60% des Gesamtbedarfes aus Russland importiert. Auf diese Abhängigkeiten, die Transportwege von Energien, sowie auf die einhergehenden politischen Probleme wird im Detail in Kapitel 2 eingegangen.<sup>1</sup>

Mittlerweile herrscht in der Bevölkerung bereits ein Bewusstsein für diese Problematik. Die Bereitschaft, Kompromisse einzugehen, ist aufgrund einfacherer Alternativen jedoch nicht wirklich vorhanden

---

<sup>1</sup> Vgl. Groll, Markus: Kommt Österreich ohne Russen Gas aus? unter: <http://www.format.at/die-magazine/trend/wirtschaft/kommt-oesterreich-russengas-375642> (abgerufen am 10.05.2015).



## 1.4 Zielsetzung

Die Darstellung der Alternativen für die Stadt Graz hinsichtlich einer autarken Energieversorgung ist das wesentliche Ziel dieser Diplomarbeit. Dazu wurde für die Erhebung der Grundlagen eine Machbarkeitsanalyse in Bezug auf Kosten, Umwelt und politische Einflüsse durchgeführt. Basierend auf diesen Grundlagen wird exemplarisch ein Lösungsszenario veranschaulicht.



## 2 Grundlagen

Um das bessere Verständnis dieser Materie zu fördern, werden in diesem Kapitel die erneuerbaren Energien einer allgemeinen Betrachtung unterzogen und abschließend definiert bzw. erklärt. Ergänzend dazu werden die technischen Grundlagen zur Erzeugung von Energien aufgezählt und erläutert.

### 2.1 Erneuerbare Energien

Als erneuerbare Energien bezeichnet man Energiequellen und Energieträger, die nach dem menschlichen Zeitbegriff unerschöpflich sind.

Dazu zählen:

- Sonnenenergie
- Windenergie
- Wasserkraft
- Umweltwärme
- Gezeitenenergie
- Erdwärme
- Biomasse oder Biogas



**Abbildung 2: Erneuerbare Energien**

Quelle: [http://www.energieforum-hessen.de/images/stories/specials/foerderprogramme\\_2.jpg](http://www.energieforum-hessen.de/images/stories/specials/foerderprogramme_2.jpg)

Die Möglichkeiten, diese alternativen Energien zu nutzen, werden von Tag zu Tag größer. Seit der zunehmenden Mediatisierung der ökologischen Probleme, die durch die konventionelle Energieerzeugung verursacht werden, verstehen auch immer mehr Menschen die Notwendigkeit der alternativen Energieerzeugung. Wichtig dabei ist zukünftig, die Bevölkerung weiter über die Unterschiede zwischen umweltbelastenden und risikoreichen Sackgassentechnologien und den dazu bestehenden Alternativen zu informieren, um eine breite Zustimmung für die Energiewende zu erhalten. Spätestens nach Tschernobyl und Fukushima muss auch für den minderverständigen Laien deutlich geworden sein, dass unsere Energiepolitik in den vergangenen Dekaden den falschen Weg gegangen ist. Die Menschheit muss insgesamt dazu bereit sein, aus solchen Katastrophen die richtigen Schlüsse zu ziehen und Maßnahmen in die entgegengesetzte Richtung einzuleiten.

Noch nie waren die technischen und kommerziellen Voraussetzungen für die Nutzung erneuerbarer Energien so günstig wie zu diesem Zeitpunkt. Die Technik und die naturwissenschaftliche Disziplin haben mittlerweile ein derart breites Anwendungswissen herausgearbeitet, dass es zwischenzeitlich relativ einfach und rasch möglich ist, neue Ideen zu validieren und umzusetzen. Politiker westlicher Industriestaaten richten ihre Umweltpolitiken immer intensiver in Richtung Energiewende aus. Sie streben nach Alternativen zur derzeitigen Produktionstechnologie und werden deren Nutzung gegenüber zunehmend aufgeschlossener.

Schon im Jahre 1992 fand eine Konferenz für Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro statt, wo ein Aktionsprogramm für das Leben im 21. Jahrhundert niedergeschrieben wurde. Dieses Programm ist unter dem Namen Agenda 21 bekannt geworden. In diesem Programm wurden Handlungsaufträge formuliert, die nicht nur an Menschen in sogenannten Entwicklungs- und Schwellenländern, sondern auch an Menschen, die in Industriestaaten leben, gerichtet sind. Diese Handlungsprärogativen aus diesem Papier sollten einer Verschlechterung des Ökosystems und der Umwelt Einhalt gebieten und die zu diesem Zeitpunkt bereits vorhandenen Schädigungen, Schritt für Schritt beseitigen. Der wichtigste Punkt in dieser Agenda ist die Bedürfnisbefriedigung der heutigen Generationen, ohne die Rechte und Ansprüche kommender Generationen zu verletzen. Parallel zu diesem Leitmotiv sind die Entwicklungschancen schwacher Nationen sicherzustellen und das partnerschaftliche Handeln zwischen Nationen auf- bzw. auszubauen.

Die Nutzung und Erzeugung von Energie spielen bei diesem Ansatz eine tragende Rolle. Maßnahmen zur Energieeinsparung können in der heutigen Zeit besonders schnell und einfach umgesetzt werden. In diesem Zusammenhang ist weiter die eigene autarke Energieerzeugung als Ziel zu nennen. Breites Fachwissen auf dem Gebiet alternativer Energieerzeugung, spezialisierte Anlagen- Errichter und hochentwickelte Komponenten aus industrieller Fertigung machen es heute möglich, eine Vielzahl von dezentralen Anlagen zur Energieerzeugung zu errichten, um damit einen wesentlichen Teil der benötigten Energie autark für den Eigengebrauch zu erzeugen. In sonnen- und windreichen Regionen können beide Energieformen für die Wassererwärmung und Dampferzeugung genutzt werden. Zusätzlich zu dieser Primärenergie kann die nicht selbst verbrauchte elektrische Energie ins öffentliche Netz gespeist werden.

Diese Ansätze zeigen, dass das Gebiet der erneuerbaren Energien für unterschiedlichste Lösungsansätze und Anlagenkonzepte sehr interessant und sinnvoll ist. Zu hoffen bleibt, dass die Anzahl handelnder Akteure in diesem Bereich zukünftig stetig steigen wird.<sup>2</sup>

Der folgende Abschnitt widmet sich der Darstellung der am häufigsten verwendeten erneuerbaren Energiequellen.

### **2.1.1 Sonnenenergie**

Die Sonne ist die größte – in der Natur – existierende Energiequelle. Sie liefert in so hohem Maße Energie, dass damit etwa das 10000- fache des weltweiten Energiebedarfes gedeckt werden kann. Einerseits kann die Sonnenenergie zur Erzeugung von Strom durch Photovoltaikanlagen genutzt werden, andererseits kann diese auch in thermischen Solarkollektoren in Wärme umgesetzt werden.

Die von der Sonne – durch Kernfusion – erzeugte Energie wird als Sonnenenergie bezeichnet. Diese gelangt in einem geringen Anteil als elektromagnetische Strahlung zur Erde. An der Grenzschicht der Erdatmosphäre beträgt die Intensität der Sonneneinstrahlung ca. 1,367 Kilowattstunden pro Quadratmeter. In der Literatur und im allgemeinen Sprachgebrauch wird dieser Wert auch als Solarkonstante bezeichnet. Ein Teil der eingestrahelten Energie wird von den Bestandteilen der Atmosphäre reflektiert. Bereits in der Erdatmosphäre selbst erfolgt eine teilweise Umwandlung der Sonnenenergie in Wärme, da in dieser Schicht ein Teil der Einstrahlungsenergie von den Bestandteilen absorbiert und damit in Wärme umgewandelt wird.

---

<sup>2</sup> Vgl. Crome, Horst: Handbuch Windenergie Technik, Staufen bei Freiburg 2012, S. 5 f.

Der verbleibende Teil dieser Strahlungsenergie schafft es schließlich durch die Atmosphäre hindurch und trifft auf den Erdboden. Hier unterstützt er die Photosynthese und Photothermik oder wird direkt in Wärme umgewandelt.

Aus diesem Grund haben sich in der Vergangenheit zwei unterschiedliche Systeme zur Energiegewinnung aus Sonnenstrahlung entwickelt, die eine Nutzung dieses kostbaren, schier unendlichen Energieträgers ermöglichen. Die primäre Unterscheidung dieser beiden Energieerzeugungsverfahren lässt sich in den Bereich der Photovoltaik und in die Solarthermie (Energiespeicherung durch Erwärmung von Wasser) einteilen.<sup>3</sup>

Im Folgenden werden die technischen Grundlagen dieser beiden Systeme genauer erläutert.

#### **2.1.1.1 Solar**

Durch Solarthermische Anlagen wird direkte und diffuse Sonneneinstrahlung in Nutzwärme umgewandelt. Diese wird dann beispielsweise für Schwimmbaderwärmung, Brauchwassererwärmung oder zur Heizungsunterstützung genutzt.

Die Menge des Warmwassers, das durch die Solarthermie erzeugt werden kann, hängt von folgenden Faktoren ab:

- Anzahl der Kollektoren
- Ausrichtung der Kollektoren
- Größe des Wasserspeichers
- Warmwasserbedarf

---

<sup>3</sup> Vgl. DIE WELT, Wie wir Sonnenenergie nutzen können, <http://www.welt.de/wirtschaft/energie/specials/sonne-solar/article8819066/Wie-wir-Sonnenenergie-nutzen-koennen.html> (22.06.2015)

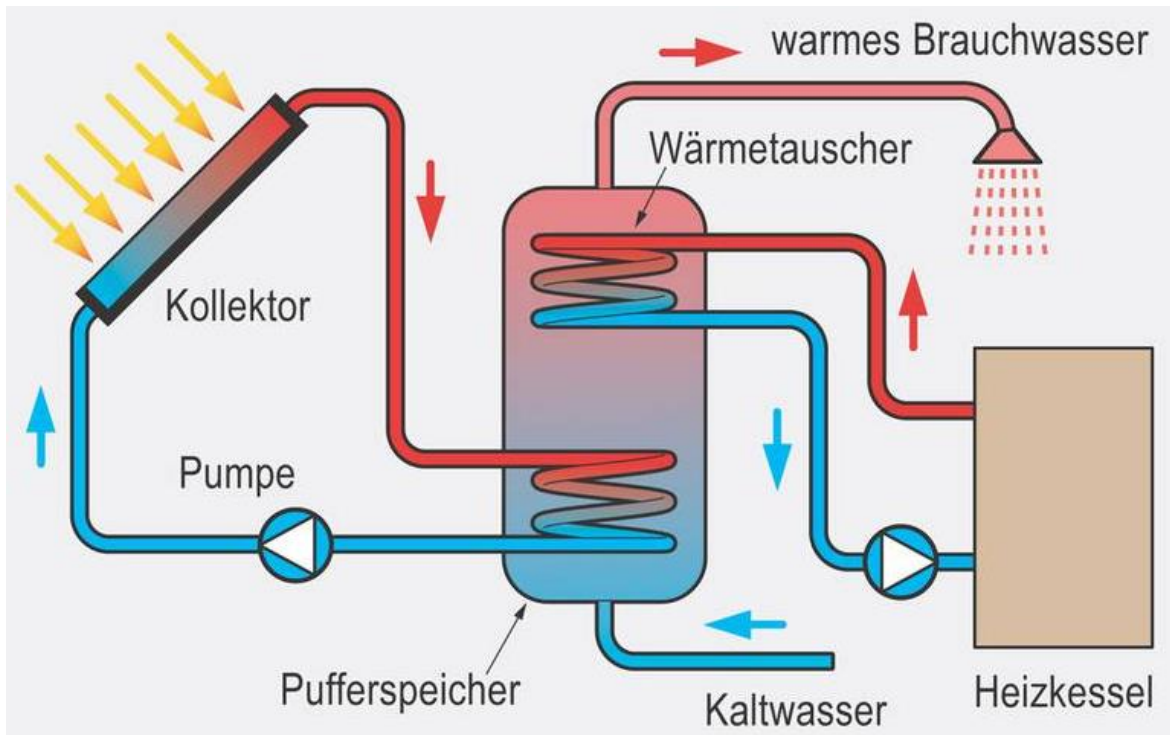
**Technik**

Die Funktionsweise bzw. das Prinzip, auf welchem die Solarthermie aufbaut, kann sehr einfach am Bsp. eines Gartenschlauches erklärt werden. Der in der Sonne liegende Schlauch wird durch die Sonneneinstrahlung erhitzt und erwärmt das im Schlauch befindliche Wasser. Diesen Effekt nützen Solar- Kollektoren. Im Gegensatz zum herkömmlichen Gartenschlauch sind diese schwarz ausgeführt, um die Einstrahlung anzuziehen bzw. noch besser zu absorbieren.

Um den Ertrag noch weiter zu erhöhen, werden die Kollektoren mit einer bestimmten Ausrichtung auf den Dächern der Häuser montiert. Sie beinhalten ein spezielles Solargemisch, welches sich durch die absorbierte Wärme der Sonne bis zu  $\sim 95^\circ$  Celsius erhitzt. Diese Wärme wird anschließend über einen Wärmetauscher in den Solarspeicher (Pufferspeicher geleitet). Nachdem sich dieses Gemisch wieder abgekühlt hat, wird es wieder zu den Kollektoren gepumpt, um den Vorgang zu wiederholen. Durch den Pufferspeicher wird das schwankende Energieangebot der Sonne ausgeglichen. Somit ist dieser Speicher das Pendant zum Akku, wenn man dessen Funktion auf ein PV-System projiziert. Abhängig von der Größe dieses Speichers kann ein Einfamilienhaus über mehrere Tage hinweg auch ohne Sonnenstrahlung mit Warmwasser versorgt werden.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Vgl. Wie funktioniert Solarthermie?, <http://www.energiesparen-im-haushalt.de>, (04.07.2015)



**Abbildung 3: Funktionsweise einer Solar-Anlage**

Quelle: <http://www.energiesparen-im-haushalt.de/energie/bauen-und-modernisieren/hausbau-regenerative-energie/energiebewusst-bauen-wohnen/emission-alternative-heizung/heizen-mit-der-sonne-solar/solarthermie-funktionsweise.html>, abgerufen am 04.07.2015

Da sich das finale Konzept dieser Arbeit hauptsächlich mit der Nutzung der Sonnenenergie durch die Photovoltaik beschäftigt, sind in diesem Abschnitt nur die Grundlagen der Solarthermie erklärt worden.

### 2.1.1.2 Photovoltaik

Die direkte Umwandlung von Sonnenstrahlungsenergie in elektrischen Strom mittels Solarzellen nennt man Photovoltaik.

#### Technik

Die Erzeugung der elektrischen Spannung erfolgt in einem Fotopelement, das dem direkten Licht ausgesetzt wird. Dieses Element ist aus einer gut leitenden metallischen Grundplatte, auf die in weiterer Folge eine Halbleiterschicht aufgebracht ist, zusammengesetzt. Auf dieses Halbleitersubstrat wird eine dünne lichtdurchlässige Metallhaut als Gegenelektrode aufgedampft.



Durch das Einstrahlen des Lichtes auf diese fotoempfindliche Schicht werden Elektronen aus der Schicht herausgelöst, die in die angrenzende Metallhaut übertreten. Dieser Übergangseffekt bewirkt eine negative Ladung der Schicht selbst und eine positive Ladung der Grundplatte. Dies wird als photoelektrischer Effekt bezeichnet. Die Höhe der erzeugbaren Spannung ist von der Intensität und der Art des Lichtes (Strahlungsbestandteile) abhängig. Weiters wird der Spannungspegel von der Dicke dieser fotoempfindlichen Schicht, auch Sperrschicht genannt, zwischen der Grundplatte und der angrenzenden Metallplatte beeinflusst. Heute werden in der Photovoltaik hauptsächlich Silizium-Fotoelemente verwendet. Diese, als Solarzellen bezeichnete Photozellen, können eine Spannung von ca. 0,6V und eine Leistung von ca. 10mV pro cm<sup>2</sup> liefern. Der Wirkungsgrad dieser Zellen liegt bei modernen Technologien zwischen 16-25%. Um eine Erhöhung des Spannungspegels und der abgegebenen elektrischen Leistung zu erreichen, werden die Solarzellen zu sogenannten Solarmodulen in Reihe und parallel geschaltet.<sup>5</sup>

Das in Abbildung 4 dargestellte Solarmodul, liefert bei einer Größe von 1580 x 1070 x 40 mm eine Spannung von 48V und eine elektrische Anschlussleistung von 230W.

