

# Masterthesis

Name: **Bartsch,  
Mai**

Vorname: **Nils,  
Alexander**

Studiengang:  
**Master of Science (Erneuerbare  
Energien)**

vorgelegt am: **01.08.2013**

Erstprüfer/in:  
**Prof. Dr. Bernd Romeike**

Zweitprüfer/in:  
**Dr. Tobias Schulze**

Thema:  
**Autarke Versorgung deutscher Städte mit Erneuerbaren  
Energien**

# **Autarke Versorgung deutscher Städte mit Erneuerbaren Energien**

Alexander Mai, Nils Bartsch

Akademie für Erneuerbare Energien / HAW Hamburg

Juli 2013

## **Stichworte**

Autark, autarke, Versorgung, deutsche, deutscher, Stadt, Städte, Erneuerbare Energie, Erneuerbaren Energien

## **Kurzzusammenfassung**

Diese Arbeit umfasst die Untersuchung erneuerbarer Primärenergiepotenziale zur Ermittlung von geeigneten Regionen und Städten zur autarken Versorgung mittels Erneuerbarer Energien. Weiterhin werden die notwendigen Rahmenbedingungen zur Erreichung der autarken Versorgung mittels Erneuerbaren Energien untersucht und benannt.

Einleitend wurden grundlegende Inhalte zum aktuellen Stand der Themen politische Rahmenbedingungen, Stadtbegriff und gesellschaftsrechtliche Unternehmensformen sowie von Primärenergiepotenzialen eruiert.

Zur Ermittlung geeigneter Regionen und Städte erfolgten grafische Untersuchungen der einzelnen erneuerbaren Primärenergieformen Solar-, Wind-, Bioenergie, Wasserkraft und Geothermie. Unter Zuhilfenahme eines selbst erstellten grafischen Auswertungsprogrammes, konnten die Primärenergien einer regionalen Potenzialverteilung zugeführt werden sowie eine Unterteilung in kontinuierliche und diskontinuierliche Verfügbarkeiten zugeordnet werden. Darauf aufbauend erfolgte eine grafische Betrachtung im gesamtheitlichen Kontext zur Ermittlung von Gebieten mit hoher Eignung zur autarken Versorgung mit erneuerbaren Energien.

Aufbauend auf dem grafischen Ergebnis wurden die vorgenannten Gebiete bezüglich ihrer elektrischen, thermischen, sowie kontinuierlichen und diskontinuierlichen Primärenergiepotenziale tabellarisch ausgewertet. Weiterhin wurde als Grundlage zur Detailuntersuchung einer Stadt die aktuellen technischen Möglichkeiten zur Erzeugung und Speicherung erneuerbarer Energien, inkl. planerischer und finanzieller Aspekte, eruiert.

Als Ergebnis wurde u.a. Freiburg im Breisgau als Stadt mit hohem Potenzial zur autarken Versorgung ermittelt. Im Anschluss erfolgte eine energetische und finanzielle Detailbetrachtung mit Schwerpunkt der autarken Versorgung mittels Erneuerbare Energien unter Zuhilfenahme eines separat erstellten

Auswertungsprogramms. Die Detailuntersuchung ergab, dass Freiburg aktuell die autarke Versorgung mittels Erneuerbarer Energien nicht realisieren kann. Dennoch ist eine Substitution der bisherigen fossilen Erzeugungskapazitäten möglich.

Weiterhin erfolgte eine gesellschaftsrechtliche Untersuchung der Stadtwerke Freiburg bezüglich geeigneter Unternehmensformen, mit dem Fokus die Erneuerbaren Energien, entsprechend dem vorab eruierten Szenario, etablieren zu können. Im Ergebnis haben die Stadtwerke Freiburg, mit der Beteiligung an der badenova AG & Co. KG, eine geeignete zukunftsfähige Unternehmensform für die Etablierung Erneuerbarer Energien aktuell installiert.

Die Rückschlüsse bezüglich der autarken Versorgung deutscher Städte mit erneuerbaren Energien sowie die Begrifflichkeit einer energieautarken Stadt sind weiter zu untersuchen. Weitere Untersuchungsschwerpunkte sind u.a. die Einbeziehung des Umlandes zur Versorgung der Stadt sowie die zeitliche Abhängigkeit von Erzeugung und Abnahme der Energien.

# Self-Sufficient Supply of German Cities with Renewable Energy

Alexander Mai, Nils Bartsch

Akademie für Erneuerbare Energien / Hamburg University of Applied Sciences

July 2013

## Keywords

Self-sufficient, Autarkic, Supply, German, City, Renewable Energy

## Abstract

This thesis examines the potential of German geographical regions and cities to achieve a self-sufficient energy supply using renewable energy. It details the required parameters to achieve such an autarkic supply.

The thesis describes the current situation regarding politics, cities, types of corporate organisations, and primary energy potentials.

The potentials of solar, wind, biological, water, and geothermal energy are analysed to identify suitable locations for a self-sufficient energy supply. A self created programme allows the superposition of different primary energy potentials while it also distinguishes between continuous and discontinuous availability of each energy form. Following this superposition a graphical and tabularly analysis identifies the most suitable regions for autarkic energy supply.

Various other parameters i.e. possibilities to produce and store renewable energy, planning restrictions, and financial aspects are taken into account to examine a city and its potential for self-sufficiency in more detail.

Following the described detailed analysis the German city Freiburg im Breisgau shows a high potential for a self-sufficient energy supply. An in-depth examination of energetic and financial aspects for Freiburg shows that a self-sufficient supply using renewable energy is not feasible at this point in time. However, a substitution of currently used fossil fuels is possible.

In addition an examination shows that the cooperation between the public energy supplier for Freiburg (“Stadtwerke Freiburg”) and “badenova AG & Co. KG” is suitable for further development of renewable energy supply.

The possibility of a self-sufficient energy supply of German cities needs to be examined further. Further studies should take into account the surrounding areas of a city and the chronological relationship between production and use of energy.

# **Autarke Versorgung deutscher Städte mit Erneuerbaren Energien**

---

<b>Dozenten</b>	Prof. Dr. Bernd Romeike Dr. Tobias Schulze
<b>Verfasser</b>	Nils Bartsch                      2040066 Alexander Mai                      2040155
<b>Studiengang</b>	Master of Science (Erneuerbare Energien) WS 2010/11
<b>Modul</b>	Masterthesis
<b>Arbeitsbeginn</b>	01.11.2012
<b>Abgabetermin</b>	01.08.2013
<b>Erstprüfer/-in</b>	Prof. Dr. Bernd Romeike
<b>Zweitprüfer/-in</b>	Dr. Tobias Schulze

---

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Einleitung (A, B)</b> .....	<b>1</b>
1.1	Zielstellung.....	1
1.2	Inhalte.....	1
<b>2</b>	<b>Energie- und klimapolitische Grundlagen (A)</b> .....	<b>3</b>
2.1	Energie- und klimapolitische Ziele .....	3
2.2	Herangehensweise und Definition messbarer Vorgaben .....	5
2.3	Politische Rahmenbedingungen .....	6
2.4	Fazit.....	9
<b>3</b>	<b>Gesellschaftsrechtliche Grundlagen (B)</b> .....	<b>10</b>
3.1	Personengesellschaften .....	11
3.1.1	Einzelunternehmung.....	11
3.1.2	Offene Handelsgesellschaft (OHG).....	11
3.1.3	Kommanditgesellschaft (KG).....	12
3.1.4	BGB-Gesellschaft oder Gesellschaft bürgerlichen Rechts (GbR).....	13
3.1.5	Stille Gesellschaft (StG) .....	14
3.2	Kapitalgesellschaften .....	14
3.2.1	Aktiengesellschaft (AG).....	14
3.2.2	Gesellschaft mit beschränkter Haftung (GmbH).....	15
3.2.3	Unternehmergesellschaft (UG).....	15
3.2.4	Kommanditgesellschaft auf Aktien (KGaA).....	16
3.3	Sonstige Rechtsform(en).....	16
3.4	Fazit zu den Rechtsformen.....	17
<b>4</b>	<b>Die deutsche Stadt, die energieautarke Stadt und die Definition von Potenzialen (A)</b>	<b>19</b>
4.1	Die deutsche Stadt.....	19
4.1.1	Historie .....	19
4.1.2	Deutsche Stadtbegriffe und ihre Klassifizierungsarten .....	19

---

4.2	Die energieautarke Stadt .....	21
4.2.1	Begrifflichkeiten .....	21
4.2.2	Diskussion bestehender Begrifflichkeiten .....	22
4.2.3	Definition der energieautarken Stadt .....	22
4.2.4	Reflexion .....	23
4.3	Definition von Potenzialen .....	23
4.3.1	Theoretisches Potenzial .....	24
4.3.2	Technisches Potenzial .....	24
4.3.3	Wirtschaftliches Potenzial .....	26
4.3.4	Reales Potenzial .....	26
4.4	Fazit .....	27
<b>5</b>	<b>Theoretisches Potenzial – Primärenergie Einzelbetrachtung .....</b>	<b>29</b>
5.1	Solarenergie (A) .....	30
5.1.1	Maximale Potenziale .....	30
5.1.2	Regionale Vorkommen .....	30
5.2	Windenergie (A) .....	32
5.2.1	Maximale Potenziale .....	32
5.2.2	Regionale Vorkommen .....	32
5.3	Wasserkraft (A) .....	34
5.3.1	Maximale Potenziale .....	34
5.3.2	Regionale Vorkommen .....	35
5.4	Geothermie (A) .....	37
5.4.1	Maximale Potenziale .....	37
5.4.2	Regionale Vorkommen .....	37
5.5	Bioenergie (B) .....	39
5.5.1	Maximale Potenziale .....	39
5.5.2	Regionale Vorkommen .....	40
5.6	Fazit (A, B) .....	43
5.6.1	Maximale Potenziale .....	43
5.6.2	Regionale Vorkommen .....	43
5.6.3	Verfügbarkeit .....	44

---

<b>6</b>	<b>Theoretisches Potenzial – Primärenergie Gesamtbetrachtung.....</b>	<b>46</b>
6.1	Vorbetrachtung und Herausforderung (A).....	46
6.2	Grafische Betrachtung.....	47
6.2.1	Anforderungen und Möglichkeiten der Auswertung (A) .....	47
6.2.2	Grafische Auswertung (B).....	48
6.2.3	Grafische Ergebnisse (A/B).....	51
6.3	Tabellarische Betrachtung (A).....	52
6.3.1	Tabellarische Auswertung .....	52
6.3.2	Tabellarische Ergebnisse .....	52
6.4	Fehlerbetrachtung (A) .....	53
<b>7</b>	<b>Grundlagen der Energieversorgung (A) .....</b>	<b>55</b>
7.1	Technologien zur Energieerzeugung.....	56
7.1.1	Photovoltaik (A) .....	56
7.1.2	Solarthermie (B) .....	60
7.1.3	Windenergie (A).....	71
7.1.4	Wasserkraft (A) .....	77
7.1.5	Geothermie (B).....	83
7.1.6	Biomasse (B) .....	95
7.2	Energieversorgungsnetze (B).....	105
7.2.1	Stromnetz.....	105
7.2.2	Erdgasnetz .....	109
7.2.3	Fernwärme .....	111
7.2.4	Speichertechnologien.....	112
7.3	Fazit (B) .....	117
<b>8</b>	<b>Energietechnische und wirtschaftliche Untersuchung .....</b>	<b>119</b>
8.1	Herangehensweise und Identifikation zu untersuchender Parameter (B) .....	119
8.1.1	Zielstellung .....	119
8.1.2	Identifikation und Beschreibung zu untersuchender Parameter .....	119
8.2	Berechnungsprogramm (B).....	120
8.2.1	Philosophie und Rahmenbedingungen .....	120
8.2.2	Aufbau und Beschreibung .....	121
8.2.3	Besonderheiten der Datenbewertung.....	122

---

8.3	Ergebnisse (B).....	124
8.4	Freiburg im Breisgau.....	124
8.4.1	Ausgangsdaten der Stadt (A).....	124
8.4.2	Energetische Betrachtung und Auswertung (B) .....	130
8.4.3	Fazit und Ausblick (A) .....	135
<b>9</b>	<b>Gesellschaftsrechtliche Untersuchung geeigneter Unternehmensformen am Beispiel der Stadtwerke in Freiburg (im Breisgau) (A).....</b>	<b>139</b>
9.1	Aktuelle Struktur .....	139
9.2	Stärken und Schwächen .....	141
9.2.1	Beteiligungsholding GmbH und Tochterfirmen (GmbH und AG) .....	141
9.2.2	badenova AG & Co. KG.....	142
9.3	Alternative Gestaltungsmöglichkeiten der badenova AG & Co. KG .....	144
<b>10</b>	<b>Schlussfolgerungen zur energieautarke Stadt und für Deutschland (A, B) .....</b>	<b>148</b>
10.1	Die energieautarke Stadt.....	148
10.1.1	Definition (bisher) .....	148
10.1.2	Reflexion .....	148
10.1.3	Definition (Fortschreibung).....	150
10.2	Schlussfolgerungen für Deutschland.....	150
<b>11</b>	<b>Fazit (A, B).....</b>	<b>153</b>
11.1	Inhalte .....	153
11.2	Ergebnisse und Ausblick .....	154
<b>12</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis (B) .....</b>	<b>I</b>
<b>13</b>	<b>Abbildungsverzeichnis (A, B).....</b>	<b>II</b>
<b>14</b>	<b>Tabellenverzeichnis (A, B).....</b>	<b>VI</b>
<b>15</b>	<b>Literaturverzeichnis (A, B) .....</b>	<b>VII</b>
15.1	Gesetze .....	VII
15.2	Normen und VDI-Richtlinien.....	IX
15.3	Monografien .....	IX

---

15.4	Fachzeitschriften / Fachbeitrag.....	XIV
15.5	Internetquellen .....	XVI
<b>16</b>	<b>Konsultationsverzeichnis (A) .....</b>	<b>XXII</b>
<b>17</b>	<b>Anlagenverzeichnis .....</b>	<b>XXIII</b>

# **1 Einleitung (A, B)**

Bioenergiedörfer werden derzeit vermehrt entwickelt und errichtet. Aktuell besitzen sie einen hohen Vorbildcharakter. Damit bestehen momentan Versorgungsmöglichkeiten von autarken Dörfern bis ca. 1.000 Einwohner.

Aktuell bewohnen ca. 30 % der Deutschen, Städte mit mehr als 100.000 Einwohnern. Dabei stellt sich die Frage, ob und wie das Ziel der autarken Stadt in Deutschland als europäische Vorreiterrolle realisierbar ist. Bereits heute formuliert unter anderem die Stadt Hamburg die autarke Energieversorgung als mittelfristiges Ziel.

## **1.1 Zielstellung**

Im Rahmen der Bearbeitung der Masterthesis wird untersucht, ob die energieautarke Versorgung von Städten möglich ist. Weiterführend wird ein Ausblick zu den erforderlichen Grundvoraussetzungen und Rahmenbedingungen für die Zielerreichung gegeben.

## **1.2 Inhalte**

Hierfür ist in Anlehnung an aktuelle Bioenergiedörfer eine mögliche Definition der energieautarken Stadt herzuleiten, in welcher u.a. auch Aussagen zur Versorgungsart zu erfassen sind.

Darauf aufbauend ist zu belegen, welche Grundvoraussetzungen hierfür erforderlich und ob diese bereits vorhanden sind. Unter Betrachtung der regionalen Gegebenheiten - u.a. der Biomasse, der Windenergie bzw. der Photovoltaik - sind dabei mittels der Untersuchung der vorhandenen klimatischen und geografischen Gegebenheiten abzuleiten, ob Regionen besonders für die 100-prozentige Versorgung mit Erneuerbaren Energien geeignet sind. Hierfür ist vorab ein entsprechendes Raster zu entwickeln.

Anhand des vorab erstellten Rasters werden schwerpunktmäßig Gebiete definiert, in welchen präzise Untersuchungen von Städten vorgenommen werden. Dabei sind die zu erwartenden Strom- und Wärmeverbräuche in die Betrachtung - sofern umsetzbar, in Abhängigkeit bereits definierter Städtetypologien - zu integrieren. Darauf aufbauend ist

abzuleiten, welche technischen Anlagen für die Erreichung der energieautarken Versorgung zu errichten sind. Die Integration wirtschaftlicher Parameter rundet das Thema ab.

Die vorgenannten theoretischen Betrachtungen werden anhand einer gewählten Stadt untersucht, um nach der Erarbeitung eines stadtbezogenen Modells der Energieversorgung, abschließend die vorab ermittelten Inhalte zu bestätigen bzw. zu widerlegen.

---

## 2 Energie- und klimapolitische Grundlagen (A)

Als europäischer Mitgliedsstaat verfolgt die Bundesregierung derzeit in einer Art Vorreiterrolle die sehr große Herausforderung die Energiewende in Deutschland umzusetzen.<sup>1</sup> Die politischen Ziele werden nach Abstimmung mit europäischen Mitgliedsstaaten zentral erfasst.<sup>2</sup> Sie stützen sich dabei auf ein umfassendes Energie- und Klimaschutzprogramm. Innerhalb dieses Kapitels werden daher erforderliche energie- und klimapolitische Ziele, neben messbaren Vorgaben und für die Umsetzung erforderlichen politischen Rahmenbedingungen vorgestellt.

### 2.1 Energie- und klimapolitische Ziele

Im Rahmen der bisherigen Energieversorgung wurden überwiegend konventionelle Energieträger genutzt. Dabei sicherte ein Mix die ausgewogene Energiebereitstellung. Insbesondere die Endlichkeit der Rohstoffe<sup>3</sup> führen zu einer steigenden Abhängigkeit<sup>4</sup>, monetären Risiken der Energiekosten<sup>5</sup> und dadurch zu einer eingeschränkten Versorgungssicherheit. Ferner sorgt unter anderem der Bevölkerungszuwachs zu stetig steigenden Nachfragen an Energierohstoffen. Bis 2035 wird beispielsweise ein ca. 30-prozentig höherer Energiebedarf<sup>6</sup> erwartet.

In diesem Zusammenhang sind die ehrgeizigen und effizienten klimapolitischen Programminhalte der Bundesregierung zu betrachten. Als ein entscheidendes Ziel wird die industrie- und evolutionsabhängige Bekämpfung der weltweiten, maximalen Temperaturerwärmung von 2 Grad Celsius, gegenüber der vorindustriellen Zeit, gesehen. Dieses Ziel stellt vor allem international hohe Herausforderungen, welches unter anderem

---

<sup>1</sup> Vgl. I-BR-a, 2012

<sup>2</sup> Vgl. EU, 2010: Schwerpunkte sind u.a. der Energiemarkt, die Energieeffizienz, die Verbraucher-autonomie und Sicherheit, der Technologiewandel sowie EU, 2011: Für die Zielerreichung wurde in 2011 ein europäische Roadmap bis 2050 vorgelegt. Hauptinhalte stellen den Umbau von Energiesystemen, die Energiemärkte, die Einbindung von Investoren und Öffentlichkeit sowie Fördermöglichkeiten bzw. der internationale Wandel dar.

<sup>3</sup> Vgl. Quaschnig, 2011, S. 23 - Erdöl ca. 40 Jahre, Erdgas ca. 60 Jahre und Steinkohle ca. 120 Jahre

<sup>4</sup> I-BR-a , 2012: „Die hohe Energie-Importabhängigkeit ...(-)... Deutschland ist zu 60 Prozent von ausländischen Energieimporten abhängig. Beim Energieträger Öl besteht sie zu über 96 Prozent, bei Erdgas zu 86 Prozent“.

<sup>5</sup> Vgl. AEE, 2009, S. 5 „Erneuerbare Energien (reduzieren) die Importkosten für Erdöl, Erdgas und Kohle.“ Im Jahr 2008 lagen Sie bei ca. 8,3 Mrd. €.

<sup>6</sup> Vgl. I-BR-a , 2012

im Rahmen der Klimagipfel <sup>7</sup> - in Kyoto (2005), Kopenhagen (2009), Cancun (2011) bzw. Durban (2011/2012) - bislang global nicht einvernehmlich beschlossen werden konnte.

Innenpolitisch werden die europäischen Zielvorgaben durch die Bundesregierung nachgiebig weiter verfolgt. Infolge der aktuellen Energieverbräuche wird ein extrem hoher Anteil an Treibhausgasen verursacht. Die Bundesregierung beabsichtigt speziell aufgrund eines ca. 80-prozentigen Anteils der Treibhausgase am Energieverbrauch <sup>8</sup> eine umfassende „Senkung der Klimagase“ <sup>9</sup>. Dies ist infolge der Steigerung der Energieeffizienz, der Verringerung der Verbräuche und der Erhöhung der Nachhaltigkeit umsetzbar. Hierfür werden z.B. im Wohnungsbau (auch unter Einbeziehung von Altbauten) energetische Vorgaben um ca. 30 Prozent verschärft. <sup>10</sup>

Die Bundesregierung definiert daher aus vorgenannten Programmen zusammenfassend, unter anderem folgende, energie- und klimapolitische Ziele:

- Unabhängige und dauerhafte Versorgungssicherheit mittels eines ausgewogenen Energiemixes - insbesondere mit einem überwiegenden Anteil Erneuerbarer Energien
- Sicherstellung der Finanzierbarkeit der Technologien und Energieversorgung
- Förderung von Forschung und Entwicklung
- Steigerung der Energieeffizienz und Nachhaltigkeit sowie Verringerung des Energieverbrauchs
- Stetiger Ausbau bei umweltverträglicher Energieversorgung
- Verringerung von Klimagasen

Die energie- und klimapolitischen Vorgaben sind auf das Hauptziel ausgerichtet, die Energiewende herbeizuführen. Sie wird als generationsübergreifende Aufgabe sowie "...größte(r) und ambitionierteste(r) Beschluss von Gesetzen und Verordnungen ..." <sup>11</sup> verstanden.

---

<sup>7</sup> Aufgrund des Schwerpunktes der Arbeit auf die Energieversorgung werden diese Inhalte nicht näher vertieft.

<sup>8</sup> Vgl. I-BR-a, 2012

<sup>9</sup> I-BR-a, 2012 ebd.

<sup>10</sup> Vgl. ebd.

<sup>11</sup> I-BR-a, 2012

---

## 2.2 Herangehensweise und Definition messbarer Vorgaben

### Herangehensweise

Die Basis zur Umsetzung der energie- und klimapolitischen Ziele wird dabei auf wissenschaftlichen Untersuchungen sowie Studien und Ergebnissen von Langzeitszenarien, gemeinsam agierender Universitäten und Fachinstituten, ausgerichtet. In vorgenannten Untersuchungen werden unter anderem Abhängigkeiten der aktuellen Energiepolitik betrachtet. Sie sind zeitlich begrenzt und stehen in direkter Beziehung einer sehr hohen Anzahl an Rahmenparametern. Einflussgrößen sind hierbei beispielsweise der Technologieeinsätze, deren Verfügbarkeit, das Energieangebote, Wärme- und Strompreise, die Netzinfrastruktur bzw. Netzstabilität.<sup>12</sup>

Mit dieser Vorgabe und der Erarbeitung messbarer Parameter sind Abgleiche zu Zielerreichungen der jeweiligen Szenarien möglich. Hierbei sind im Detail die Erfahrungen und Erkenntnisse der Vorgabenumsetzung sowie zukünftige Ausrichtungen zu berücksichtigen. Entscheidend dabei ist das stetige Monitoring, um ggf. Abweichungen innerhalb der zyklischen Teilschritte identifizieren und Neuausrichtungen vornehmen zu können.

### Definition messbarer Vorgaben

Auf Basis der aktuellen Untersuchungen wird davon ausgegangen, dass „die technische und wirtschaftliche Machbarkeit der im Energiekonzept festgelegten Ziele und sogar eine vollständige Umstellung auf erneuerbare Energien“<sup>13</sup> umsetzbar ist. Daher wurden innerhalb von Untersuchungen zu Langzeitszenarien bis 2020 bzw. 2050 folgende messbare Parameter als Vorgabe für die Umsetzung definiert (exemplarischer Auszug):<sup>14</sup>

- Erhöhung des Anteils Erneuerbarer Energien am **Bruttoendenergieverbrauch** bis 2050 auf 60% (2011: ca. 11 Prozent)
- Reduzierung des **Primärenergieverbrauch** bis 2050 um 50 Prozent, bis 2020 um 20 Prozent (Bezug 2008) – Erfordernis einer jährlichen Steigerung der Energieproduktivität um ca. 2 Prozent (Bezug Endenergieverbrauch)
- Erhöhung des Anteils Erneuerbarer Energien bei der **Stromversorgung** bis 2050 auf

---

<sup>12</sup> Vgl. I-BMU-a, 2011

<sup>13</sup> I-BMU-a, 2011

<sup>14</sup> Vgl. BMU, 2011 sowie I-BR-a, 2012 sowie EEG, 2012

80 Prozent bzw. 2020 auf mind. 30 Prozent

- Minderung des Brutto-**Stromverbrauches** bis 2050 um 25 Prozent (Bezug 2008) bzw. bis 2020 um 10 Prozent.
- Erhöhung des Anteils Erneuerbarer Energien an gesamter **Wärmebereitstellung** des Endenergieverbrauches auf 14 Prozent
- Reduzierung des **Wärmebedarfes** der Gebäude bis 2020 um 20 Prozent – Minderung des Primärenergiebedarfes bis 2050 um ca. 80 Prozent
  - o Hauptziel bis 2050 nahezu klimaneutraler Gebäudebestand
  - o Neubauten sollen bereits ab 2020 „klimaneutral“ sein.
- Verdopplung der jährlichen **Sanierungsrate** aller Gebäude bis 2020 auf 2 Prozent <sup>15</sup>
- Senkung der deutschen **Treibhausgasemissionen** bis 2050 um 80 – 95 Prozent (Bezug 1990) bzw. bis 2020 um 40 %.

## 2.3 Politische Rahmenbedingungen

Diese messbaren Vorgaben sind zur Umsetzung und Zielerreichungen innerhalb politischer Rahmenbedingungen zu verankern. Dadurch werden speziell für die Integration neuer Technologien in den Markt, wichtige Impulse für Investitionen in die Energiewirtschaft sichergestellt. Sie werden auf der Bundes-, Landes- und kommunalen Ebene wie folgt in ausgewählten Programmen und Gesetzen erfasst.

### Bundesebene

Mittels der Roadmap 2020 werden europäische Vorgaben auf Bundesebene verankert. Schwerpunkte bilden weiterhin die Inhalte des bereits in 2007 erarbeiteten Integrierten Energie- und Klimaschutzprogrammes (IEKP). Das IEKP besitzt erheblichen Einfluss auf die Bereiche Energieeffizienz und Erneuerbare Energien, u.a. folgender Detailbelange: <sup>16</sup>

- Energieeffizienz
  - o Effizientere Kraftwerke (E1)
  - o Intelligente Stromzähler (E2)
  - o Energiesparende Gebäude (E3)

<sup>15</sup> derzeit ca. 1 Prozent

<sup>16</sup> Vgl. I-BMU-a, 2009

- Altbausanierung (E4)
- Erneuerbare Energien
  - mehr grüner Strom (EE1)
  - mehr Wärme aus EE (EE2)
  - Ausbau der Stromnetze (EE3)
  - mehr Biogas (EE4)

Diese Inhalte sind wiederum innerhalb nachstehend aufgeführter Gesetze erfasst. Da eine starke Vernetzung und Abhängigkeit vorgenannter Bereiche unter- und voneinander vorliegt, sind die jeweiligen Schwerpunkte der Gesetze <sup>17</sup> beiden Bereichen der Energieeffizienz und Erneuerbaren Energien durch die vorab definierten Abkürzungen zugeordnet.

Gesetz	Version	Energieeffizienz	Erneuerbare Energien
EEG	Novellierung 2012	-	EE1
KWKG	Novellierung 2012	E1	-
BiomasseV	Novellierung 2012	-	EE1, EE2, EE4
BImSchG	Novellierung 2012	-	EE1, EE2, EE4
ENEV	Novellierung 2012	E3	-
EnWG	aktuelle Version 2005	E2	-
EnEG	aktuelle Version 2005	E3	-
EEWärmeG	aktuelle Version 2011	-	EE2
EnLAG	aktuelle Version 2009	-	EE3
GasNEV	aktuelle Version 2009	-	EE4
GasNZV	Novellierung 2012	-	EE4

Tab. 2-1: Gesetze im Überblick mit Schwerpunkten Energieeffizienz und Erneuerbare Energien <sup>18</sup>

## Landesebene

Vorgenannte Gesetze werden nach der Definition und Verabschiedung auf Bundesebene vor allem auf Länderebene umgesetzt. Hierfür sind Vorabstimmungen zwischen Bund und Land zu den Inhalten erforderlich. Mit aktuellem Bezug erfolgten diese zudem unter

<sup>17</sup> Details zu den Bezeichnungen der Gesetze sind im Abbildungsverzeichnis beschrieben.