Die Nutzungsmöglichkeiten dieser Anlage sind sehr vielfältig. Die erste und am weitesten verbreitete Anwendungsmöglichkeit ist die autarke Energiegewinnung in den Haushalten, die eine Einspeisung der gewonnenen Energie in das öffentliche Versorgungsnetz vorsieht. Der Anlagenbetreiber bekommt eine Vergütung für den eingespeisten Strom vom EVU.

---

<sup>5</sup> Vgl. Meister, Heinz: Elektrotechnische Grundlagen, Würzburg 14. Auflage 2007, S.109.

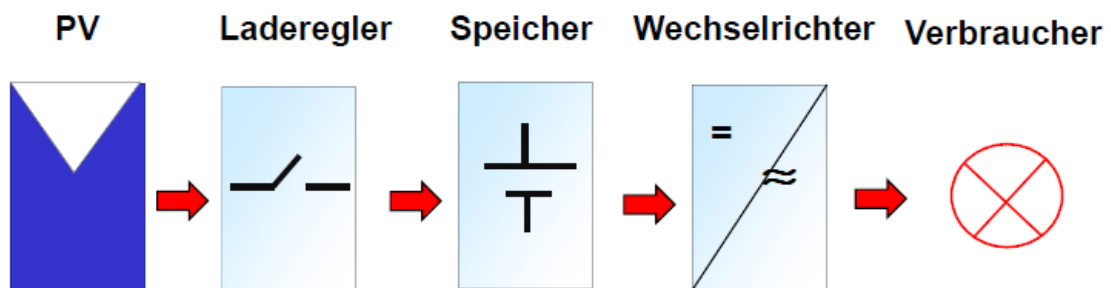


**Abbildung 4: Solarmodul**

Quelle: <http://www.garten-anlegen.eu/solar-shop/solarmodul-monokristallin/solarmodul-fuer-photovoltaikanlage-48-volt-230.html>

Da eine Solarzelle Gleichstrom erzeugt, liegt die einfachste Anwendungsform in der direkten Versorgung der Gleichstromverbraucher mit der Solarzelle. Hierzu benötigt die Solarzelle aber eine sorgfältige Abstimmung hinsichtlich der Spannung und Leistung des Verbrauchers. Es müssen komplizierte Berechnungen durchgeführt werden, um den Verbraucher mit diesem Gleichstrom betreiben zu können. Daher findet diese Form des Inselbetriebes keine große Anwendung und wird hauptsächlich in Kleingeräten, wie z. Bsp. Taschenrechnern, Spielzeugen oder Messgeräten verwendet. Dieses System weist eine große Abhängigkeit von der Sonneneinstrahlung auf, da der Verbraucher direkt an die Zelle angeschlossen wird. Aus diesem Grund steht für den Verbraucher nur dann Strom zur Verfügung, wenn wirklich die Sonne scheint- ansonsten ist das elektrische System stromlos. Um aber bei fehlender oder geringer Sonneneinstrahlung eine ständige Stromversorgung gewährleisten zu können, wird der erzeugte Strom in Akkus zwischengespeichert. Der Lade- und Entladevorgang dieser Akkus wird über einen Laderegler überwacht. Zudem stimmt dieser die beiden elektrischen Komponenten aufeinander ab. Derartige Gleichstromsysteme sind bereits in sehr vielen alltäglichen Anwendungen, wie z. Bsp. in Wohnmobilen, Booten, Notrufsäulen oder Leuchten in Verwendung. Um sich aber die Umrüstung auf spezielle und teurere 12/24V-Geräte von meistens vorhandenen 230V-Installationen zu ersparen, kommt zusätzlich ein Wechselrichter zum Einsatz (siehe Abbildung 5).

Dieser Wechselrichter wandelt den Gleichstrom in Wechselstrom um. An dieses Gesamtsystem kann jeder beliebige Verbraucher, wie wir ihn aus dem alltäglichen Leben kennen, angeschlossen werden. Um die Stabilität dieses autonomen Systems zu stärken, kann es ohne weiteres mit Zusatzenergien, von z. Bsp. einem Windrad, zusätzlich versorgt werden.<sup>6</sup>



**Abbildung 5: Inselbetrieb Blockschaubild**

Quelle: Hartig, Ralf: Grundlagen der Photovoltaik-Planung, Mittweida (Skriptum- Regenerative Energien), S. 4

### 2.1.1.3 Vor und Nachteile der Sonnenenergie

#### Vorteile

Der größte Vorteil der Sonnenenergie ist, dass durch die schonende Art und Weise der Stromproduktion bzw. der effizienten Nutzung der verfügbaren Sonnenenergie, keine Verschmutzungen oder nachhaltigen Schädigungen der Umwelt entstehen. Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass diese Technologie völlig geräuschlos arbeitet und eine schier unerschöpfliche Energiequelle darstellt.

Als weiterer geopolitischer Vorteil kann ins Treffen geführt werden, dass man durch die Erzeugung von eigener Energie die Abhängigkeit von Erdöl fördernden Nationen verringert. Dies eröffnet neue politische Mittel, die gezielt zur Lösung künftiger Energiekonflikte eingesetzt werden können. Dieser Ansatz ermöglicht es auch, der Abhängigkeit von sehr großen EVU's (EdF und E.ON) und damit auch deren monopolistischer Preispolitik zu entkommen. Schließlich werden auch die Transportwege verkürzt und somit die Blindleistungsverluste minimiert, was insgesamt sehr viel Energie und Geld spart.

<sup>6</sup> Vgl. Meister, Heinz: Elektrotechnische Grundlagen, Würzburg 14. Auflage 2007, S.362 ff.

### **Nachteile**

Einer der größten Nachteile der Photovoltaikanlagen sind die hohen Anschaffungskosten, die viele private Personen von der Anschaffung abschrecken. Verschiedenste Förderungssysteme sind für den potentiellen Anlagen-Errichter immer undurchsichtiger und erschweren aufgrund der schlechten Nachvollziehbarkeit die Entscheidungsfindung. Zusätzlich zu den kommerziellen Hürden ist diese Energieerzeugungsform stark von der Sonneneinstrahlung abhängig. An sonnenschwachen Tagen ist die Energieausbeute sehr gering, an Tagen mit hoher Sonneneinstrahlung ist die Energieausbeute jedoch sehr hoch. Diese schwankende Energiemenge bringt Probleme hinsichtlich der Versorgungstabilität in öffentlichen Stromnetzen mit sich. Diese Technologien können daher nicht für die Grundlastabdeckung verwendet werden, zumal die Energie auch nicht bevorratet (gespeichert) werden kann. In der heutigen Wohlstandsgesellschaft der westlichen Industrieländer würde sich kein Stromkunde mit Einschränkungen (Limitierung auf gewisse Zeiten) hinsichtlich seines Energiekonsumverhaltens abfinden. Im Vergleich zu anderen Technologien ist der Wirkungsgrad der Photovoltaikanlagen mit 16 bis 25% immer noch sehr schlecht und noch lange nicht vollständig ausgereizt (siehe dazu auch 2.1.1.2). Diese Technologie wird jedoch durch laufende Weiterentwicklungen ständig verbessert.

## **2.2 Windenergie**

Aus der Kraft des Windes wird schlussendlich die Windenergie, welche wir gelernt haben uns zunutze zu machen. Die Bewegung von Luft in der Atmosphäre, nennt man Wind. Da die warme Luft eine geringere Dichte als kalte vorweist, kommt es durch die unterschiedliche Verteilung dieser Luftmassen zu Luftdruckänderungen. Je heftiger der Wind weht, desto größer sind diese Veränderungen.

Man kann zwischen regionalen und globalen Winden unterscheiden. Globale Winde sind im Gegensatz zu den regionalen vorhersehbar. Sie entstehen zu bestimmten Jahreszeiten in fast regelmäßigen Abständen. Der Passatwind Harmattan in Afrika beispielsweise setzt im Februar ein und dauert drei Monate. Die regionalen Winde werden vor allem durch topografische Gegebenheiten beeinflusst, wie z. Bsp. enge Täler oder weite Ebenen.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> Vgl. Fechner, Hubert; Zwiauer, Katharina: Windkraft, Hrsg: GrAT, unter: [www.e-genius.at](http://www.e-genius.at) (abgerufen am 28.06.2015), S.5.

Die ersten Windmühlen wurden überwiegend aus Holz gebaut. Mit der zunehmenden Industrialisierung und dem wirtschaftlichen Aufschwung war Stahl in größeren Mengen verfügbar und konnte auch zunehmend für die Anlagenproduktion verwendet werden. Dieser Trend brachte eine Abkehr von der Holzbauweise bei Windmühlen mit sich, was zusätzlich auch noch durch die leichtere Verarbeitbarkeit des Grundwerkstoffes Stahl begünstigt wurde.



**Abbildung 6: Windmühle**

Quelle: <http://www.greifswald-eldena.de/img/M%C3%BChle-alt-800.jpg>

Als Ausfluss der Erkenntnisse im Zusammenhang mit den Windmühlen begann im 18. Jahrhundert schließlich die ingenieurwissenschaftliche Auseinandersetzung mit der Energiegewinnung durch Wind. Anfangs erkundeten die Forscher Gesetzmäßigkeiten von Windkräften und Druckverhältnissen der Luftströmungen an verschiedenen Körpern. Die Anordnung für diese Untersuchungen war anfangs sehr einfach in einem provisorischen Versuchsraum mit einem waagrechten Luftschacht, der in einen Schornstein mündete, realisiert.

Der Segelflieger Otto Lilienthal machte eine der wichtigsten Entdeckungen im Zusammenhang mit diesen Strömungsuntersuchungen. Lilienthal ließ um eine senkrecht stehende Welle Versuchsflächen, die an Querlatten befestigt waren, kreisen. Durch diese technische Neuerung war er vom natürlichen Wind unabhängig. Diese Versuche wurden als „Luftschraubenversuche“ bezeichnet, woraus Lilienthal im Jahre 1874 den Vorteil gewölbter Platten ableitete.

Ein weiterer wichtiger Pionier in der Entwicklung der Windenergie war Poul la Cour. Er erhielt als erster Wissenschaftler im Jahre 1891 einen Forschungsauftrag, der sich mit der „Verwendbarkeit der Windkraft für landwirtschaftliche und gewerbliche Zwecke“ befasste. Er entdeckte die Flächenproportionalität und die Zunahme mit dem Quadrat der Strömungsgeschwindigkeit in einem künstlichen Windkanal, indem er den Luftwiderstand von umströmten Körpern untersuchte. Poul la Cour machte sich basierend auf diesen Erkenntnissen insbesondere Gedanken über die Verbesserungsmöglichkeiten vorhandener Systeme und brachte dazu zahlreiche Verbesserungsvorschläge ein.

Die fortlaufende Industrialisierung und die zunehmenden Wohlstandsbedürfnisse der Gesellschaft brachten in den folgenden Jahrzehnten einen starken Anstieg des Energieverbrauches mit sich, der neue Erzeugungsformen erforderte. Durch diesen ansteigenden Bedarf wurde das Zeitalter der Dampfmaschinen und der ökonomischen Kohle- und Eisenerzgewinnung eingeläutet. Diese Entwicklung war die Basis für die Fertigung einer großen Anzahl an Windturbinen aus Eisen und Stahl in Europa durch unzählige Handwerks- und Kleinbetriebe. Als theoretische Grundlagen für die Entwicklung und Fertigung von Windturbinen gelten die Werke von Albert Betz (1926) „Windenergie und ihre Ausnutzung durch Windmühlen“ und von Karl Bilau (1926) „Die Windkraft in Theorie und Praxis - Gemeinverständliche Aerodynamik“, die zahlreiche praktische Bsp. beinhalten.

Die damals gefertigten Maschinensätze waren keine „Mühlen“ im herkömmlichen Sinne, wie sie vor dem Zeitalter der Industrialisierung geläufig waren. Bei diesen Maschinentypen wurde die Kraft des Rotors zum mechanischen Antrieb von Pumpen anderer Arbeitsmaschinen oder Generatoren genutzt. Diese technischen Produktions- und Hilfseinrichtungen wurden über eine lange Welle mit Kegelradgetriebe angetrieben. Zahlreiche Realisierungsmöglichkeiten verhalfen der Windenergie somit zu einer universell einsetzbaren Technologie, die zunehmend vielseitig verwendet wurde. Dadurch kam es auch in diesem Bereich zu einem starken Anstieg der Produktionszahlen und zur Industrialisierung dieser Technologie (technische Zeichnungen sowie Stücklisten der Bauteile für die Serienfertigung oder etwaige Reparaturen).<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> Vgl. Crome, Horst: Handbuch Windenergie Technik, Staufen bei Freiburg 2012, S. 7 ff.

### 2.2.1 Windräder

Um eine effiziente Energiegewinnung zu gewährleisten und damit die Profitabilität der Anlagen zu erhöhen, sollten große Windräder, wie beispielsweise in den Windparks in Deutschland (siehe Abbildung 7), nur in windigen Gebieten der Erde eingesetzt werden. Die hohen Anschaffungskosten sowie der hohe Produktionsaufwand machen einen Betrieb dieser Anlagen in Zonen mit schwachen Winden unrentabel.

Zudem wirken sich der große Lärm und die Baugröße der Windräder auf die Wahl des Standortes aus. Ein Betrieb in unmittelbarer Nähe eines Wohngebietes ist ebenso undenkbar wie ein Betrieb in einem Erholungsgebiet oder in einem Naturschutzgebiet. Negativ wirkt sich auch das Faktum aus, dass jedes Jahr Tiere durch die Berührung mit Windrädern sterben. Durch diese negativen Faktoren ist es nahezu unvorstellbar, Windräder auf Hochhäusern (z. Bsp.: in Städten) zu montieren.



**Abbildung 7: Windpark**

Quelle: <http://www.hessenenergie.de/GBereiche/Wind/wind-kom/kom-kwph/KWP-Hel/L-Helpershain-G.jpg>



### 2.2.2 Windturbine

Bill Becker von der Universität Illinois und Chicago hat eine eigene Version einer Windturbine entwickelt, welche die Nachteile der vorhandenen Windsysteme nicht aufweist. Diese Entwicklung produziert keinen Lärm und kann somit auf Hochhäusern montiert werden. Die Konstruktion ist derart ausgestaltet, dass sich Tiere durch die Doppelhelix-Form nicht verletzen können.

Die Windturbine reguliert die Drehzahl durch die spezielle Form, wodurch ungewollte Fliehkräfte vermieden werden, die in weiterer Folge zu mechanischen Schäden führen würden. Zwei weitere Vorteile sind die Wetterunabhängigkeit, da die Windturbine selbst in einem Schneesturm ihre Arbeit verrichtet und die Energieerzeugung der Turbine bereits bei sehr geringen Windstärken (1-2 m/s).<sup>9</sup>



**Abbildung 8: Windturbine (Becker)**

Quelle: <http://bianys.com/system/files/images/Aerotecture%20Turbine.jpg>

---

<sup>9</sup> Vgl. AEROTURBINE – NEXT GENERATION WIND ENERGY, <http://www.alternative-energy-news.info/aeroturbine-next-generation-wind-energy/> (abgerufen am 15.03.2015)



## 2.3 Wasserkraft

Die gesamte Wassermenge der Erde befindet sich in vier großen Speichersystemen. Der größte Speicher sind mit 97,6% die Ozeane, gefolgt von den Eiskappen an den Polen mit 1,9%, dem Festlandwasser mit 0,5% und der Atmosphäre mit 0,001%. Diese Speicher beinhalten insgesamt ein Wasservolumen von 1,4Mrd. km<sup>3</sup>.

Der ständige Austausch zwischen diesen Speicher-Systemen stellt einen stabilen globalen Kreislauf dar, wobei es aber durch drei essentielle Vorgänge zeitlich, wie auch regional zu Ungleichgewichten kommen kann. Diese Vorgänge sind die Verdunstung, der Niederschlag und der Wasserabfluss. Sie ermöglichen eine Nutzung der Kraft des Wassers zur Energieerzeugung. Wie hoch das zur Verfügung stehende Energiepotential ist, hängt vom Anteil der Niederschläge ab, der über Regionen niedergeht, die aufgrund ihrer Gegebenheiten (wie z. Bsp. der geodätischen Höhe) eine Nutzung des abfließenden Niederschlagsanteils zur Energiegewinnung ermöglichen. Andere Faktoren wie Erdbeschleunigung und die Wasserdichte können als Konstanten betrachtet werden, somit hängt die Energieausbeute grundsätzlich von der abfließenden Menge und der Höhendifferenz ab.<sup>10</sup>

Um diese Kraft noch effizienter zu nutzen, werden durch Staudämme große Mengen an Wasser zurückgehalten. Bei Öffnung der Schleusen fließt das Wasser ab und wird an Wasserrädern oder Turbinen vorbeigeführt, wo die Umwandlung dieser Kraft in eine rotierende Bewegung stattfindet. Diese kinetische Energie erzeugt über angeschlossenen Generatoren Strom, welcher über Transformatoren in das öffentliche Netz eingespeist werden kann.

Die Wasserkraft unterscheidet sich von anderen Möglichkeiten zur elektrischen Stromerzeugung vor allem dadurch, dass die Auswahl des Standortes, der Ausbaugrad, sowie die Gestaltung der Anlage vollständig von der Natur abhängig sind. Der Mensch lässt sich jedoch auch hier nicht von Naturgegebenheiten begrenzen. Deshalb kam es bereits zu zahlreichen anthropogenen Eingriffen wie z. Bsp. Begradigungen von Flüssen, Errichtung von Staudämmen und Stauseen und Unterbrechung von naturgegebenen Gewässerkontinuums durch Wehre. Daraus ergeben sich maßgebliche Schädigungen der Umwelt. Somit muss man die Sinnhaftigkeit der Wasserkraft spezifisch nach dem Standort genauestens betrachten, da die Effekte aus Wasserkraftanlagen je nach Standort umweltfördernd oder umweltbelastend sein können.<sup>11</sup>

---

<sup>10</sup> Vgl. Wasserkraft, <http://www.boxer99.de/wasserkraft.htm>, (04.07.2015)

<sup>11</sup> Vgl. Giesecke, Jürgen; Heimerl, Stephan; Mosonyi, Emil: Wasserkraftanlagen: Planung, Bau und Betrieb, Berlin Heidelberg, Springer Verlag 2014, S. 745.

## 2.4 Konventionelle Energien

Der Großteil des Energiebedarfs auf der Erde wird derzeit durch die sogenannten konventionellen Energieträger gedeckt. Zu diesen gehören zum Bsp. Erdöl, Erdgas, sowie Kohle (eine genauere Beschreibung erfolgt unten). Durch die Umwandlung dieser Energieträger, sowie der daraus gewonnenen Produkte - wie z. Bsp. Benzin oder Diesel - erzeugen einen erheblichen Schaden für die Umwelt. Zudem werden durch die Verbrennung Schadstoffe freigesetzt, welche für den Menschen und die Tierwelt gesundheitsschädigend sind. Im Vergleich zu diesen fossilen Energien belastet die Atomenergie bei der Umwandlung zu Nutzenenergie die Umwelt hingegen nicht. Da aufgrund des immensen Gefährdungspotenzials und der Lagerung des Atommülls (detaillierter unter 2.4.2) diese Energieform erheblichen Nachteil mit sich bringt, ist diese auch eine der umstrittensten Formen.

Eines haben diese Energiequellen aber alle gemeinsam, sie sind endlich. In absehbarer Zukunft werden die Ressourcen unseres Planeten aufgebraucht sein und können sich auch nicht mehr regenerieren bzw. nachwachsen. Experten schätzen folgende Zeitspannen zum Aufbrauchen der Ressourcen:

- Erdöl reicht noch ungefähr 50 Jahre
- Erdgas reicht noch ungefähr 65 Jahre
- Uran reicht noch ungefähr 70 Jahre
- Kohle reicht noch ungefähr 200 Jahre

Diese Schätzung wurde unter der Prämisse des gleichbleibenden Energiebedarfs getroffen. Mit der zunehmenden Industrialisierung vieler Länder wird der Bedarf an diesen „klassischen“ Energieträgern ständig steigen. Falls nicht neue Quellen entdeckt werden, werden diese Quellen bereits früher als gedacht der Vergangenheit angehören.<sup>12</sup>

---

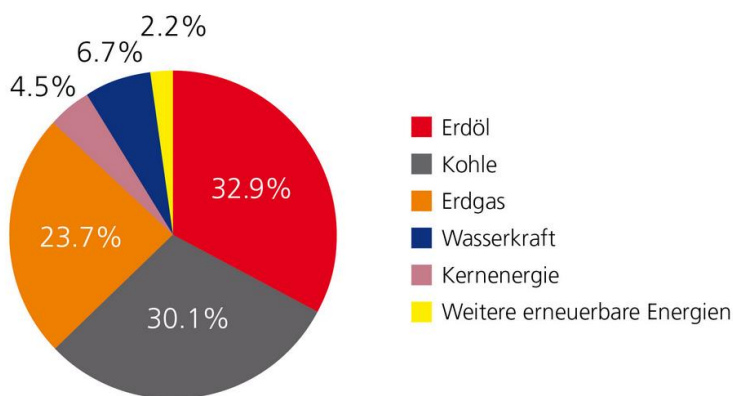
<sup>12</sup> Vgl. Artmann, Stephan: Konventionelle Energien, <http://www.stromversorger-energieversorger.de/konventionelle-energien.php> (04.07.2015)

## 2.4.1 Fossile Energien

Unter fossilen Energien werden vor allem die drei klassischen Vertreter:

- Erdöl,
- Erdgas und
- Kohle verstanden.

Diese Energieträger decken zu einem Großteil den weltweiten Energiebedarf (siehe Abbildung 9). Im Folgenden wird ein oberflächlicher Blick über diese Arten der Energiegewinnung erstellt.



**Abbildung 9: Die wichtigsten Energieträger Weltweit 2013**

Quelle: BP, Statistical Review of World Energy, Juni 2014

### 2.4.1.1 Erdöl

Erdöl ist -schon wie aus dem Diagramm in Abbildung 9 ersichtlich- der wichtigste Vertreter der fossilen Energieträger. Es ist weiterhin einer der begehrtesten Rohstoffe der Welt. Der Großteil der Treibstoffe wird aus diesem Stoff gewonnen. Es ist in der Erdkruste vorhanden und besteht aus Methan und vor allem aus verschiedenen Kohlenwasserstoffen. Um dieses „schwarze Gold“ an die Erdoberfläche zu befördern, werden spezielle Bohrapparate benötigt. Wird eine Quelle angebohrt bzw. gefunden, sprudelt das Erdöl in hohen Fontänen aus dem Boden und wird anschließend über speziell errichtete Bohrtürme aufgefangen. Anschließend wird das begehrte Öl in Erdölraffinerien durch verschiedene Prozesse, wie der Reinigung mit chemischen Stoffen und der Destillation, unter verschiedenen Druckverhältnissen zu Benzin, Heizöl oder Diesel weiter verarbeitet.

Durch Verbrennung dieser Stoffe wird Energie in hohem Ausmaß erzeugt und somit die Energieversorgung der Welt in den verschiedensten Sektoren ermöglicht. Wie schon in der Einleitung unter 2.4.1 erwähnt, ist die Energiegewinnung aus Erdöl endlich. Somit ist dieser Energieträger auf unserem Planeten nur für ein definiertes Zeitfenster verwendbar. Durch die Industrialisierung kommt es zu immer höheren Erdölverbräuchen. Als aufstrebende Wirtschaftsmacht ist hier vor allem China zu nennen, welche den höchsten Bedarf an Erdöl anmeldet. Durch dieses immer schnellere Aufbrauchen der Reserven, werden die Preise für Erdöl merklich teurer. Diesen Preisanstieg bemerken besonders Ottonormalverbraucher beim Betanken ihres Fahrzeugs oder beim Kauf von Heizöl. Ein Großteil der Mobilität der Menschheit, sowie der Transport von Rohstoffen und Lebensmitteln stehen in direkter Abhängigkeit zum Erdöl. Beispielsweise wird es zum Betrieb von Autos, Lastkraftfahrzeugen, Flugzeugen und Booten verwendet. Es gibt bereits Erdgasfahrzeuge und Ansätze zu elektrischen Fahrzeugkonzepten, jedoch erreichen diese noch nicht die Effizienz der benzin- und dieselgetriebenen Fahrzeuge. Außerdem fehlt für eine breite Ausrollung dieser Technologie schlicht und einfach die Infrastruktur der benötigten Stromnetze.

Die größten Erdölvorkommnisse sind in Saudi-Arabien, Russland, USA und Mexiko. Durch den hohen Preis des Erdöls sowie den hohen Bedarf nehmen diese Länder in der Energiepolitik eine Vormachtstellung ein und andere Länder stehen in einem Abhängigkeitsverhältnis zu diesen Ländern.<sup>13</sup>

### **2.4.1.2 Erdgas**

Erdgas besteht überwiegend aus Methan. Es wird zwischen nassem und normalem Erdgas unterschieden. Dieses sogenannte nasse Erdgas ist ein Nebenprodukt der Erdölförderung und besteht neben Methan auch aus Butan, Ethan, Propan und Kohlenwasserstoffen. Felder mit reinem (normalem) Erdgasvorkommen sind sehr selten. Das Erdgas wurde im Laufe der letzten 600 Millionen Jahre durch Abfallprodukte von Algen und Plankton, welche auf den Grund der Ozeane sanken und anschließend mit Schichten undurchlässiger Erden überdeckt wurden, gebildet. Dieser langwierige Prozess kann, wie bei der Bildung von Erdöl, in menschlichen Zeitdimensionen nicht wiederholt werden, womit auch Erdgas ein endlicher Energieträger ist.

Bei der Verbrennung bzw. Energiefreisetzung entstehen kaum Luftverschmutzungen. Da die physikalische Form des Energieträgers aber schwerer handzuhaben ist, wurde der Betrieb von Fahrzeugen erst in den letzten Jahren durch technische Fortschritte ermöglicht.

---

<sup>13</sup> Vgl. Artmann, Stephan: Energie aus Erdöl, <http://www.stromversorger-energieversorger.de/konventionelle-energien-erdoel.php> (04.07.2015)

Die Reichweite der Fahrzeuge und der Ausbau der Infrastruktur (Erdgas-Tankstellen) lassen allerdings noch immer zu wünschen übrig. Dies verbessert sich jedoch stetig, weshalb in den kommenden Jahren erdgasbetriebene Fahrzeuge immer häufiger unser Verkehrsbild prägen werden. Der niedrige Preis im Vergleich zu Erdöl ist ein Vorteil, der für diese Fahrzeuge spricht.

Als Nachteil muss die komplizierte Weiterverarbeitung ins Treffen geführt werden. Nach der Bergung des Gases muss es im ersten Schritt getrocknet werden, da ansonsten feste Methanteile die Pipelines durch den Gastransport beschädigen könnten. Durch verschiedene Destillationsverfahren mit Zufuhr von speziellen Chemikalien wird das Erdgas „getrocknet“, sodass reines weiter bearbeitbares Erdgas zurückbleibt.<sup>14</sup>

### **2.4.1.3 Kohle**

Kohle ist einer der wichtigsten und ältesten Vertreter der fossilen Energien. Man unterscheidet zwischen Braunkohle und Steinkohle. Diese werden beide in erster Linie nach dem Abbau in einem chemischen Prozess zu Koks verarbeitet. Dieser poröse, stark kohlenstoffhaltige Brennstoff besitzt eine sehr hohe spezifische Oberfläche und kann dadurch leicht transportiert oder gelagert werden. Anfangs wurde Kohle vor allem für die ersten Züge, welche durch Verbrennung von Kohle angetrieben wurden, benötigt. Heutzutage liegt der Hauptverwendungszweck in der Erzeugung von Strom.

#### **Braunkohle**

Über Millionen von Jahren hat sich die Braunkohle aus den Überresten von Bäumen, Pflanzen und Gräsern gebildet. Sie ist sozusagen ein Naturprodukt. Wie der Name dieser Kohle schon erahnen lässt, ist diese braun und nicht so hochwertig wie die Steinkohle. Wie auch bei den zuvor behandelten fossilen Energien, wird durch die Verfeuerung von dieser Energie freigesetzt, welche anschließend in Strom für Haushalte und die Industrie umgewandelt werden kann. Aufgrund der entstehenden Schadstoffe, vor allem Kohlenstoffdioxid, opponieren immer mehr Menschen gegen diese Art der Energiegewinnung. Die größten Vorkommnisse liegen in Deutschland. Aufgrund der physischen Beschaffenheit und des hohen Energiebrennwertes, ist dieser Energieträger weiterhin ein sehr beliebter. Wie alle anderen fossilen Energieträger ist auch die Braunkohle nicht erneuerbar.

---

<sup>14</sup> Vgl. Artmann, Stephan: Energie aus Erdgas, <http://www.stromversorger-energieversorger.de/konventionelle-energien-erdgas.php> (04.07.2015)

Die Verkohlung von Pflanzenresten ist ein rein natürlicher Prozess und benötigt mehrere Millionen Jahre und kann durch den Menschen nicht beschleunigt werden.<sup>15</sup>

### **Steinkohle**

Neben dem Erdöl ist die Steinkohle einer der wertvollsten Rohstoffe der Natur, wobei Steinkohle ein Sammelbegriff für höherwertige Kohlearten ist, welche durch Verrottung von großen Urwaldbeständen vor Millionen von Jahren entstanden sind. Sie ist härter als die Braunkohle und hat einen höheren Brennwert, zudem kann man sie nur weit unter der Erdoberfläche (~1000m) vorfinden. Diese Vorkommnisse werden durch Bergwerke abgebaut. Die größten Kohleförderer sind China, USA und Indien. Durch diese Förderung kam es in der Vergangenheit zu zahlreichen Unfällen in diesen Bergwerken, jedoch sind Länder wie China und Indien essentiell auf die Förderung angewiesen, um das Überleben der dort ansässigen Menschen rundum die Werke zu sichern. Durch die harten Arbeitsbedingungen und die Unfälle, wird der Abbau von Kohle stark kritisiert. Wie bei der Braunkohle wird auch hier durch Verfeuerung Energie erzeugt und umweltschädigende Stoffe wie z. Bsp. Kohlendioxid freigesetzt.<sup>16</sup>

#### **2.4.1.4 Vorteile fossiler Energien**

Durch die reichlichen Vorkommnisse und die hohe Verfügbarkeit zu einem günstigen Preis, konnte erst das Wirtschaftswachstum bzw. die hohe Energieversorgungsichte ermöglicht werden. Unser Energiebedarf hat sich im Laufe der Zeit innerhalb der verschiedenen Sektoren (z. Bsp.: Wärme, Strom oder Verkehr) an die Verfügbarkeit der Energieträger angepasst. Zudem fördern diese noch weitere positive Faktoren, z. Bsp.: die technisch einfache Umsetzbarkeit und die wirtschaftliche preisgünstige Situation. Im Vergleich zur atomaren Energie besteht ein sehr geringes Gefahrenpotential, das von diesen Energieträgern ausgeht.

---

<sup>15</sup> Vgl. Artmann, Stephan: Energie aus Braunkohle, <http://www.stromversorger-energieversorger.de/konventionelle-energien-kohle.php> (04.07.2015)

<sup>16</sup> Vgl. Artmann, Stephan: Energie aus Steinkohle, <http://www.stromversorger-energieversorger.de/konventionelle-energien-kohle.php> (04.07.2015)

Weiteres zeichnen sich diese Stoffe auch durch ihre physikalische Qualität und Wertigkeit aus. So ist es sehr einfach, aus diesen Primärenergieträgern leicht verwertbare Sekundärenergieträger herzustellen, womit der Transport kein Problem darstellt. Vor allem die Speicherung bzw. Lagerung über längere Zeit ist einer der größten Vorteile der fossilen Energien.<sup>17</sup>

#### **2.4.1.5 Nachteile fossiler Energien**

Durch die Betrachtung der verschiedenen fossilen Brennstoffe wurde aufgezeigt, dass die Energiegewinnung nur durch Verbrennung des fossilen Energieträgers freigesetzt werden kann. Durch diese Verbrennungsprozesse werden wiederholt Schadstoffe in die Atmosphäre eingebracht. Besonders in Entwicklungsländern gibt es nahezu keine Filteranlagen, die den Schadstoffausstoß reduzieren würden. Durch die daraus folgende unsaubere Verbrennung und weitere Verbrennungszusätze kommt es zu einer erhöhten Umweltbelastung durch Stickoxide und Verbrennungsrückstände (Ruß). Dadurch wird unsere Umwelt nachhaltig geschädigt. Wirtschaftlich betrachtet, ist der größte Nachteil der erbiterte Preiskampf, der aufgrund der Ressourcen Verfügbarkeit zustande kommt. Fossile Stoffe können nicht wieder regeneriert werden, wenn diese einmal verbrannt wurden. Ein rascher Verbrauch dieser Energiequellen wird massive Probleme in der künftigen Energiepolitik mit sich bringen.<sup>18</sup>

#### **2.4.2 Atomenergie**

Die 50er und 60er Jahre gelten als Beginn der zivilen Kernenergienutzung. Zu dieser Zeit gab es nahezu einen Hype in der Bevölkerung und Wissenschaft. Es wurden für die kommenden Jahre mehrere tausend Kernkraftwerke prognostiziert. In den 70er Jahren begannen sich aber bereits erste Gegner dieser Technik zu gruppieren und diese Energieform kritisch zu diskutieren. Durch die beiden Reaktorkatastrophen in Tschernobyl und Fukushima erhielten die Argumente der Kritiker in der breiten Gesellschaft immer mehr Gewicht. Mit diesen Ereignissen wurde der Menschheit vor Augen geführt, dass Unfälle in Atomkraftwerken katastrophale Ausmaße annehmen können. Durch diese Vorkommnisse

---

<sup>17</sup> Vgl. Heinloth, Klaus: Die Energiefrage: Bedarf und Potentiale, Nutzung, Risiken und Kosten; Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, 2. Auflage, Braunschweig/ Wiesbaden 2003, S.138, S.141.