<sup>18</sup> Vgl. I-BMU-a, 2009, Vgl. I-Gesetze, 2013 Einen erheblichen Anteil an der derzeitigen Entwicklung besitzt das EEG. Mit Subventionen für Produktionsanlagenerrichtungen, Photovoltaikinstallationen und 20-jährigen Förderungen der Stromeinspeisungen wurde bislang der regulatorische Rahmen für die Einführung dieser neuen Technologie geschaffen. Weitere Details sind der aktuellen Novellierung des EEG zu entnehmen.

anderem zur Novelle des EEG<sup>19</sup>. Es ist geplant, diese kurzfristig im Bundestag zu verabschieden. Dabei streben sowohl Bund als auch Länder ferner nach einer intensiveren Abstimmung zum Ausbau von Energiesektoren, der Netze und Speichermöglichkeiten.<sup>20</sup>

Parallel schaffen landesspezifische Regelungen in Ergänzung der bundesgesetzlichen Vorschriften weitere Vorgaben, mit z.T. erhöhten Detaillierungen bzw. Verschärfungen. Diese sind insbesondere im Rahmen der Planung und Realisierung von Erneuerbaren Energienanlagen zu berücksichtigen. Beispielhaft sind zu nennen:

- Bauordnung, Raum- und Landesplanung
- landeseigene Wärmegesetze, Marktanreiz- bzw. Förderprogramme<sup>21</sup>

### **Kommunale Ebene**

Auch hier finden sich unter anderem Raum- bzw. Bebauungs-, Bauleit- sowie Flächennutzungsplanungen wieder. Diese orientieren sich anhand stadt-, maßnahmen- und projektbezogener Belange. Diese Vorgaben sind auf kommunaler Ebene insbesondere hinsichtlich des genehmigungsrechtlichen Rahmens für die Planung, Umsetzung und Technologieintegration einzuhalten. Grundlagen bilden hierbei wiederum Integrierte Energie- und Klimaschutzkonzepte, mit welchen unter Berücksichtigung und Einhaltung der Bundes- und Ländervorgaben, kommunale Szenarien in Maßnahmenpunkte umgesetzt werden.

Recherchen zeigen, dass sie region- bzw. stadtspezifisch erarbeitet werden. Die einzelnen Inhalte der Konzepte werden wiederum mittels Prioritäten der Umsetzung – z.B. „niedrig“, „mittel“ und „hoch“ versehen. Zudem erfolgt die Unterscheidung derzeitiger Stati - ob Maßnahmen weiterzuführen, anzupassen oder neu einzuführen sind. Schwerpunkte bilden unter anderem Übergeordnete Maßnahmen, die Energieversorgung und -erzeugung, die Stadtentwicklung, Gebäude bzw. öffentliche und private Einrichtungen. Weitere Ausführungen sind in Anlage 01 enthaltenen.<sup>22</sup>

---

<sup>19</sup> I-BR-c, 2012; hier speziell der „Haftungsregelung für Offshore-Windenergieanlagen“ - Auf Basis des Beschlusses des Bundestages vom 29. März 2012 befindet sich aktuell eine Änderung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes in Abstimmung im Vermittlungsausschuss. Insbesondere die Vergütung für Photovoltaikanlagen befindet sich in Anpassung. Es ist zudem geplant Speicher von der EEG-Umlage zu befreien.

<sup>20</sup> Vgl. ebd.

<sup>21</sup> Vgl. I-Energieförderung, 2012, Die Erarbeitung, Abgrenzung und Auslegung erfolgt auf Länderebene. Sie unterscheiden sich daher innerhalb der einzelnen Bundesländer.

<sup>22</sup> Vgl. IEKK, 2011, S. 1 ff.

## **2.4 Fazit**

Zur Umsetzung der Energiewende, welche als generationsübergreifende Aufgabe sowie "...größte(r) und ambitionierteste(r) Beschluss von Gesetzen und Verordnungen ..." <sup>23</sup> verstanden wird, definiert die Bundesregierung unter Berücksichtigung europäischer Vorgaben nachstehende energie- und klimapolitische Ziele:

- Unabhängige und dauerhafte Versorgungssicherheit mittels eines ausgewogenen Energiemixes - insbesondere mit einem überwiegenden Anteil Erneuerbarer Energien
- Sicherstellung der Finanzierbarkeit der Technologien und Energieversorgung
- Förderung von Forschung und Entwicklung
- Steigerung der Energieeffizienz und Nachhaltigkeit sowie Verringerung des Energieverbrauchs
- Stetiger Ausbau bei umweltverträglicher Energieversorgung

Die Umsetzung dieser Vorgaben wird mit der Aufstellung und Erarbeitung von Langzeit-szenarien vertieft. Infolge regelmäßiger Monitorings und zyklischer Auswertungen sind Abgleiche zu Sollvorgaben und Bewertungen möglicher Neuausrichtungen gegeben. Hierfür werden messbare Vorgaben und Parameter benötigt, welche zu folgenden Inhalten erarbeitet wurden:

- Erhöhung des Anteils Erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch
- Reduzierung des Primärenergieverbrauches
- Erhöhung des Anteils Erneuerbarer Energien bei der Stromversorgung
- Minderung des Brutto-Stromverbrauches
- Erhöhung des Anteils Erneuerbarer Energien an der gesamten Wärmebereitstellung
- Reduzierung des Wärmebedarfes der Gebäude
- Verdopplung der jährlichen Sanierungsrate aller Gebäude

Diese Inhalte werden als politische Rahmenparameter auf den politischen Ebenen des Bundes, der Länder und Kommunen umgesetzt. Hierbei zeigt sich innerhalb der einzelnen Ebenen und der Gesetze sowie Programme eine sehr starke Vernetzung, insbesondere zu den Bereichen Energieeffizienz und Erneuerbare Energien.

---

<sup>23</sup> I-BR-a, 2012

### 3 Gesellschaftsrechtliche Grundlagen (B)

Im Folgenden werden die verschiedenen Rechtsformen betrachtet, um einen Überblick über die Möglichkeiten der rechtlichen Unternehmensgestaltung in Deutschland zu geben<sup>24</sup>. Die Aufstellung berücksichtigt ausschließlich die gängigen und zum Thema dezentraler Energieversorgung gebräuchlichsten Rechtsformen<sup>25</sup>.

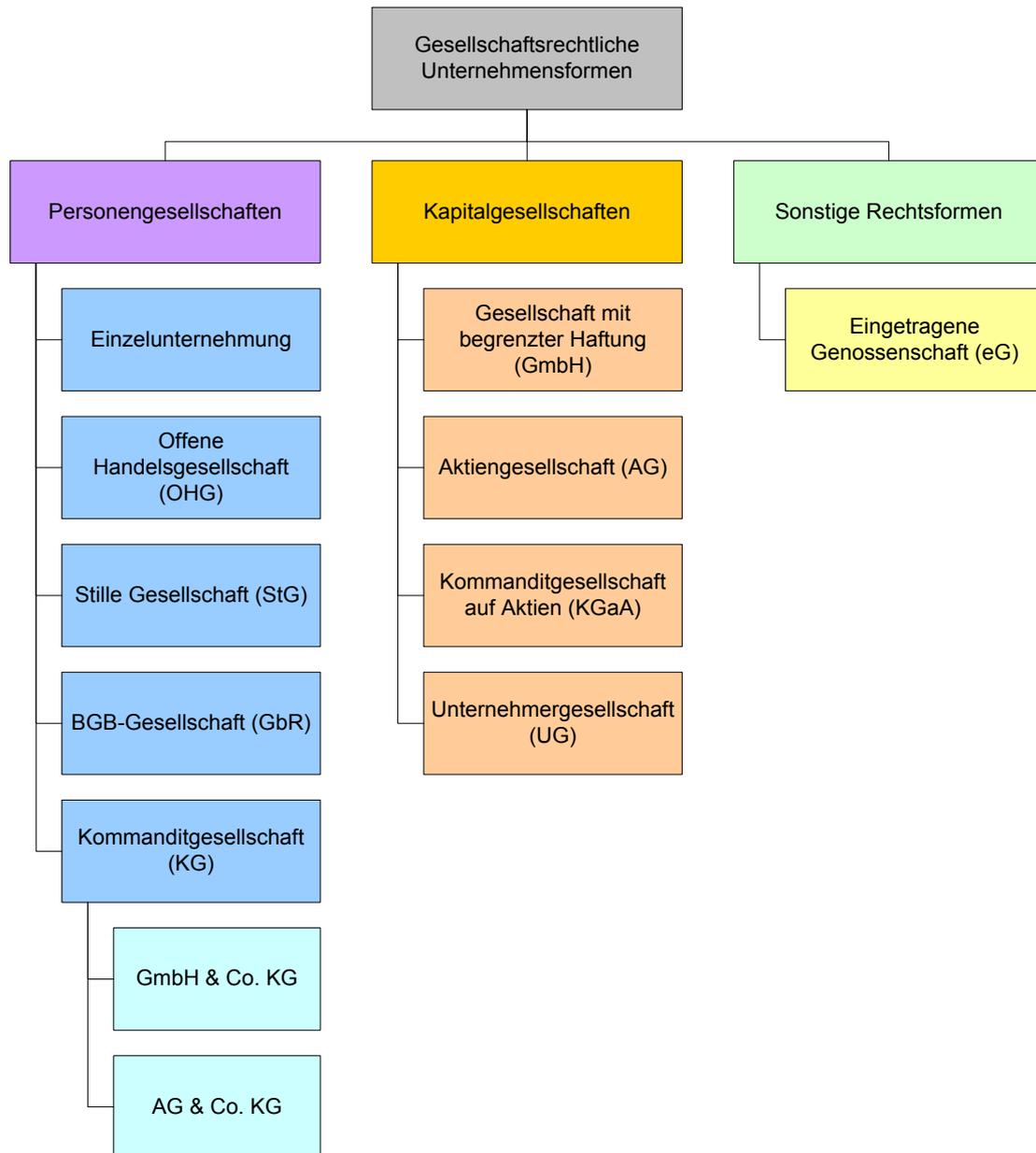


Abb. 3-1: Übersicht und Auswahl gesellschaftsrechtlicher Unternehmensformen

<sup>24</sup> Bemerkung: Steuerliche Aspekte werden in der Beschreibung nicht berücksichtigt.

<sup>25</sup> Vgl. Staab, 2011, S. 21

---

In der Abb. 3-1 ist eine Auswahl der wichtigsten gesellschaftsrechtlichen Unternehmensformen dargestellt. Diese werden nachstehend in diesem Kapitel bezüglich ihrer wichtigsten Merkmale wie Gründungsvoraussetzungen, Haftung, Stimmrecht, Gewinn- und Verlustbeteiligung charakterisiert und beschrieben.

### **3.1 Personengesellschaften**

#### **3.1.1 Einzelunternehmung**

Der Inhaber der Einzelunternehmung bedarf zur Gründung kein Kapital, aber der Teil seines Privatvermögens, welches er in das Unternehmen einbringt, wird zum Betriebsvermögen<sup>26</sup>. Der Inhaber hat die volle Entscheidungskompetenz inne. Er erhält sowohl die Gewinne als auch die Verluste müssen durch ihn ausgeglichen werden. Im Schadensfall haftet er somit unbeschränkt und unmittelbar mit seinem Vermögen<sup>27</sup>. Aufgrund der einfachen Gründungsmodalitäten ist es als Einstiegsunternehmen für Handwerker, Freiberufler o.ä. gut geeignet<sup>28</sup>.

#### **3.1.2 Offene Handelsgesellschaft (OHG)<sup>29</sup>**

Zur Gründung einer OHG sind mindestens zwei Kaufleute notwendig, wobei keine Mindestkapitaleinlage notwendig ist. Alle Gesellschafter haben im Außenverhältnis die volle Entscheidungsbefugnis und jeder Gesellschafter kann über das gesamte Gesellschaftsvermögen verfügen. Die Vertretungs- und Geschäftsführungsbefugnisse können im Gesellschaftsvertrag frei vereinbart werden, sodass eine Reglementierung bezüglich der Entnahmen von Gesellschaftsvermögen und der Entscheidungsbefugnis möglich ist. „Jeder Gesellschafter hat einen gleichen Anteil am Gewinn und Verlust, unabhängig vom Umfang seiner Einlage oder seiner Tätigkeit.“<sup>30</sup> Die Gesellschafter haften mit ihrem Privat- und Geschäftsvermögen solidarisch, d.h. jeder Gesellschafter haftet unbeschränkt für die gesamten Schulden der Gesellschaft.

---

<sup>26</sup> Vgl. I-UO, 2013

<sup>27</sup> Vgl. Löffelhloz 1993, S.5

<sup>28</sup> Vgl. BMWi, 2010, S. 10

<sup>29</sup> Vgl. BMWi, 2010, S. 26

<sup>30</sup> Vgl. BMWi, 2010, S. 29

---

### 3.1.3 Kommanditgesellschaft (KG)

Eine Kommanditgesellschaft (KG) ist der Zusammenschluss von einem persönlich haftenden Gesellschafter (Komplementär) und mindestens einem beschränkt haftenden Gesellschafter (Kommanditist) zum Betrieb eines Handelsgewerbes<sup>31</sup>. Für die Gründung ist eine Kommanditeinlage notwendig, wobei die Höhe gesetzlich nicht festgelegt ist<sup>32</sup>. Grundsätzlich hat ausschließlich der Komplementär das Vertretungs- und Geschäftsführungsrecht, aber die Kommanditisten können zu Prokuristen berufen werden und erhalten somit über das Kontrollrecht hinaus eine Handlungsvollmacht<sup>33</sup>. Des Weiteren haben die Kommanditisten ein Stimmrecht bei grundsätzlichen Unternehmensentscheidungen, wie die Aufnahme eines Gesellschafters<sup>34</sup>. Im Gegensatz zum Komplementär haftet der Kommanditist ausschließlich mit seiner Einlage. Der Komplementär haftet persönlich unbeschränkt, d.h. mit dem Privat- und Gesellschaftsvermögen<sup>35</sup>. Die gesetzliche Gewinnbeteiligung beträgt 4,0 % auf das eingesetzte Kapital unter Voraussetzung eines ausreichenden Jahresgewinns. Weitere Gewinne und Verluste sind nach einem angemessenen Verhältnis aufzuteilen. Unter Berücksichtigung des erhöhten Risikos des Komplementärs ist in der Regel von einer individuellen Gewinnbeteiligungsvereinbarung auszugehen<sup>36</sup>.

#### GmbH & Co. KG

Die GmbH & Co. KG ist eine Sonderform der Kommanditgesellschaft in dem der Komplementär durch eine juristische Person dargestellt wird. Somit ist der Komplementär, in Form der GmbH, genau wie die Kommanditisten, nur in Höhe der getätigten Einlage haftbar<sup>37</sup>. Die Rechten und Pflichten sind für den Kommanditisten die gleichen wie bei einer „normalen“ KG. Analog verhält es sich mit dem Komplementär, welcher durch die Rechtsform GmbH, die damit einhergehenden Anforderungen zu erfüllen hat.

---

<sup>31</sup> Vgl. I-GW-KG, 2013

<sup>32</sup> Vgl. BMWi, 2010, S. 35

<sup>33</sup> Vgl. König, 2001, S. 36

<sup>34</sup> Vgl. I-GW-KG, 2013

<sup>35</sup> Vgl. BMWi, 2010, S. 35

<sup>36</sup> Vgl. I-GW-KG, 2013

<sup>37</sup> Vgl. BMWi, 2010, S. 36

---

Entsprechende übernimmt die Komplementär-GmbH die Geschäftsführung und die Kommanditisten haben eingeschränkte Kontrollrechte<sup>38</sup>.

Aus steuerlichen Gesichtspunkten ist die KG als Personengesellschaft maßgebend, welche keine Körperschaftssteuer zahlen muss. Alle Gewinne und Verluste werden den Gesellschaftern zugeordnet und unterliegen den entsprechenden Steuersätzen. Allerdings kann die GmbH & Co. KG den Nachteil einer doppelten Buchhaltung und damit auch die doppelte Anfertigung von Jahresabschlüssen haben, da diese Rechtsform wie zwei Firmen betrachtet wird.

Typischerweise findet die GmbH & Co. KG Anwendung, wenn der Betrieb von Energieanlagen von den Miteigentümern und Co-Investoren firmenrechtlich getrennt werden soll. Dies schafft eine finanzielle und eigentumsrechtliche Trennung, wobei gleichzeitig die Interessenvertretung in Richtung GmbH verschoben ist.

### **AG & Co. KG**

Die AG & Co. KG entspricht der GmbH & Co. KG, wobei in der Kommanditgesellschaft der Komplementär anstatt der GmbH eine AG ist. Weitere Unterschiede zur GmbH & Co. KG und zur KG ergeben sich durch die rechtlichen Anforderungen an eine AG.

### **3.1.4 BGB-Gesellschaft oder Gesellschaft bürgerlichen Rechts (GbR)**

Für die Gründung einer Gesellschaft bürgerlichen Rechts (GbR) bedarf es mindestens zwei Gründerinnen. Sie muss nicht in das Handelsregister eingetragen werden und die formelle einfache Gründung ist mit keinen Kosten verbunden<sup>39</sup>. Voraussetzung für die GbR ist die Verfolgung eines gemeinsamen Zwecks, wobei die Zwecke wirtschaftlichen Hintergrunds oder ideeller Art sowie dauerhaft oder nicht dauerhaft sein können<sup>40</sup>. Der Zusammenschluss zu einer GbR ist im BGB in den Paragraphen 705 – 740 geregelt<sup>41</sup>. In der Regel übernehmen die Gesellschafter die Geschäftsführung und die Gewinnbeteiligung erfolgt bei fehlendem Vertragswerk per Gesellschafter. Die Gesellschafter sind in ihrer

---

<sup>38</sup> Vgl. Hierl et al, 2008, S. 304

<sup>39</sup> Vgl. BMWi, 2010, S. 22 ff

<sup>40</sup> Vgl. Werny, 2007, S. 2

<sup>41</sup> Vgl. I-GW-GbR, 2013

---

Haftung nicht beschränkt, sodass sie unmittelbar und uneingeschränkt mit ihrem Privatvermögen haften<sup>42</sup>.

### **3.1.5 Stille Gesellschaft (StG)**

Bei der (typischen) stillen Gesellschaft handelt es sich, wenn sich ein stiller Gesellschafter an einer Gesellschaft mit einer Vermögenseinlage beteiligt und im Gegenzug eine Erfolgsbeteiligung erhält. Die Einlage geht in das Vermögen des Inhabers der Handelsgesellschaft über<sup>43</sup>. Der stille Gesellschafter ist auf seine Geschäftseinlage haftungsbeschränkt und von der Geschäftsführung ausgeschlossen, hat aber ein Kontrollrecht. Die stille Gesellschaft muss am Unternehmenserfolg beteiligt werden und kann, abhängig von den vertraglichen Konditionen, von der Verlustbeteiligung ausgeschlossen werden. „Die stille Gesellschaft ist als solche keine Handelsgesellschaft, sondern eine Gesellschaft bürgerlichen Rechts (GbR)“<sup>44</sup>.

## **3.2 Kapitalgesellschaften**

### **3.2.1 Aktiengesellschaft (AG)**

Die Aktiengesellschaft benötigt zur Gründung eine Person, ein Grundkapital von mindestens 50.000 € und die Satzung muss notariell beurkundet werden<sup>45</sup>. Die Gesellschafter (Aktionäre) haften mit ihren Geschäftseinlagen. Die Organe einer AG sind:

- der Vorstand, der die Geschäfte führt,
- der Aufsichtsrat, welcher als Kontrollorgan der Aktionäre fungiert und
- die Hauptversammlung<sup>46</sup>.

Grundsätzlich ist jeder Aktionär Stimmberechtigt mit Wichtung nach Aktienanzahl bzw. Aktiennennbetrag. Entsprechend des Aktienanteils hat jeder Aktionär ein Anrecht auf die Gewinnbeteiligung unter Berücksichtigung der gesetzlichen Rücklagen und des

---

<sup>42</sup> Vgl. BMWi, 2010, S. 22

<sup>43</sup> Vgl. I-GW-StG, 2013

<sup>44</sup> ebd.

<sup>45</sup> Vgl. Hierl et al, 2008, S. 297

<sup>46</sup> Vgl. Löffelhloz, 1993, S.16

---

Beschlusses der Hauptversammlung. Die Haftung des Gesellschafters ist typischerweise auf die Einlage begrenzt<sup>47</sup>.

Die AG ist eine anonyme Gesellschaft, welche durch ihre breiten Beteiligungsmöglichkeiten große Investitionsvolumen von mehreren Hunderttausend bis mehreren Millionen Euro finanzierbar macht. Das komplexe AG-Gesetz inklusive der dazugehörigen Rechtsprechung, die hohen Kosten für Verwaltung, Buchhaltung und Wirtschaftsprüfung lassen schon erkennen, dass für unbedarfte Personen diese Gesellschaftsform nicht geeignet ist und eine hohe Einstiegshürde aufweist<sup>48</sup>.

### **3.2.2 Gesellschaft mit beschränkter Haftung (GmbH)**

Die GmbH kann von einer oder mehreren Personen unter Stellung einer Mindesteinlage in einer Höhe von 25.000 € und einer notariell beurkundeten Satzung gegründet werden. Die Organe der GmbH sind zwingend der oder die Geschäftsführer und die Gesellschafterversammlung. Ein zusätzlicher Aufsichtsrat ist bei Arbeitnehmermitbestimmung (über 500 Angestellte) zwingend einzusetzen. Jeder Gesellschafter ein Stimmrecht entsprechende seiner Stammeinlagen. Analog der AG haben die Gesellschafter einen Anspruch auf den Anteil am Bilanzgewinn unter Berücksichtigung der Beschlüsse der Gesellschafterversammlung<sup>49</sup>. Die Gesellschafter haften beschränkt mit ihren Geschäftseinlagen und der Geschäftsführer haftet bei Pflichtverletzung sogar privat<sup>50</sup>. Im Gegensatz zur AG hat die GmbH geringere rechtliche, publizistische und prüferische Anforderungen und ist einer der am weitesten verbreiteten Unternehmensformen in Deutschland<sup>51</sup>.

### **3.2.3 Unternehmergesellschaft (UG)**

Die Unternehmergesellschaft ist rechtlich eine GmbH, welche sich durch folgende zwei Merkmale von einer typischen GmbH unterscheidet:

---

<sup>47</sup> ebd.

<sup>48</sup> Vgl. Staab, 2011, S. 20

<sup>49</sup> Vgl. Hierl et al, 2008, S. 297 ff

<sup>50</sup> Vgl. König, 2001, S.39

<sup>51</sup> Vgl. Staab, 2011, S. 20

- 
- Mindestkapitaleinlage in Höhe von ein Euro (1 €) pro Geschäftsanteil, aber es sind keine Sacheinlagen erlaubt und
  - die Gewinne dürfen nicht voll ausgeschüttet werden, da damit über die Zeit die Mindesteinlage der GmbH erreicht werden soll<sup>52</sup>.

### **3.2.4 Kommanditgesellschaft auf Aktien (KGaA)**

Die KGaA verbindet die Rechtsformen der Kommanditgesellschaft und der Aktiengesellschaft. Vergleichbar mit der KG besteht die Gesellschaft aus einem Komplementär, der unbeschränkt mit Privat- und Geschäftsvermögen haftet, und Kommanditisten, die mit ihren Geschäftseinlagen, welche als Aktien verbrieft sind, haften. Die Organe einer KGaA sind analog einer AG der Vorstand, die Hauptversammlung und die Aktionäre<sup>53</sup>. Den Vorstand bilden die Gesellschafter, also die Komplementäre. Im Wesentlichen gelten die gleichen Bestimmungen wie bei einer AG sinngemäß<sup>54</sup>.

### **3.3 Sonstige Rechtsform(en)**

Folgend wird ausschließlich die eingetragene Genossenschaft (eG) vorgestellt. Diese hat mit dem Aufkommen von Bioenergiedörfern zugenommen und wird daher nachstehend charakterisiert.

„Eine Genossenschaft wird geprägt durch die Grundsätze der Selbsthilfe, Selbstverwaltung und Selbstverantwortung“<sup>55</sup> und verfolgt den Zweck der Förderung der Mitglieder. Die Gründung einer eG erfolgt durch mindestens drei Gesellschafter, sogenannten Genossen, mittels der Aufbringung einer angemessenen Einlage. Die Angemessenheit der Einlage orientiert sich prinzipiell am Unternehmenszweck und wird vor der Gründung vom Prüfungsverband der Genossenschaften geprüft. Unabhängig von der Höhe ihrer Einlage bzw. der Anzahl ihrer Geschäftsanteile sind alle Genossen auf der Generalversammlung gleichermaßen stimmberechtigt. Die Geschäftsführung und die Außenvertretung werden vom Vorstand übernommen, welcher durch die Generalversammlung gewählt wird. Ein Aufsichtsrat ist bei mehr als 20 Genossen notwendig. Dieser wird von der

---

<sup>52</sup> Vgl. I-GW-UG, 2013

<sup>53</sup> Vgl. I-FG-KGaA, 2013

<sup>54</sup> Vgl. I-GW-KGaA, 2013

<sup>55</sup> Vgl. I-RC, 2013, S. 1

Generalversammlung gewählt und überwacht den Vorstand. Die Haftung der eG ist auf die Einlage begrenzt<sup>56</sup>. Die Gewinnbeteiligung und –verwendung wird im Rahmen der Gesellschafterversammlung beschlossen und kann u.a. in Form einer Dividendenzahlung oder Rückvergütung erfolgen<sup>57</sup>.

### 3.4 Fazit zu den Rechtsformen

Die vorgenannten Ausführungen zu den einzelnen Rechtsformen bezüglich Gründung, Aufbau, Haftung, Gewinn- und Verlustbeteiligung zeigen, dass die Rechtsformen in ihrer Ausgestaltung sehr unterschiedlich sind. Eine Übersicht zu den einzelnen Rechtsformen und den wichtigsten Merkmalen ist ausschnittsweise in Abb. 3-2 dargestellt.

Kennzeichen	Einzelunternehmung	OHG	KG
Vertrag/ Satzung/Statut	-----	Gesellschaftsvertrag	Gesellschaftsvertrag
Mindestgründungskapital	-----	nicht vorgeschrieben	nicht vorgeschrieben
Mindestpersonenzahl bei Gründung	1	2	2
		nicht vorgeschrieben,	nicht vorgeschrieben,

Abb. 3-2: Ausschnitt aus der Anlage 02 - Übersicht über die Rechtsformen - <sup>58</sup>

Bei der Wahl der Rechtsform sind grundsätzlich die Initiatoren und dessen Absichten zu beachten. Kommt der Wunsch aus der Bevölkerung und besteht auch der Wille der Bevölkerung sich an solch einem Vorhaben zu engagieren, ist eine demokratische Rechtsform mit gleichberechtigtem Stimmrecht für alle Mitglieder als sinnvoll zu erachten. Fehlt es am Engagement aus der Reihe der Stadtbewohner, besteht grundsätzlich die Möglichkeit jede nichtdemokratische Rechtsform zu wählen.

Weitere Aspekte, die bei der Wahl der Rechtsform zu beachten sind, sind der Zweck, die Kapitaleinlage bzw. –beschaffung, die Haftung, und das Steuerverhalten.

<sup>56</sup> Vgl. BMWi, 2010, S. 41

<sup>57</sup> Vgl. I-RC, 2013, S. 8

<sup>58</sup> I-ZUM, 2013

Abschließend ist festzustellen, dass „Die Frage nach der richtigen Rechtsform ... nicht pauschal beantwortet werden, sondern hat unter Berücksichtigung der individuellen Motive und Zielsetzungen eines jeden Unternehmers zu erfolgen.“<sup>59</sup>

---

<sup>59</sup> Vgl. Hierl et al, 2008, S. 5

## **4 Die deutsche Stadt, die energieautarke Stadt und die Definition von Potenzialen (A)**

Innerhalb des Kapitels 4 werden zur deutschen Stadt Definitionen und Kategorisierungsmöglichkeiten vorgestellt. Im Anschluss erfolgen Diskussionen aktueller Begrifflichkeiten und eine mögliche Definition der energieautarken Stadt. Fragestellungen zur Reflexion dieser Definitionsinhalte runden das Teilkapitel ab. Abschließend werden Definitionen und Grundlagen von Potenzialen vorgestellt.

### **4.1 Die deutsche Stadt**

Die deutsche Stadt wird hinsichtlich Ihrer Entstehung, der existenten Stadtbegriffe und möglicher Klassifizierungsarten vorgestellt.