<sup>18</sup> Vgl. Hensing, Ingo; Pfaffenberger, Wolfgang; Ströbele, Wolfgang: Energiewirtschaft: Einführung in Theorie und Politik; R. Oldenbourg Verlag, 1. Auflage, München 1998, S.8 f.

und die damit einhergehenden hohen Gefahrenpotentiale im Betrieb nutzen nur ~30 Länder von insgesamt 269 die Technik der Atomenergie. Die Zahl der Neuinbetriebnahmen ist seit Jahren, hauptsächlich aufgrund des Katastrophen-Risikos, rückläufig. Deutschland hat sogar ein Programm ins Leben gerufen, um bis 2022 die Nutzung der Kernenergie zur Stromerzeugung zu beenden.<sup>19</sup>

„Atomenergie, ist bei Kernspaltung frei werdende Energie (Kernenergie)“<sup>20</sup>.

#### **2.4.2.1 Funktionsweise eines Kernkraftwerkes**

Die Funktionsweise eines Kernkraftwerkes unterscheidet sich generell nicht von der eines Kohle- oder Gaskraftwerkes. Durch Energiegewinnung von den Energieträgern wird Wasser erhitzt, um durch den entstehenden Dampf Turbinen anzutreiben, welche diese kinetische Energie über einen Generator in elektrische umwandeln. Die Energieausbeute erfolgt jedoch nicht wie bei den fossilen Energien über Verbrennung sondern durch den Effekt der Kernreaktion. Dieser Effekt beschreibt die Gewinnung von Energie durch Umwandlung von Masse. Im Vergleich zu den anderen Energieträgern ist die Kernreaktion sehr effizient, so besitzt z. Bsp.: 1kg Natururan hat dasselbe Energiepotential wie 14000kg Steinkohle. Aus diesem Grund sahen auch die Physiker der vergangenen Tage die Lehre der Kernkraft als Heilsbringer für alle zukünftigen Energiefragen und Energieprobleme. Ein großer Anteil dieser Physiker sah ein Energiezeitalter aufkommen, in welchem es für jeden Menschen möglich ist, preisgünstige Energie in nahezu unendlichem Ausmaß zu nützen.

Der damalige Leiter der amerikanischen Atomforschung machte in den fünfziger Jahren den Ausspruch: „Too cheap to meter“. Frei übersetzt meinte er damit, dass das Beziehen des Stroms über Kernenergie aufgrund der großen Kostenersparnis nahezu zu günstig zum Verrechnen sei. Diese Ersparnis kann erzielt werden, da zur Stromerzeugung nur eine sehr geringe Menge an Brennstoff benötigt wird und dieser günstig und reichlich vorhanden ist. Das in der Natur vorkommende Uran-235 gilt als Ausgangsmaterial für die Kernreaktion. Werden die weltweiten Reserven aber genauer betrachtet, muss man zu dem Entschluss kommen, dass diese Quelle aber auch endlich ist und diese früher oder später zur Neige geht. Es wird aber dadurch von der Atomindustrie auf Sekundärquellen zurückgegriffen, wie z. Bsp.: auf die militärischen Bestände, welche auch als Brennstoff verwendet werden können.

---

<sup>19</sup> Vgl. Mareike Neles, Julia; Pistner, Christoph: Kernenergie: Eine Technik für die Zukunft?; Springer- Verlag Berlin/ Heidelberg 2012

<sup>20</sup> Definition Atomenergie, Duden; <http://www.duden.de/rechtschreibung/Atomenergie> (05.07.2015)



Somit ist mit einer absehbaren Knappheit nicht zu rechnen und die Uranbestände würden noch weit in die Zukunft reichen, wenn es noch tatsächlich zu einem weiteren Ausbau der Kernenergie kommen würde. Die drei größten Uran abbauenden Länder sind Kasachstan (28%), Kanada (20%) und Australien (16%).<sup>21</sup>

#### **2.4.2.2 Abwägung der Vor- und Nachteile**

Durch die vor allem großen gesellschaftlichen Auseinandersetzungen der Befürworter und der Gegner dieser Energieform, lässt sich die Kernkraft nicht in eine Reihe mit den klassischen konventionellen Energien wie z. Bsp. Erdgas, Kohle oder Erdöl stellen. Diese Energieform verbindet einzigartige Vorteile mit nicht vertretbaren außergewöhnlichen Risiken. Diese Betrachtungsweise gilt sowohl aus wirtschaftlicher Sicht, als auch aus der Sicht der Ethik.

Im Normalbetrieb ist die Technologie zur Betreibung eines Atomkraftwerkes eine absolut saubere und umweltschonende Betriebsart. Es kommt bei der Kernreaktion nämlich zu nahezu keinem Ausstoß von Kohlenstoffdioxid. Diesem Schadstoff wird der Hauptanteil der globalen Erwärmung zugeschrieben, weshalb die Kernenergie aus diesem Blickwinkel als umweltschonende Technologie einzustufen ist. Aus diesem Grund gibt es auch unter bekannten Umweltaktivisten verschiedene Meinungen und durchaus Anhänger der Atomkraft. Ein schneller Umstieg auf erneuerbare Energien wäre aufgrund der Infrastruktur, sowie der fehlenden Konstanz dieser Quellen zurzeit nicht vorstellbar und somit würde man wieder auf die altbekannten fossilen Energieträger zurück greifen müssen, womit die globale Erwärmung um ein vielfaches beschleunigt werden würde. Die Kernkraft stellt ungefähr die Hälfte der benötigten elektrischen Grundlast bereit. Diese Grundlast wird benötigt, um das Stromnetz aufrecht zu erhalten, um somit konstant für Strom zu sorgen. Diese Grundlastabdeckung durch die Kernenergie und der günstige und in ausreichendem Maß vorhandene Brennstoff bringen wesentliche Vorteile der Kernkraft mit sich, die nicht wegdiskutiert werden können. Man könnte der Auffassung sein, dass diese Vorteile für sich sprechen, jedoch stehen diesen Vorteilen große Nachteile in technischer, wirtschaftlicher und ethischer Sicht gegenüber.

---

<sup>21</sup> Vgl. Würfel, Philip; *Unter Strom: Die neuen Spielregeln der Stromwirtschaft*, Verlag: Springer Spektrum, Wiesbaden 2015, S.69, S.70

Als erstes ist hier nach wie vor die ungelöste Frage der Endlagerung zu nennen. Trotz mittlerweile jahrzehntelanger Forschung, sowie immensem Kostenaufwand, konnte man diese Problematik nicht lösen. In den letzten Jahrzehnten sind alleine für die Suche von geeigneten Lagerplätzen ~2Mrd. € angefallen. Da die Kernkraft zu den konventionellen Energien zählt, fällt auch hier bei der Energiegewinnung ein Nebenprodukt an. Die verschiedensten dadurch generierten Abfallstoffe sind radioaktiv und somit für den Menschen und die Umwelt im höchsten Maß schädigend. Es ist nicht möglich, diese einfach zu versiegeln und anschließend zu vergraben. Zuerst müssen diese Stoffe durch einen sehr aufwändigen und kostenträchtigen Prozess aufbereitet und stabilisiert werden. Diese Stoffe können nicht verbrannt oder vernichtet werden und sind auch nicht mehr anderweitig verwendbar, womit diese gelagert werden müssen.

Das größte Problem der Lagerung ist die Halbwertszeit dieser Stoffe. Unter Halbwertszeit versteht man die Zeitspanne, in welcher der Zerfallsprozess die Menge eines radioaktiven Stoffes um die Hälfte reduziert.<sup>22</sup> Einige dieser gefährlichen radioaktiven Stoffe haben eine sehr kurze Halbwertszeit, wie z. B.: Krypton-85. Dieses zerfällt bereits nach 11 Jahren. Bei anderen hochgiftigen Stoffen aus diesem Giftcocktail sieht es allerdings anders aus. Jod-129 zerfällt erst in 17 Millionen Jahren. Faktisch muss daher ein Endlager über Millionen Jahre Sicherheit bieten. Das als „gefährlichster Stoff der Welt“ bezeichnete Plutonium hat eine Halbwertszeit von ~24000 Jahren. Dieser Stoff wurde nicht umsonst nach Pluto, dem griechischen Gott des Totenreiches, benannt. Die kurzreichende Alpha-Strahlung frisst sich sozusagen in jedes lebende Gewebe und zerstört dieses. Es kann zudem noch schwer bis gar nicht ausgeschieden werden. Bereits ein paar Nanogramm reichen aus, um eine langfristige tödliche Verstrahlung zu bewirken. Wenn man mit diesem Hintergrundwissen erfährt, dass bei dem Betrieb von einem Atomkraftwerk jährlich bis zu 250kg Plutonium produziert werden, sollte uns dieser Umstand zu denken geben.<sup>23</sup>

Daher geht das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit sogar so weit, dass „weltweit noch nie ein Atomkraftwerk wirtschaftlich betrieben werden konnte, wenn man die Risiken für Mensch, Umwelt, die Kosten für den späteren Rückbau und die Endlagerung sowie die notwendigen Ausgaben für Infrastruktur, Forschung und Entwicklung mit einbezieht“<sup>24</sup>.

---

<sup>22</sup> Vgl. Würfel, Philip; Unter Strom: Die neuen Spielregeln der Stromwirtschaft, Verlag: Springer Spektrum, Wiesbaden 2015, S.70 f.

<sup>23</sup> Vgl. Mayer, Axel: Atommüll Schweiz: <http://www.mitwelt.org/atommuell-gefahr-fuer-eine-million-jahre.html> (05.07.2015)

<sup>24</sup> Zitat, Würfel, Philip; Unter Strom: Die neuen Spielregeln der Stromwirtschaft, Verlag: Springer Spektrum, Wiesbaden 2015, S.73 f.

Weiters wird ein Großteil dieser Kosten von der öffentlichen Hand bezahlt. Kein einziger Atomkraft-Betreiber muss beispielsweise für die Endlagerung zahlen. In Zeiten von leeren Staatskassen und dieser „High-Risk“-Technologie ist dies in unserer Gesellschaft nicht vertretbar. Es wurden Berechnungen angestellt, welche unterstreichen, dass die Erzeugung von Strom durch Atomkraftwerke ohne staatliche Subventionen im Vergleich zu den anderen Arten der Stromerzeugung in keinem Fall mehr wettbewerbsfähig ist. Somit ist diese Technologie bereits an ihre Grenzen gestoßen und dadurch ein Ausstieg von der Atomenergie, wie ihn Deutschland bis 2022 festgesetzt hat, sehr sinnvoll. Dies wird natürlich -wie schon erwähnt-, eine dementsprechende Lücke hinterlassen. Diese Lücke birgt weniger existenzielle, als ethische, technische oder auch wirtschaftliche Risiken, welche wir durch die weitere Nutzung dieser Technik auf uns nehmen.

Die Entwicklung der erneuerbaren Energien wird jedes Jahr weiter vorangetrieben und muss über kurz oder lang diese Lücke füllen können.

## 2.5 Energiespeicher

Die Batterie wurde ca. um 1800 vom italienischen Physiker Alessandro Volta erfunden. Er stapelte Kupfer und Zinkplättchen getrennt voneinander in salzwassergetränktem Karton.

Die Energiespeicher werden prinzipiell in Primär- und Sekundärelemente unterteilt. Ein primäres Element ist beispielsweise ein Zink-Kohle-Element. Diese Elemente können nicht wieder aufgeladen werden.

Dagegen sind Sekundärelemente wieder aufladbar (Akkumulator). Dies bedeutet, dass bei diesen Elementen die elektrochemischen Vorgänge umkehrbar sind und diese somit wiederholt werden können. Man spricht hier vom Laden und Entladen des angeschlossenen Akkus. Aus diesem Grund werden hauptsächlich Sekundärelemente zur Speicherung von Energien in autarken Systemen verwendet.<sup>25</sup>

---

<sup>25</sup> Vgl. Meister, Heinz: Elektrotechnische Grundlagen, Würzburg 14. Auflage 2007, S.127 ff.

In der heutigen Akkutechnologie liegt der „Bottleneck“ der Energieerzeugung durch diese Systeme. Es gibt noch keine Möglichkeit, Strom effizient über längere Zeit zu speichern. Wenn es in Zukunft gelingt, Energiespeicher zu entwickeln, die über mehrere Tage unseren Haushalt mit Strom versorgen könnten und zudem noch über eine adäquate Größe verfügen, dann wären auf Anhieb unsere Probleme mit der Energieerzeugung beseitigt. Weitere Ausblicke hierzu finden sich unter 2.5.8.

### 2.5.1 Bleiakкумулятор

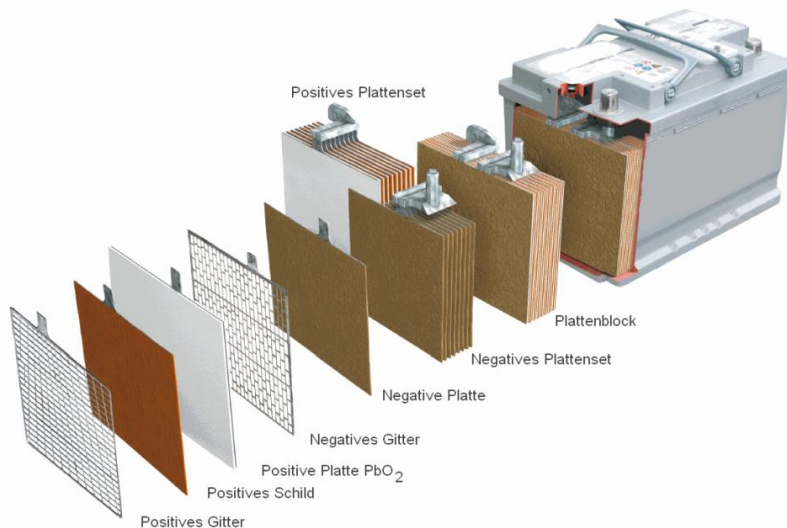
Der Blei-Akku wird zu den sogenannten galvanischen Elementen gezählt. Die Definition des galvanischen Elements lautet, dass zwei verschiedene Werkstoffe in einem Elektrolyt eine Spannungsquelle ergeben. Blei-Akkus werden sehr häufig bei Kraftfahrzeugen oder bei Motorrädern angewandt. Sie weisen einen sehr geringen inneren Widerstand auf. Da beim Starten des Motors in der Regel hohe Ströme entstehen, sind die inneren Leitungsverbindungen dick ausgelegt.

Der Akkumulator besteht aus Bleiplatten (Pb) und verdünnter Schwefelsäure ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), welche als Elektrolyt dient. Nach dem Eintauchen der Bleiplatten in die Säure, werden diese sofort mit einer Schicht überzogen und bilden durch diesen Überzug das Bleisulfat ( $\text{PbSO}_4$ ). Durch elektrochemische Reaktionen entstehen Bleidioxid ( $\text{PbO}_2$ ) und Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Die chemische Reaktion ruft zwischen zwei Platten eine Spannung von typischen 2V hervor.

Um eine 24V Batterie zu fertigen, werden zwölf hintereinander geschaltete Plattensysteme benötigt. Je größer die Oberfläche der Platten ist, desto größer ist die Energieausbeute bzw. die chemische Reaktion. Eine Erhöhung der Oberfläche wird durch poröse oder schwammige Flächen erreicht. Die Trennung der Bleiplatten zur Vermeidung von Kurzschlüssen erfolgt durch Separatoren.<sup>26</sup>

---

<sup>26</sup> Vgl. Tkotz, Klaus: Fachkunde Elektrotechnik, Wien, Europa-Lehrmittel, Verlag und Vertriebs Gesellschaft m. b. H., S.63 f.



**Abbildung 10: Aufbau eines klassischen Bleiakkus**

Quelle: <http://batterie-info.de/Thema/wp-content/uploads/2010/01/Bleiakku.png>

### 2.5.1.1 Blei-Gel Akku

Eine andere Bauweise des klassischen Blei Akkus ist der Blei-Gel Akku, der eine Weiterentwicklung des herkömmlichen Blei Akkus darstellt. Bei dieser Akkutechnologie wird die Schwefelsäure durch Kieselsäure gebunden, dadurch entsteht eine gelartige Masse. Der Blei-Gel Akku liefert dieselbe Spannung pro Zelle wie der Blei Akku. Da aber der Blei-Gel Akku einen höheren Innenwiderstand aufweist, ist der Einsatz als Starterbatterie aufgrund des hohen Spannungsabfalles in der Zelle in Kraftfahrzeugen oder Motorrädern nachteilig. Durch diesen Innenwiderstand und den auftretenden ohmschen Spannungsverlust in der Zelle kann der Akku nicht die – für diese Anwendungsfälle – benötigten hohen Startströme liefern. Allgemein ist die Blei-Gel Akkutechnologie jedoch auf im Vormarsch, da auf Grund der überwiegenden Vorteile damit eine einfache und robuste Speicherquelle realisiert werden kann.

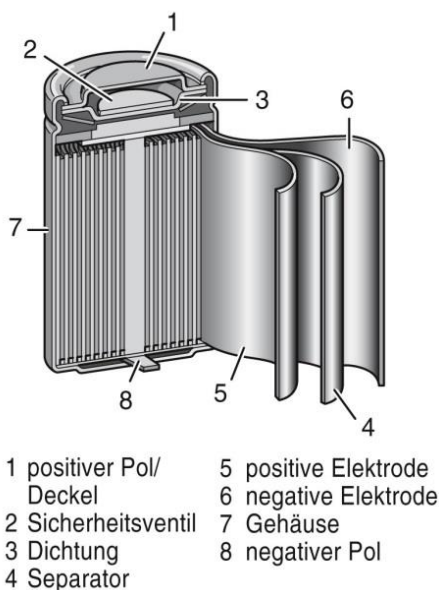
Diesen wartungsfreien Akku gibt es nur als geschlossene Variante. Ein Möglichkeit den Akku nach einer gewissen Betriebszeit einem Service zu unterziehen (beispielsweise Nachfüllen des Wassers) wird durch diese Bauform zwar verhindert, jedoch besitzt diese Akkubaupform eine höhere Kapazität und kann in verschiedenen Lagen betrieben werden, ohne dass dabei Flüssigkeiten auslaufen oder Säuresättigungsprobleme auftreten. Er wird z. Bsp. in Elektroautos, in Rollstühlen, in der Industrie oder beim Campen eingesetzt.<sup>27</sup>

<sup>27</sup> Vgl. Lenz, Björn: Akku-abc, <http://www.aku-abc.de/blei-gel-akku.php> (01.04.2015)

## 2.5.2 Nickel Cadmium (NiCd) Akku

Dieser Akku wurde in den 90er Jahren im Bereich der Consumer Elektronik am häufigsten eingesetzt. Aufgrund der Vorteile von Nickel Metallhydrid (NiMH) Akkus wird diese Technologie zunehmend stärker abgelöst. Der NiMH Akku wird in Kapitel 2.5.3 genauer behandelt.

Die NiCd Akkus liefern pro Zelle eine typische Spannung von 1,2VDC und bieten damit eine ähnliche Spannung wie die nicht wieder aufladbaren Batterien, deren Spannung 1,5VDC beträgt, an. Damit sind beste Voraussetzungen geschaffen, um Geräte, die für die Batteriespannung von 1.5 VDC ausgelegt wurden, mit einem NiCd Akku zu betreiben. Diese sind aber auf Grund des enthaltenen Cadmiums aus umweltverträglicher Sicht nur sehr bedingt einsetzbar und weisen eine relativ niedrige Energiedichte auf. Die Vorteile bestehen in der hohen Toleranz dieser Technologie gegenüber der Tiefentladung und der Überladung. Bei Akkupacks ist diese Spannungsfestigkeit ein großer Vorteil, da hier der unterschiedliche Ladezustand problemlos über eine moderate Überladung einzelner Zellen angeglichen werden kann. Ein weiterer Vorteil ist die Arbeitsbereitschaft bei sehr niedrigen Temperaturen.<sup>28</sup>



**Abbildung 11: Aufbau eines NiCd Akkus**

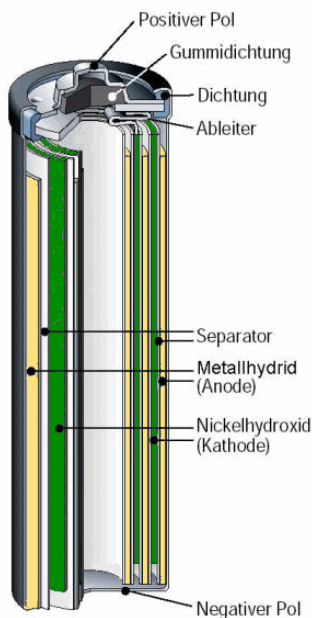
Quelle: <http://www.1-2-do.com/wissen/userfiles/image/NiCad-Akku.jpg>

<sup>28</sup> Vgl. Lenz, Björn: Akku-abc, <http://www.aku-abc.de/nicd-akku.php> (01.04.2015)

### 2.5.3 Nickel Metallhydrid (NiMH) Akku

Die NiMH Akkus sind wohl zurzeit die meist verbreiteten Akkus auf dem Markt. Diese stellen auch wie der NiCd Akku eine Spannung auf ähnlichem Niveau wie die Batterie zur Verfügung, haben aber im Vergleich zu diesen eine viel höhere Energiedichte. Sie ist ca. um den Faktor 2-3 höher und erreicht somit eine hohe Kapazität. Pluspunkte: umweltschonende Materialien bei der Herstellung und im gänzliches Fehlen von Memory-Effekten –(der Memory-Effekt wird nachfolgend ausführlicher erklärt). Jedoch kann bei häufigen Teilentladungen eine ähnliche Reaktion wie beim Memory-Effekt auftreten, der sogenannte Batterieträgheitseffekt. Dieser kann aber in der Regel rückgängig gemacht werden.

Die NiMH Akkus sind allerdings nur in einem eingeschränkten Temperaturbereich voll einsetzbar. Bei Temperaturen von  $-20^{\circ}\text{C}$  sind NiMH Akkus völlig unbrauchbar.<sup>29</sup>



**Abbildung 12: Aufbau eines NiMH Akkus**

Quelle: <http://batterie-info.de/Thema/wp-content/uploads/2010/01/Nickel-Metall-Hydrid-Akku.png>

---

<sup>29</sup> Vgl. Lenz, Björn: Akku-abc, <http://www.aku-abc.de/nimh-aku.php> (01.04.2015)

### 2.5.4 Lithium Ionen (Li Ionen) Akku

Der Li Ionen Akku liefert eine nominelle Spannung von 4,2V und ist deshalb für Geräte, die mit einer geringeren Versorgungsspannung betrieben werden müssen, nicht geeignet. Die Nennspannung dieses Akkutyps verhindert weiters die Anwendung als Batterieersatz. Da immer unterschiedliche Materialien von den Herstellern zur Produktion dieser Akkus verwendet werden, ist es sehr schwer, allgemeine Aussagen über Haltbarkeit bzw. Lebensdauer zu treffen.

Zu den wesentlichsten Vorteilen dieser Akkutechnologie zählen:

- Die Abstinenz des Memory-Effektes,
- die lange Lagerfähigkeit und
- die hohe Energiedichte

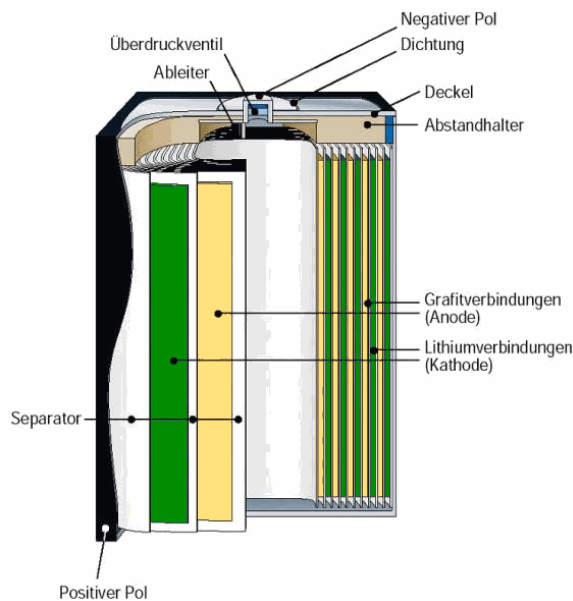
Er kann im Vergleich zum NiMH Akku die doppelte Energiemenge speichern. Diese hohe Energiedichte prädestiniert den Li Ionen Akku für den Einsatz in mobilen Endgeräten. Heutige Handytypen verfügen ausschließlich über diesen Akkutyp.

In der Technik ist nahezu nichts ohne einen Nachteil realisierbar. Diese Nachteile zeigen sich vor allem in der:

- hohen Empfindlichkeit gegenüber Tiefenentladung,
- Überladung und
- Empfindlichkeit gegenüber hohen Temperaturen.



In der Praxis werden die Einflüsse, die diese negativen Eigenschaften verursachen, durch eine Steuerelektronik so weit wie möglich ausgeglichen. Der Akku reagiert auch empfindlich auf niedrige Temperaturen, weshalb sich bei dieser Technologie ein idealer Arbeitsbereich von 5°C bis 35°C ergibt. Spezialtypen - basierend auf diesem Prinzip - sind bei bis zu -50°C betreibbar. Im Vergleich zu den herkömmlichen Varianten sind diese jedoch sehr teuer.<sup>30</sup>



**Abbildung 13: Aufbau eines Li Ionen Akkus**

Quelle: <http://batterie-info.de/Thema/wp-content/uploads/2010/01/Lithium-Ion-Akku.png>

---

<sup>30</sup> Vgl. Lenz, Björn: Akku-abc, [http://www.akku-abc.de/li-ionen-akku.php\(01.04.2015\)](http://www.akku-abc.de/li-ionen-akku.php(01.04.2015))

### 2.5.5 Lagerung von Akkus

Wenn ein Akku nicht verwendet wird, verliert er mit der Zeit einen Teil seiner gespeicherten Energie. Dieses Faktum ist besonders relevant für die Lagerung von Akkus. Folgende Tabelle soll eine Übersicht über die wichtigsten Daten zur Akkulagerung bezogen auf die häufigsten Akkutypen zeigen.

Akkutyp	Entladerate im Monat	Lagerzustand des Akkus	Lagertemperatur des Akkus	Nachladezyklus des Akkus
<b>Bleiakku</b>	5-10%	voll	5-15°C	circa 1x pro Monat
<b>NiCd Akku</b>	10-15%	40-60%	20°C	alle 2-3 Monate
<b>NiMH Akku</b>	15-20%	40-60%	20°C	alle 2 Monate
<b>Li Ionen Akku</b>	1-2%	60%	15-25°C	alle 1-2 Jahre

Um eine allgemein bessere Lebensdauer der Akkus zu bewerkstelligen, muss man diese pflegen bzw. warten. Von einer Akkupflege kann man aber nur sprechen, wenn es sich um einen offenen Bleiakku handelt. Bei diesen lässt sich der Füllstand des Elektrolyts beeinflussen und kontrollieren.

Werden die wichtigsten Kriterien für die ordnungsgemäße Lagerung missachtet, wird der Bleiakku während der Lagerung vollständig entladen. Im Zuge dieser Entladung setzt ein chemischer Umwandlungsprozess ein, der die Elektroden sulfatiert und den Akku dadurch negativ beeinflusst. Mit modernen Ladegeräten kann man durch kurze hohe Stromstöße den Akku teilweise wieder generieren.<sup>31</sup>

---

<sup>31</sup> Vgl. Lenz, Björn: Akku-abc, <http://www.aku-abc.de/aku-lagerung.php> (01.04.2015)

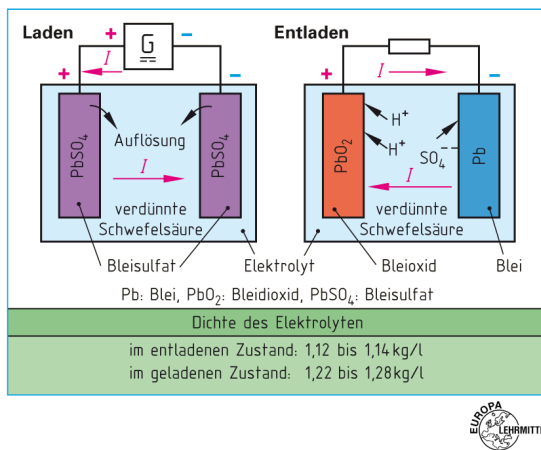
## 2.5.6 Ladung und Entladung eines Bleiakkus

### Ladevorgang

Wird eine Gleichspannung an die Elektroden gelegt, fließt ein Ladestrom durch den Elektrolyt (Elektrolyse). Die positiv geladenen Ionen wandern vom Plus- zum Minus-Pol und die negativ geladenen Ionen wandern vom Minus- zum Plus-Pol. Die neutralen Atome bzw. Atomgruppen waren zuvor Ionen, die über die Elektroden entladen wurden. Diese Atome erzeugen eine Reaktion mit dem Elektrodenmaterial. Dadurch entstehen zwei verschiedene Elektroden, die per Definition ein elektrisches Element darstellen.

### Entladevorgang

Die chemischen Prozesse verlaufen beim Entladen umgekehrt wie beim Ladevorgang. Der Fluss des Entladestroms ist der Ladestromrichtung entgegengesetzt. Allmählich werden die Elektronen wieder zum Ausgangsmaterial zurücktransferiert und die Säurekonzentration nimmt aufgrund der sinkenden Anzahl freier Elektronen ab. Durch diese abnehmende Säuredichte wird auch die Zellenspannung verringert. Um den Akku vor irreversibler Schädigung zu schützen, darf dieser nur bis zur Entladeschlussspannung entladen werden. Wird diese Spannung unterschritten, lassen sich die Zellen nicht wieder voll aufladen. Damit sinkt die Lebensdauer des Akkus dramatisch.<sup>32</sup>



**Abbildung 14: Ladung und Entladung eines Bleiakkus**

Quelle: Europa-Lehrmittel, Fachkunde Elektrotechnik

<sup>32</sup> Vgl. Tkotz, Klaus: Fachkunde Elektrotechnik, Wien, Europa-Lehrmittel, Verlag und Vertriebs Gesellschaft m. b. H., S.66 ff.

Tabelle 1: Wichtige elektrische Größen für Akkumulatoren	
Bemessungsspannung $U_n$	Festgelegter Spannungswert für eine Zelle bzw. Batterie.
Bemessungskapazität $K_n$  $K_n = I_n \cdot t_n$  $[K_n] = A \cdot h$	Entnehmbare Elektrizitätsmenge eines Akkumulators. Entladedauer $t_n$ , zugehöriger Entladestrom $I_n$ , Dichte und Temperatur des Elektrolyten sind für $K_n$ festgelegt. Die Entladeschlussspannung $U_S$ wird dann nicht unterschritten. Es bedeutet z. B. $K_{20} = 44 \text{ Ah}$ , dass 20 h lang eine Stromstärke von 2,2 A entnommen werden kann ( $20 \text{ h} \cdot 2,2 \text{ A} = 44 \text{ Ah}$ ).
Entladeschlussspannung $U_S$	Festgesetzte Spannung, die beim Entladen nicht unterschritten werden darf.
Gasungsspannung $U_G$	Ladespannung, oberhalb der ein Bleiakкумулятор deutlich zu gasen beginnt.



### Abbildung 15: Wichtige elektrische Größen von Akkus

Quelle: Europa-Lehrmittel, Fachkunde Elektrotechnik

Wird der Akku hingegen überladen, führt dies zu einer Zersetzung des Elektrolyten. In Bleizellen bildet sich an der negativen Elektrode Wasserstoff und an der positiven Elektrode Sauerstoff, wenn am Ende des Ladevorganges die Gasungsspannung erreicht wird. Dieses Gasgemisch ist unter dem Namen „Knallgas“ ( $2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ ) bekannt. Werden die angeschlossenen Akkuräume nicht gelüftet, könnten die gelagerten Akkus durch die frei werdende Energie dieses Knallgases auch aufplatzen. Um das „Gasen“ einzuschränken oder zu verhindern, werden wartungsfreie Akkus gebaut. Anschließend wird das Wasserstoff-Sauerstoff-Gemisch, aufgrund des niedrigeren Energieniveaus der Ionen zu Wasser rekombiniert. Das notwendige Wasser bleibt somit im Elektrolyten erhalten.