#### **4.1.1 Historie**

In Deutschland<sup>60</sup> wurden zum Beginn der Zeitrechnung speziell im südwestlichen Bereich Deutschlands die ersten Städte errichtet - hierzu gehören unter anderem Trier, Köln und Bonn. Dabei ist nicht eindeutig überliefert, welche die älteste Stadt Deutschlands ist.<sup>61</sup>

Die Entstehung einer Stadt ist nach Kohlhammer auf drei Hauptgründe zurückzuführen:<sup>62</sup>

- Entstehung durch Stadtplanung
- Entstehung durch Verleihung des Stadtrechts (Erreichung einer Mindestbürgeranzahl)
- Entstehung nach bereits vorhandener, dorfartiger Ansiedlung<sup>63</sup>

#### **4.1.2 Deutsche Stadtbegriffe und ihre Klassifizierungsarten**

Als Abgrenzung zur Gemeinde bzw. des Dorfes, werden Definitionen von Stadtbegriffen viel diskutiert. Eine einfache sowie eindeutige Definition der Stadt wird aktuell nicht geführt. Der Stadtbegriff wird vielmehr auf Basis vorgenannter Ansätze der Stadtgründung

---

<sup>60</sup> Die Errichtung der ersten und ältesten Städte geht anhand von archäologischen Ausgrabungen und Funden bereits bis vor ca. 10.000 Jahre vor Christus (hier für Damaskus und Jericho) zurück

<sup>61</sup> Vgl. Ackermann, 2006, S. 8 ff.

<sup>62</sup> Vgl. Kohlhammer, 1996, S. 15 ff.

<sup>63</sup> Ebd., unter Berücksichtigung der und getrennt nach „Aufgabe, Funktion, Größe, Struktur und Lage“

und weiterer komplexer Hintergründe, unter Berücksichtigung nachstehender fünf Schwerpunktfelder, differenziert<sup>64</sup>:

- rechtlich-historisch
- quantitativ
- geographisch
- verwaltungstechnisch
- rechtlich-soziologisch und strukturell

Zu jedem dieser Betrachtungsansätze sind innerhalb der einschlägigen Literatur divergierende Definitionen vorhanden. Die rechtlich-historische Definition berücksichtigt Belange der Stadtgründung und -entwicklung. Quantitative Definitionen inkludieren vor allem statistische Inhalte. Bei geographischen Bestimmungen werden quantitative und qualitative Kriterien<sup>65</sup> u.a. funktionaler, sozialgeographischer und physiognomischer Art berücksichtigt.<sup>66</sup> Zusätzlich werden Städte bzgl. des verwaltungstechnischen Ansatzes, hier der kreisfreien bzw. frei zugehörigen Städte, unterschieden.<sup>67</sup> Die Betrachtung rechtlicher, soziologischer und struktureller Aspekte beinhaltet die Ausführungen der jüngsten Stadtdefinition.<sup>68</sup>

Die Kategorisierung von Städten in Klassifizierungsarten wird in den ersten vier Definitionsbereichen geführt.

Weitere Details zu Definitionen und ihren Klassifizierungsarten sind in Anlage 03 erfasst. Wichtig dabei ist, dass diese Beschreibungen aktuell keine Abgrenzung zum Umland<sup>69</sup> beinhalten. Ferner sind innerhalb der bisherigen Begriffsdefinitionen aktuell keine Ansätze zur energieautarken Stadt beschrieben. Für die Arbeit wird die quantitative Klassifizierungsart als maßgeblich angesehen.

---

<sup>64</sup> Vgl. Korby et al, 2005, S. 68, Eigene Anmerkung: Zudem erfordern Typisierungen nach Lage, Region bzw. Funktion, Auf eine Betrachtung im Rahmen der Arbeit wird verzichtet.

<sup>65</sup> Vgl. ebd.

<sup>66</sup> Vgl. I-FUB, 2010

<sup>67</sup> Für die weiterführende Untersuchung von Städten werden die quantitativen Klassifizierungen eingesetzt.

<sup>68</sup> Vgl. Hillebrecht, 1975, Heft 30

<sup>69</sup> Vgl. I-Bross, 2009, S. 11

## **4.2 Die energieautarke Stadt**

Um klare, messbare Zielvorgaben im Rahmen der Arbeit für den Einsatz von Erneuerbaren Energien zur autarken Versorgung deutscher Städte verwenden zu können, werden Begriffskombinationen zu energieautarken Einzugsgebieten vorgestellt. In einer Diskussion, hinsichtlich der möglichen Berücksichtigung ihrer Inhalte innerhalb der Arbeit, wird darauf aufbauend eine Definition der energieautarken Stadt vorgenommen.

### **4.2.1 Begrifflichkeiten**

Die Inhalte autark, Versorgung, Energie sind aktuell in folgenden Zusammenhängen bekannt:

- vollautarke Stadt
- energieautarke Kommune
- energieautarke Region

Unter anderem New York beabsichtigt als Weltstadt, in Anlehnung und Vorbild an die Natur, ca. im Jahre 2100 vollständig autark zu sein. Dabei steht die Selbstversorgung speziell der Energie aber auch „Abfallentsorgung und Wiederverwertung, Wasser, Nahrung, Mobilität ... sowie Infrastruktur und Wohnen“ im Mittelpunkt. Möglich wird dies über den Ansatz eines Modelles von „Ressourcennutzung und Austausch“ unter Recycling der Materialien inkl. der in den Materialien befindlichen Energien.<sup>70</sup>

„Energieautarke Kommunen erreichen eine vollständige Deckung des kommunalen Bedarfs an elektrischer und thermischer Energie mit Hilfe erneuerbarer Energien.“<sup>71</sup> Sie sind aktuell beim Einsatz, vorwiegend von Bioenergie, bei den Bioenergiehöfen bekannt.

Energieautarke Regionen werden infolge der Initiativen zur Verwendung und des Einsatzes von Biomasse bzw. Erneuerbarer Energien vorwiegend in ländlichen Regionen geschaffen. Dabei wird eine Region als energieautark bezeichnet, wenn „100% der Wärme, Elektrizität und der Energie für Mobilität lokal produziert wird. Dabei kann ein Überschuss in einer Energieform (z.B. Elektrizität) mit einer Unterdeckung in einer

---

<sup>70</sup> Vgl. I-EZ, 2012

<sup>71</sup> I-Thega, 2012, parallel befinden sich zudem Konzepte u.a. der energieautarke schwimmenden Ökostadte (2010) in Betrachtung, Vgl. I-isomax, 2012

anderen Energieform (z.B. fossile Energien) kompensiert werden. Im Idealfalle würde jedoch sämtliche Energie für Privathaushalte und Industrie lokal produziert.“<sup>72</sup>

#### **4.2.2 Diskussion bestehender Begrifflichkeiten**

Die Definition der vollautarken Stadt beinhalte die Versorgung mittels Erneuerbaren Energien, geht aber mit der Betrachtung der Abfall-, Nahrungs- und Mobilitätsprozesse über die Bestrebungen der Arbeit hinaus und bildet daher keine vertiefende Basis.

Die Definition energieautarker Kommunen bezieht sich vordergründig auf Gemeinden. In Abweichung dieser zur aktuellen Definition von Bioenergiedörfern ist Wärme und Energie zu 100% eigenständig bereitzustellen. Diese Inhalte sind hinsichtlich der Betrachtung einer energieautarken Stadt zu berücksichtigen.

Auch die drittgenannte Definition ist näher zu beachten. Obwohl darin ein Bezug vor allem auf ländliche Regionen vorliegt, sind die Größen des Einzugsgebietes und der Gedanke, der lokalen, Vor-Ort-Erzeugung bzw. -versorgung, vergleichbar mit dem eigenständigen Versorgungsgedanken der Stadt. Insbesondere die Wärmebereitstellung wird durch die begrenzte Verfügbarkeit des Flächenbedarfs innerhalb der Stadtgrenzen durch die hohe Anzahl versiegelter Fläche voraussichtlich nur schwierig möglich sein, wodurch Überlegungen anzustellen sind, inwieweit ein Umland mit zur Stadt hinzuzuzählen ist.

#### **4.2.3 Definition der energieautarken Stadt**

Anhand vorgenannter Diskussion bestehender Begrifflichkeiten erfolgt die Definition der energieautarken Stadt mit folgenden Details:

„Die energieautarke Stadt erreicht eine vollständige Deckung des Bedarfs an elektrischer und thermischer Energie mit Hilfe erneuerbarer Energien. Sämtliche Energie für Privathaushalte, Industrie, Gewerbe, Handel, Verwaltung etc. wird innerhalb der Stadt produziert und über die Versorgungsnetze der Stadt bereitgestellt.“<sup>73</sup>

---

<sup>72</sup> I-Energieallianz, 2012, Vgl. I-OZ, 2012 Darin ist die Fragestellung erfasst: Warum werden sich die Städte auf das Umland zu bewegen ?

<sup>73</sup> Eigene Definition

#### 4.2.4 Reflexion

Am Ende der Arbeit wird eine Reflexion dieses Stadtbegriffes durchgeführt, um insbesondere denkbare Fortschreibungen bzw. vertiefende Diskussionen zu ermöglichen. Die Inhalte sind bezüglich nachstehender Themen näher zu beleuchten:

- Sind alle bzw. welche Erneuerbaren Energien vordergründig für die Versorgung einzusetzen ?
- Liegen die Versorgungsnetze und Versorgungsstruktur zur Energiebereitstellung zu 100% innerhalb der Stadt bzw. den Stadtversorgungsträgern ?
- Inwieweit ist die Definition eines dazugehörigen Umlandes zur Sicherstellung der Wärmeversorgung erforderlich ?
- Sind unter anderem Vorgaben hinsichtlich der nachhaltigen Stadtentwicklung und Energieeffizienz mit einzubeziehen ?
- Ist die Definition aufgrund des Entwicklungsstandes vorerst auf eine (einzige) quantitative Stadtklassifizierung festzulegen ?

#### 4.3 Definition von Potenzialen

Für die Bestimmung der Energiepotenziale in Deutschland sind Betrachtungen der verfügbaren Energien in einem dreistufigen Verfahren erforderlich. Hierzu ist in nachstehender Abbildung eine Grobübersicht erfasst. Darin werden vier Potenziale - der theoretischen, technischen, wirtschaftlichen und realen Art - unterschieden. Sie werden gemäß Kaltschmitt et al 2006 anschließend im Detail<sup>74</sup> vorgestellt.

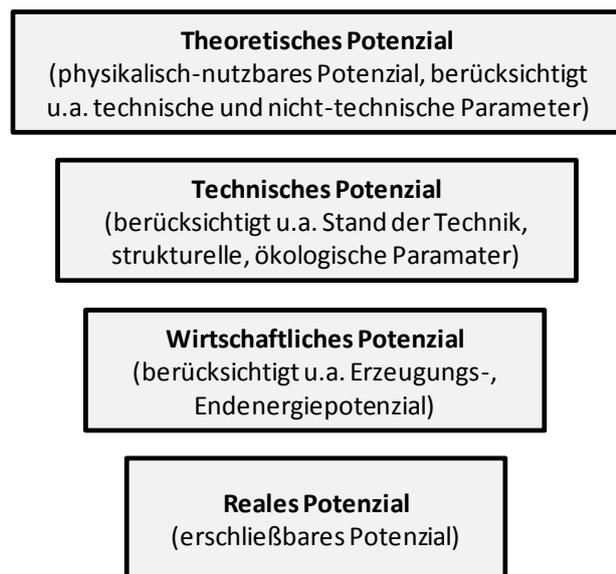


Abb. 4-1: Grobübersicht Potenziale<sup>75</sup>

<sup>74</sup> Vgl. Kaltschmitt, 2006, S. 20 ff., S. 190 ff.

<sup>75</sup> Eigene Darstellung, Nothdurft, 2011, S. 22

### **4.3.1 Theoretisches Potenzial**

Das theoretische oder physikalische Potenzial beschreibt ein Potenzial, welches unter Berücksichtigung einer bestimmten Region (bzw. eines Gebietes) und eines bestimmten Zeitraums berücksichtigt, inwieweit und in welchem Umfang das zur Verfügung stehende Energieangebot physikalisch-nutzbar ist. Hierfür ist die Sonnen- oder Windenergie als Beispiel anzuführen. Unter dem theoretisch realisierbaren Grenzpotenzial werden die Erneuerbaren Energien zumeist aufgrund der zum Teil stark schwankenden Angebote mittels langzeitlicher Mittelwerte angegeben.

Auf die praxisrelevanten, realen Potenziale sind weitere Einflussparameter unter anderem der Technik, Ökologie und Strukturen zu berücksichtigen. Aufgrund der im Ergebnis begrenzten Erschließung dieses theoretischen Potenzials sind hierzu bislang kaum stadtbezogene Auswertungen erfolgt.

### **4.3.2 Technisches Potenzial**

Das technische Potenzial Erneuerbarer Energien ist ein Anteil des vorgenannten theoretischen Potenzials. Er wird durch gegebene technische Parameter (unter anderem zum Stand der Technik) und Rahmenbedingungen struktureller bzw. ökologischer Art definiert. Diese Inhalte geben zusammen mit gesetzlichen Vorgaben die technische Nutzbarkeit einer Technologie vor bzw. grenzen diese ab.

Steigerungen des technischen Potenzials sind insbesondere durch Technologieverbesserungen, unter anderem von Wirkungs- oder Effizienzgraden, erzielbar.

Unterschieden wird dieses Potenzial durch die jeweilig betrachtete Technik und die Abhängigkeit der entsprechenden Energieform. Hierfür sind in Abb. 4-2 die vier Energiearten, der Primär-, Sekundär-, End- und Nutzenergie, am Beispiel der Photovoltaik erfasst.

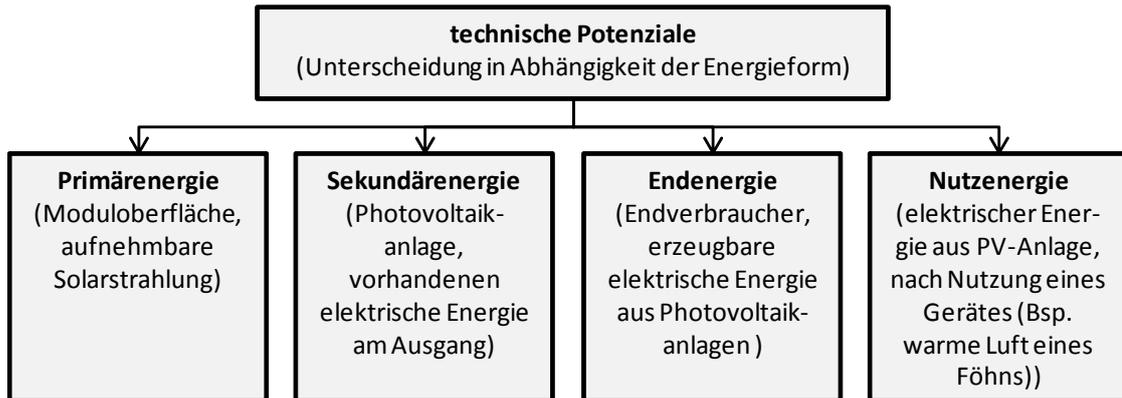


Abb. 4-2: technische Potenziale, Unterscheidung in Abhängigkeit der Energieform <sup>76</sup>

Zusätzlich werden weitere technische Potenzialunterscheidungen durchgeführt. Neben dem Angebots- und Erzeugungspotenzial sind die Nachfrage- bzw. Endenergiepotenziale zu differenzieren - insbesondere wenn das Angebot Erneuerbarer Energien, die Energienachfrage übersteigt.

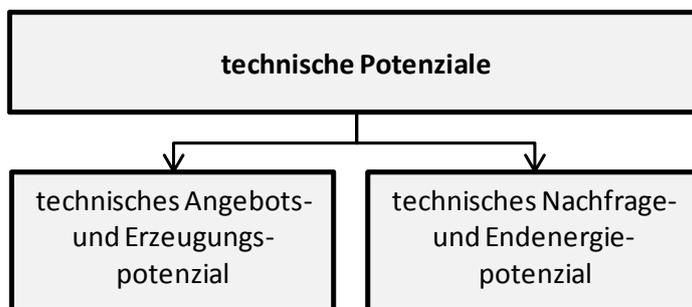


Abb. 4-3: technische Potenziale, Unterscheidung nach Angebot und Nachfrage <sup>77</sup>

Dabei bezieht sich das technische Angebots- bzw. Erzeugungspotenzial ausschließlich auf technische und strukturelle Parameter der Angebotsseite. <sup>78</sup> Unter technischen Nachfrage- und Endenergiepotenzialen werden „zusätzlich nachfrageseitige Restriktionen berücksichtigt“. <sup>79</sup>

<sup>76</sup> Eigene Darstellung, Kaltschmitt et al, 2006, S. 22

<sup>77</sup> Eigene Darstellung, Kaltschmitt et al, 2006, S. 22

<sup>78</sup> Ein Beispiel ist die Menge der durch solarthermische Anlagen bereitgestellten Wärme.

<sup>79</sup> Kaltschmitt et al, 2006, S. 22, Beispielsweise beschreibt dies „die solarthermisch bereitstellbare Niedertemperaturwärme, welche auch im Energiesystem Deutschlands“ nutzbar ist.

### 4.3.3 Wirtschaftliches Potenzial

Das wirtschaftliche Potenzial beschreibt einen Anteil der vorgenannten, theoretischen und technischen Potenziale. Es ist daher auch zeitlich bezogen und abhängig von einer großen Anzahl an Rahmenbedingungen. Hierbei sind Parameter insbesondere wirtschaftlicher, politischer bzw. gesetzlicher Art zu nennen. Dabei besteht u.a. eine große Abhängigkeit, zu

- Ölpreis und Wert von Nahrungsmitteln,
- Entwicklungen und Kostenannahmen der Anlagentechnik,
- eingesetzte Rohstoffe und Preisentwicklung fossiler Energieträger sowie
- Gesetze bzw. regulatorische Programme (z.B. EEG).

Ermittelte Ergebnisse unterscheiden sich zudem maßgeblich von der jeweiligen Betrachtungsweise. Demnach sind die „volks- und ... betriebswirtschaftliche Sicht“ zu differenzieren. Die Erarbeitung des wirtschaftlichen Potenzials führt zum Begriff der Wirtschaftlichkeit, welche u.a. von folgenden Größen beeinflusst wird - u. a. „Zinssatz, Abschreibedauer, Eigenkapitalanteil, geforderte Eigenkapitalverzinsung“.<sup>80</sup>

Das wirtschaftliche Potenzial einer Technik wird zudem oft nach Vergleichen äquivalenter Techniken bzw. alternativer Energieträger, hier konventioneller bzw. fossiler Art, gemindert. Die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit spielt dabei eine entscheidende Rolle.

### 4.3.4 Reales Potenzial

Das erschließbare bzw. Erschließungspotenzial beschreibt den zu erwartenden tatsächlichen Beitrag einer Option zur Nutzung regenerativer Energien für die Energieversorgung.

Dieses erschließbare Potenzial ist zumeist temporär geringer als das wirtschaftliche Potenzial, da das wirtschaftliche Potenzial nicht sofort, sondern nur innerhalb eines längeren Zeitraums – infolge einer Vielzahl unterschiedlicher Abhängigkeiten – vollständig erschließbar ist. Dies ist insbesondere bedingt durch die

- „begrenzte Herstellkapazitäten

---

<sup>80</sup> Kaltschmitt et al, 2006, S. 22

- 
- Funktionsfähigkeit von vorhandenen, noch nicht abgeschriebenen Konkurrenzsystemen sowie
  - Vielzahl zusätzlicher Hemmnisse (z. B. mangelnde Information, rechtliche und administrative Begrenzungen etc.)<sup>81</sup>

Zudem ist es möglich, dass das Erschließungspotenzial größer als das wirtschaftliche Potenzial ist. Dies tritt insbesondere bei Subventionen von Technologien ein (z. B. EEG).

Des Weiteren wird zur Abschätzung bestehender Möglichkeiten bezüglich Erneuerbarer Energieangebote die derzeit in Deutschland verfügbare Nutzung dargestellt. Soweit möglich und gegeben wird betrachtet, „wie sich die Nutzung der jeweiligen Option im Verlauf der letzten Jahre entwickelt hat. Damit kann abgeschätzt werden, welchen Beitrag die jeweilige regenerative Energie zur Deckung der Energienachfrage gegenwärtig bereits leistet und welcher Anteil des gegebenen technischen Potenzials schon genutzt ist.“<sup>82</sup>

#### **4.4 Fazit**

Nach den Errichtungen der ersten Städte zum Beginn der Zeitrechnung werden aktuell fünf verschiedene Definitionsarten der rechtlich-historischen, quantitativen, geographischen, verwaltungstechnischen sowie rechtlich-soziologischen und strukturellen Belange unterschieden. Dabei ist eine einfache und eindeutige Stadtbegriffsdefinition aktuell nicht existent. Gleiches gilt für die Abgrenzung zum Umland bzw. die Erfassung energieautarker Belange. Daher erfolgte eine Betrachtung aktueller Begrifflichkeiten der vollautarken Stadt, energieautarken Kommune und energieautarken Region. Anschließend wurden die Inhalte hinsichtlich zu berücksichtigender Inhalte innerhalb einer Definition der energieautarken Stadt diskutiert. Im Ergebnis wurde folgende Definition erarbeitet:

„Die energieautarke Stadt erreicht eine vollständige Deckung des Bedarfs an elektrischer und thermischer Energie mit Hilfe erneuerbarer Energien. Sämtliche Energie für Privathaushalte, Industrie, Gewerbe, Handel, Verwaltung etc. wird innerhalb der Stadt produziert und über die Versorgungsnetze der Stadt bereitgestellt.“

---

<sup>81</sup> Kaltschmitt et al, 2006, S. 37

<sup>82</sup> Ebd., S. 23

Die Städteklassifizierungen ist in Anlehnung an die vorgenannten fünf Definitionsarten in den ersten vier Möglichkeiten gegeben. Für die Arbeit wird die quantitative Betrachtung weiterverfolgt.

Hinsichtlich der Potenziale sind drei Schritte zur Erarbeitung des realen Potenzials zu durchlaufen. Im Detail werden vorab das theoretische, das technische und das wirtschaftliche Potenzial unterschieden. Alle Potenziale stehen dabei in direkter Abhängigkeit von vielfältigen Einflussgrößen und regulatorischen Parametern abhängig. Ferner sind weitere Unterteilungen der Einzelpotenziale unter anderem des Angebots oder der Nachfrage denkbar. Aufgrund der vorgenannt beschriebenen Abhängigkeiten wurden bislang sehr begrenzt stadtbezogene Auswertungen theoretischer Potenziale durchgeführt.

## 5 Theoretisches Potenzial – Primärenergie Einzelbetrachtung

Zur Wertung der Potenziale für die autarke Versorgung deutscher Städte sind die Möglichkeiten zur Nutzung des Angebotes an Erneuerbaren Energien zu analysieren. Dafür ist aus Kaltschmitt et al 2006 Abb. 5-1 in anschaulicher Unterteilung enthalten. Darin ist eine Trennung erfasst nach:<sup>83</sup>

- Primärenergieformen, direkten und indirekten Energieströmen bzw.
- den Wandlungstechniken sekundärer Endenergieträger sowie von Nutzenergien.

Zu den relevanten Primärenergieformen zählen die:<sup>84</sup>

- Solarstrahlungsenergie, Windenergie, Wasserkraft und
- Erdwärme / Geothermie sowie Bioenergie.

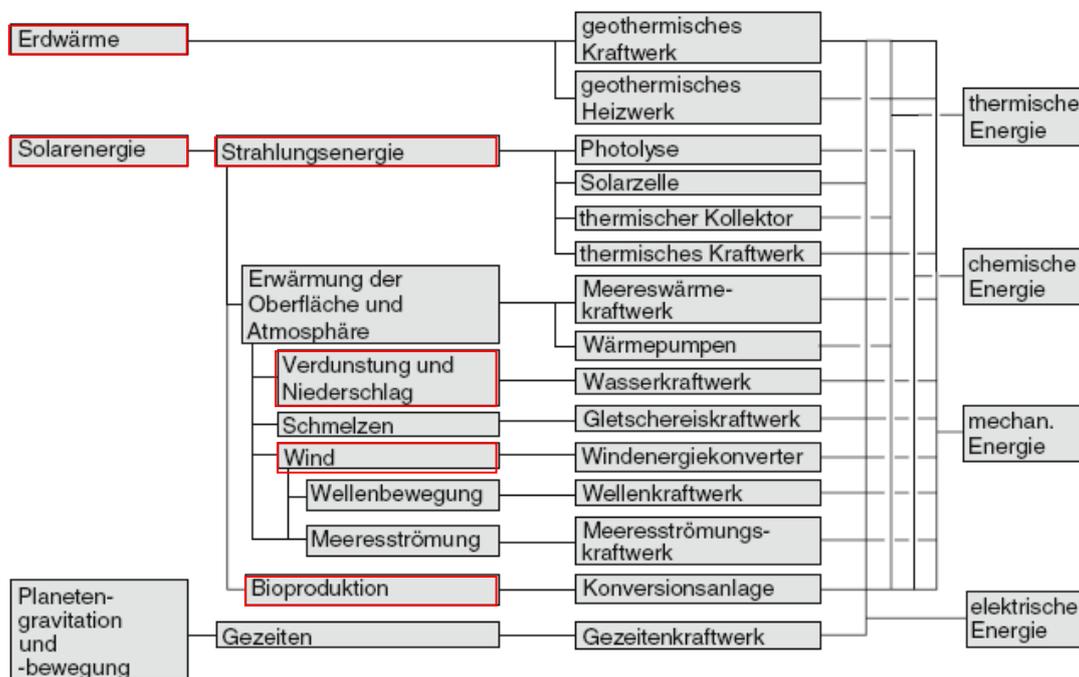


Abb. 5-1: Möglichkeiten zur Nutzung Erneuerbarer Energien<sup>85</sup>

<sup>83</sup> Vgl. Kaltschmitt et al, 2006, S. 12

<sup>84</sup> Ebd.

<sup>85</sup> Ebd., die chemischen Energien werden als Zwischenschritt zur Erzeugung der Endenergieform verstanden, die Auswahl erfolgte in 11/2012 durch die Herren Bartsch und Mai

Diese fünf Primärenergien werden in den nachstehenden Kapiteln, anhand der theoretisch vorhandenen Potenziale auf dem deutschen Festland vorgestellt, um bestehende Alternativen zur Abdeckung von Energieanteilen zu erfassen. Im Anschluss erfolgt die regionenspezifische Auswertung dieser möglichen Vorkommen, um im Fazit neben einer Zusammenfassung eine Aussage zur diskontinuierlichen bzw. kontinuierlichen Nutzung vorzunehmen.

## 5.1 Solarenergie (A)

### 5.1.1 Maximale Potenziale

Von der Sonnenenergie erreichen ca. zwei Millionstel die Erdoberfläche<sup>86</sup>, wodurch mit der Wandlung von 0,01% der Sonnenenergie „der gesamte Energiebedarf der Menschheit“ gedeckt werden kann.<sup>87</sup> Die auf Deutschland auftreffende Sonnenenergie entspricht ca. dem „Hundertfachen des deutschen Primärenergiebedarfs“<sup>88</sup>. Umgerechnet stehen damit jährliche Solarenergiemengen größer 1.350.000 PJ zur Verfügung.<sup>89</sup>

### 5.1.2 Regionale Vorkommen

Spezifische Einstrahlungsdaten sind in Karten in unterschiedlichen zeitlichen Intervallen erfasst. Durchgesetzt haben sich globale Einstrahlungskarten mit monatlichen, quartalsweisen und jährlichen Erfassungszeiträumen.

Zur Identifikation des regionalen Primärenergiepotenzials wurde die Globalstrahlungskarte für Deutschland (Anlage 04) des Deutschen Wetterdienstes mit einem sehr großen Erfassungszeitraums von ca. 30 Jahren, hier der Jahre 1981 bis 2010, ausgewertet. Die spezifischen Einstrahlungen sind dabei unter Berücksichtigung der reinen Primärenergievorkommen maßgeblich vom Standort, der Witterung, der Jahreszeit abhängig und werden daher als diskontinuierlich bezeichnet.

---

<sup>86</sup> DGS, 2010, 2-10, Dies entspricht „einer Energiemenge von  $1 \times 10^{18}$  kWh/a“, mit welcher das „10.000-fache des weltweiten Energiebedarfs“ abdeckbar ist.

<sup>87</sup> Ebd.

<sup>88</sup> Quaschnig, 2011, S. 60

<sup>89</sup> Vgl. I-Energiepolitik, 2013, Für 2012 ist davon auszugehen, dass ca. 13.500 PJ zur Deckung des deutschen Primärenergiebedarfes benötigt wurden.