Tabelle 2: Wichtige Spannungswerte von Akkumulatoren			
Zellenart	Bemessungsspannung in V/Zelle	Entladeschlussspannung in V/Zelle	Gasungsspannung in V/Zelle
Blei	2,0	1,60 bis 1,90	2,40 bis 2,45
Nickel-Cadmium	1,2	0,85 bis 1,14	1,55 bis 1,60
Nickel-Metallhydrid	1,2	1	–
Lithium-Ion	3,6	3,0 bis 3,6	–



### Abbildung 16: Wichtige Spannungswerte von Akkus

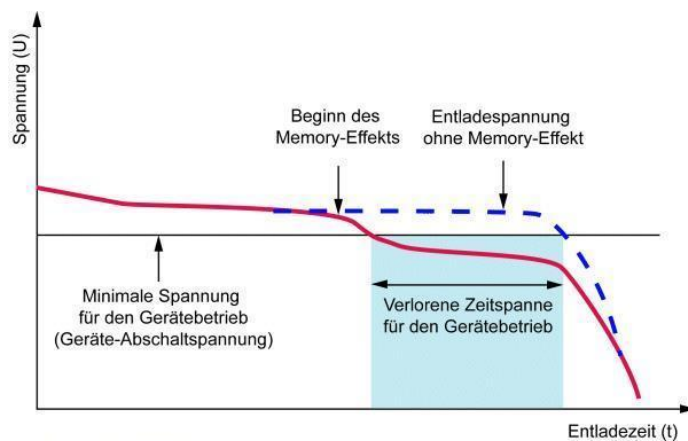
Quelle: Europa-Lehrmittel, Fachkunde Elektrotechnik

### 2.5.7 Memory-Effekt

Der Memory-Effekt wurde erstmals von Mitarbeitern der NASA beobachtet. Sie stellten fest, dass in einem von ihnen in einem Satelliten installierten Nickel Cadmium Akku nur mehr so viel Kapazität abrufbar war, wie durch eine Umdrehung der Erde verbraucht und anschließend wieder geladen wurde. Die Grundaussage des Memory-Effektes ist daher, dass er die effektive Kapazität eines Akkus verkleinert und dadurch um eine wesentlich längere Zeit keine Energie mehr liefern kann, als ein nicht vom Memory Effekt betroffener baugleicher Akku.

Dieser Effekt kann durch mehrmaliges Entladen bis zur Akku-Entladeschlussspannung und anschließender wieder vollständigen Aufladung in manchen Fällen eliminiert werden. Sollte es nach mehrmaligen Versuchen nicht gelingen, die Ausgangskapazität wieder herzustellen, ist der Akku als defekt einzustufen und daher fachgerecht zu entsorgen.

Aufgrund von modernen elektronischen Schaltungen und immer besseren Bauweisen der verschiedensten Akkutypen, ist der Memory-Effekt oder Batterieträgheitseffekt heutzutage kaum vorhanden. Die Abbildung veranschaulicht die Spannung im Bezug der Entladezeit beim Auftreten des Memory-Effektes.<sup>33</sup>



**Abbildung 17: Memory-Effekt**

Quelle: <http://images.channelpartner.de/images/channelpartner/105799/detail.jpg>

<sup>33</sup> Vgl. Lenz, Björn: Akku-abc, <http://www.aku-abc.de/aku-memoryeffekt.php> (01.04.2015)

### 2.5.8 Zukunft der Batterie

In der letzten Zeit gab es in der Akku-Entwicklung enorme Fortschritte. Vor allem die modernen Lithium Ionen Akkus machten Smartphones, Tablets und die ersten serienreifen Elektroautos überhaupt erst möglich. Doch stößt diese Technologie bereits jetzt an ihre Grenzen. Sie ist für den Einsatz als Energiespeicher für Photovoltaikanlagen viel zu kostspielig. Daher wird auch nach anderen Alternativen geforscht.

Es gibt mittlerweile verschiedenste Prototypen von Akkus, welche in Laboratorien bereits bemerkenswerte Ergebnisse erzielen, wobei von einer Marktreife noch lange nicht zu sprechen ist. Als Bsp. wird hier der Aluminium Ionen Akku angeführt. Forscher der kalifornischen Stanford University entwickelten einen Prototyp, in welchem das Lithium durch Aluminium ersetzt wurde. Dadurch erreicht dieser Akku ganz besondere Eigenschaften. Im Gegensatz zu dem Lithium Ionen Akku soll es möglich sein, diesen innerhalb weniger Minuten wieder vollständig aufzuladen. Er soll sehr leicht und flexibel sein, sowie eine höhere Lebensdauer in Bezug auf die Ladezyklen und die Kapazität besitzen. Hier sollen Zyklen jenseits der 7000er Grenze möglich sein, ohne einen Kapazitätsverlust des Akkus in Kauf nehmen zu müssen. Im Vergleich dazu sind Lithium Ionen Akkus meistens nach 1000 Ladezyklen zu entsorgen. Die Forscher sehen hier ein sehr großes Zukunftspotenzial. Da Aluminium eine andere Wertigkeit als Lithium besitzt, kann dieser Akku nur eine Spannung von 2V bereitstellen. Dies ist für den Großteil der Anwendungsgebiete zu wenig. Die Wissenschaftler arbeiten akribisch daran, diese Problematik zu beseitigen.<sup>34</sup>

Ein weiterer sehr interessanter Ansatz wurde am 01.05.2015 von dem kalifornischen Elektroauto-Produzenten Tesla präsentiert. Das Großbatterien System wird „Powerwall“ genannt und soll es ermöglichen, den am Tag produzierten Strom über eine Photovoltaikanlage für die Nacht zu speichern. Aufgrund der Expertise in der Herstellung von Elektroautos (Tesla erreicht mit dem Topmodell unter den besten Umwelteinflüssen bis zu 400km) war es nur eine Frage der Zeit, bis sich dieses Unternehmen in diesen Markt einmischt. Zudem hat der Geschäftsführer Elon Musk eine Vision von einer Welt ohne fossile Energieträger. Der Akku soll umgerechnet ~3100€ kosten, 100kg schwer und die Abmessungen von 130 x 90 x 20 cm besitzen. Es soll möglich sein, 10kWh zu speichern. Dies entspricht ungefähr vier Fünftel des Tagesbedarfs einer durchschnittlichen vierköpfigen Familie. Um einen höheren Bedarf abdecken zu können, ist es auch möglich, bis zu neun Geräte zusammenzuschalten.

---

<sup>34</sup> Vgl. Euronews: Alu statt Lithium, die Zukunft des Akkus? <http://de.euronews.com/2015/04/09/alu-statt-lithium-die-zukunft-des-akkus/> (05.07.2015)

Noch in diesem Jahr will Musk mit dem Verkauf in den USA und in Europa beginnen. Ob sich diese Art von Akkus aufgrund der Abmessungen und vor allem des hohen Preises durchsetzen wird, lässt allerdings Zweifel offen.<sup>35</sup>



**Abbildung 18: Tesla Powerwall**

Quelle: [http://www.zerohedge.com/sites/default/files/images/user5/imageroot/2015/05/tesla%20powerwall\\_0.jpg](http://www.zerohedge.com/sites/default/files/images/user5/imageroot/2015/05/tesla%20powerwall_0.jpg)

---

<sup>35</sup> Vgl. Tagesschau: Stuflesser, Wolfgang: Der Akku der Zukunft? <http://www.tagesschau.de/wirtschaft/tesla-105.html> (05.07.2015)





## 3 Ist-Betrachtung

In diesem Kapitel werden die aktuelle Situation des Energiehaushaltes des Landes Österreich, sowie der Stadt Graz dargestellt. Des Weiteren werden auch politische Einflüsse, sowie bestehende Risiken bei der Umsetzung des Konzeptes betrachtet. Am Ende dieser Ist- Betrachtung wird erörtert in welchen Bereichen akuter Handlungsbedarf besteht.

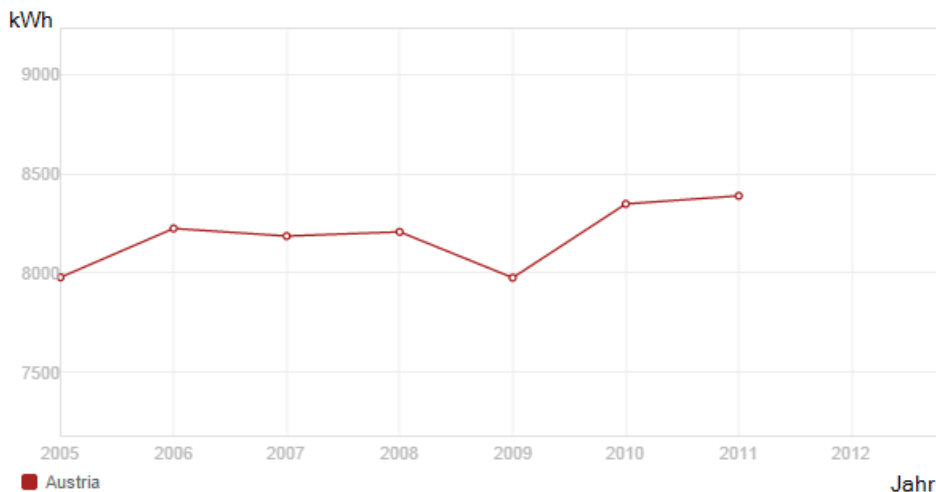
### 3.1 Ausgangssituation

Die Berechnungen für dieses Modell wurden anhand des durchschnittlichen Stromverbrauches pro Kopf in Österreich angesetzt. Dieses Modell wird nur auf Basis des Stromverbrauches der Stadt Graz betrachtet, da eine weitreichendere Betrachtung den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde. Der Stromverbrauch/Kopf betrug lt. Weltbank im Jahr 2011 (letzte genaue Strommessung) in Österreich ~8,388kWh<sup>36</sup>. In Abbildung 19 erkennt man das kontinuierliche Wachstum des Stromverbrauches in Österreich. Die kurze Rezession in 2009 lässt sich mit der globalen Wirtschaftskrise erklären.

Für alle Industrieländer ist in absehbarer Zeit ein stetiger höherer Verbrauch - mitverursacht durch den Klimawandel - anzunehmen. Wärmere Sommer erfordern mehr elektrische Energie, da sehr viele Bauten mit Klimaanlage ausgestattet sind. Weiters ist Graz auch mit seinen vielen Arbeitgebern und Betrieben ein wichtiger wirtschaftlicher Standort (detailliertere Fakten dazu unter 3.1.1.1). Aus diesen Überlegungen wurde als Berechnungsgrundlage ein gerundeter Wert von 9000kWh definiert.

---

<sup>36</sup> Stromverbrauch pro Kopf- Österreich: Quelle: <http://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.ELEC.KH.PC> (18.07.2015)



**Abbildung 19: Stromverbrauch pro Kopf in Österreich**

Quelle: <http://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.ELEC.KH.PC/countries/AT?display=graph> (18.07.2015)

Anhand des Stromverbrauches unter Berücksichtigung der Industrie und des Wachstums des Energiebedarfes (Rundungswert 9000kWh), ergeben sich folgende Berechnungen für den Strombedarf der Stadt Graz:

Ausgangslage Strom pro Kopf ~9000 kWh (Land Österreich)

Graz Einwohner=> 290000 (Quelle: Graz Tourismus)

Graz Einwohner multipliziert mit Strombedarf pro Kopf=>	2610000000 kWh
	<u><u>2,61 TWh</u></u>

Um den Energiebedarf der Stadt Graz zu decken, wird in einem Jahr eine Leistung von **2,61TWh** (1Terrawattstunde = 1Milliarde kWh) benötigt.

Daher muss das Ziel dieses Modells sein, mindestens 2,61TWh über Photovoltaik und Windkraft zu erzeugen. Die genauere Planung und Durchführung wird unter 4.1 beschrieben.

Österreich verbraucht zum Vergleich dazu Durchschnittlich ~60TWh im Jahr.<sup>37</sup>

<sup>37</sup> Scholz, Gerhard; Moidl, Stefan; Nährer, Ursula; Fliegenschnee- Jaksch, Martin; Windkraft; Hrsg. IG Windkraft Österreich, St. Pölten 2014

Zurzeit hat die Energie Graz (Energieversorgungsunternehmen) keine Eigenerzeugung. Der Strom wird vor allem durch die Privatisierung des Strommarktes zugekauft bzw. an den Börsen erworben. Lt. Energie Graz Geschäftsführer Rudolf Steiner fließt auch Atomstrom durch unser Stromnetz. Der europäische Strommarkt ist bildlich wie ein See zu betrachten. In diesen See speisen Atomkraftwerke, kalorische Kraftwerke auf Öl-, Gas- und Kohlebasis, Wasserkraftwerke, sowie alternative Stromerzeuger ihre erzeugte Energie ein. Aus diesem Strom-Mix wird der benötigte Strom entnommen, womit es unmöglich ist, zu definieren, von welcher Quelle der konsumierte Strom kommt.<sup>38</sup>

### 3.1.1 Graz

Graz ist die zweitgrößte Stadt Österreichs und zudem die Landeshauptstadt der Steiermark. Sie ist mit ihren mehr als 900 Jahren lebendiger Geschichte eine der schönsten Städte Europas. An fast keinem Ort der Welt befinden sich so hervorragend erhaltene architektonische Bauten aus den verschiedensten Epochen von Mittelalter bis ins 21. Jahrhundert. Um die Geschichte der Stadt zu vervollständigen, werden im Folgenden die wichtigsten Eckpunkte aufgezählt<sup>39</sup>:

- 1128/29: Erste urkundliche Erwähnung als „gradec“ (kleine Burg)
- 1230: Stadterhebung und Ummauerung
- 1379: Hauptstadt von Innerösterreich
- 1440- 93: Kaiserliche Residenz unter Friedrich III.
- 1564: Residenzstadt unter Erzherzog Karl II.
- 1585: Gründung der Universität
- 1594- 99: Johannes Kepler in Graz
- 1809: Belagerung durch die Franzosen, zwangsweise Schleifung der Befestigungsanlagen. Uhrturm und Glockenturm von Grazer Bürgern freigekauft
- 1945: 15 Prozent aller Wohnstätten durch Fliegerangriffe zerstört
- 1958: Gründung „Forum Stadtpark“
- 1963: Gründung der Kunstuniversität Graz
- 1968: Gründung „steirischer Herbst“
- 1985: Gründung „styriarte“

---

<sup>38</sup> Vgl. Brischnik, Martin: Was kommt aus unseren Steckdosen?; Interview mit Steiner, Rudolf; <http://brischnik.eu/architekturjournalismus/was-kommt-aus-unseren-steckdosen/> (18.07.2015)

<sup>39</sup> Vgl. Graz Tourismus- Broschüre, Grazer Sehenswürdigkeiten; 2014

- 1999: Aufnahme ins UNESCO- Weltkulturerbe
- 2003: Kulturhauptstadt Europas
- 2008: Ernennung zur Genuss Hauptstadt
- 2011: Ernennung zur City of Design

### **3.1.1.1 Zahlen, Daten und Fakten**

In diesem Kapitel werden die zurzeit bestehenden Umstände in der Stadt Graz aufgezeigt.

Wichtige Daten zur Stadt Graz:

- Einwohner: ca. 290 000
- Fläche: 127,6 km<sup>2</sup>
- Mittlere Seehöhe: 353m
- Arbeitgeber/ Betriebe<sup>40</sup>: ~10300
- Dachfläche<sup>41</sup>: 14 Millionen m<sup>2</sup>
- 69 Straßenbahnwagen
- 120 Busse
- 6 Straßenbahnlinien
- 24 Buslinien
- 8 Nachtbuslinien

---

<sup>40</sup> Quelle: Graz in Zahlen; <http://www.graz.at/cms/beitrag/10034466/606066> (18.07.2015)

<sup>41</sup> Quelle: Kapfenberger-Pock, Anneliese; Grazer Solardachkataster, Mai 2013; [http://www.geoportal.graz.at/cms/dokumente/10189544\\_5163127/c6908687/SOLAR\\_INFO.pdf](http://www.geoportal.graz.at/cms/dokumente/10189544_5163127/c6908687/SOLAR_INFO.pdf) (18.07.2015)  
S.4

### 3.1.2 Politische Situation

Der Bürgermeister der Stadt Graz ist seit 2003 Siegfried Nagl von der Österreichischen Volkspartei. Unter ihm wurden bereits einige innovative Projekte umgesetzt. Im Großen und Ganzen ist die Regierung der Stadt Graz daher der Innovation gegenüber grundsätzlich nicht abgeneigt.

Es ist aber durchaus möglich, dass es zwischen der Stadt Graz und den verschiedensten Stromanbietern Abmachungen bzw. Synergien gibt. Weiters sind in der Stadtregierung verschiedene Parteien vertreten, die unterschiedliche Ziele für die Stadt Graz verfolgen, und aufgrund ihrer parteilichen Einstellung jeweils verschiedene Ansichtsweisen der Energiepolitik haben. Diese auf einen Nenner zu bringen scheint daher nahezu unmöglich.

Ein weiterer Punkt ist, dass die Stadt Graz zum UNESCO-Weltkulturerbe ernannt wurde. Somit ist diese verpflichtet, die Kultur, sowie das Naturerbe dieser Stadt zu sichern. Eines der markantesten Bsp. ist das Stadtbild von Graz (Abbildung 20).



**Abbildung 20: Dachlandschaft Graz- Blick vom Schlossberg**

Quelle: [http://static1.bergfex.com/images/downsized/61/0f15864ca2b7c361\\_f92c6bdf491a988a.jpg](http://static1.bergfex.com/images/downsized/61/0f15864ca2b7c361_f92c6bdf491a988a.jpg) (18.07.2015)

### 3.1.3 Bestehende Risiken

Aufgrund der verschieden gelagerten Interessen der Parteien in der Grazer Stadtregierung, könnte der Vorschlag bereits vor der Umsetzung nicht akzeptiert werden, womit dieser bereits gestorben wäre.

Falls die Umsetzung doch stattfinden kann, könnte sich in der Bevölkerung Widerstand regen. Wie schon Anfangs in dieser Arbeit erwähnt, sind nicht viele Menschen bereit, Kompromisse einzugehen. Bei solchen Projekten besteht auch die Gefahr, dass die Bevölkerung nicht zu 100% informiert wird und dadurch viel Spielraum zur Interpretation übrig bleibt. Fehlinterpretationen könnten bereits das Ende dieses Energiekonzeptes herbeiführen, bevor es zu Ende gedacht wurde.

Aus technischer Sicht müsste zusätzlich zu dem autarken Energiesystem ein Notfall-System eingeführt werden, falls das autarke System einmal versagt bzw. über längere Zeit keine Sonne scheint oder Wind geht. Zu diesem Zeitpunkt könnten die EVUs, sowie die Stromanbieter horrenden Preise für die zur Verfügung gestellte Energie verlangen.

Des Weiteren müssen auch die Gesamtkosten des Projektes betrachtet werden, da für die Umsetzung dieser Idee weitere Investitionen getätigt werden müssen. Eine detailliertere Sicht wird im Punkt 4.5 Handlungsbedarf geschildert.

## 4 Soll-Betrachtung

In diesem Kapitel wird die gesamte Berechnung des Konzeptes durchgeführt. Es werden die verschiedenen notwendigen Planungen für dieses Konzept erläutert und aufgezeigt, wie diese umgesetzt werden können. Anschließend wird ein kurzer Überblick über die Vor- und Nachteile der Umsetzung des Systems gegeben, sowie eine modellierte Wirtschaftlichkeitsanalyse durchgeführt.

### 4.1 Beschreibung des Konzeptes

Die Ausgangssituation ist jene, dass pro Jahr mindestens 2,61TWh Strom zu erzeugen sind. Dies soll mit Hilfe von Photovoltaik und Windturbinen geschehen.

Die Photovoltaikanlagen werden auf der Dachfläche der Stadt Graz montiert. Wie viel der vorhandenen Dachfläche verwendet werden kann und wie hoch der Stromertrag daraus sein wird, wird unter 4.1.1 Planung Photovoltaik beschrieben.

Weiters werden zusätzlich Windturbinen auf den öffentlichen Verkehrsmitteln montiert. Da diese sich den ganzen Tag über in Bewegung befinden, wird ein Luftzug erzeugt, welcher zur Energiegewinnung verwendet werden kann.

Um die weitere Ausfallsicherheit und die Abhängigkeit der Photovoltaik durch Sonneneinstrahlung zu eliminieren, werden in großen Lagerhallen am Stadtrand Energiespeicher in der Form von Blei-Gel Akkus installiert. Diese sollen einen funktionierenden Betrieb des Systems auch bei längeren Schlechtwetter-Perioden gewährleisten.

### 4.1.1 Planung Photovoltaik

Für die Planung von PV-Anlagen müssen folgende Punkte berücksichtigt werden.

- Standort
- Verfügbare Dachfläche
- Ausrichtung
- Rechtliche und ästhetische Vorgaben
- Finanzieller Rahmen

Wurden diese Punkte verifiziert, kommt es schließlich zur Solarmodulauswahl. Es ist die Größe und Ausrichtung der Module so zu wählen, dass sich die Module möglichst nicht gegenseitig verschatten. Umso kleiner die gewählten Module sind, desto größer ist der Montageaufwand. Jedoch haben diese eine geringe Ausfallwahrscheinlichkeit und zudem werden Monokristalline Module verwendet, deren Wirkungsgrad höher als der, der handelsüblichen Solarmodule ist. Somit wird die Fläche nochmals verkleinert.

Die Anordnung der Module kann im Großen und Ganzen beliebig erfolgen, wobei man auf Teilabschattungen durch Umwelteinflüsse zu achten hat.

Für einen autarken Betrieb müssen noch weitere Planungsschritte durchgeführt werden:

- Energiebedarf ermitteln
- Dimensionierung des Generators (PV-Module)
- Dimensionierung des Speicher (Akku)
- Auslegung elektronischer Komponenten (Laderegler, Wechselrichter)

Dieses „Inselssystem“ hat keine Anbindung zum öffentlichen Netz. Möglicherweise könnte eine Anbindung für einen Notfallbetrieb aufrecht erhalten bleiben. Diese Betrachtung bleibt jedoch vorerst außen vor. Für das rein autarke System muss eine Korrelation zwischen Angebot und Nachfrage sichergestellt sein.



Entweder kann man dies damit erreichen, dass die Netzspannung der Spannung der Akkus entspricht oder der Wechselrichter erzeugt bereits eine Spannung, welche äquivalent zur Netzspannung ist.

Für dieses Konzept wurde ein Mix aus beiden Varianten gewählt. Dadurch kann, wenn genügend Sonneneinstrahlung vorhanden ist, die verfügbare Energie direkt über den Wechselrichter verbraucht und die überschüssige erzeugte Energie in Akkus zur späteren Entnahme bei nicht so ertragreichen Tagen gespeichert werden.

#### **4.1.1.1 Planungsschritte**

Der erste Schritt (Ermittlung des Energiebedarfs) wurde bereits bei der Erhebung der Ausgangssituation ermittelt. Somit müssen 2,61TWh Leistung pro Jahr erzeugt werden. Diese Leistung muss durch die Sonne und den Wind bereitgestellt werden. Da die Erzeugung durch PV-Module durch die Dachfläche der Stadt Graz begrenzt ist, erfolgt zuerst die Erhebung der verwendbaren Dachfläche und anschließend die Berechnung der zu erwartenden Leistung.

Die weiteren Planungsschritte für dieses autarke System können erst im Zusammenspiel mit den Windturbinen erstellt werden. Weiteres ist es sinnvoll, zuerst das Energiepotential zu ermitteln, um herauszufinden, ob ein weiteres Vorhergehen notwendig ist.

#### **4.1.1.2 Verwendbare Dachfläche**

Im Mai 2013 wurde ein Solardachkataster erstellt. Es wurde hiermit die verwendbare Dachfläche der Stadt Graz für Photovoltaik und Solarthermie ermittelt.

Die Grundlage für die Ermittlung der verwendbaren Dachfläche und der geeigneten Standorte bilden die digitalen Daten des Bildfluges GRAZ 2011. Mithilfe des städtischen GeoInformationSystems (GIS) wurde ein Analyseverfahren entwickelt, welche die folgenden Faktoren berücksichtigt:

- Die Verschattung,
- die Dachflächenneigung
- die Dachflächenexposition (die Neigung des Daches bezogen auf die Himmelsrichtungen) und
- die Größe des Daches.<sup>42</sup>

---

<sup>42</sup> Vgl. Kapfenberger-Pock, Anneliese; Grazer Solardachkataster, Mai 2013; [http://www.geoportal.graz.at/cms/dokumente/10189544\\_5163127/c6908687/SOLAR\\_INFO.pdf](http://www.geoportal.graz.at/cms/dokumente/10189544_5163127/c6908687/SOLAR_INFO.pdf) (18.07.2015), S.1 ff.

Am 1. März 2013 fand jeweils um 10h, 12h und 14h eine Berechnung der Verschattung anhand der bereits erwähnten digitalen Bilddaten statt. Im nächsten Schritt wurden die Neigung und die Exposition der Dachflächen bestimmt und eine Klassifizierung in „gut geeignet“ und „sehr gut geeignet“ durchgeführt.

Als nächsten Schritt wurde die Fläche der Dächer evaluiert. Eine sinnvolle Dachfläche für PV-Anlagen ist eine Mindestgröße von 20m<sup>2</sup>, wobei hier eine Sonderstellung die Flachdächer annehmen, welche durch die Aufbauten der Module ungefähr 2/3 der geeigneten Dachfläche verlieren und eine Mindestgröße von ~45m<sup>2</sup> haben müssen. Daraus ergibt sich für Flachdächer eine tatsächlich verwendbare Solarfläche von nur 15m<sup>2</sup>.

#### **4.1.1.3 Ermittlung des Energiepotentials**

Die Dachflächen mit „gut geeignet“ wurden mit 73kWh/m<sup>2</sup> und die „sehr gut geeigneten“ mit 85kWh/m<sup>2</sup> vom Umweltamt Graz-Energiereferat festgelegt. Es handelt sich bei diesen Werten um durchschnittliche Annahmen für die Erträge von verschiedenen PV-Modulen. Die denkmalschutzrechtlichen Auflagen (UNESCO-Erbe) und die Berücksichtigung der Statik wurden bei dieser Ermittlung vernachlässigt.

#### **4.1.1.4 Ergebnis**

Die rund 64000 Gebäude in Graz besitzen eine gesamte Dachfläche von ~14 Millionen m<sup>2</sup>. Von dieser Fläche könnten rund 30% (4,2 Millionen m<sup>2</sup>) für PV verwendet werden. Diese Fläche würde einen Jahresertrag von rund 360GWh ergeben. Schließt man die Umstände der entsprechenden Dachlandschaften, welche unter das Grazer Altstadt-schutzgesetz fallen mit ein, dann wären noch immer 27% für PV nutzbar und würden somit einen Ertrag von 318GWh bringen.<sup>43</sup>

Aufgrund des ernüchternden Ergebnisses ist eine weitere Planung, ohne das Energiepotenzial der Windenergie in diesem Schritt zu berücksichtigen, nicht notwendig. Die Endergebnisse des gesamten Systems werden in der Wirtschaftlichkeitsanalyse kurz reflektiert, und unter 5.1 detaillierter beschrieben.

---

<sup>43</sup> Vgl. Kapfenberger-Pock, Anneliese; Grazer Solardachkataster, Mai 2013; [http://www.geoportal.graz.at/cms/dokumente/10189544\\_5163127/c6908687/SOLAR\\_INFO.pdf](http://www.geoportal.graz.at/cms/dokumente/10189544_5163127/c6908687/SOLAR_INFO.pdf) (18.07.2015), S.4

## 4.1.2 Planung Windenergie

Bei der Nutzung der Windenergie wird für dieses Konzept eine Windturbine verwendet, da diese im Vergleich zu herkömmlichen Windrädern dementsprechende Vorteile aufweist, die klar dafür sprechen, diese hier zu verwenden (siehe 2.2.2 Windturbine). Weiters sollen diese Turbinen auf den öffentlichen Verkehrsmitteln installiert werden.

### 4.1.2.1 Wahl der Windturbine

Nach einer Internetrecherche wurde die Firma hellbrok aufgefunden, welche ein Gesamtsystem inklusiver Generatoren anbietet. Dieses System ist eine Weiterentwicklung der unter Punkt 2.2.2 beschriebener Becker-Windturbine.

Nach etwaigen Überlegungen wurde aufgrund der Maße – vor allem aufgrund der Höhe – aus der folgenden Tabelle das Modell BVT- 0.5 auserkoren, um das dementsprechende Energiepotential zu ermitteln.

Typ	Nennleistung in KW	Höhe und Ø des Rotors in mm	Gewicht (ohne Masten) kg *	Rotorfläche	KWh pro Jahr bei Ø 5m/sec Wind **	KWh pro Jahr bei Ø 8m/sec Wind **	KWh pro Jahr bei Ø 11m/sec Wind **	Einsatzgebiet
BVT - 0.5	0.5	1100 x 800	37	1,32 m <sup>2</sup>	517	2.068	4.342	Haus, Camping, Boot, Strassenbeleuchtung, etc.
BVT - 1.5	1.5	1900 x 1200	89	3,04 m <sup>2</sup>	1.189	4.756	9.987	Haus, Camping, Boot, Strassenbeleuchtung, etc.
BVT - 5	5	4400 x 2400	306	15,84 m <sup>2</sup>	4.721	18.884	39.656	Haus, Industrie, Camping, Boot, etc.
BVT - 15	15	5500 x 3600	578	23 m <sup>2</sup>	15.603	62.415	124.830	Haus, Industrie, Gewerbe, Landwirtschaft, etc.
BVT - 30-1	30	6500 x 4200	1.091	39 m <sup>2</sup>	10.522	44.194	84.176	Haus, Industrie, Gewerbe, Landwirtschaft, Windpark etc.
BVT - 30-2	30	9500 x 5000	1.270	76 m <sup>2</sup>	25.631	102.527	205.048	Haus, Industrie, Gewerbe, Landwirtschaft, Windpark, etc.

**Abbildung 21: Technische Daten, Fa. hellbrok, BVT- Broschüre**

Quelle: [http://www.hellbrok.at/fileadmin/userdaten/Windkraft/Broschuere/BVT\\_-\\_Broschuere.pdf](http://www.hellbrok.at/fileadmin/userdaten/Windkraft/Broschuere/BVT_-_Broschuere.pdf) (19.07.2015) S.6



**Abbildung 22: BVT- 0.5 Windturbine**

Quelle: [http://www.hellbrok.at/fileadmin/userdaten/Windkraft/Broschuere/BVT\\_-\\_Broschuere.pdf](http://www.hellbrok.at/fileadmin/userdaten/Windkraft/Broschuere/BVT_-_Broschuere.pdf) (19.07.2015) S.2

#### 4.1.2.2 Ermittlung des Energiepotentials

##### Windturbine BVT- 0.5 gewählt

Durchschnittliche Geschwindigkeit der Öffentlichen Verkehrsmittel  
in Graz=>

22 km/h

Umrechnung=>

~6,1 m/s

Durch diese Geschwindigkeit der Verkehrsmittel wird von einem **jährlichen Ertrag von ~2000 kWh** ausgegangen (der Tabelle entnommen, zur leichteren Berechnung gerundet)  
**=> dies bedeutet 2GWh jährlicher Leistungsertrag pro Windturbine**

---

Die Stadt Graz hat zur Abdeckung des öffentlichen Verkehrsnetzes 6 Straßenbahnlinien, 24 Buslinien und 8 Nachtbuslinien. Weiteres gibt es eine Gesamtanzahl von 120 Bussen und 69 Straßenbahnen.

---

##### Annahmen zur Berechnung:

**2Stk.** Windturbinen für jeweils einen Bus

**4Stk.** Windturbinen für jeweils eine Straßenbahn

Pro Buslinie sind 2 Busse im Einsatz  
**=> 24 Linien mal 2 Busse = 48 Busse**

Pro Straßenbahnlinie sind 3 Straßenbahnwagen im Einsatz  
**=> 6 Linien mal 3 Wagen = 18 Straßenbahnwagen**

---

Turbinen auf Busse=> 48 Busse mal 2 Turbinen = 96 Turbinen

Turbinen auf Wagen=> 18 Straßenbahnwagen mal 4 Turbinen = 72 Turbinen

**Anzahl der verwendbaren Turbinen=> 168**

---

Anzahl der verwendbaren Turbinen \* jährlichen Ertrag 2GWh= 336GWh

**Diese 336GWh werden auf 340GWh gerundet aufgrund der Nachtbuslinien.**

---

---

Das berechnete Energiepotenzial der Windenergie beträgt somit 340GWh.