### Skalierungszonen

Die jährlichen Mittelwerte der Sonnenenergie<sup>90</sup> werden im Bereich von 951 bis 1.261 kWh/m<sup>2</sup> in nebenstehende vier Zonen 1 (gering) bis 4 (hoch) mit Skalierungsbereichen S0 bis S3 gegliedert. Der durchschnittliche Mittelwert der diskontinuierlichen Primärenergiequelle beträgt ca. 1.055 kWh/m<sup>2</sup>.

Skalierung	Zone	Einstrahlung (kWh/m <sup>2</sup> )
1261-1280	Zone 4 (S3)	1.161 – 1.260
1241-1260		
1221-1240		
1201-1220		
1181-1200	Zone 3 (S2)	1.101 – 1.160
1161-1180		
1141-1160		
1121-1140		
1101-1120	Zone 2 (S1)	1.021 – 1.101
1081-1100		
1061-1080		
1041-1060		
1021-1040	Zone 1 (S0)	< 1.020
1001-1020		
981-1000		
961-980		
941-960		

Tab. 5-1: Solarenergie, Skalierungszonen<sup>91</sup>

### Auswertung Flächenanteil und Solareinstrahlungen

Die Grundlage der grafischen Auswertung ist innerhalb Anlage 05 erfasst. Darin sind die vier vorgenannten Zonen in folgender Farbgebung enthalten: 1 - hellgrau, 2 - hellgelb, 3 - gelb, 4 - orange. Zone 1 erstreckt sich im Nordwesten, Zone 2a im Osten, Zone 2b in Mitteleuropa, Zone 3 in Höhe des Schwarzwaldes und Zone 4 südlich der Donau. Um die Einstrahlungsverteilungen werten zu können, wurde, bezugnehmend auf die Gesamtfläche von Deutschland, nachstehende, flächenmäßige Auswertung durchgeführt (siehe Tab. 5-2).

Karte 1-0 Auswertung Sonnenenergie (theoretisch, primär)					
Zone	Sonnenenergie		Fläche		Flächenanteil
[-]	[kWh/m <sup>2</sup> ]		[km <sup>2</sup> ]		[%]
Zone 1	S0	< 1.020	117.000,00	117.000,00	32
Zone 2a	S1	1.021 – 1.101	92.000,00	160.000,00	
Zone 2b	S1	1.021 – 1.101	68.000,00		
Zone 3	S2	1.101 – 1.160	63.000,00	63.000,00	17
Zone 4	S3	1.161 – 1.260	24.000,00	24.000,00	7
Zone 1-4	S0-S3	< 1.020 - 1.260	364.000,00	364.000,00	100
Abweichung reale Gesamtfläche Deutschland			-1,93%		

Tab. 5-2: Auswertung Sonnenenergie (theoretisch, primär)<sup>92</sup>

<sup>90</sup> Jahre 1981-2010, von ca. 940 bis 1.280 kWh/m<sup>2</sup>

<sup>91</sup> Siehe Anlage 04

<sup>92</sup> eigene Darstellung

Im Ergebnis nimmt die Sonnenenergie im Mittel, eine relative Gleichverteilung ein. Zone 2 und 3 besitzen, mit Einstrahlungen um ca. 1.021 bis 1.160 kWh/m<sup>2</sup>, mit ca. 60 %, gefolgt von Zone 1, mit Einstrahlungen bis 1.020 kWh/m<sup>2</sup> und ca. 30 %, den flächenmäßig größten Anteil. Maximale Einstrahlungen sind in Zone 4 im Süden mit ca. 7 % der Landesfläche zu finden. Auf den ca. 24 Tkm<sup>2</sup> sind Einstrahlungswerte bis 1.260 kWh/m<sup>2</sup> vorhanden. Zusammenfassend zeigt sich aufgrund dieser Primärenergieverteilung ein deutliches West-Ost- (ca. 951 bis 1.080 kWh/m<sup>2</sup>) sowie Nord-Süd-Gefälle (ca. 951 bis 1.261 kWh/m<sup>2</sup>).

## 5.2 Windenergie (A)

### 5.2.1 Maximale Potenziale <sup>93</sup>

„Im Gegensatz zur maximalen solaren Bestrahlungsstärke von etwa 1 kW/m<sup>2</sup> auf der Erde werden beim Wind bei einem schweren Sturm Leistungsdichten von 10 kW/m<sup>2</sup> und bei Orkanstärke sogar bis über 25 kW/m<sup>2</sup> erreicht.“ <sup>94</sup> Bei durchschnittlichen Winden (Geschwindigkeit um 5 m/s) betragen die Leistungsdichten ca. 0,075 kW/m<sup>2</sup>.<sup>95</sup> Mit der potentiellen Erschließung von ca. 2 % der deutschen Landesfläche durch Windkraftanlagen sind mittels Windenergie ca. 65 % des deutschen Bruttostromverbrauchs abdeckbar. <sup>96</sup>

### 5.2.2 Regionale Vorkommen

Theoretische Windenergiepotenziale werden mittels Windstärken (in Anlehnung an die Beaufort-Skalen) <sup>97</sup> in Windkarten <sup>98</sup> erfasst. Für die Auswertung werden die theoretischen Windenergiepotenziale in Deutschland des Zeitraums von 1981 bis 2000 des Deutschen Wetterdienstes in einer Höhe von 80 m (Anlage 06) betrachtet. Dabei besteht eine direkte Abhängigkeit zur Höhe, dem Einzugsgebiet, dem Erfassungszeitraum, der Jahreszeit, der Wetterlage, der Sonnen- und Windeinstrahlung. Die Windenergie ist daher als schwankend bzw. diskontinuierlich anzusehen.

---

<sup>93</sup> Infolge der Ausführungen von Kapitel 5 wird auch hier die Betrachtung der Potentiale auf dem deutschen Festland durchgeführt.

<sup>94</sup> Quaschnig, 2011, S. 239

<sup>95</sup> Vgl. ebd.

<sup>96</sup> Vgl. Frauenhofer, 2012, S. 5 (Ergänzung aus Frauenhofer, 2012: Das deutsche GesamtPotenzial von Windenergieanlagen wird auf ca. 200 GW beziffert.) Laut [www.foederal-erneuerbar.de](http://www.foederal-erneuerbar.de) wird Bundeslandspezifisch das größte Potenzial in Bayern (ca. 20%) gefolgt von Niedersachsen (ca. 15%) und Baden- Württemberg (ca. 10%) gesehen.

<sup>97</sup> Vgl. Quaschnig, 2011, S. 242

<sup>98</sup> Vgl. I-Windatlas, 2013

## Skalierungszonen

Die jährlichen Mittelwerte der Windenergie<sup>99</sup> werden anhand von Flächenbegrenzungen in vier Zonen A bis D mit Skalierungsbereichen W0 bis W3 gegliedert. Mittlere Windgeschwindigkeiten betragen in Deutschland ca. 5 m/s.

Skalierung	WINDGESCHWINDIGKEIT (M/S)												
	4,0	4,3	4,6	4,9	5,2	5,5	5,8	6,1	6,4	6,7	7,0	7,3	7,6
Zone	Zone A (W0)			Zone B (W1)				Zone C (W2)			Zone D (W3)		
Windenergie	< 4,3 m/s			4,3 – 5,5 m/s				5,5 – 6,7 m/s			> 6,7m/s		

Tab. 5-3: Windenergie, Skalierungszonen<sup>100</sup>

## Auswertung Flächenanteil und Windgeschwindigkeiten

In Anlehnung an die Solarenergie wurde eine flächenmäßige Auswertung der Windenergiepotenziale durchgeführt (siehe Anlage 07). Darin sind die vier vorgenannten Zonen in folgender Farbgebung enthalten: A - weiss, B - blau, C - grün, D - rot.

Zone A ist innerhalb der mittleren Windgeschwindigkeiten nicht geführt. Von den verbleibenden Ebenen zeigen sich ca. sechs Nordost-Südwest-verlaufende Zonen. Die Zone D ist dabei an der Nord- und Ostküste sowie in den Alpen, mit vereinzelt über Deutschland verteilten Einlagerungen, zu finden. Zone C erstreckt sich im östlichen Norden bis in den Westen Mitteleuropas. Sie ist zudem entlang des Erzgebirges bis in den Schwarzwald zu finden. Einen dritten Einzugsbereich besitzt sie entlang der Voralpenregion. Zone B erstreckt sich zwischen der Voralpenregion und der Donau. Zudem ist sie im südlichen Mitteleuropa und im gesamten östlichen Bereich (Ausnahme Bereiche der Zone C) zu finden. Bezugsnehmend auf die Gesamtfläche von Deutschland um ca. 360 Tkm<sup>2</sup> verteilen sich vorgenannte Zonen B bis D flächenmäßig wie folgt (Tab. 5-4).

<sup>99</sup> siehe Anlage 06, in 80 m Höhe, Jahre 1981-2000, von ca. <2,8 bis >10,2 m/s

<sup>100</sup> Ebd.

<b>Karte 1-0 Auswertung Windenergie (theoretisch, primär)</b>				
<b>Zone</b>	<b>Windenergie</b>		<b>Fläche</b>	<b>Flächenanteil</b>
<b>[-]</b>	<b>[m/s]</b>		<b>[km<sup>2</sup>]</b>	<b>[%]</b>
Zone A	W0	<2,8 - 4,0	0,00	0
Zone B	W1	4,0 - 5,4	160.000,00	44
Zone C	W2	5,4 - 7,0	170.000,00	47
Zone D	W3	7,0 - >10,2	34.000,00	9
Zone A-D	W0-W3	<2,8 - >10,2	364.000,00	100
Abweichung Gesamtfläche Deutschland			-2,09%	
Abweichung Gesamtfläche Sonnenenergie			-0,16%	

Tab. 5-4: Auswertung Windenergie (theoretisch, primär) <sup>101</sup>

Zone B mit ca. 4,3 - 5,5 m/s und Zone C mit ca. 5,5 - 6,7 m/s sind mit anteiligen ca. 165 Tkm<sup>2</sup> gleichverteilt in Deutschland und besitzen je einen ca. 45 %-igen Flächenanteil. Zone D ist mit ca. 10 % der Fläche und ca. 35 Tkm<sup>2</sup> die kleinste Zone. Die höchsten Windgeschwindigkeiten werden in dieser Zone im Norden um Kiel, in Mitteldeutschland um Hof, Halle bzw. Kassel und im Süden in den Alpen sowie Freiburg erreicht.

## 5.3 Wasserkraft (A)

### 5.3.1 Maximale Potenziale

Innerhalb der Flüsse und Seen werden global ca. 225 Tkm<sup>3</sup> Wasser gespeichert. Dieser Energiegehalt beträgt ca. 160 EJ. <sup>102</sup> Infolge der regionalen Voraussetzungen divergieren die theoretischen Primärenergiepotenziale sehr stark.

Das theoretische Potenzial der Wasserkraftenergie bestimmt sich über das Flächen- bzw. Linienpotenzial. Davon werden die maximalen Potenziale über die Niederschlags- sowie

<sup>101</sup> eigene Darstellung

<sup>102</sup> Vgl. Quaschnig, 2011, S. 294, 295

Abflussflächenpotenziale<sup>103</sup> erfasst. Das Linienpotenzial deutscher Gewässer beträgt ca. 380 PJ/a. Davon sind theoretisch ca. 100 TWh/a<sup>104</sup> in elektrische Energie wandelbar.<sup>105</sup>

### 5.3.2 Regionale Vorkommen

Die Darstellung des Wasserenergiepotenzials erfolgt mittels Berechnungen, in Diagrammen bzw. Energieflussbildern. Die grafische Darstellung der theoretischen Energiepotenziale ist quantitativ nur schwer fassbar. In Karten sind daher technische Wasserkraftanlagen (WKA) enthalten. Innerhalb fachspezifischer Literatur wird darauf verwiesen, dass durch den Bau neuer Wasserkraftanlagen nur ein geringer Mehrwert in der Ausnutzung des Wasserenergiepotentials erzielt werden kann. Vielmehr wird die Ertüchtigung vorhandener Standorte zur effizienteren Nutzung vorgeschlagen. Bezugnehmend auf die aktuell bereits realisierte technische Ausbaupotenzial (hier für die Stromerzeugung) beträgt das Zubaupotential max. 10 Prozent.<sup>106</sup> Daher wird von einer Ertüchtigung bestehender und keinem bzw. nur geringfügigem Zubau neuer Wasserkraftanlagen ausgegangen.

Für die Arbeit werden daher die regionalen Vorkommen der aktuellen Standorte ausgewertet (siehe Anlage 08). Die Energieform der Wasserkraft bringt Schwankungen mit sich. Im Detail gleichen sich allerdings bestehende zeitliche beziehungsweise saisonale, zum Teil in Abhängigkeit des Klimas auftretende, Unterschiede über die Jahre aus.<sup>107</sup> Daher ist von einer kontinuierlich vorkommenden Energieform zu sprechen.

---

<sup>103</sup> Vgl. BMU et al, 2010, S. 13 ff. hier sind nähere Ausführungen zu den Arten der Potenziale erfasst – u.a. zu Niederschlagsflächen-, Abflussflächen-, AbflusslinienPotenzial, Technische Potenzial oder ausbauwürdiges Potenzial

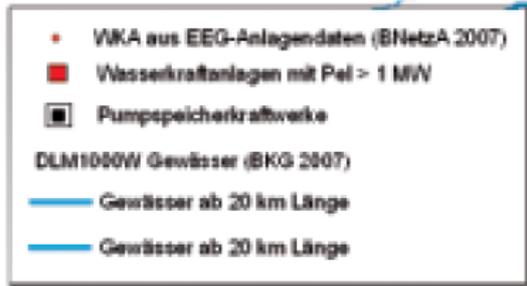
<sup>104</sup> Vgl. Anderer et al, 2010: „Nach Abzug der Fließverluste der Gewässer und unter Einbeziehung der realen Wirkungs- und Ausbaugrade von Wasserkraftanlagen ergibt sich ein technisches Gesamtpotenzial von 33,2 bis 42,1 TWh. ... Nach Abzug des genutzten Potenzials verbleibt somit ein technisches Zubaupotenzial von etwa 12,3 bis 21,2 TWh, das theoretisch genutzt werden könnte.“

<sup>105</sup> Vgl. Kaltschmitt et al, 2006, S. 388, hinsichtlich der elektrisch wandelbaren Energie wird ein „theoretisch maximaler Umwandlungswirkungsgrad der Wasserwerke von 100% und ein lückenloser Ausbau aller Gewässer in Deutschland unterstellt ...“

<sup>106</sup> Vgl. BMU et al, 2010, S. 13 ff.: „Es verbleibt ein technisches Restpotenzial (für neue WKA in großen Gewässern) von 1,3 TWh (und mittelgroßen und kleinen Gewässern) von etwa 0,63 bis 1,22 TWh.“

<sup>107</sup> Vgl. Quaschnig, 2011, S. 296, ergänzender Hinweis: „...bei der Wasserkraft ... das Energieangebot direkt mit Flussläufen gekoppelt. Neben dem Verlauf der Flüsse haben auch Niederschlags- und Schmelzwassermenge sowie vorhandene Höhenunterschiede einen entscheidenden Einfluss auf den Ertrag.“ Hochwasserereignisse bleiben nahezu unberücksichtigt.

## Skalierung

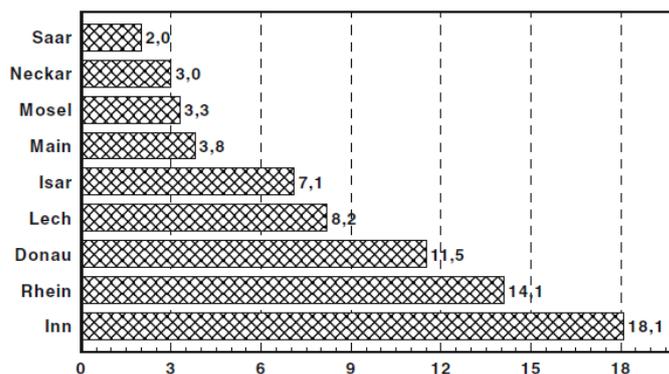


Innerhalb nebenstehender Übersicht werden bezüglich der Wasserkraft sechs Gruppen von Wasserkraftanlagen unterschieden.

Abb. 5-2: Wasserkraft, Skalierung anhand Wasserkraftanlagen (technisch)<sup>108</sup>

## Auswertung Flächenanteil

Ca. 80 % des Potenzials der Stromerzeugung aus Wasserkraft ist im Süden bzw. Südwesten Deutschlands (Bayern ca. 57% und Baden-Württemberg ca. 25%) verfügbar. Im deutschen Norden sind hingegen nur geringe Möglichkeiten vorhanden.<sup>109</sup> In Summe wird das Potenzial in den neuen Bundesländern lediglich auf ca. 5 % beziffert.<sup>110</sup>



Dies begründet sich über die Lage und Größe von Flüssen und Wasserspeichermöglichkeiten in Deutschland. „70% der Stromerzeugung aus Laufwasserkraft wird ... an wenigen großen Flüssen gewonnen“.<sup>112</sup>

Abb. 5-3: Anteil der Regelstromerzeugung in Prozent<sup>111</sup>

Das eingangs formulierte Zubaupotenzial neuer Anlagen wird speziell in Bayern (an Lech und Donau), in Baden-Württemberg (an Rhein/Hochrhein), in Nordrhein-Westfalen bzw. Niedersachsen (Mittelweser) gesehen.<sup>113</sup>

<sup>108</sup> Anderer et al, 2010, S. 15

<sup>109</sup> Vgl. Heimerl, 2005, S. 3

<sup>110</sup> Vgl. Kaltschmitt, 2006, S. 388, hier LinienPotential der Gewässer

<sup>111</sup> Ebd.

<sup>112</sup> Ebd., 2006, S. 393

<sup>113</sup> Vgl. Kaltschmitt, 2006, S. 392

## 5.4 Geothermie (A)

### 5.4.1 Maximale Potenziale <sup>114</sup>

Das theoretische Gesamtpotenzial ist bei der Geothermie maßgeblich abhängig von der zu erschließenden Tiefenwärme. In Deutschland sind „geothermale Vorkommen mit geeigneten Temperaturen ... in relativ großen Tiefen“ vorhanden. „Daher zählt Deutschland nicht zu den Regionen der Erde, die extrem günstige Bedingungen für die Nutzung der Geothermie aufweisen.“ <sup>115</sup> Kaltschmitt et al (2006) spezifiziert, dass unter der Gebietsfläche Deutschlands „bis eine Tiefe von 10.000 m ... eine Energie von rund 1.200.000 EJ gespeichert sind.“ <sup>116</sup> Basis biete die Annahme dem Gestein die Wärme bis ca. 20°C zu entziehen. Die 1000-jährige Nutzungsannahme führt dabei zu einem theoretischen Potenzial von ca. 1.200 EJ. <sup>117</sup> Das davon theoretisch für die Stromerzeugung nutzbare Potenzial wird auf ca. „33 EWh (für 1.000 Jahre) bzw. 33 PWh/a“ bestimmt. <sup>118</sup>

### 5.4.2 Regionale Vorkommen

Auch bei der Geothermie werden theoretische Energiepotenziale in Karten erfasst. Sie sind unter anderem tiefen-, flächen- und temperaturabhängig erarbeitbar. Hierbei arbeitet das Leibniz-Institut für Angewandte Geothermie in Hannover (LIAG-Hannover) intensiv an der Kartenerstellung und hinterlegt vorgenannte theoretische Ansätze visualisiert. <sup>119</sup> Hieraus sind nachstehend auszugsweise Geothermiekarten Deutschlands mit Tiefentemperaturen in 1.000 und 3.000 m dargestellt. Potenzialbezogen ist die Geothermie eine kontinuierlich zur Verfügung stehende Energiequelle.

---

<sup>114</sup> Es wird die Tiefengeothermie und oberflächennahe Geothermie unterschieden. Innerhalb der Potenzialvorstellung wird die maximalere der beiden Formen, hier der Tiefengeothermie, vorgestellt.

<sup>115</sup> Quaschnig, 2011, S. 315ff.

<sup>116</sup> Kaltschmitt et al, 2006, S. 527

<sup>117</sup> Vgl. Ebd.

<sup>118</sup> Kaltschmitt et al, 2006, S. 527, unter zugrunde legen eines ca. 10%-igen Wirkungsgrades in einem 1.000-jährigen Nutzungsansatz – zum Vergleich: der Strombedarf in Deutschland in 2011 betrug ca. 607 Mrd. kWh, dies entspricht ca. 0,6 PWh

<sup>119</sup> Diese sind digital abrufbar unter [www.liag-hannover.de](http://www.liag-hannover.de).

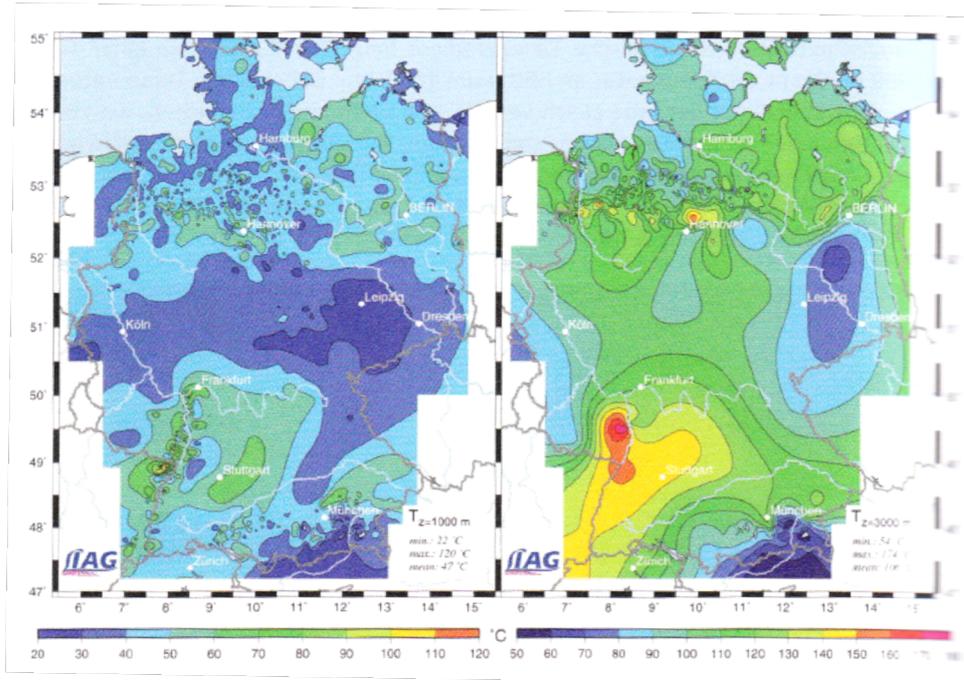


Abb. 5-4: Geothermie, Temperaturen in 1.000 und 3.000 m Tiefe <sup>120</sup>

### Skalierungszonen

Für die Auswertung der Energiepotenziale wird in der Karte mit der Tiefe 3.000 m eine Aufteilung der Geothermie-Temperaturwerte von 50 bis 180°C vorgenommen. Dabei erlangen die vier Zonen die Beschriftung I bis IV mit Skalierungsbereichen G0 bis G3.

<b>Skalierung</b>				
	Zone I (G0)	Zone II (G1)	Zone III (G2)	Zone IV (G3)
<b>Temperatur</b>	< 80°C	80 – 110°C	110 – 140°C	140 – 180°C

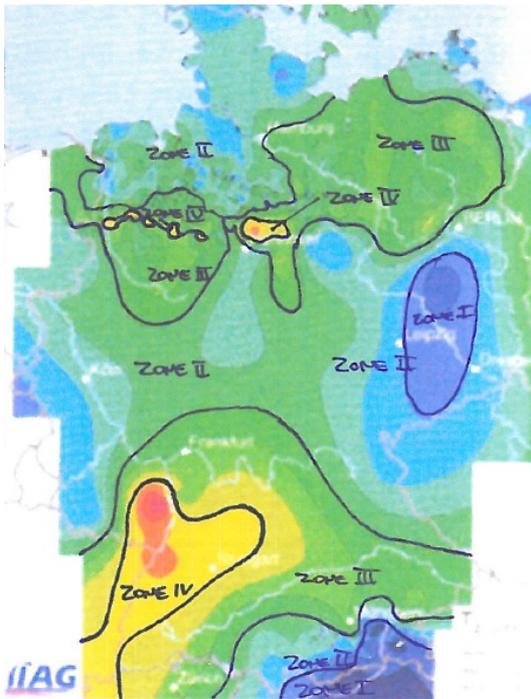
Tab. 5-5: Geothermie, Skalierungszonen optisch anpassen <sup>121</sup>

### Auswertung Flächenanteil

Auf Basis der Zonierungsinhalte von Abb. 5-5 ist Zone I im Osten und im südlichen Alpenraum zu finden. Zone II beschreibt den gesamten mitteldeutschen Bereich (von Ost bis West). Ferner ist diese Unterteilung im Nordwesten Deutschlands südlich der Nordsee

<sup>120</sup> Quaschnig, 2011, S. 316

<sup>121</sup> Ebd.



zu finden. Gleiches gilt für den östlichen Alpenvorlandbereich. Zone III erstreckt sich im südlichen Mitteldeutschland bis zum Alpenvorland. Gleiches gilt für eine Zonierung westlich von Hannover und südlich der Ostsee. Die Maximalwerte werden in Zone IV erlangt. Sie befindet sich entlang der Rheintiefenebene sowie nördlich von Bremen bzw. Uelzen. Der Flächenanteil dieser Zone beträgt ca. 10 % der Gesamtfläche Deutschlands.

Abb. 5-5: Geothermie, mögliche Auswertung digital<sup>122</sup>

## 5.5 Bioenergie (B)

### 5.5.1 Maximale Potenziale

Das maximale Potenzial zur energetischen Verwertung von Biomasse setzt sich aus der Nutzung von Forst- und Landwirtschaftsflächen sowie der Nutzung von Reststoffen, wie Gülle und Bioabfall, zusammen. Im Jahr 2008 wurden 1,6 Mio. Hektar Fläche zum Anbau von Energiepflanzen genutzt, wobei 0,5 Mio. Hektar Mais und Getreide zur Verwertung in Biogasanlagen und die restliche Fläche zur Kraftstoffgewinnung bearbeitet wurde. Diese Fläche von 1,6 Mio. Hektar entspricht 9,5 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche. Die aktuelle Menge Reststoffe, welche zur energetischen Verwertung genutzt wird, entspricht heute einer Fläche von 2,6 Mio. Hektar, wenn diese Biomasse eigens angebaut werden müsste.<sup>123</sup>

<sup>122</sup> Eigene Eintragung, in Quaschnig, 2011, S. 316

<sup>123</sup> Vgl. Staab, 2011, S. 54 f.

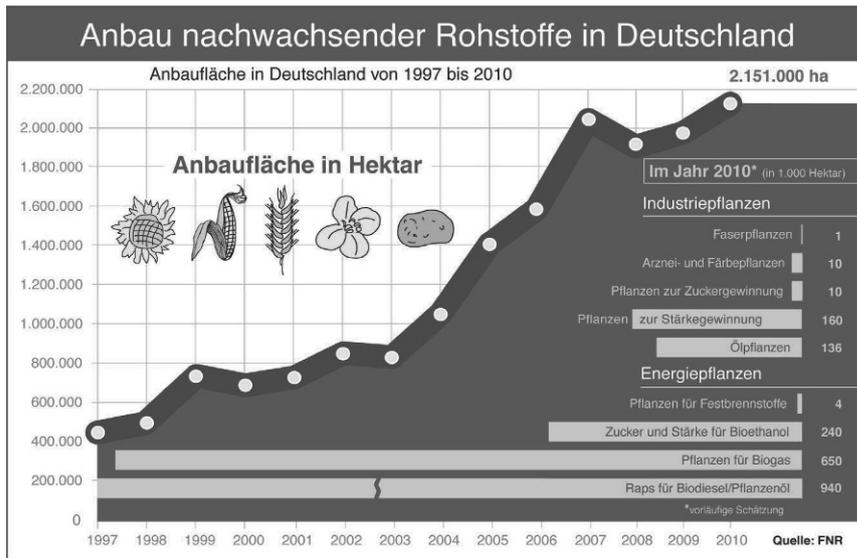


Abb. 5-6: Entwicklung Anbauflächen nachwachsender Rohstoffe in Deutschland<sup>124</sup>

Theoretisch ist eine komplette Nutzung der heutigen Agrar-, Landwirtschafts- und Forstwirtschaftsflächen möglich, aber dem steht das Grundbedürfnis der Eigenversorgung gegenüber.

Einen Ausblick auf die möglichen Ausbaupotenziale gibt der Potenzialatlas 2020 der Agentur für Erneuerbare Energien, welcher einen Ausbau auf 3,7 Mio. Hektar, also 21,9 % der landwirtschaftlichen Fläche bedeutet. Gleichzeitig wird eine Erhöhung der Nutzung von Reststoffen prognostiziert, was eine Erhöhung der Äquivalenzfläche auf 4,1 Mio. Hektar gleichkommt<sup>125</sup>.

In Summe entspricht dies ein Ausbau des Potenzials der Stromproduktion von 27,1 Mrd. kWh/a auf 54,3 Mrd. kWh/a und der Wärmeproduktion von 97,1 Mrd. kWh/a auf 150,3 Mrd. kWh/a.<sup>126</sup>

### 5.5.2 Regionale Vorkommen

Die Wichtung des Biomassepotenzials erfolgt unter Zuhilfenahme der Broschüre „Landwirtschaft in Deutschland“. Diese enthält diverse Karten zu Ackerland- und Waldflächen sowie zur Rind- und Schweinehaltung. Für jede Biomasseart erfolgt eine

<sup>124</sup> Staab, 2011, S.55

<sup>125</sup> Vgl. Staab, 2011, S. 56

<sup>126</sup> Vgl. AEE, 2010, S. 37

---

Skalierung in 4 Teile, analog der vorher untersuchten Primärenergieträgern. Vorteilhaft ist, dass die Karten der Broschüre ebenfalls eine Vierteilung aufweisen.

In Deutschland sind ca. 10,7 Mio. Hektar bewaldet, also ca. 1/3 von Deutschland. Die Waldanteile pro Landkreis schwanken teilweise stark. Einzelne Landkreise weisen einen Waldanteil von über 60% (Zone 4) auf. Diese Landkreise befinden sich:

- östlich von Regensburg,
- südwestlich von Stuttgart,
- zwischen Saarbrücken und Karlsruhe und
- östlich von Köln und Bonn.

Zone 3, mit Waldanteilen von 40 bis 60 % ist hauptsächlich im Mitteldeutschen Raum vorzufinden. Weitere Regionen sind der Schwarzwald sowie Regionen südlich von München und um Cottbus bis hinauf nach Berlin. Einen Waldanteil von 20 bis 40 % ist der Zone 2 zugeordnet. Diese ist in den restlichen Landkreisen von Süd-, Mittel- und Ostdeutschland vorzufinden, welche nicht Zone 3 oder Zone 4 zuzuordnen sind. Der nördliche Westen von Deutschland ist der Zone 1 zuzuordnen welche einen Waldanteil von unter 20 % aufweist. (siehe Anlage 09)

Die Rinder-, Schweine- und Hühnerhaltung wird unter dem Aspekt der gemeinsamen Auswertung, d.h. die Zonen der selben Rangigkeit sind gleichgestellt, betrachtet. Demzufolge ist Zone 1 der Hühnerhaltung gleichrangig zur Zone 1 der Schweinehaltung. Aufgrund der Reststoffe der Tierhaltung wird ein höherer Anteil an Tierhaltung ein höherer Anfall an Reststoffen angesetzt. Dies bedeutet wiederum mehr Substrate zum Einsatz in Biogasanlagen. (siehe Anlage 10)

Sehr gutes Potenzial (Zone 4) aufgrund der Rinder-, Schweine- und Hühnerhaltung ist Nordwesten und im Südosten von Deutschland zu finden. Entsprechend bildet sich Zone 3, angrenzend an Zone 4, zum Landesinneren aus. Zone 2 deckt den restlichen Teil Deutschlands ab, ausgenommen den östlichen Teil, welcher Zone 1 darstellt. Die quantitative Bewertung der Zonen stellt sich wie folgt dar (siehe Tab. 5-6).

	Anzahl Tiere je 100 Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche			
	Zone 4	Zone 3	Zone 2	Zone 1
<b>Rinderhaltung</b>	> 150	100 - 150	50 - 100	< 50
<b>Schweinehaltung</b>	> 500	250 - 500	100 - 250	< 100
<b>Hühnerhaltung</b>	> 1.000	500 - 1.000	200 - 500	< 200

**Tab. 5-6: Zonen der Rinder-, Schweine- und Hühnerhaltung**

Ein weiterer Indikator für das Biomassepotenzial ist die verfügbare Ackerfläche. Diese ermöglicht den Anbau von Energiepflanzen und somit die Verwertung in Biogasanlagen. Die Skalierung der Ackerflächen erfolgt ebenfalls in 4 Zonen. Zone 4 stellt die Gebiete dar, welche mehr als 75 % Ackerfläche an der landwirtschaftlich genutzten Fläche aufweisen. Die Gebiete der Zone 3 weisen einen Anteil zwischen 50 und 75 % auf. In Zone 2 beläuft sich der Ackerflächenanteil von 25 bis 50 %. Zone 1 stellt alle Gebiete dar, in denen ein Ackerflächenanteil unter 25 % zu verzeichnen ist. (siehe Anlage 11)

Das größte zusammenhängende Gebiet mit sehr gutem Potenzial (Zone 4) beginnt um Hannover und zieht sich bis in die Region um Dresden. Weitere Gebiete der Zone 4 befinden sich im Nordosten, teilweise im Westen und Südosten Deutschlands. Die flächenmäßig größte Zone 3 erstreckt sich von Norddeutschland bis in die Voralpenregion. Ausgenommen hiervon sind die Alpen, der Schwarzwald, das Ruhrgebiet und der Nordwesten von Deutschland. Der restliche Teil Deutschlands, bis auf die Alpen und östlich vom Ruhrgebiet, ist der Zone 2 zuzuordnen.

Der kontinuierliche Anbau von Energiepflanzen, die ganzjährige Nutzung von Holz sowie die Tierhaltung ermöglichen einen kontinuierliche Substrat- bzw. Brennstoffversorgung. Somit kann Biomasse einen wesentlichen Anteil zur kontinuierlichen Energieversorgung Deutschlands beitragen.

## **5.6 Fazit (A, B)**

### **5.6.1 Maximale Potenziale**

Potenziale der vorgestellten Energiequellen sind weitreichend und vielfältig. Allein die jährlich nutzbare deutsche Sonnenenergie entspricht dem 100-fachen des deutschen Primärenergiebedarfes.<sup>127</sup> Bei der Windenergie sind mittels der Erschließung von ca. 2 % der deutschen Landesfläche 65 % des deutschen Bruttostromverbrauchs abdeckbar.<sup>128</sup> Damit besitzt die Windkraft hinsichtlich der Stromversorgung hinter der Photovoltaik das zweitgrößte Potenzial. Bei der Wasserkraft beträgt das Linienpotenzial deutscher Gewässer ca. 380 PJ/a. Davon sind theoretisch ca. 100 TWh/a in elektrische Energie wandelbar. Bei der Geothermie sind in Tiefen bis ca. 10.000 m in Deutschland Energiegehalte von rund 1.200.000 EJ gespeichert, wovon theoretisch für die Stromerzeugung ca. „33 EWh (für 1.000 Jahre) bzw. 33 PWh/a“ als nutzbares Potenzial vorhanden sind. Das Biomassepotenzial in Deutschland ermöglicht einen Ausbau der bisher genutzten Landwirtschaftsfläche von 1,6 auf 3,7 Mio. Hektar, ohne das eine Beeinträchtigung der Eigenversorgung mit Nahrungsmitteln zustande kommt. Inklusiv der erhöhten Nutzung von Reststoffen besteht somit ein Ausbau des Biomassepotenzials der Stromproduktion von 27,1 Mrd. kWh/a auf 54,3 Mrd. kWh/a und der Wärmeproduktion von 97,1 Mrd. kWh/a auf 150,3 Mrd. kWh/a.)

### **5.6.2 Regionale Vorkommen**

Bei der Sonnenenergie zeigt sich von den vier Zonen eine relative Gleichverteilung der mittleren bis guten Zonierungen 2 und 3 mit ca. 1.021 bis 1.160 kWh/m<sup>2</sup>. Sie besitzen mit ca. 220 Tkm<sup>2</sup> einen deutschen Gesamtflächenanteil von ca. 60 %. Die maximalen Einstrahlungen sind im Süden in Zone 4 mit ca. 24 Tkm<sup>2</sup> auf einer ca. 7 %-igen Fläche zu finden. Als wesentliche Besonderheit sind die sich herausbildenden West-Ost- (ca. 951 bis 1.080 kWh/m<sup>2</sup>) sowie Nord-Süd-Gefälle (ca. 951 bis 1.261 kWh/m<sup>2</sup>) zu nennen.

Im Rahmen der Windenergieauswertung zeigen sich sechs Nordost-Südwest-verlaufende Zonierungen. Dabei bildet sich eine relative Gleichverteilung der mittleren bis guten

---

<sup>127</sup> 2012, ca. 1.350.000 PJ/a

<sup>128</sup> 2010, ca. 610 Milliarden kWh

Windgeschwindigkeiten der Zone B von 4,3-5,5 m/s und der Zone C von 5,5 -6,7 m/s, mit ca. 90% der Gesamtfläche, heraus. Die höchsten Windgeschwindigkeiten werden in Zone D mit dem geringsten 10%-igen Flächenanteil von ca. 35 Tkm<sup>2</sup> im Norden um Kiel, in Mitteldeutschland, um Hof, Halle, Kassel, und Süddeutschland, im Alpenraum sowie Freiburg, erreicht.

Die Potenziale der Wasserkraft orientieren sich anhand der an Flussverläufen bereits realisierten Wasserkraftanlagen. Ein Zubau weiterer Anlagen beträgt maximal ca. 10 % der aktuellen Wasserkraft. Über 80 % der nutzbaren Wasserpotenziale sind dabei im Süden bzw. Südwesten, hier in Bayern und Baden-Württemberg, und allein ca. 5 % in den neuen Bundesländern vorhanden.

Nach Auswertung der Tiefengeothermie in 3.000 m werden die höchsten Temperaturen in der Rheintiefebene und Regionen nördlich von Bremen und Uelzen erreicht. Der Flächenanteil beträgt ca. 10 % der Gesamtfläche Deutschlands.

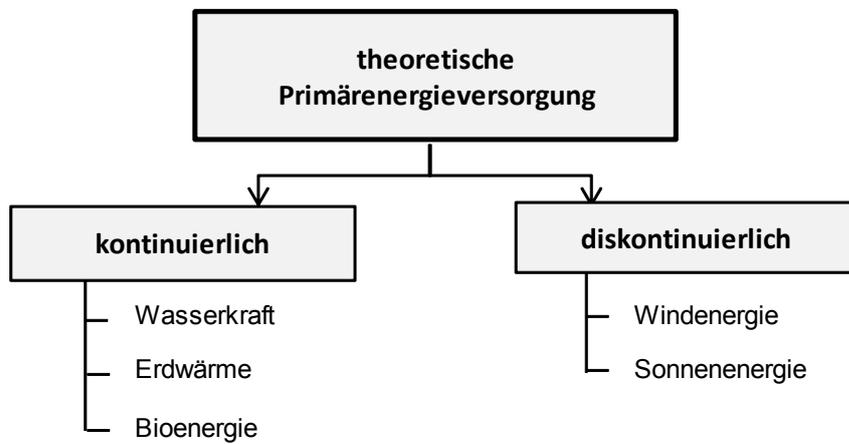
Biomasse kann durch seine Vielfalt einen wesentlichen Beitrag zur Energiebereitstellung leisten. Sehr gutes Potenzial (Zone 4) zur energetischen Verwertung von Biomasse für gasförmige Biomasse, also Tierhaltung und Ackerflächen, befindet sich in Nordwest-Deutschland, in Südost-Deutschland und im östlichen Teil Mitteldeutschlands. Unter Einbeziehung des guten Potenzials (Zone 3), ist prinzipiell in ganz Deutschland ein erhöhtes Potenzial zur Biomassennutzung vorhanden. Ausnahmen bilden die Schwarzwaldregion und der südwestliche Teil Mitteldeutschlands. Die Holznutzung hat in den Regionen Schwarzwald, Mitteldeutschland (zerstückelte Gebiete) und an der ostdeutschen Grenze mindestens ein gutes Potenzial.

### **5.6.3 Verfügbarkeit**

Die Sonnenenergiepotenziale sind maßgeblich vom Standort, der Witterung und der Jahreszeit abhängig. Gleiches gilt für die Windenergie. Auch hier besteht eine hohe Abhängigkeit von der Wetterlage, der Jahreszeit und dem Standort. Auch die Wasserkraft besitzt zeitliche, beziehungsweise saisonale, zum Teil in Abhängigkeit des Klimas auftretende Schwankungen, welche sich allerdings über die Jahre ausgleichen. Die Energiequelle der Geothermie ist als kontinuierlich vorkommend zu werten. Die

Primärenergieform Biomasse steht kontinuierlich in ganz Deutschland zur Verfügung, aber ist regional spezifisch in unterschiedlichster Form ausgeprägt.

In Anlehnung an die vorgenannten Ausführungen sind die kontinuierlichen und diskontinuierlichen Verfügbarkeiten der regenerativen Energien in Abb. 5-7 visualisiert.



**Abb. 5-7: theoretische Potenzial, kontinuierlich und diskontinuierlich**<sup>129</sup>

<sup>129</sup> Eigene Darstellung,

---

## **6 Theoretisches Potenzial – Primärenergie Gesamtbetrachtung**

Unter Kapitel 5 wurden Einzelauswertungen der Primärenergien durchgeführt. Zur Erarbeitung regionenspezifischer Aussagen sind Überlagerungen der Einzelprimärenergien erforderlich - um im Ergebnis Regionen zu identifizieren und in der Nähe dieser Gebiete gelegene Städte vertiefend bearbeiten und auswerten zu können. Hierfür werden einfürend die Möglichkeiten der Auswertungen und im Anschluss die Ergebnisse der Einzelbetrachtungen vorgestellt.

### **6.1 Vorbetrachtung und Herausforderung (A)**

Die Vorbereitung und Recherche zur Auswertung Erneuerbarer Primärenergiepotenziale in Deutschland zeigt, dass es hierzu bisher keine bzw. nur begrenzt Untersuchungen durchgeführt wurden. Vielmehr sind allgemeine Aussagen, dass die Ressourcen eine nachhaltige Versorgung sicherstellen können, vorhanden. Dabei steht die Ableitung möglicher Gesamtversorgungsszenarien für die Entwicklung von Konzepten im Vordergrund.<sup>130</sup>

Gründe hierfür sind die erheblichen Abhängigkeiten der regulatorischen Parameter inklusive gesetzlicher und wirtschaftlicher Vorgaben sowie die Beeinflussung der realen Märkte beim Aufbau eines gesamtheitlich funktionsfähigen Versorgungskonzeptes. Dabei sind sukzessiv wiederkehrende Abgleiche und regulatorische Anpassungen zentraler Vorgaben umzusetzen. Einen zweiten Hauptgrund stellen die wirtschaftlichen Bestrebungen und Gesamtausrichtungen von Institutionen und Unternehmen dar. Dies führt aktuell im Detail dazu, dass Erneuerbare Energiesysteme nicht vordergründig und ausschließlich an den Standorten mit maximalen Primärenergievorkommen, sondern mit dem Fokus des wirtschaftlichen Betriebes, oft an wirtschaftlichen Standorten, errichtet werden. Die Wirtschaftlichkeit ist dabei abhängig von vielfältigen Parametern – unter anderem der Primärenergievorkommen, Investitionskosten von Systempreisen oder der Subvention beziehungsweise der Vergütung.

Als dritten Grund sind die Subventionierung der Technologie als wirtschaftlichen Anreiz, insbesondere zum Zeitpunkt der Technologieeinführung, zu nennen. Diese führen zur Möglichkeiten Flächen mit geringeren Potenzialen zu nutzen, vor allem wenn die standort-

---

<sup>130</sup> siehe Kapitel 2

und projektkonkrete Wirtschaftlichkeitsbetrachtung unter Berücksichtigung der Subventionen zur Machbarkeit der Maßnahme führt.

Damit sind für die Arbeit in Bezug auf Primärenergieauswertungen kaum einsetzbare Materialien verfügbar, wodurch die Erarbeitung einer entsprechenden Darstellung - einer eigenen Auswertungsmatrix in grafischer und tabellarischer Form - erforderlich wird.

<sup>131</sup> Daher besteht eine Herausforderung dieser Arbeit darin, eine Möglichkeit der Auswertung zu finden:

- mit welcher die z.T. sehr großflächigen Primärenergiebereiche verarbeitet werden können
- mit jener verdeutlicht wird, welche Potenziale in welcher Quantität in welchen Regionen vorkommen und
- welche Regionen bzw. Städte im Ergebnis welche Quantität an Primärenergien besitzen.

Hierfür werden die intensiven Untersuchungen im ersten Schritt grafisch anhand möglicher Skalierungsbereiche und regionenbezogener Auswertungen durchgeführt, welche im Ergebnis mittels tabellarischen Aufbereitungen final bearbeitet werden.

## **6.2 Grafische Betrachtung**

### **6.2.1 Anforderungen und Möglichkeiten der Auswertung (A)**

Für die Auswertung der Deutschlandkarten mit den eingetragenen Potenzialen an Erneuerbaren Energien werden Programme benötigt, durch welche folgende Anforderungen erfüllt werden:

- Zeichnen von Flächen und Umrandungen
- Überlagern von Flächen
- Grafische Hervorheben von Teilbereichen
- Gruppierung von Flächen
- Beschriftung (unter anderem für Legende und Flächenkennzeichnung)

---

<sup>131</sup> Hierzu erfolgte eine Konsultation Romeike/Schulze 2) und 3) – oben beschriebene Inhalte wurden darin verabschiedet.

- Ablesen von Flächendetails (Maßen und Abmaßen)
- Ggf. importieren und exportieren von Dateien für die Bearbeitung

Eine Programmrecherche führte zu folgenden Ergebnissen.

Durch den Einsatz von CAD-Programmen (u.a. AutoCAD, Nemetschek, Archicad) bzw. eines Illustrators ist es möglich alle vorgenannten Anforderungen zu erfüllen. Die Verwendung von verschiedenen Ebenen innerhalb der Dateien ermöglicht neben der reinen Visualisierung, die flächenbezogene Auswertung. Ein Vorteil der Programme bietet die schnelle Auswertung der Gesamt- und Teilflächenbereiche. Exporte sind mittels dxf-Dateien umsetzbar.

Photoshop bzw. GIMP (Free-Version) sind Programme, welche vor allem im Rahmen digitaler Bildbearbeitungen bekannt sind. Insbesondere die Anforderungen 1 bis 4 sind umsetzbar. Nicht möglich ist der Export und das Einlesen der Photoshop-Dateien in andere Programme, um zum Beispiel die flächenbezogenen Datenexporte und -ermittlungen durchzuführen. Hierfür ist die Verwendung von Adobe Acrobat Professional erforderlich. Nach der Definition des Mess-Maßstabs ist ein Nachmessen gekennzeichnete Flächen erforderlich.

Die Nutzung der CAD-Programme bietet die von den Voraussetzungen des Programmes größten Übereinstimmungen mit den Anforderungen. Unter Berücksichtigung der zeitlichen Einarbeitung, aktuellen Verfügbarkeit der Programme und der monetären Herausforderungen der Beschaffung wurde entschieden mittels GIMP (der Free-Version von Photoshop) und Adobe Acrobat Professional die Bearbeitung durchzuführen.

### **6.2.2 Grafische Auswertung (B)**

Die grafische Auswertung wird mit dem Programm GIMP vorgenommen, welches ein Pendant zu Adobe Photoshop® darstellt. Dieses ist kostenlos für verschiedene Plattformen, wie Mac und Windows, erhältlich. Aufgrund der kostenfreien Nutzung und Systemunabhängigkeit ist die Möglichkeit gegeben, dass eine große Anwender- und Nutzergruppe die Daten einsehen und individuell anpassen kann.

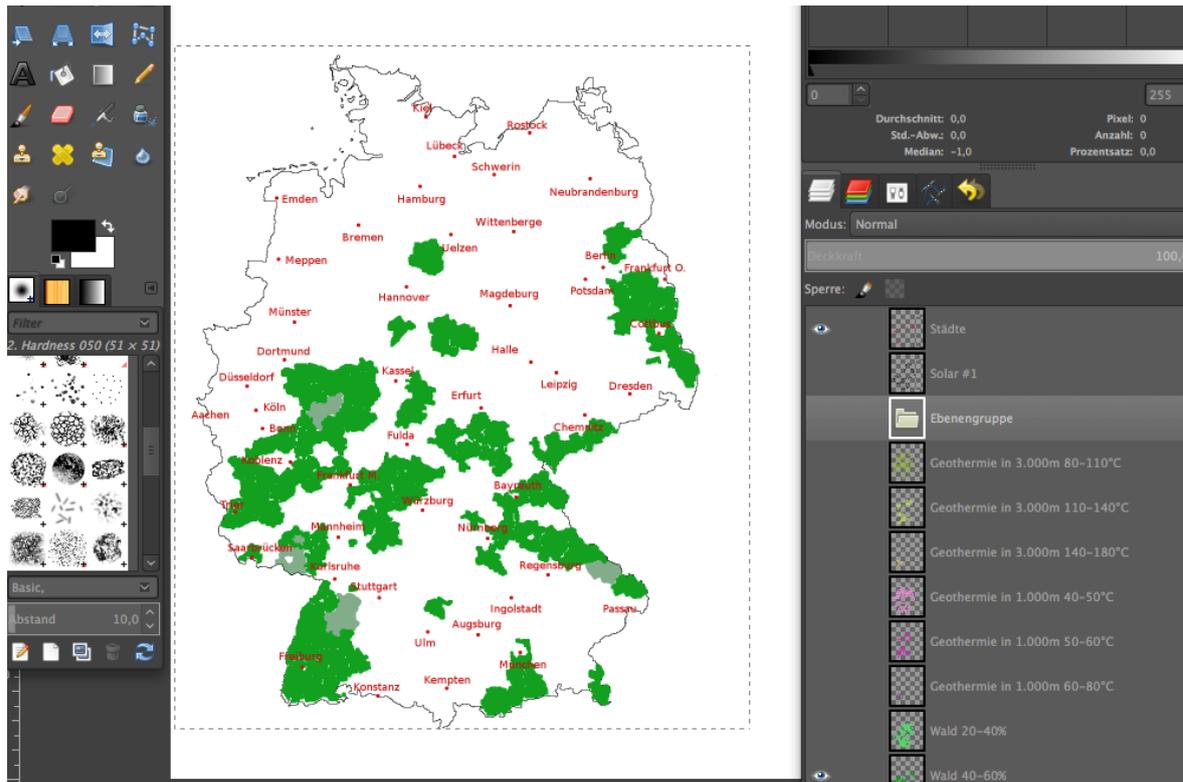


Abb. 6-1: Screenshot des Programms GIMP mit links dem Werkzeugkasten, in der Mitte der Blattbereich und rechts dem Ebenbereich

Das Programm ermöglicht das Arbeiten in mehreren Ebenen und Layern (siehe Abb. 6-2: Ebenen im Programm GIMP, sodass das Überlagern und Gruppieren von Flächen möglich ist. Vorab sind diverse zeitaufwändige Arbeiten notwendig, um eine sinnvolle farbige Auswertung ermöglichen zu können.

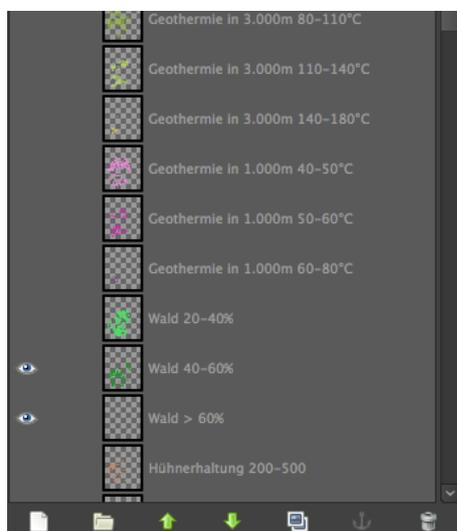
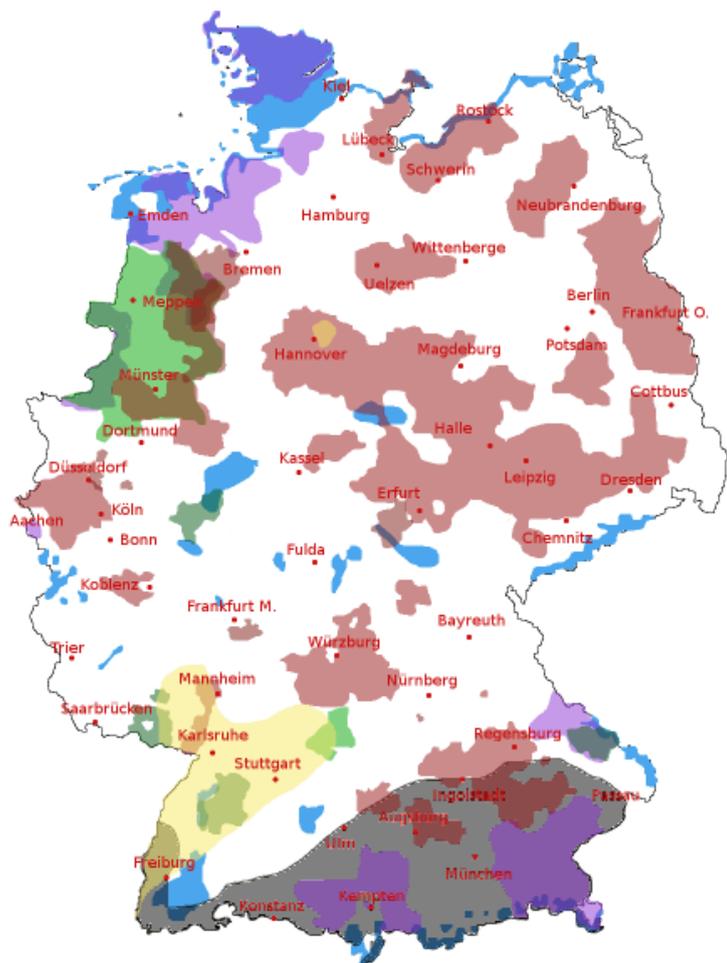


Abb. 6-2: Ebenen im Programm GIMP

Als erster Schritt ist die manuelle Überführung der Deutschlandkarte (Bundeslandgrenze) inkl. einer Auswahl an Städten notwendig. Nachdem die zu untersuchenden Primärenergiepotenziale feststehen, erfolgt eine Übertragung jeder Primärenergieform in das Programm. Wichtig hierbei ist, darauf zu achten, dass jede Zone für jede Primärenergieform auf einer separaten Ebene dargestellt wird um eine individuelle Auswertung zu ermöglichen. Beispielhaft ist in Abb. 6-3 die Maxima jeder Primärenergieform dargestellt.



**Abb. 6-3: Maxima der untersuchten Primärenergieformen**

#### **6.2.4 Grafische Ergebnisse (A/B)**

Da im Ergebnis von Kapitel 5 eine Überlagerung aller maximalen Bereiche der Erneuerbaren Energien unter Herausbildung gemeinsamer Flächen ausgeschlossen ist, wurde diese Überlagerung rein für die primären Wind- und Sonnenenergiepotenziale in verschiedenen Skalierungsbereichen durchgeführt. Anzuführen sind Skalierungen von 85 bis 100 %, 75 bis 100 % und 65 bis 100 %. Durch die Untersuchung von Städten wurden die aktuellen Dachpotenziale mit berücksichtigt. Im Ergebnis führt diese Skalierungsbetrachtung von 65 bis 100 % inklusive der Dachpotenziale, für die elektrischen Primärenergiepotenziale, zu folgenden Regionen (siehe Anlage 12).

- Westlich und nördlich von Kiel (EP (f) 1)
- Nördlich von Oldenburg in Holstein (EP (f) 2)
- Südlich und Östlich von Cuxhaven (EP (f) 3)
- Südlich und südöstlich von Emden (EP (f) 4)
- Nordwestlich von Halle/Leipzig (EP (f) 5)
- westlich von Kassel (EP (f) 6)
- südlich von Aachen (EP (f) 7)
- östlich von Passau (EP (f) 8)
- südlich von Freiburg (EP (f) 9)
- südlich von Kempten und München entlang der Alpen (EP (f) 10)

Die Überlagerung der thermischen Primärenergiepotenziale im Skalierungsbereich von 100 bis 65 % für Solarenergie sowie die maximalen Potenziale für Biomasse und Tiefengeothermie führte zu folgenden Regionen:

- Augsburg
- Hannover
- Karlsruhe
- Konstanz
- Mannheim
- München
- Passau
- Stuttgart
- Ulm

## **6.3 Tabellarische Betrachtung (A)**

### **6.3.1 Tabellarische Auswertung**

Die unter Kapitel 5.6 bzw. unter Kapitel 6.2.3 erfassten Daten und Inhalte wurden anhand der Regionen innerhalb einer Tabelle mit maximalen Primärenergiepotenzialen transparent aufbereitet. Es zeigt sich unter Auswertung des maximalen Skalierungsbereiches von ca. 65 bis 100 %, dass Regionen entweder hohe Potenziale an thermisch- bzw. an elektrisch-erzeugter Energie besitzen, jedoch beides nicht in einer Region vereint ist (siehe Anlage 13). Da diese Vorbetrachtung kein endgültiges Ergebnis liefert, werden diese ersten Überlagerungsergebnisse, mittels der jeweilig fehlenden Erneuerbaren Energien der Skalierung von 0 bis 100 Prozent, anhand der Inhalte des grafischen Programmes innerhalb der Tabelle ergänzt. Diese Tabelle ist in Anlage 14 erfasst und besitzt folgenden Aufbau. Neben den vorgenannten Städten sind die Regionen<sup>132</sup> im linken Bereich beschrieben. Die Primärenergiepotenziale werden, getrennt nach diskontinuierlich und kontinuierlich beziehungsweise der thermischen und elektrischen Energievorkommen, anhand der jeweiligen Skalierungsunterteilung von 0 bis 3 (entspricht der Vierteilung der Gesamtskalierung bis 100 %) einer Wertung unterzogen.