## 4.2 Betrachtung der Verbindung von Photovoltaik und Windenergie

Um einen Überblick über das gesamte System zu erhalten, werden die beiden zuvor berechneten Werte zusammengerechnet:

Photovoltaik	360 GWh	
Windenergie	340 GWh	
	<u>700 GWh</u>	=> 0,7 TWh

Um ein adäquates autarkes Versorgungssystem zu erstellen, müssten - wie bereits schon in der Ausgangssituation erwähnt - , 2,61TWh von den beiden alternativen Energieträgern erzeugt werden. Die Berechnungen ergaben jedoch, dass man mit diesem Modell nur 0,7TWh erzeugen kann. Somit fehlen noch 1,91TWh, um die Stadt Graz autark mit Energie versorgen zu können. Um für diesen Energiebedarf ein besseres Gefühl für die Zahlen zu bekommen, kann man auch sagen, dass 1,91 Milliarden kWh für einen autarken Betrieb fehlen.

Ein großer Teil der benötigten Energie könnte von alternativen Energiesystemen erzeugt werden. Da die Windturbinen als gleichwertig zu den Solarmodulen zu betrachten sind, ist es auch technisch kein Problem, diese zusammenzuführen bzw. deren Energie im gleichen Netz zu verwenden oder in den gleichen Energiespeicher zu speisen.

### 4.3 Vorteile des Konzeptes

Die Vorteile liegen auf der Hand, anstatt fossile Energieträger zu verbrauchen werden, alternative umweltfreundliche Energien verwendet, welche den CO<sub>2</sub> Ausstoß merklich vermindern und einen Beitrag zu einer sauberen und nachhaltig geschonten Umwelt liefern. Damit ist das zukünftige Bestehen der Stadt auf mehrere Generationen gesichert.

Die Stromkunden werden durch dieses Konzept von den Energieversorgungsunternehmen unabhängig. Zudem würden aufgrund der eigenen Produktion die Stromkosten drastisch sinken, da nur mehr ein Prozentsatz für die Erhaltungskosten des Systems getragen werden müssen. Zusätzlich zu diesem positiven Faktum für den Endverbraucher werden durch diese Technologie durch die Installation und die in Folge notwendigen Wartungsarbeiten sehr viele Arbeitsplätze neu geschaffen.

Graz würde durch diese Technologie als erste autarke Stadt ein Zentrum der alternativen Energien und deren Erforschung werden.

### 4.4 Nachteile des Konzeptes

Durch die Ernennung der Stadt Graz zum UNESCO-Weltkulturerbe, ist dieses Konzept jedoch nur sehr schwer umsetzbar. Aus heutiger Sicht unvorstellbar ist, dass auf jeder Straßenbahn und jedem Bus diese futuristischen Windturbinen (siehe Abbildung 22 in 4.1.2.1) mit 1,1m Höhe montiert sind. Des Weiteren wäre der Blick vom Schlossberg nicht mehr derselbe, da alle derzeit freien Flächen mit Photovoltaikfeldern zugespflastert werden würden. Somit greift dieses Konzept massiv in das Stadtbild ein und viele Bürger würden dagegen protestieren.

Ein weiterer negativer Punkt sind die enormen Installationskosten. Um einen besseren Blick auf diese horrenden Kosten zu bekommen, wurde unter Punkt 4.6 eine überschlagsmäßige Berechnung durchgeführt. Zudem müssten des Weiteren Lagerhallen geschaffen werden, welche als Lagerort für Akkus zur Energiespeicherung dienen. Da man diese Lagerhallen durch ihre Größe nur außerhalb der Stadt errichten kann, müsste das vorhandene Stromnetz weiter ausgebaut werden, da an sehr ertragreichen Tagen die vorhandenen Stromleitungen nicht ausreichend dimensioniert sind, um die enorme Masse an erzeugter Energie zu transportieren.

Dies erscheint aus derzeitiger Sicht problematisch. Außerdem würde die technische Umsetzung des Systems besonders in Bezug auf die Grundlast problematisch sein, da die Akku-Energiespeicher die gesamte Grundlast tragen müssen. Die benötigte Anzahl an Akkus kann nur sehr schwer abgeschätzt werden und würde den Rahmen dieser Arbeit bzw. dieses Modells sprengen.

In diesem Modell wurde auch nicht beachtet, dass die Busse und Straßenbahnen zuerst einmal über konventionelle Energien betrieben werden müssen, um diese in Bewegung zu versetzen, damit sie anschließend über die Windturbinen Strom erzeugen.

## 4.5 Handlungsbedarf

Um dieses Konzept umzusetzen, bedarf es Handlungen an verschiedensten Stellen.

Wie bereits in den Nachteilen erwähnt müsste, das Stromnetz angepasst und weiter ausgebaut werden. Weitere Investitionen müssten für die Lagerstätten der Akkus getätigt werden. Zudem würde die Errichtung der PV-Fläche (4,2 Millionen m<sup>2</sup>) eine enorme Zeitspanne (10 – 15 Jahre) in Anspruch nehmen.

Die Bevölkerung müsste zudem überzeugt werden, dass das altbekannte Stadtbild Graz zugunsten dieses Versorgungskonzeptes weichen muss, was ein sehr schwieriges Unterfangen ist.

Trotz der autarken Betreuung der Stadt muss über Notversorgungssystem nachgedacht werden, was immense Kosten auf Seiten EVU's bedingen würde.



## 4.6 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Dieser Abschnitt behandelt die Kostenbetrachtung des Systemvorschlages.

Einer der größten PV-Anlagen Projekte Österreichs wird derzeit gerade in Eisenstadt umgesetzt. Dieses Projekt wird auf einem Areal von ca. 2300m<sup>2</sup> mit 1346 PV-Modulen errichtet. Die Gesamtkosten belaufen sich ungefähr auf 340 000€.<sup>44</sup>

Mit den Informationen über die Kosten aus diesem Projekt wurde überschlagsmäßig berechnet, wie hoch die Kosten wären, wenn man oben berechnete Dachfläche der Stadt Graz mit 4,2 Millionen m<sup>2</sup> ausrüsten würde. Alleine die Umsetzung für die Photovoltaik Anlage würde Kosten um die 621 Millionen € verschlingen.

Die Kostenberechnung der Windturbinen sowie deren Installation wurde unter Einbeziehung des Buches „Vertikale Kleinwindanlagen in Bayern“, in welchem Windprojekte mit vertikalen Windturbinen projiziert wurden, durchgeführt. In diesem Buch wird eine vertikale Windanlage mit der Leistung von 5 kW mit einem Gesamtpreis von 38600€ beziffert. Da die im Konzept verwendeten Turbinen 0,5 kW erzeugen und keinen Masten benötigen, lässt sich folgender Preis ermitteln:<sup>45</sup>

- Montagepreis und elektrische Installation 3000 €
- Windturbine, Generator inklusive Schaltschrank 17000 €

Somit beläuft sich der Preis für ein Windturbinen System auf rund 20000€. Multipliziert man dies mit der Anzahl an benötigten Windturbinen (168 Stk.), belaufen sich die Gesamtkosten für die Windenergie auf 3,36 Millionen €.

---

<sup>44</sup> Vgl. Eisenstadts größte PV- Anlage: <http://www.meinbezirk.at/eisenstadt/wirtschaft/eisenstadts-groesste-photovoltaik-anlage-d1259601.html> (21.07.2015)

<sup>45</sup> Vgl. Schmelmer, Ramona; Denk, Petra; Vertikale Kleinwindanlagen in Bayern: Verlag: Springer Gabler Wiesbaden 2015, S.108 f.

Um die erzeugte Energie auch zu speichern, müssten – wie oben beschrieben – zudem auch 4 neue Lagerhallen mit je 1000m<sup>2</sup> errichtet werden. Die Baukosten und Baunebenkosten belaufen sich schätzungsweise für eine Halle (lt. <http://hausbaukosten.eu/baukostenrechner-online-kostenlos> Rechner) auf rund 725000€, womit für 4 Hallen ein Kapitalbedarf von 2,9 Millionen € veranschlagt werden muss.

Ein weiterer Kostentreiber ist das Energiespeichersystem. Ein Speichersystem, welches für landwirtschaftliche Betriebe längere Stromausfälle überbrücken kann, muss eine Nettokapazität von mindestens 10kWh haben und kostet rund 20000€. Die Kosten hierfür steigen ins Unermessliche, wenn man bedenkt, dass die Stadt Graz einen jährlichen Stromverbrauch im TW Bereich hat.

### **Zusammenfassung**

PV-System	621 Millionen €
Windenergie	3,36 Millionen €
Lagerhallen	2,9 Millionen €
Speichersysteme	(sprengt den Rahmen)

Schätzungsweise wurden für das Speichersystem und dessen Installation, sowie die Integration in das gesamte System Kosten rund um die 500-600 Millionen € angenommen.

**Die Gesamtkosten belaufen sich mit Planungskosten etc. auf ca. 1,5 Milliarden €.**

## 5 Fazit

Dieser Abschnitt dient dazu, die im Zuge dieser Arbeit gewonnenen Kenntnisse in entsprechende Ergebnisse und Maßnahmen abzuleiten, sowie um einen Ausblick in die Zukunft zu geben.

### 5.1 Endergebnisse

Ziel des Projektes war es, die Stadt Graz mit den alternativen Energieträgern Sonne und Wind autark zu betreiben. Nach den verschiedensten Berechnungen für die beiden Systeme und die Bestandsaufnahme der Ist-Situation, kann man festhalten, dass dieses Ziel erheblich verfehlt wurde. Wie bereits unter 4.2 berechnet, fehlen 1,91 Milliarden kWh zur Deckung der benötigten Energiemenge. Weiters wurde in der Wirtschaftlichkeitsanalyse erhoben, dass die Kosten dieses Projektes immense Größenordnungen annehmen würden. Zu Zeiten von leeren Staatskassen und dem Abbau von Schulden, ist die Durchführung dieses Projekt undenkbar.

Als interessanter Aspekt ist jedoch hervorzuheben, in welchem Umfeld sich eine kleine Stadt – wie Graz – energietechnisch befindet. Die Ernüchterung ist groß, wenn man bedenkt, dass die Kosten für alternative Energieträger nach wie vor immens sind. Es ist einfach gesagt, alternative Energien zu verwenden, jedoch gibt es immer mehrere Faktoren, die in Betracht gezogen werden müssen.

Ein weiteres Ergebnis dieser Arbeit kristallisierte sich in Bezug auf den Energiespeicher heraus. Nach wie vor ist dies der „Bottleneck“ der Energietechnik. Der Fokus muss weiter auf die Entwicklung besserer, größerer und vor allem leistbarer Energiespeicher liegen. Als positiven Aspekt kann man aber durchaus erwähnen, dass es bereits Techniken gibt, welche Potentiale aufweisen und man damit durchaus einen großen Anteil am Energiehaushalt beitragen kann.

## 5.2 Ausblick

Es bleibt nur zu hoffen, dass Konzepte, wie das in dieser Arbeit erläuterte, Menschen inspirieren, in diese Richtung der alternativen Energien weiter zu forschen. Es wird der Menschheit früher oder später kein anderer Weg übrig bleiben, als sich noch intensiver mit den alternativen Energien zu beschäftigen. Konventionelle Energien sind endlich und sind nach deren Konsum aufgebraucht.

Solange sich die Weltmächte nicht einigen, kontinuierlich die konventionellen Energieträger durch die alternativen zu ersetzen und Sanktionen gegen diese Staaten einführen, welche dies nicht einhalten, wird die Energiepolitik weiterhin ein sehr problematisches Thema bleiben.

# Literaturverzeichnis

## Monographien und sonstige selbständige Veröffentlichungen

Giesecke, Heimerl, Mosonyi (2014)

Giesecke, Jürgen; Heimerl, Stephan; Mosonyi, Emil:  
Wasserkraftanlagen: Planung, Bau und Betrieb, Berlin Heidelberg, Springer Verlag

Graz Tourismus (2014)

Graz Tourismus & Stadtmarketing GmbH (Broschüre):  
Grazer Sehenswürdigkeiten

Heinloth (2003)

Heinloth, Klaus: Die Energiefrage: Bedarf und Potentiale, Nutzung, Risiken und Kosten,  
Braunschweig/ Wiesbaden , Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, 2. Auflage

Hensing, Pfaffenberger, Ströbele (1998)

Hensing, Ingo; Pfaffenberger, Wolfgang; Ströbele, Wolfgang: Energiewirtschaft: Einführung  
in Theorie und Politik; München, R. Oldenbourg Verlag, 1. Auflage

Mareike Neles, Pistner (2012)

Mareike Neles, Julia; Pistner, Christoph: Kernenergie: Eine Technik für die Zukunft?; Ber-  
lin/ Heidelberg, Springer- Verlag

Meister, Heinz (2007)

Meister, Heinz: Elektrotechnische Grundlagen, Würzburg, Vogel Buchverlag, 14. Auflage

Schmelmer, Denk (2015)

Schmelmer, Ramona; Denk, Petra: Vertikale Kleinwindanlagen in Bayern, Wiesbaden, Springer Gabler Verlag

Scholz, Moidl, Nährer (2014)

Scholz, Gerhard; Moidl, Stefan; Nährer, Ursula; Fliegenschnee- Jaksch, Martin: Windkraft; St. Pölten, Hrsg. IG Windkraft Österreich

Tkotz (2009)

Tkotz, Klaus: Fachkunde Elektrotechnik, Wien, Europa-Lehrmittel, Verlag und Vertriebs Gesellschaft m. b. H., 26. Auflage

Würfel (2015)

Würfel, Philip; Unter Strom: Die neuen Spielregeln der Stromwirtschaft, Wiesbaden, Springer Spektrum Verlag

### **Internetquellen**

AEROTURBINE – NEXT GENERATION WIND ENERGY

URL: <http://www.alternative-energy-news.info/aeroturbine-next-generation-wind-energy/>  
Verfügbar am 15.03.2015

Artmann, Stephan:

Konventionelle Energien

URL: <http://www.stromversorger-energieversorger.de/konventionelle-energien.php>  
Verfügbar am 04.07.2015

Brischnik, Martin

Was kommt aus unseren Steckdosen?; Interview mit Steiner, Rudolf;

URL: <http://brischnik.eu/architekturjournalismus/was-kommt-aus-unseren-steckdosen/>

Verfügbar am 18.07.2015

DIE WELT

Wie wir Sonnenenergie nutzen können

URL: <http://www.welt.de/wirtschaft/energie/specials/sonne-solar/article8819066/Wie-wir-Sonnenenergie-nutzen-koennen.html>

Verfügbar am 22.06.2015

Eisenstadts größte PV-Anlage

<http://www.meinbezirk.at/eisenstadt/wirtschaft/eisenstadts-groesste-photovoltaik-anlage-d1259601.html>

Verfügbar am 21.07.2015

Energiesparen im Haushalt

Wie funktioniert Solarthermie

URL: <http://www.energiesparen-im-haushalt.de>

Verfügbar am 04.07.2015

Euronews

Alu statt Lithium, die Zukunft des Akkus?

URL: <http://de.euronews.com/2015/04/09/alu-statt-lithium-die-zukunft-des-akkus/>

Verfügbar am 05.07.2015

Fechner, Hubert; Zwiauer, Katharina

Windkraft, Hrsg: GrAT,

URL: [www.e-genius.at](http://www.e-genius.at)

Verfügbar am 28.06.2015

Groll, Markus

Kommt Österreich ohne Russen Gas aus?

URL: <http://www.format.at/die-magazine/trend/wirtschaft/kommt-oesterreich-russengas-375642>

Verfügbar am 10.05.2015

Kapfenberger-Pock, Anneliese

Grazer Solardachkataster, Mai 2013

[http://www.geoportal.graz.at/cms/dokumente/10189544\\_5163127/c6908687/SOLAR\\_INF\\_O.pdf](http://www.geoportal.graz.at/cms/dokumente/10189544_5163127/c6908687/SOLAR_INF_O.pdf)

Verfügbar am 18.07.2015

Lenz, Björn

Akku-abc

URL: <http://www.aku-abc.de>

Verfügbar am 01.04.2015

Mayer, Axel

Atom Müll Schweiz

URL: <http://www.mitwelt.org/atommuell-gefahr-fuer-eine-million-jahre.html>

Verfügbar am 05.07.2015

Stuflesser, Wolfgang

Tagesschau: Der Akku der Zukunft?

URL: <http://www.tagesschau.de/wirtschaft/tesla-105.html>

Verfügbar am 05.07.2015

Wasserkraft

URL: <http://www.boxer99.de/wasserkraft.htm>

Verfügbar am 04.07.2015



## **Selbstständigkeitserklärung**

Ich, Kevin Stani, erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen inländischen oder ausländischen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Die vorliegende Fassung entspricht der eingereichten elektronischen Version.

Leibnitz, den 27.Juli.2015

Kevin Stani