### **6.3.2 Tabellarische Ergebnisse**

Die Einzelsummation vorgenannter Bereiche führt im Ergebnis zur Gesamtauswertung der Stadt mit Minimal- bzw. Maximalwerten (rechter Bereich der Tabelle). Die Ergebnisse der Tabelle sind zur besseren Visualisierung guter Bereiche farbig hervorgehoben. Nach der Summation der fünf Primärenergien zur elektrischen Energiebereitstellung mit maximalen Ergebnissen bis 15, variieren die Summen von 5 (Halle/Leipzig) bis 14 (Freiburg). Sehr gute elektrische Primärenergiepotenziale sind mit Summen von 12 bis 14 in Freiburg, Ingolstadt, Kempten, Mannheim vorzufinden.

Sehr gute thermische Primärenergiepotenziale befinden sich in Augsburg, Freiburg, Karlsruhe, Ingolstadt, Kempten, Mannheim, Passau, Ulm. Die Summen der drei Primärenergien reichen von ca. 3 bis 8.

---

<sup>132</sup> und Bearbeiter

Im Anschluss an die Summation der elektrischen und thermischen Potenziale zeigen sich Regionen und Städte mit Werten aller regenerativer Energieformen. Die Primärenergien besitzen Maximalwerte von 22 (\*) bis 20 Punkten. Die zugehörigen Städte lauten.

- Freiburg (\*)
- Ingolstadt
- Mannheim

Auf Basis dieser Auswertung besitzt die Stadt Freiburg die besten Primärenergiepotenziale.

#### **6.4 Fehlerbetrachtung (A)**

Im Rahmen der Bearbeitung der grafischen und tabellarischen Primärenergiepotenziale sind Annahmen getroffen wurden, welcher einer Fehlerbetrachtung zu unterziehen sind.

Zur Abbildung und Überlagerung der vielfältigen Primärenergien, mit sehr tiefgreifenden und umfangreichen Details, wurden Karten gewählt. Hierbei stand die Wahl von Globalstrahlungskarten gleicher Erfassungszeiträume im Mittelpunkt. Dies konnte aufgrund der Datenlage nicht für alle Bereiche (u.a. Karte Geothermie bzw. Erfassungszeitraum Wind- und Sonnenenergie) umgesetzt werden.

Zur Auswertung wurden bei den Primärenergien Grobunterteilungen der jeweiligen Skalierungsbereichen vorgenommen. Die Wahl der Skalierungsbereiche ist frei und die Aufteilung der Skalierungen jeweils spezifisch für die jeweilige Primärenergie erfolgt. Die Auswertung (für die Region- und Stadtfindung) wurde auf Basis dieser groben und gerundeten Daten durchgeführt. Nach Ermittlung der Stadt mit dem höchsten Gesamtenergiepotenzial wurden die Inhalte wieder den Ist-Primärenergiedaten zugeführt.

In diesem Zusammenhang wurden die Primärenergien der Annahme unterzogen, gleichverteilt vorzuliegen. Es erfolgten keine weiteren Wichtungen, welche insbesondere bei zum Teil bereits vorherrschenden Technologien durchgeführt werden können, um regionen- beziehungsweise stadtbezogene Idealverteilungen zu identifizieren.

Die Übernahme der Karten in das Grafikprogramm erfolgte mittels Nachzeichnen der Bereiche. Sofern bei weiterführenden Studien das Einlesen von Daten möglich ist, wird dies empfohlen, um mögliche Ungenauigkeiten zu vermeiden.

Für die Auswertungen, unter anderem der Solar- und Windenergie, sind Vermaßungen und Flächenermittlung innerhalb Adobe Acrobat erfolgt. Hierfür wurden Karten aus Grafikprogrammen in die PDF-Formate umgewandelt. Von der Beibehaltung der gleichen Größenangaben wurde ausgegangen. Maßstäbe zur Ermittlung von Flächen wurden auf Basis gerundeter Werte (zwei Stellen nach Komma) genutzt.

Nach Identifikation von Regionen wurden Städte im Umland für die weiterführenden Betrachtungen der Arbeit gewählt. Hierfür wurden die Primärenergiepotenziale der Region weiter genutzt.

## 7 Grundlagen der Energieversorgung (A)

Nach Erarbeitung und Detailuntersuchung der im Kapitel 6 identifizierten Städte sind versorgungstechnische Vorbetrachtungen erforderlich, da für die Versorgung von urbanen Lebensräumen die Erneuerbaren Primärenergien in nutzbare Energien umzuwandeln sind. Hierfür werden verschiedene Technologien eingesetzt (siehe Abb. 7-1)

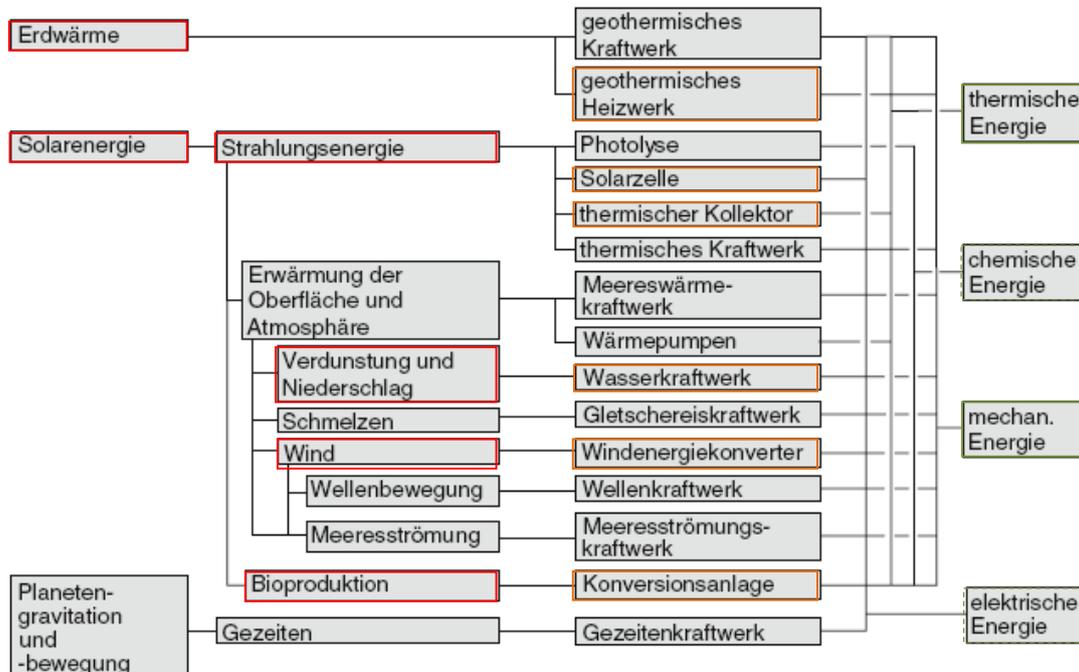


Abb. 7-1: Möglichkeiten zur Nutzung Erneuerbarer Energien<sup>133</sup>

Die Vorstellung der Energieversorgung wird in Kapitel 7 in ihren jeweiligen technischen Funktionen, den planerischen Auslegungen und zu wirtschaftlichen Faktoren der Anlagen vorgestellt. Im Detail werden folgende Technologien vorgestellt:

- Photovoltaik und Solarthermie
- Windenergie und Wasserkraft
- Geothermie und Biomasse

Ein Überblick der Versorgungsnetze schließt sich dem ersten Kapitel an.<sup>134</sup>

<sup>133</sup> Kaltschmitt, 2006, S. 12, Die chemischen Energien werden als Zwischenschritt zur Erzeugung der Endenergieform verstanden. Die Auswahl erfolgte in 11/2012 durch die Herren Bartsch und Mai

<sup>134</sup> Eine zusätzliche Betrachtung von baurechtliche Aspekte ist projektspezifisch durchzuführen und daher nicht Bestandteil dieser Arbeit. Aussagen zu gesellschaftsrechtlichen Belangen werden in Ergänzung der

## 7.1 Technologien zur Energieerzeugung

### 7.1.1 Photovoltaik (A)

„Unter Photovoltaik versteht man die direkte Umwandlung von Licht in elektrische Energie mit Hilfe von Solarzellen. Hierzu werden Halbleitermaterialien ... eingesetzt. Am weitesten verbreitet ist die kristalline Siliziumsolarzelle.“<sup>135</sup> Hierbei wandeln Wechselrichter den durch die Module erzeugten Gleichstrom für die Eigennutzung bzw. die Stromnetzeinspeisung in Wechselstrom um.

#### Technik

Die Technologien der Solarzellenentwicklung sind nach den Entwicklungsanfängen von Edmond Becquerel im Jahre 1839<sup>136</sup> weit vorangeschritten. Im Rahmen der Masterthesis wird sich darauf beschränkt, einen Überblick zu Zellarten und Wirkungsgraden<sup>137</sup> zu geben. Bei Solarzellenarten werden Dick- und Dünnschichttechnologien unterschieden, wobei die Dünnschichttechnologie als Nachfolgetechnik der Dickschickmodule gesehen wird (siehe Tabelle 7-1).

Massivzellen			Dünnschichtzellen		
Zellenart	Wirkungsgrad		Zellenart	Wirkungsgrad	
	real	max.		real	max.
- monokristallines Si (Silizium)	15-19%	(≤ 25%)	- mikro-/polykristallin. Si	7-12%	(≤ 15%)
- polykristallines Si	14-16%	(≤ 20%)	- CdTe (Cadmiumtellurid)	9-11%	(≤ 16%)
			- CIS (Kupfer Indium Selen)	10-12%	(≤ 20%)

Tab. 7-1: Übersicht Photovoltaik Zellarten und Wirkungsgrade<sup>138</sup>

Ausführungen von Kapitel 3 innerhalb der unter Kapitel 9 folgenden stadtbezogenen Betrachtungen aufgegriffen.

<sup>135</sup> DGS, 2010, 2-26

<sup>136</sup> Vgl. Ebd., 1-5

<sup>137</sup> Auf die weitere Vertiefung von Vor- und Nachteilen der einzelnen Zellarten wird aufgrund des Umfangs der Arbeit bewusst verzichtet.

<sup>138</sup> Vgl. DGS, 2010, 2-29 bis 2-58. Die aktuell maximal zu erwartenden Wirkungsgrade sind in Klammern angegeben. Noch höhere Wirkungsgrade sind mit Tandemzellen erzielbar.

Die maximalen Wirkungsgrade wurden bislang nicht erreicht. Aktuell werden ca. 40 – 70 % der Maximalwirkungsgrade oben genannter Technologien genutzt.

Photovoltaik-Anlagen werden bezüglich ihres Aufbaus und ihrer Bestandteile in netzgekoppelte Anlagen und Inselsysteme unterschieden. Nähere Anlagenbeschreibungen sind in Anlage 15 enthalten. Im Rahmen des Solarmoduleinsatzes zur Versorgung deutscher Städte ist die Installation sowohl auf Freiflächen im ländlichen und innerstädtischen Regionen als auch auf und an Gebäuden im Fassaden- und Dachbereich möglich.

Das Nutzungspotenzial wird mit ca. 105 TWh prognostiziert.<sup>139</sup> Dabei wird die nutzbare Fläche (ohne Freiflächen) für Anlagen der Photovoltaik (und Solarthermie) gemäß Fraunhofer-Institut mit ca. 2.850 km<sup>2</sup> ermittelt. Der Anteil der Dachflächen wird daran mit ca. 1.200 km<sup>2</sup> bestimmt. Dies entspricht einer elektrischen Leistung von Photovoltaikanlagen von ca. 400 GW.<sup>140</sup>

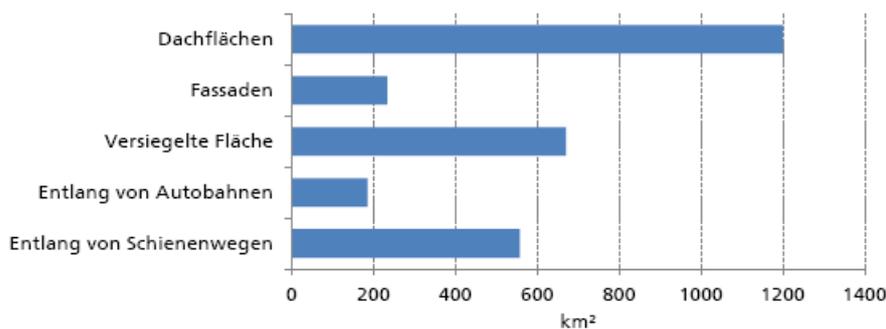


Abb. 7-2: Flächenpotenziale für Installation von Photovoltaikanlagen in Deutschland<sup>141</sup>

In Deutschland werden vorwiegend standardisierte Anlagen im privaten und gewerblichen Häuserbau, u.a. im Wohnungs-, Gewerbe- und Industriebau als Aufdachanlagen eingesetzt. Freiflächenanlagen werden zumeist als Revitalisierungsmaßnahme, an Hängen mit Südausrichtung als Investitionsgut bzw. zur reinen Stromerzeugung errichtet.

<sup>139</sup> DGS, 2010, 10-10, Das technische Stromerzeugungspotenzial von Photovoltaik in Deutschland besitzt dabei eine Spanne von ca. 135 TWh/a bis 690 TWh/a. Die große Weite beschreibt sich durch zukünftig zu bestätigende Annahmen der „Wirkungsgrad(e) der Module, Inanspruchnahme von Freiflächen und Fassaden sowie von Verkehrsflächen“.

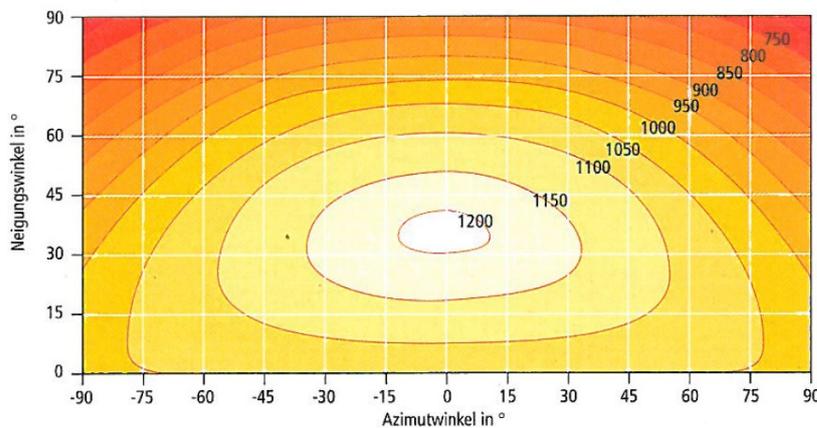
<sup>140</sup> Vgl. I-Fraunhofer, 2012

<sup>141</sup> Ebd.

In vorgenannten Bereichen sind netzgekoppelte und autarke Anlagenarten möglich. Netzgekoppelte Anlagen haben sich insbesondere durch das EEG etabliert. Anwendungsfelder für den autarken Einsatz befinden sich vor allem in abgelegenen Regionen, für die Erlangung von Ausfallsicherheit bzw. Unabhängigkeit. Ferner sind Klein- und Sonderanlagen (Parkautomaten, Lampen etc.) zu finden.

### Planung und Auslegung

Planerisch sind hinsichtlich des Ertrages die Einstrahlung, der Sonnenstand, die Anlagengröße, die Stringanordnung, die Farbe, die Transparenz, und standortspezifische Parameter (u.a. Bebauung etc.) zu berücksichtigen. Die Verschattung mindert dabei die Einstrahlung der direkten und diffusen Strahlung zum Teil erheblich.



In diesem Zusammenhang stellen die Verschattungsdauer und -art wichtige Ertragsfaktoren dar. Des Weiteren sind die Himmels- und PV-Flächenausrichtung wesentliche Basisparameter.

Abb. 7-3: Jahressumme der Globalstrahlung in Abhängigkeit von Azimut und Neigung in kWh/m<sup>2</sup><sup>142</sup>

Aufgrund vorgenannter Einflussparameter wird deutlich, dass die Planung von Anlagen jeweils standortkonkret durchzuführen ist. Als Auslegungsformel für grobe Planungsansätze gilt überschlägig für Dachflächen - ca. 10m<sup>2</sup> entsprechen 1kWp. Grundsätzlich gilt, dass die Südausrichtung mit 90 Gradstellung zur Sonneneinstrahlung als ideal ist.

<sup>142</sup> DGS, 2010, S. 2-19

Unabhängig davon ist die diffuse und direkte Sonneneinstrahlung im Sommer höher als in den Monaten zum Jahreswechsel. Daher werden in den Sommermonaten ca. 75%<sup>143</sup> der Jahreserträge erzielt. Gleiches gilt für die spezifisch höheren Tageseinstrahlungen über die Mittagszeit im Vergleich zu den Morgen- und Abendstunden.

### Wirtschaftliche Faktoren

Nach der Preisentwicklung in 2005 von ca. 5.000 €/kWp halbierten sich die Preise je Kilowattpeak bis ca. Ende 2010. Derzeit werden Dachanlagen bis ca. 10 kWp mit durchschnittlichen Endkundenpreisen um ca. 1.800 €/kWp geführt.<sup>144</sup> Die Produktionskosten für Dünnschichtmodule werden aktuell wie folgt prognostiziert.<sup>145</sup>

Dünnschichtzelle	Zeitraum		
	2008-2013	2013-2020	< 2020
- mikro-/polykristallin. Si	< 1,0 €/Wp	< 0,65 €/Wp	< 0,40 €/Wp
- CdTe (Cadmiumtellurid)	< 1,0 €/Wp	< 0,50 €/Wp	< 0,30 €/Wp
- CIS (Kupfer Indium Selen)	< 1,2 €/Wp	< 0,80 €/Wp	< 0,4 €/Wp

Tab. 7-2: Übersicht Photovoltaikkosten für Dünnschichtmodule<sup>146</sup>

<sup>143</sup> Vgl. FH Kiel, 2010, S.3

<sup>144</sup> Vgl. DGS, 2010, S. 10.9 – hier werden Produktionskostenprognosen für Dünnschichtmodule getrennt nach den Technologiearten beschrieben.

<sup>145</sup> Vgl. I-VDI, 2012: Ein verbleibendes Risiko bei der Photovoltaikproduktion besteht speziell bei den Silizium-Wafern. In einer aktuellen Einschätzung ist nach dem Jahr 2009 davon auszugehen, dass sich die Silizium-Zulieferung in 2014 und 2015 mit direkten Auswirkungen auf die Marktpreise, u.a. Dickschicht, zuspitzen wird.

<sup>146</sup> DGS, 2010, 10-9, bei Fleiflächen hat sich der Einsatz von CdTe-Modulen etabliert

Bei Großanlagen unterteilen sich die anteiligen Anlagenkosten für die Kristallinen- bzw. Dünnschichttechnologien wie folgt (siehe Abb. 7-4). Es wird deutlich, dass die erhebliche Reduzierung der Gestehungskosten zu einer Verlagerung der Erzeugung- und vor allem Montagekosten führt.

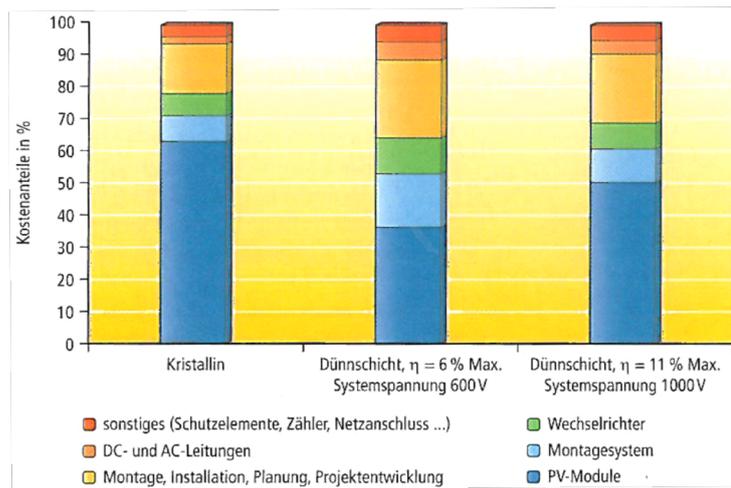


Abb. 7-4: Kostenaufteilung bei Großanlagen <sup>147</sup>

Die jährlichen Betriebskosten großer Photovoltaikanlagen betragen ca. 1 bis 2 % der Investitionskosten. <sup>148</sup>

### 7.1.2 Solarthermie (B)

Unter Solarthermie versteht man die Umwandlung von Solarstrahlung in Wärme. Mittels eines Solarkollektors, hauptsächlich bestehend aus einem Absorber, wird die absorbierte Wärme an ein Wärmeträgermedium wie Wasser, Luft, Öl oder Salz abgegeben und somit entsprechend den Anwendungsfällen nutzbar gemacht.

#### Technik

Je nach Einsatzgebiet und erforderlichen Temperaturen werden unterschiedliche Kollektoren verwendet. Die am häufigsten verwendeten Kollektorbauformen sind:

- der Solarabsorber,
- der Flachkollektor,
- der Vakuum-Röhrenkollektor,
- der CPC-Kollektor und
- der Luftkollektor.

<sup>147</sup> Ebd., S. 5-65

<sup>148</sup> Vgl. Quaschnig, 2011, S. 362.

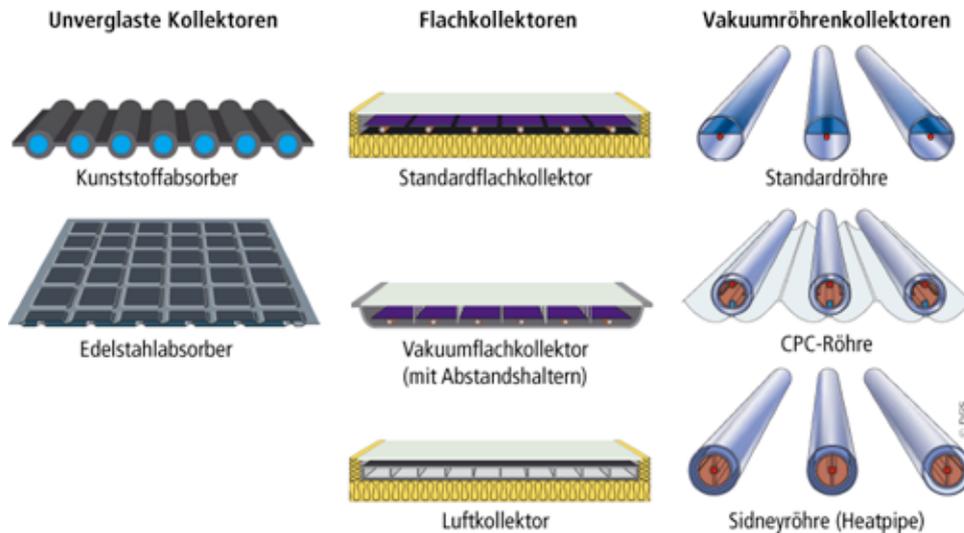


Abb. 7-5: Übersicht über SolarkollektorbaufORMen <sup>149</sup>

Der einfachste Kollektortyp ist ein Absorber. Aufgrund zunehmender Anforderungen an Wirkungsgrad und nutzbaren Temperaturniveau unter Berücksichtigung des Einsatzfalles wurden weitere, kompliziertere KollektorbaufORMen entwickelt.

Nachstehend sind verschiedene Kollektortypen mit entsprechendem Temperaturbereich dargestellt.

Kollektortyp	Konversionsfaktor	Temperaturbereich in °C
Absorber	0,82 bis 0,97	bis 40
Flachkollektor	0,66 bis 0,83	20 bis 80
Vakuum- Flachkollektor	0,81 bis 0,83	20 bis 120
Vakuum- Röhrenkollektor	0,62 bis 0,84	50 bis 120
Luftkollektor	0,75 bis 0,90	20 bis 50

Tab. 7-3: Einsatztemperaturen Solarkollektoren im Haushaltsbereich

In der nachfolgenden Darstellung (siehe Abb. 7-6) ist der Wirkungsgrad von verschiedenen Kollektortypen in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz dargestellt.

<sup>149</sup> I-EG, 2013

Aufgrund der relativ geringen Wirkungsgrade und der niedrigen erreichbaren Temperaturen werden die einfachen Absorber meist zur Erwärmung von Poolanlagen genutzt. Flachkollektoren können aufgrund ihrer besseren Dämmung höhere Wirkungsgrade und Temperaturen erreichen und eignen sich somit zur Warmwasserbereitung und zur Gebäudebeheizung vorwiegend im Ein- und Zweifamilienhausbereich. Bei Gebäuden mit höheren Anforderungen an Heiztemperaturen oder mit begrenzter, verfügbarer Dachfläche werden Vakuumröhrenkollektoren eingesetzt.

In Sonderfällen werden Hochtemperatur-Vakuumröhrenkollektoren zur Bereitstellung von Prozesswärme und zur solaren Klimatisierung von Gebäuden mit thermischen angetriebenen Kältemaschinen eingesetzt. Selten kommen auch Luftkollektoren für die Erwärmung von Luft für Lüftungssysteme zum Einsatz.

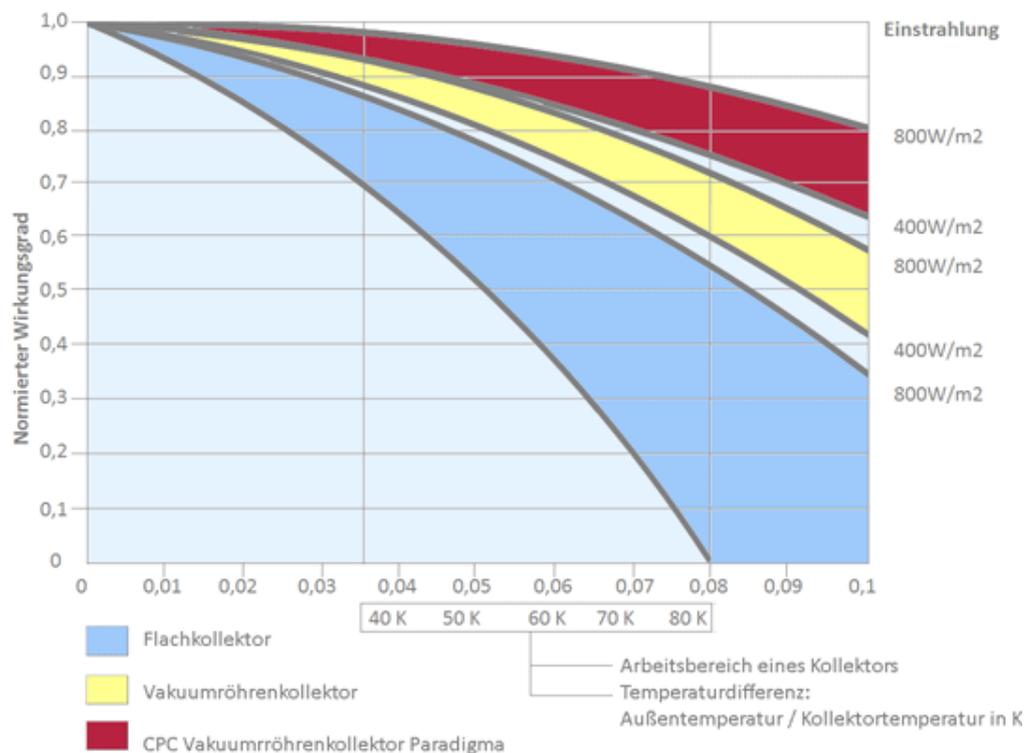


Abb. 7-6: Abhängigkeit der Wirkungsgrade diverser Kollektortypen in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz und der Einstrahlung<sup>150</sup>

<sup>150</sup> I-P, 2013

Über einen Umweg, sogenannte Konzentrierende Solarthermie (CSP), kann mittels Bündelung von direkter Sonnenstrahlung und einem nachgeschalteten Wärme-Kraft-Prozess elektrische Energie erzeugt werden. Diese Technologie ist aufgrund der klimatischen Bedingungen in Deutschland<sup>151</sup> nicht einsetzbar und wird daher in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet.<sup>152</sup>

Abgesehen vom typischen Anwendungsfall der Ein- und Zweifamilienhäuser haben sich in der Praxis für die zentrale Versorgung durch solarthermische Anlagen folgende drei Einsatzmöglichkeiten bewährt<sup>153</sup>:

- Wärmeversorgung von Frei- und Hallenbädern
- Wärmeversorgung von Sporthallen
- Wärmeversorgung mittels Nahwärmenetze für Siedlungen

Kollektortyp	Anwendungsfälle
Kunststoff-/Edelstahlabsorber	Erwärmung Poolanlagen
Flach-/ Vakuumflachkollektor	Warmwasserbereitung, Gebäudebeheizung
Vakuumröhrenkollektor (inkl. CPC- und Sidneyröhre)	Warmwasserbereitung, Gebäudebeheizung, Prozesswärme, Gebäudeklimatisierung
Luftkollektor	Lüftung
Konzentrierte Solarthermie (CSP)	Stromerzeugung

Tab. 7-4: Solarkollektortypen und deren Anwendungsgebiete<sup>154</sup>

Eine weitere wichtige Komponente einer solarthermischen Anlage ist der Solarspeicher. Dieser dient zum einem zum Ausgleich der Schwankungen des Energieangebotes durch

<sup>151</sup> Zum einem ist in Deutschland der Anteil der direkten Strahlung relativ gering und es werden auch keine hohen Strahlungswerte, d.h. um die 2.000 kWh pro m<sup>2</sup> und Jahr erreicht.

<sup>152</sup> I-RZ, 2011

<sup>153</sup> Vgl. Staab, 2011, S. 42

<sup>154</sup> Vgl. DGS-ST, 2009

die Sonne und zum anderen zum Ausgleich des zeitlichen Unterschieds zwischen Energieangebot und Nutzung.

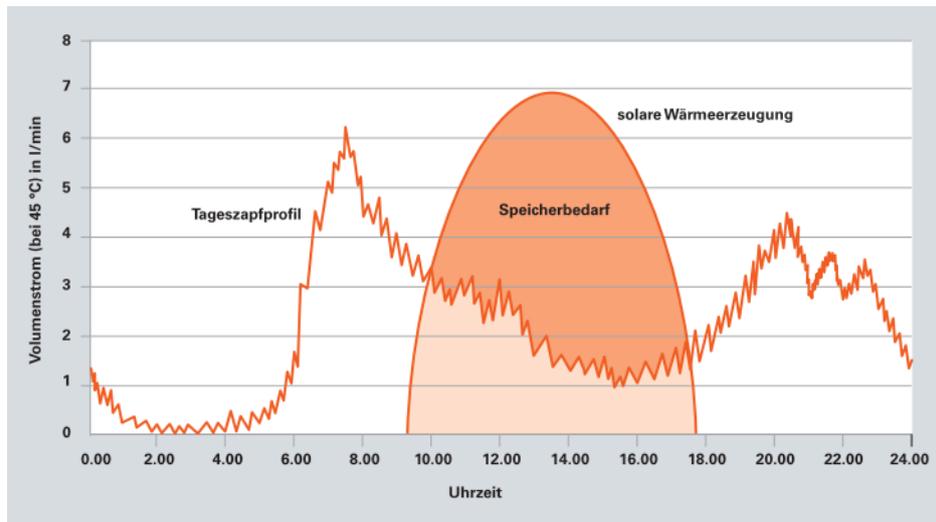


Abb. 7-7: Der Tagesverlauf des Zapfprofils eines Mehrfamilienhauses und das Solarwärmeangebot<sup>155</sup>

Je nach Anwendungsfall und Aufbau des Solarsystems unterscheidet man zwischen zwei typischen Speicherarten:

- Solarspeicher mit Trinkwasser (solare Warmwasserspeicher)
- Solarspeicher mit Heizungswasser (Heizungspufferspeicher)

<sup>155</sup> Vgl. Vie, 2008, S. 57



**Abb. 7-8: Solarspeicher mit Trinkwasser (links) und Heizungswasser (rechts)<sup>156</sup>**

Solarspeicher mit Trinkwasser kommen in Systemen zur Warmwasserbereitung zum Einsatz. Heizungspufferspeicher werden eingesetzt, wenn durch die solarthermische Anlage auch die Heizungsanlage unterstützt werden soll. Bei den Heizungspufferspeicher gibt es eine Evolutionsstufe, den sogenannten Kombi-Speicher, welche den Trinkwasser- und den Heizungspufferspeicher kombiniert. Diese Kombi-Speicher gibt es in verschiedenen Varianten.

### **Planung und Auslegung**

Die Anlagendimensionierung von solarthermischen Anlagen hängt vom Einsatzzweck ab. Typischerweise werden solche Anlagen für die Warmwasserbereitung ohne oder mit Heizungsunterstützung eingesetzt. Daher wird ausschließlich auf die Varianten zur Dimensionierung von Solarthermie-Anlagen zur Warmwasserbereitung ohne oder mit Heizungsunterstützung eingegangen.

Als Anhaltspunkte zur technischen Dimensionierung dienen der solare Deckungsgrad und der Solarertrag.

---

<sup>156</sup> Vgl. Vie, 2008, S. 61 f.

---

Der solare Deckungsgrad bezeichnet den „... Anteil der gesamten benötigten Energie durch eine Solarthermie Anlage geliefert wird. Für Anlagen, die ausschließlich der Warmwasserbereitung dienen, ist ein Deckungsgrad von etwa 50 Prozent typisch, für Anlagen mit Heizunterstützung ein deutlich niedrigerer Deckungsgrad. Höhere Deckungsgrade sind technisch möglich, erweisen sich aber fast immer als unwirtschaftlich.“<sup>157</sup>

Auf den ersten Blick scheint der solare Deckungsgrad gleich dem Solarertrag zu sein, aber als Solarertrag wird „... die Menge tatsächlich nutzbarer Wärmeenergie bezeichnet, die eine Solarthermie Anlage erzeugt. Der Solarthermie Ertrag ist geringer als die erzeugte Wärmemenge, weil Wärme nicht immer genutzt werden kann. Insbesondere Solarthermie Anlagen mit Heizunterstützung liefern im Sommer deutlich mehr Energie, als benötigt wird.“<sup>158</sup>

Da die verfügbare Sonnenenergie in Deutschland über das Jahr stark differiert, stellt die Solaranlage in den Sommermonaten einen Großteil der benötigten Energie zur Verfügung. In den Wintermonaten sinkt der solare Deckungsgrad rapide. Die restliche benötigte Energie muss daher anderweitig zur Verfügung gestellt werden.

Weitere Einflussfaktoren auf den solaren Ertrag sind folgende Komponenten, welche auch aufeinander Einfluss haben:

- Kollektorfeldgröße
- Speichergröße und -system
- Gebäudedämmung
- Nutzung bzw. Nutzerverhalten

Bei Anlagen zur Heizungsunterstützung wird eine größere Kollektorfläche benötigt. Ein größerer Pufferspeicher ermöglicht die Verschiebung der Nutzungszeiten durch Speicherung der solaren Wärme. Durch eine bessere Gebäudedämmung besteht ein geringerer Wärmebedarf und somit kann ein höherer solarer Deckungsgrad, vor allem in den Übergangsmonaten März, April, Mai, September, Oktober und November, erreicht werden. Ein weiterer Einflussfaktor auf den solaren Ertrag hat die Nutzung. So ist es

---

<sup>157</sup> Vgl. I-SN, 2013

<sup>158</sup> Vgl. Ebd.

möglich die Solarkollektoren in westliche Richtung auszurichten, wenn bekannt ist, dass der Nutzer bevorzugt abends duscht oder badet und somit eine Korrelation von Anfall und Nutzung der Energie vorhanden ist.

Eine Faustregel bei der Anlagenplanung lautet: „Die optimale Ausrichtung des Dachs weist nach Süden. Die optimale Dachneigung beträgt für eine Solarthermie Anlage zur Warmwasserbereitung 30 bis 50 Grad, für eine Anlage mit Heizunterstützung 45 bis 70 Grad. Wenn entweder die Ausrichtung oder die Neigung in etwa dem optimalen Wert entspricht, kann der andere Parameter in weiten Grenzen variieren, ohne dass es zu erheblichen Verlusten kommt. Um mehr als 90 Grad sollte die Ausrichtung jedoch nicht von der Südrichtung abweichen. Auch ein optimal geneigtes Norddach bereitet wenig Freude.“<sup>159</sup> Die folgende Abbildung zeigt die Abhängigkeit des Solarertrages von der Dachneigung und –ausrichtung.

Als Anhaltspunkt zur groben Anlagendimensionierung kann man sagen, dass „1 m<sup>2</sup> Koll.-Fläche ... ca. 400 kWh Wärme“<sup>160</sup> erzeugt.

Den größten Einfluss auf den Solarertrag hat die jährliche Sonneneinstrahlung, die in Deutschland different vorhanden ist. „Besonders günstige Standorte liegen an der Ostsee und im Süden Deutschlands.“<sup>161</sup> Ebenfalls wichtig ist, dass Neigung und Ausrichtung des Dachs ungefähr den optimalen Werten entsprechen. Sind die Abweichungen nicht zu gravierend, ist eine Kompensation über eine geringfügig größere Kollektorfläche möglich.

---

<sup>159</sup> Vgl. Ebd.

<sup>160</sup> I-SB, 2013

<sup>161</sup> <http://www.solarthermie.net/wirtschaftlichkeit/ertrag>

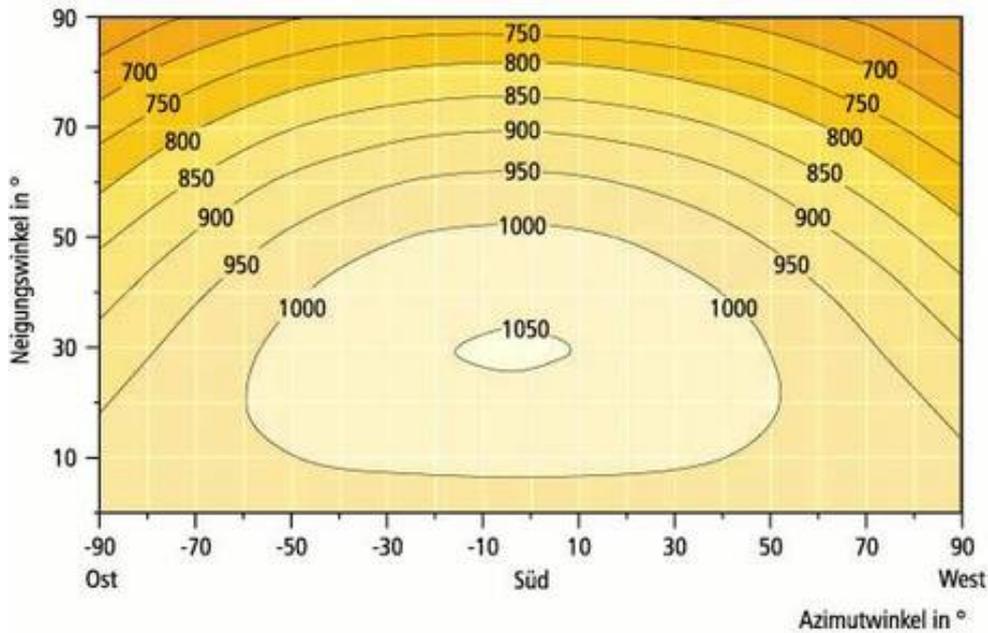


Abb. 7-9: Einfluss der Dachneigung und -ausrichtung auf die jährlich eingestrahlte Energiemenge<sup>162</sup>

Bei der Versorgung mittels Nahwärmenetze sind kompakte Siedlungsstrukturen aus Gründen der verringerten Netzverluste und erhöhten Speicherdichte zu bevorzugen.

### Wirtschaftliche Faktoren

Die Kosten von solarthermischen Anlagen variieren in Abhängigkeit von der Anlagenart, dem Standort, dem Anwendungsfall und der Anlagengröße. Bei zunehmender Anlagengröße gehen die Aussagen zu den Kosten zurück. Für kleinere Anlagen, wie Ein- und Zweifamilienhäusern, existieren standardisierte Pakete mit bekannten Kosten.

„Für den Kauf inklusive Installation einer typischen Solaranlage zur Trinkwasserbereitung im Einfamilienhaus (ca. 4 bis 6 m<sup>2</sup> Kollektorfläche, 300 bis 400 Liter Solarspeicher) müssen Sie mit ca. 4.000 bis 5.000 Euro rechnen. Für übliche Solaranlagen zur Heizungsunterstützung können Sie größenabhängig mit Preisen von 8.000 bis ca. 10.000 Euro, bei sehr großer Dimensionierung oder kompliziertem Aufbau auch bis zu 12.000 Euro rechnen“<sup>163</sup>.

<sup>162</sup> Vgl. DGS-ST

<sup>163</sup> Vgl. DGS-ST, S. 9

Die nachfolgende Abbildung zeigt die sinkenden spezifischen Kosten in Abhängigkeit der Anlagengröße bis zu 80 m<sup>2</sup>. Es ist zu erkennen, dass die Schwankung der spezifischen Kosten bei kleineren Anlagen größer ist als bei größeren Anlagen. Gleichzeitig fallen die spezifischen Kosten nicht linear, sodass die Senkung bei kleineren Anlagen größer ausfällt als bei größeren Anlagen.

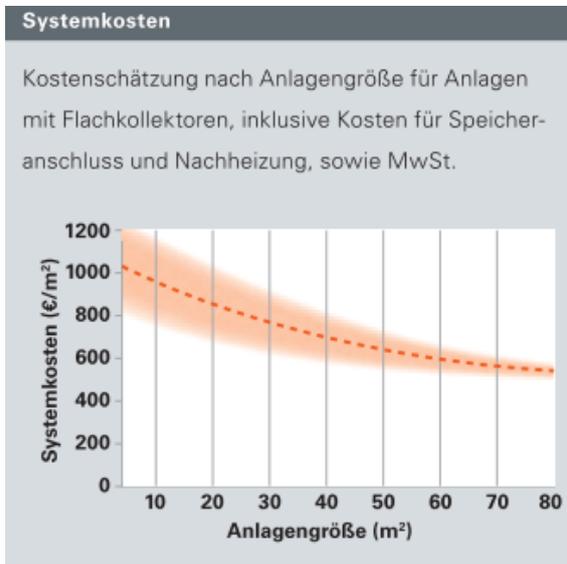
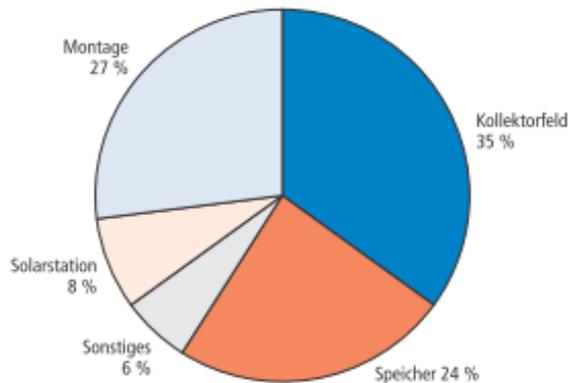


Abb. 7-10: Systemkosten für solarthermische Anlagen bis 80 m<sup>2</sup> <sup>164</sup>

Prüft man die Kostenstruktur kleinerer Anlagen (siehe Abb. 7-10) ist zu erkennen, dass die Materialkosten ca. 65 % ausmachen. Dieser Posten unterliegt dem Skalierungsgesetz und entsprechend wächst der prozentuale Anteil an Montagekosten mit zunehmender Quadratmeterzahl.

<sup>164</sup> Vgl. Vie, 2008, S. 179



**Abb. 7-11: Kostenstruktur thermischer Anlagen zur Warmwasserbereitung in Ein- und Zweifamilienhäusern<sup>165</sup>**

Bei Nahwärmenetzen mit zentralen solarthermischen Anlagen ergeben sich folgende Vorteile:<sup>166</sup>

- Geringere spezifische Kosten bei großen Kollektorfeldern (Skalierungseffekt).
- Geringerer Unterschied zwischen solarem Energieangebot und Nutzung.
- Zentralisierung der Anlagenregelung, -betrieubung und -überwachung.
- „Das Kosten-/Nutzenverhältnis (Investitionskosten/jährlicher Solarertrag) ist bei Systemen mit Langzeitwärmespeicher ... um mehr als 20 Prozent besser als bei kleinen Anlagen.“<sup>167</sup>

<sup>165</sup> Vgl. DGS-ST, S. 9

<sup>166</sup> Vgl. Staab, 2011, S. 44

<sup>167</sup> Ebd.

#### **7.1.4 Windenergie (A)**

Die Windenergie ist eine indirekte Energieform der Sonne. Der Wind wird dabei von den, durch die Sonneneinstrahlung verursachten, Temperaturunterschieden hervorgerufen. „Bei der Nutzung der Windkraft soll dem Wind Leistung entnommen werden. Dies erfolgt, indem der Wind durch eine technische Anlage, zum Beispiel eine Windturbine, von der Windgeschwindigkeit  $v_1$  auf die Windgeschwindigkeit  $v_2$  abgebremst und die dadurch entstehende Leistungsdifferenz genutzt wird.“<sup>168</sup>

Bei der Nutzung von Windkraftanlagen werden zwei Begrifflichkeiten - Onshore und Offshore - unterschieden. Unter Onshore wird die Nutzung der Windkraft auf dem Binnenland verstanden. Offshore beschreibt den Ausbau auf offener See.<sup>169</sup>

Mit der Betrachtung der Energieversorgung von Städten ist für die dezentrale, autarke Energiebereitstellung, u.a. zur Vergleichbarkeit von Städten, die Onshore-Windkraft vorzuziehen. Es erfolgt daher die Vertiefung dieser Windkrafttechnologie.

#### **Technik**

Seit den ersten Entwicklungen von Windkraftanlagen (hier zur Wasserförderung) des ca. im 7. Jahrhunderts nach Christus, werden Windkraftanlagen heutzutage nahezu vollständig zur Umwandlung in und Nutzung von elektrischer Energie eingesetzt.<sup>170</sup>

Hierbei werden die Windkraftanlagen bzgl. ihres Antriebs und der jeweiligen Drehachse unterschieden. Widerstandsläufer erlangen dabei durch die senkrechte Ausrichtung von Bestandteilen der Windkraftanlagen zum Wind ihre Antriebsleistung.<sup>171</sup> Aufgrund des bedingten Effizienzgrades dieser Antriebsform, werden heutzutage nahezu ausschließlich Auftriebsläufer eingesetzt. Dabei sorgt die Windumströmung durch die Form der Rotations-

---

<sup>168</sup> Quaschnig, 2011, S. 247

<sup>169</sup> Vgl. Gasch et al, 2011, S. 131, Zudem wird unter Offshore die Oberflächenrauigkeit infolge des Wellengangs erfasst.

<sup>170</sup> Vgl. Quaschnig, 2011, S. 239

<sup>171</sup> Ebd., S. 249

blätter an der oberen Seite für hohe Strömungsgeschwindigkeiten und Überdruck. Die Folge ist Auftrieb mit zugehörigem Unterdruck an der unteren Seite. (siehe Abb. 7-12)<sup>172</sup>

Parallel sind Windkraftanlagen mit horizontaler und vertikaler Drehachse zu differenzieren. Als Vertikaldreher werden Savonius-, Darrieus- und H-Rotoren eingesetzt. (siehe Abb. 7-13)

Die relativ einfache Konstruktionsart und der Getriebeeinbau z.T. im Boden, sind Vorteile dieser Anlagen, welche u.a. die Wartung erheblich vereinfachen. Infolge des Vertikalaufbaus, sind sie nicht dem Wind nachzuführen. Dennoch werden Horizontaldreher bevorzugt errichtet. Gründe hierfür sind der höhere Wirkungsgrad bzw. der geringere Materialverschleiß infolge der geringeren Lastwechselbeanspruchung.<sup>174</sup>

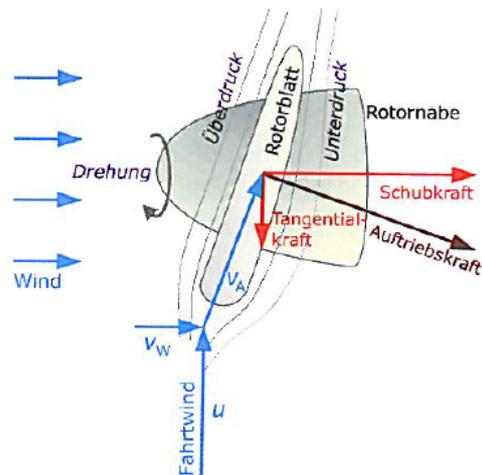


Abb. 7-12: Auftriebsläufer, Kräfte und Windgeschwindigkeiten eines Rotorblattes<sup>173</sup>

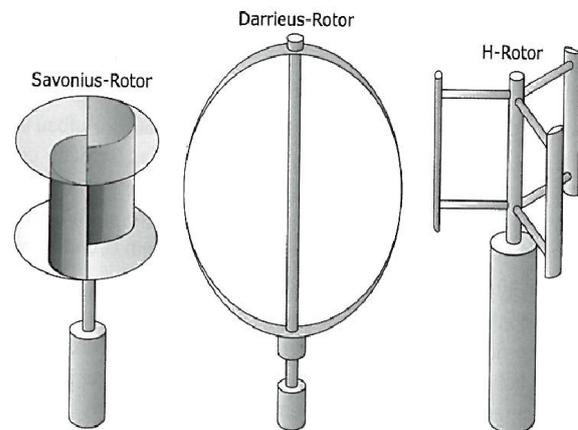


Abb. 7-13: Windkraftanlagen mit vertikaler Drehachse<sup>175</sup>

Windkraftanlagen mit horizontalen Drehachsen besitzen u.a. folgende Anlagenbestandteile (siehe Abb. 7-14)

- Fundament und Turm (Gitter, Stahl, Betonmast etc.) sowie Gondel (je nach Größe/Abmaß der WKA und Leistung)
- Rotorblatt (1- bis 3-Blatt-Rotoren) und
- Nabe sowie Bremse (u.a. über Generator und Blattspitze (aerodynamisch))

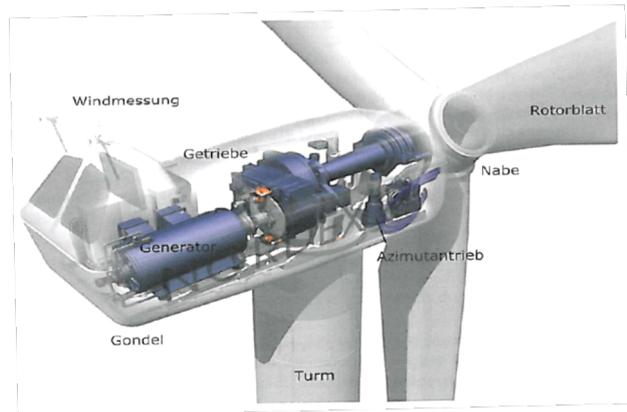
<sup>172</sup> Vgl. Quaschnig, 2011, S. 251

<sup>173</sup> Quaschnig, 2011, S. 251

<sup>174</sup> Vgl. Ebd., S. 255 ff.

<sup>175</sup> Quaschnig, 2011, S. 255

Von der Anlagentechnik ist der Aufbau heutzutage mit und ohne Getriebe möglich.<sup>176</sup> Dabei sind die vor allem Leistungs- und kostenmäßigen Vor- und Nachteile kritisch abzuwägen. Bzgl. der Windnachführung von Luv- und Leeläufern haben sich zur Vermeidung von Beeinflussungen durch den „Windschatten des Turms“ die Luvläufer durchgesetzt.<sup>177</sup>



**Abb. 7-14: Windkraftanlagen mit horizontaler Drehachse, Aufbau und Komponenten**<sup>178</sup>

Hervorzuheben sind technikseitig die Stall- und Pitch-Regelung, welche zwei Möglichkeiten zur Leistungsbeeinflussung (-begrenzung) beschreiben. Infolge der sehr statischen Regelungsmöglichkeit des Stallbetriebes, hat sich der Pitch-Betrieb durchgesetzt. Eine bewusste Einstellung des Rotorblattes und die direkte, stufenweise Beeinflussung der Leistungen sind hier ein entscheidender Vorteil. Die Pitch-Regelung wird zudem in Extremwetterlagen genutzt, wobei der Rotor aus dem Wind gedreht wird.<sup>179</sup>

Hinsichtlich der Anlagendimensionierungen befinden sich maximale Rotordurchmesser von bis zu 150 m aktuell in ersten Projekten im Einsatz.<sup>180</sup> Die Anlagenleistungen reichen bis zu 7,5 MW.<sup>181</sup> Im Onshore-Bereich haben sich derzeit Türme aus Beton bzw. Betonstahlverbund mit 1 bis 2 MW-Anlagen<sup>182</sup> und Höhen um die 100 m durchgesetzt.

<sup>176</sup> Vgl. Gasch et al, 2011, S. 536 Bei Windkraftanlagen mit Getriebe erhöht die gesamte Konstruktion die niedrige Drehzahl des Rotors auf eine für den Generator benötigte Drehzahl. Bei getriebelosen Windkraftanlagen ist der Rotor des Generators direkt mit der Rotorwelle verbunden  
B. G. Teubner Verlag 2010, 6. Auflage.

<sup>177</sup> Quaschnig, 2011. S. 262, „Beim Luvläufer läuft der Rotor in Windrichtung vor dem Turm, beim Leeläufer hinter dem Turm.“

<sup>178</sup> Ebd., S. 257

<sup>179</sup> Vgl. Ebd., S. 260 ff., Bei der Stall-Regelung werden Drehzahl und Geschwindigkeitsveränderungen vorgenommen, wobei das Rotorblatt ansich unverändert bleibt. Dadurch wird bei hohen Anstellwinkeln ein Strömungsabriss (Stall) erwirkt.

<sup>180</sup> Vgl. I-IG, 2013

<sup>181</sup> Vgl. Koeppen, 2011, Kapitel 1.5, Seite 26

<sup>182</sup> Vgl. I-FE, 2012, durchschnittliche Leistung aller WKA in Deutschland je Anlage beträgt ca. 1,3 kW

## Planung und Auslegung

Planerisch sind im Rahmen der Standortbestimmung und Anlagenauslegung vor allem folgende Inhalte als maßgeblich Ertragsgröße zu beachten: die Windgeschwindigkeit und die Anlagenhöhe. Die Windgeschwindigkeit nimmt dabei mit steigender Höhe zu und geht bei der Ertragsermittlung mit der dritten Potenz in die Berechnung ein.<sup>183</sup>

Bezugnehmend auf die Stadtversorgung können Anlagen allein auf Freiflächen errichtet werden. Dabei sind genehmigungsrechtliche und ertragstechnische Herausforderungen zu klären, u.a.: der Einhaltung von Umweltbedingungen, Klima-, Landschaftsschutz und möglichen Lärmbeeinträchtigungen in Stadtnähe sowie der direkten Umgebung (u.a. Oberflächenrauigkeit, Abstand zu anderen Windkraftanlagen, Nachbarbebauung, Schattenwurf etc.).

Hierbei sind bzgl. des Anlagenbetriebes die Anteile der Ausfallhäufigkeiten der Anlagen zu beachten. Die Jahresstunden der Windkraftanlagen sind in Abb. 7-15 enthalten.

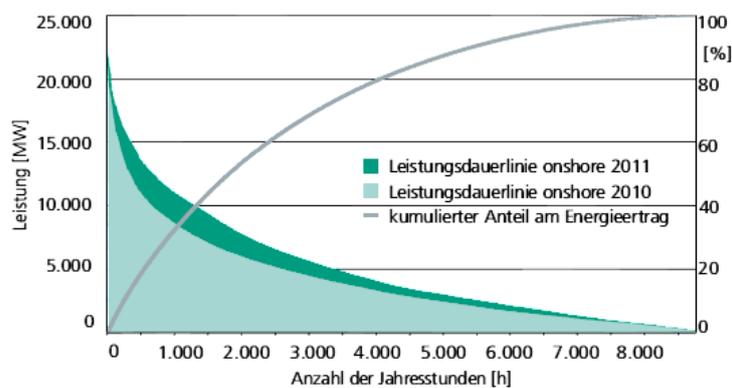


Abb. 7-15: Windkraftanlagen mit horizontaler Drehachse, Aufbau und Komponenten<sup>184</sup>

<sup>183</sup> Vgl. hierzu auch Gasch et al, 2011, S. 543, Darin ist eine Grafik mit Ertragsangaben abhängig von mittlerer Windgeschwindigkeit und Nabenhöhe erfasst.

<sup>184</sup> Fraunhofer, 2012, S. 19

Daran besitzen u.a. nachstehende Anlagenkonzepte einen großen Einfluss:

- Asynchrongenerator / Synchrongenerator mit direkter Netzkopplung bzw. Umrichter
- Inselnetzanlagen

Im Ergebnis der Dimensionierung wird die Auslegung der Wirkungsgrade ersichtlich. Sie wird von folgenden Faktoren beeinflusst:

WKA 60 Ø 60 m, 13 m/s Abgegebene el. Leistung 1176 kW	Gesamt- wirkungsgrad	Komponente	Einzel- wirkungsgrad
Windleistung	100,0%		
Rotorwellenleistung	39,6%	$c_p$	39,6%
nach dem Lager	39,4%	Lager	99,6%
Generatorwellenleistung	38,3%	Getriebe	97,2%
El. Leistung am Generator	37,0%	Generator	96,5%
nach dem Frequenzumrichter	35,7%	Frequenzumrichter	96,5%
nach Kompensation und Filter	35,1%	Kompensation und Filter	98,3%
Am Transformator abgegebene elektrische Leistung	34,4%	Transformator	98,0%
Leistung am Abrechnungspunkt	30,4%	Leitung bis zum Abrechnungspunkt	z.B. 97% *)
Abgegebene Leistung abzüglich Wirkleistungseigenbedarf ca. 3% *), getrennte Abrechnung	27,4%		

\*) Beispiel WEA Dummersdorfer Ufer, s. Kap. 5

Tab. 7-5: Beeinflussung von Wirkungsgraden bei Windkraftanlagen <sup>185</sup>

### Wirtschaftliche Faktoren

Nach den Preisentwicklung schwanken die Preise aktuell in Abhängigkeit der Leistung und Rotorfläche zwischen ca. 800 bis 1.250 €/kW (Anlagen von ca. 500 bis 2000 kW) bzw. 280 bis 480 €/m<sup>2</sup> (Anlagen von ca. 500 bis 2000 m<sup>2</sup>). Dabei ist entscheidend, welche Inhalte jeweils innerhalb der Kosten berücksichtigt werden. In nachstehender Grafik sind

<sup>185</sup> Koeppen, 2011, Kapitel 4.1, Seite 2 Bsp. Dummersdorfer Ufer, Kapitel 5

weitere Details zu spezifischen Investitionskosten von Windkraftanlagen enthalten. Darin wurden die Transformatoren und die Netzanbindung nicht monetär berücksichtigt.<sup>186</sup>

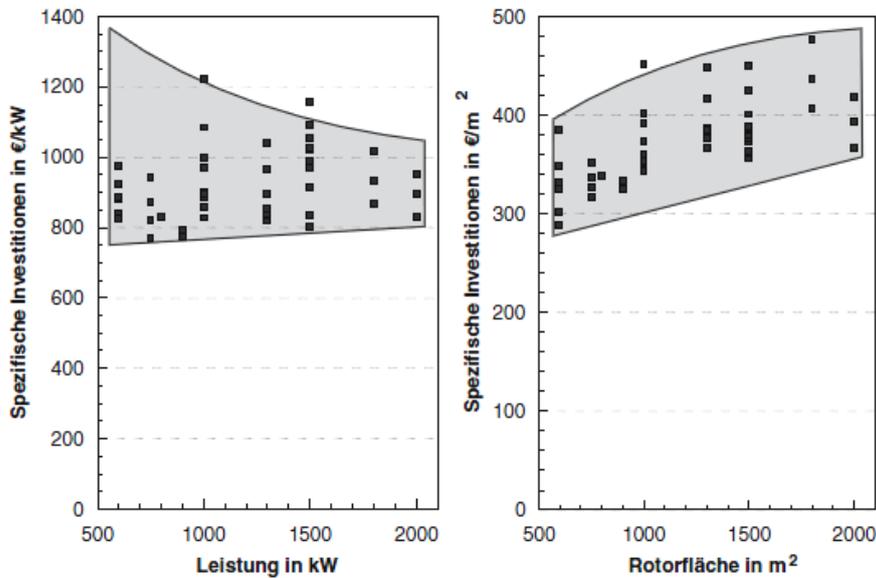


Abb. 7-16: Spezifische Investitionen von Windkraftanlagen (ohne Trafo und ohne Netzanbindung)<sup>187</sup>

Spezifische Investitionsnebenkosten sind in Abhängigkeit des Standortes und Projektumfangs mit 16 bis 52 % stark variabel – folgende Anteile (Auszug) sind dabei bezogen auf die Anlagenkosten zu berücksichtigen:<sup>188</sup>

- Erschließung ca. 1 bis 5 %
- Planung ca. 1,5 bis 3 %
- Fundamentierung ca. 3-9 %
- Netzanschluss ca. 5-30%

Die jährlichen Betriebskosten der Windkraftanlagen betragen ca. 2 bis 4 % der Anlagenkosten.<sup>189</sup>

<sup>186</sup> Kaltschmitt et al, 2006, S.327, Gasch et al, 2011, S. 519 führt Kosten von ca. 600 kW mit ca. 615 €/kW bzw. 1.200 kW mit ca. 530€/kW an – es ist darauf hinzuweisen, dass divergierende Kostenbestandteile angesetzt wurden

<sup>187</sup> Kaltschmitt et al, 2006, S.327

<sup>188</sup> Ebd., S.328

<sup>189</sup> Ebd.

### 7.1.5 Wasserkraft (A)

Die Wasserenergie ist eine indirekte Energieform der Sonne.<sup>190</sup> 98 % des Wassers auf der Erde ist flüssig und von den ca. 1,4 Mrd. km<sup>3</sup> Wasser, sind über 70 % als mit Wasser bedeckte Oberfläche der Erde sichtbar.<sup>191</sup> Bei der Nutzung des Wassers zur Energieerzeugung wird die Wasserkraft<sup>192</sup> genutzt und in Energie umgewandelt. Technisch ließe sich ca. 25 % des Wassers aus Flüssen und Seen nutzen. Dies entspricht ca. 10 % des derzeitigen globalen Primärenergiebedarfs, welche durch Wasserkraft erzeugbar bzw. abdeckbar wäre. Daran besitzt Deutschland einen Anteil von ca. 4 Prozent und liegt damit unter dem vorgenannten Weltdurchschnitt.<sup>193</sup>

#### Technik

Als eine der ältesten regenerativen Energieerzeugungsformen werden in Deutschland bereits seit 1891 größtenteils zur Stromerzeugung, aktuell durch folgende Anlagentypen, eingesetzt.<sup>194</sup>

- Laufkraftwerke
- Speicherkraftwerke

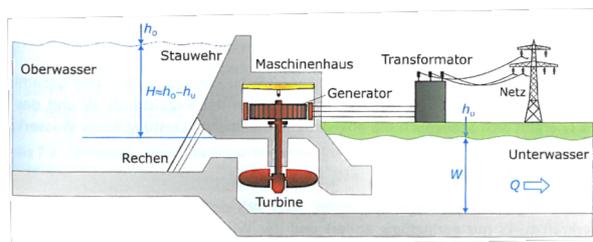


Abb. 7-17: Laufwasserkraftwerk<sup>195</sup>

Abb. 7-18: Speicherkraftwerk<sup>196</sup>

<sup>190</sup> Vgl. Kaltschmitt et al, 2006, S. 12

<sup>191</sup> Vgl. Quaschnig, 2011, S. 295

<sup>192</sup> Vgl. Staab, 2011, S. 62: der Flüsse und Seen bzw. künstlichen Stauanlagen zur „Stromversorgung eingesetzt, wobei die kinetische und potentielle Energie des Wassers fast ausschließlich mittels Turbinen und, weniger verbreitet, mittels Wasserrädern in mechanische Rotationsenergie umgewandelt wird“

<sup>193</sup> Vgl. Quaschnig, 2011, S. 295

<sup>194</sup> Ebd., S. 299

<sup>195</sup> Ebd.

<sup>196</sup> Ebd., S. 301

Beide Anlagen nutzen das natürlich vorkommende Wasser, an Flüssen und Seen bzw. Talsperren und Bergseen. In Deutschland verteilen sich vorgenannte Anlagen mit ca. 80 zu 20 Prozent.<sup>197</sup> Laufkraftwerke werden dabei für die kontinuierliche Stromerzeugung und Speicherkraftwerke für die Speicherung bzw. zum Ausgleich schwankender und erhöhter Energiebedarfe, Frequenzhaltung, eingesetzt.<sup>198</sup>

Ein sehr großer Anteil der Speicherkraftwerke in Deutschland ist der Sonderform der Pumpspeicherkraftwerke zuzuordnen, welche „bei einem Stromüberschuss Wasser (künstlich) aus einem tiefer gelegenen Becken in ein höheres gepumpt wird.“<sup>199</sup>

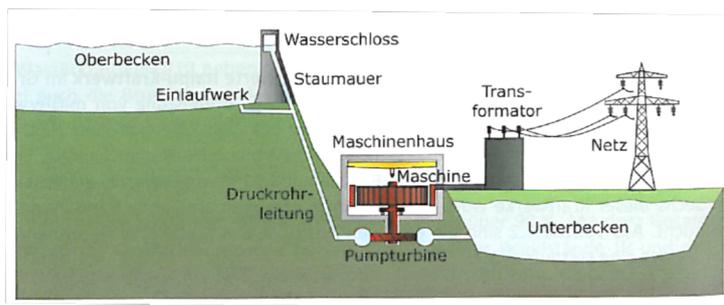


Abb. 7-19: Pumpspeicherkraftwerk<sup>200</sup>

Von den aktuell ca. 10.000 deutschen Wasserkraftanlagen werden folgende Anlagengrößen unterschieden:<sup>201</sup>

- Kleinwasserkraftanlagen, Leistung > 1.000 kW
- Kleinstwasserkraftwerke (bzw. Mikro-), Leistung von 0,2 bis 100 kW

Für den Betrieb bis 45 kW ist der Einsatz von Wasserrädern möglich. Turbinen sind in allen technischen Größen und Auslegungen einsetzbar. Hierbei werden zur Speicherung nachfolgende Turbinen verbaut.

<sup>197</sup> Vgl. Staab, 2011, S. 62

<sup>198</sup> Vgl. Quaschnig, 2011, S. 302ff.

<sup>199</sup> Staab, 2011, S. 62

<sup>200</sup> Quaschnig, 2011, S. 303

<sup>201</sup> Vgl. Staab, 2011, S. 63

Insbesondere in Großkraftwerken erfolgt der Einsatz sehr leistungseffiziente Turbinen:

- Francis-, Kaplan- sowie
- Pelton- (Durchström-Turbine) (siehe Abb. 7.4)

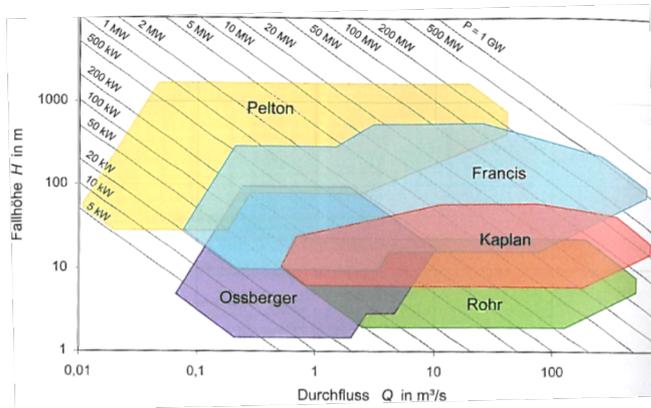


Abb. 7-20: Turbinenarten<sup>202</sup>

Weitere Anlagen zur Nutzung von Wasserkraft sind:

- Gezeiten-
- Meeresströmungs-
- Wellenkraftwerke.

Bei den Gezeitenkraftwerken wird die potentielle Energie der Gezeiten genutzt. Insbesondere in regionalen Bereichen großer Höhenunterschieden erfolgt an der Küste die Abtrennung einer Bucht durch einen Damm, in welcher das diskontinuierlich einströmende Wasser eine Turbine antreibt und über einen weiteren Generator elektrische Energie erzeugt wird.<sup>203</sup>

Meeresströmungskraftwerke sind einfacher in die Natur einbringbar. Vorgenannte Kraftwerke sind vom Aufbau vergleichbar mit Windkraftanlagen, welche mittels des deutlich dichteren Mediums Wasser (im Vergleich zu Luft) umströmt werden und dadurch bei „deutlich geringeren Strömungsgeschwindigkeiten als Windkraftanlagen hohe Leistungsausbeuten erzielen.“<sup>204</sup>

<sup>202</sup> Quaschnig, 2011, S. 305

<sup>203</sup> Vgl. Staab, 2011, S. 63

<sup>204</sup> Staab, 2011, S. 64

Wellenkraftwerke besitzen seit Jahren große Erwartungen, in Deutschland „deutschen Gewässern betragen die nutzbaren Potenziale weniger als ein Prozent des Elektrizitätsbedarfs.“<sup>205</sup>

### **Planung und Auslegung**

Die Planung von Wasserkraftanlagen wird in sehr umfassenden und anlagenbezogen divergierenden Verfahren und Aufwänden durchgeführt. Die Beschreibung überschlägiger Planungsformeln, z.B. ähnlich der PV-Technologie, sind hier nicht gegeben.<sup>206</sup>

Die Planung von Laufwasserkraftwerken erfordert die Einholung und Zusammenführen von Daten des Gewässers und bestehender Abhängigkeiten. Aufgrund z.T. erheblicher Einflüsse auf die Umwelt/Natur, ist die Wasserkraftnutzung mit der Absicherung und Abwägung von Vor- und Nachteilen, u.a. zur Gegenwirkung des Treibhauseffektes, hinsichtlich möglicher Potenziale oder Auswirkungen erforderlich.<sup>207</sup>

Die wichtigste Planungsgröße stellt dabei der „Verlauf des Wasserabflusses über ein Jahr“<sup>208</sup> dar, welcher, in Abhängigkeit der Niederschlagsereignisse, flussbezogen ermittelt wird und nach Sortieren dieser Ergebnisse zur Jahresdauerlinie<sup>209</sup> führt.

Zur Ermittlung des Ausbaustandard<sup>210</sup> sind Abwägungen zwischen der maximalen Höhe der Stromerzeugung und den Intervallen und Dauern von Über- sowie Unterschreitung der Abflussmenge zum Ausbauabfluss durchzuführen und zu treffen. Die maximale spezifische Stromerzeugung wird bei Turbinen, mit hohen Ausbauabflüssen erlangt.<sup>211</sup> Auf ein Jahr bezogen sind die Stillstands- bzw. Drosselungs- und Teillastzeiten der Turbinen zu beachten.

Für die optimale Nutzung der Turbinen ist daher ein „niedrigerer Ausbauabfluss zu wählen. In der Realität bestimmt meist ein Kompromiss aus maximaler Stromerzeugung

---

<sup>205</sup> Quaschnig, 2011, S. 312

<sup>206</sup> Vgl. Staab, 2011, S. 64

<sup>207</sup> Vgl. Quaschnig, 2011, S. 299

<sup>208</sup> Vgl. Staab, 2011, S. 64, beschreibt die über den Flusslauf entlang strömende Wassermenge

<sup>209</sup> Vgl. Staab, 2011, S. 64, „Diese gibt an, an wie vielen Tagen im Jahr der Fluss eine bestimmte Abflussmenge erreicht oder überschreitet“

<sup>210</sup> Vgl. Staab, 2011, S. 64, „das ist die Wassermenge, bei der das Kraftwerk seine volle Leistung erreicht“

<sup>211</sup> Vgl. Quaschnig, 2011, S. 298

und optimaler Turbinenausnutzung den Ausbauabfluss.“<sup>212</sup> Dabei sind Wirkungsgrade bis 80 Prozent möglich Quaschnig.<sup>213</sup>

Die jährliche Ausnutzungsdauer in Deutschland betrug im Jahre 1997:<sup>214</sup>

- |  |             |
|--|-------------|
| - öffentliche Speicherwasserkraftwerke   | ca. 1.950 h |
| - Pumpspeicher mit natürlichem Zufluss   | ca. 902 h   |
| - Pumpspeichern ohne natürlichen Zufluss | ca. 780 h   |

Prognostisch besitzen zukünftige Modernisierungen und Wirkungsgradsteigerungen vorhandener Anlagen bzw. Neubauten von Kleinstkraftwerken die größten Potenziale der Umsetzung.<sup>215</sup> Einen planerischen Reiz besitzen vorgenannte Anlagen insbesondere für Kommunen aufgrund:<sup>216</sup>

- Bestand noch alter, bislang ungenutzter Wasserrechte
- aufgrund Objektgröße sind Sanierungs-/Reaktivierungskosten wirtschaftlich investierbar
- Naturschutzbelange sind realistisch und erfüllbar
- bislang nicht genutzte Potenziale (u.a. Regen-, Abwasserableitungssystemen, Kläranlagen) sind in dieser Größenordnung zur Energiegewinnung verwendbar
- Ergebnis: Deckung keiner vollständigen Stadt, aber beachtlicher Anteil der städtischen Stromversorgung (Bsp. Region Marburg, Stadt Amöneburg, seit 2008 Versorgung aller städtischer Liegenschaften mit Strom aus Wasserkraft)

## Wirtschaftliche Faktoren

Die Wirtschaftlichen Faktoren von Wasserkraftanlagen sind sehr vielfältig, da der Standort, die eingesetzte Technologie, die Betriebsdauer und -art erheblichen Einfluss auf

---

<sup>212</sup> Staab, 2011, S. 65

<sup>213</sup> Vgl. Quaschnig, 2011, S.303, reale Wirkungsgrade lagen in 1997 bei ca. 70%

<sup>214</sup> Vgl. ebd.

<sup>215</sup> Vgl. Quaschnig, 2011, S.303

<sup>216</sup> Vgl. Staab, 2011, S. 65, S. 66: „Größter Vorteil der Wasserkraft ist die im Vergleich zur Solarenergie oder Windkraft relativ gleichmäßige Leistungsabgabe und damit Grundlastfähigkeit. Das erhöht die Planbarkeit in einem Energiemix aus unterschiedlichen regenerativen Energien. Bei einem steigenden Anteil von regenerativen Energien an der Stromversorgung nimmt auch die Bedeutung von Speicher- und Pumpspeicherkraftwerken zu, da diese zur Vergleichmäßigung des Stromangebotes beitragen.“

die Gesamterlöse haben.<sup>217</sup> Für die finale Bewertung der Stromgestehungskosten ist die Gegenüberstellung erforderlich von:<sup>218</sup>

- Betriebsdauer und Investitionskosten der Errichtung sowie Anlagenherstellung

Grundsätzlich besitzt die Errichtung von Großanlagen über 100 MW besondere wirtschaftliche Anreize, da die Gestehungskosten großer Kraftwerke anteilig sinken.<sup>219</sup> Speziell die Laufwasser- und Speicherkraftwerke sind bislang die wirtschaftlichsten Stromerzeugungsarten.<sup>220</sup> Eine Übersicht ist in nachstehender Grafik erfasst.

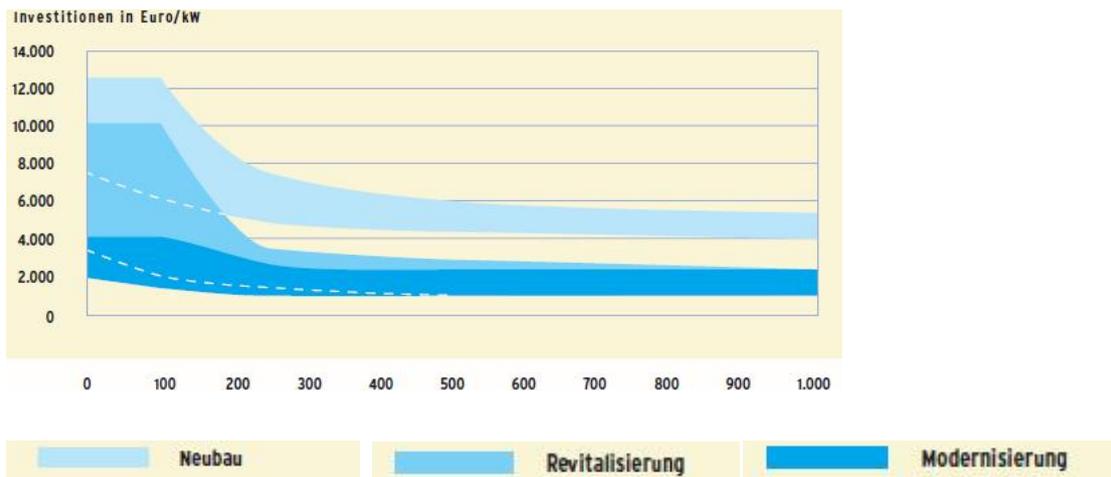


Abb. 7-21: Investitionskosten für Kleinwasserkraftwerke, abhängig von der Anlagengröße<sup>221</sup>

<sup>217</sup> Vgl. I-RZ, 2011

<sup>218</sup> Vgl. Ebd.

<sup>219</sup> Vgl. Quaschnig, 2011, S. 299

<sup>220</sup> Vgl. I-RZ, 2011

<sup>221</sup> I-RZ, 2011, darin Quelle: BMU, Erneuerbare Energien – Innovationen für die Zukunft, 2004

Demnach betragen die Kosten der Einzeltechnologien:

Kraftwerksart	Leistung	Kosten	Auslastung	Stromgestehungskosten
	MW	€/kW	h/a	ct/kWh
Kl. Wasserkraftanlagen	0,07 - 1,0	8.500 - 10.000	4.000-5.000	10,0 - 20,0
Großanlagen	10 – 100	2.000 - 4.000	-	4,5 - 10,0
Reaktivierung / Modernisierung bestehender Anlagen	-	-	-	2,5 - 6,6
Wellenkraftwerk	-	-	-	10,0 *)

Tab. 7-6: Wasserkraft, Technologie und Stromkosten <sup>222</sup>

Untersuchungen und Recherchen bei Wasserkraftanlagenbetreibern mit Leistungen von ca. 1 MW bis 7 MW führte zu jährlichen Betriebskosten von ca. 4 % der Investitionskosten. <sup>223</sup>

### 7.1.6 Geothermie (B)

Gemäß VDI 4640 wird unter Geothermischer Energie die „in Form von Wärme gespeicherte Energie unterhalb der festen Oberfläche der Erde“ – oft unter dem Begriff der Erdwärme – verstanden. Dabei wird die oberflächennahe und Tiefengeothermie unterschieden.

„Dicht unter der Erdoberfläche beträgt die Temperatur im Mittel etwa 10 Grad Celsius, zum Erdinneren nimmt diese um etwa 3 Grad Celsius pro 100 Meter Tiefe zu. Erdwärme kann sowohl zur Klimatisierung (Heizen/Kühlen) von Gebäuden als auch zur Speisung von Nahwärmenetzen und zur Stromerzeugung genutzt werden.“<sup>224</sup>

<sup>222</sup> Ebd., Tabellenlegende: \*) „In den nächsten 10 Jahren wird eine Kostensenkung bis auf 4 Cent/kWh erwartet. Dann wären Wellenkraftwerke mit fossilen Energiequellen mehr als wettbewerbsfähig. Dies ist jedoch nur eine Abschätzung“

<sup>223</sup> Vgl. BMU et al, 2011, S. 43

<sup>224</sup> Vgl. Staab, 2011, S. 56

**Technik**

Tiefengeothermie

Die Nutzung von Erdwärme aus tieferen Schichten wird als Tiefengeothermie bezeichnet. Es existieren zwei prinzipielle Systeme der Tiefengeothermie:

- die hydrothermale Geothermie und
- die petrothermale Geothermie.

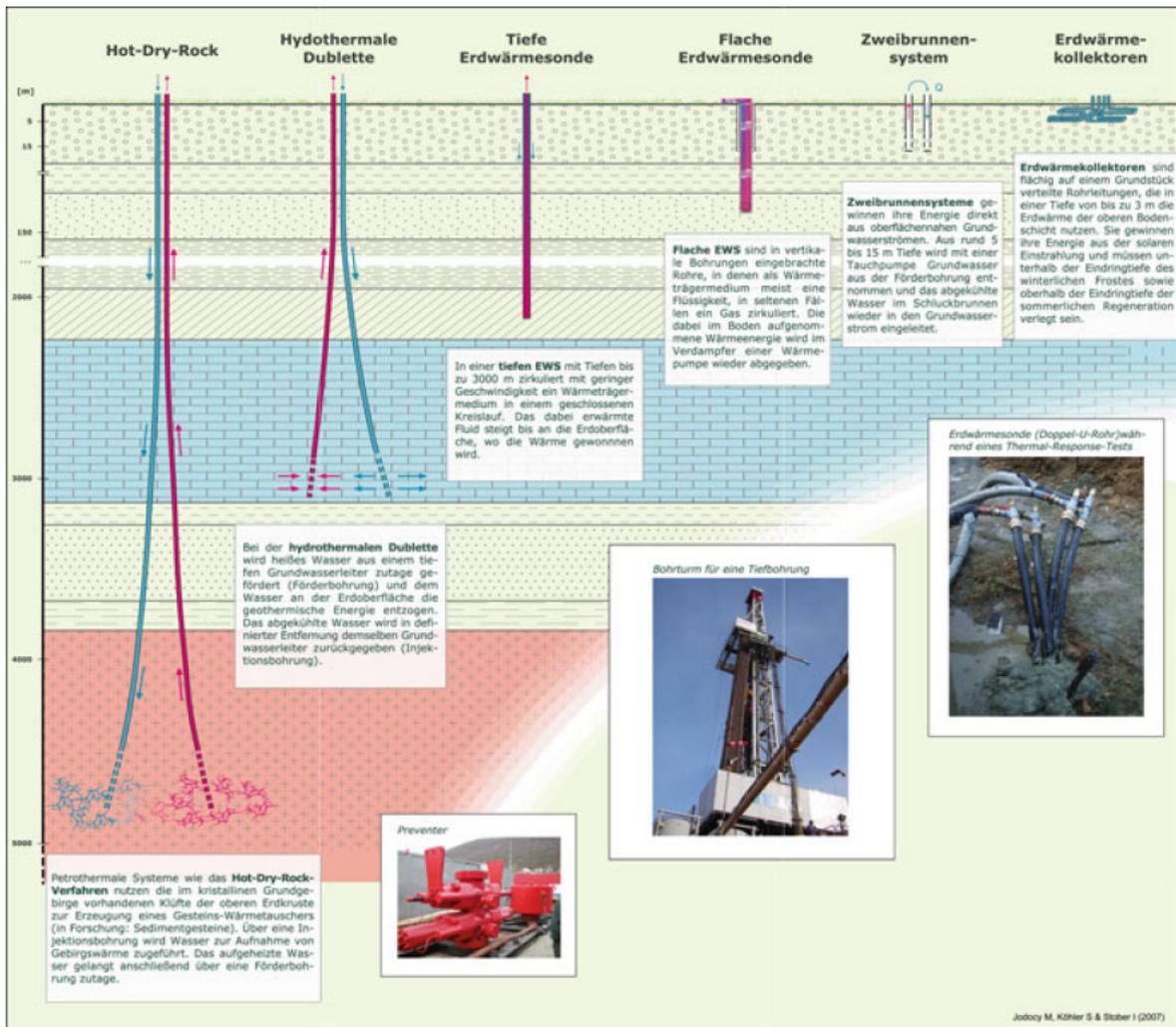


Abb. 7-22: Übersicht der Möglichkeiten zur Nutzung der Geothermie<sup>225</sup>

<sup>225</sup> Vgl. Stober, 2012, S. 35

Die hydrothermale Geothermie zapft die im Untergrund natürlich vorkommenden Thermalwasservorräte an. Die Anwendungsgebiete sind in der Regel die Siedlungsversorgung, die Nutzung in Thermalbädern oder die Versorgung von Gewerbe- und Industriegebieten mit Wärme und in manchen Fällen auch Strom. Hydrothermale Geothermie kann nur in Gebieten mit entsprechendem geologischen Untergrund vorkommen, also dem Vorhandensein von Reservoirgesteinen. Dies schränkt die Einsatzorte in Deutschland stark ein.

Typischerweise erfolgt der Einsatz einer Dublette bei der hydrothermalen Geothermie. Dabei wird einer grundwasserführenden Schicht heißes Wasser (bis zu 150°C) entnommen, an die Erdoberfläche gefördert und mittels eines Wärmetauschers die nutzbare Wärmeenergie entzogen. Das abgekühlte Thermalwasser, welches noch eine Resttemperatur zwischen 55°C und 80°C hat, wird in definierter Entfernung derselben Grundwasserschicht wieder injiziert. Dies ist schematisch in Abb. 7-23 dargestellt<sup>226</sup>.

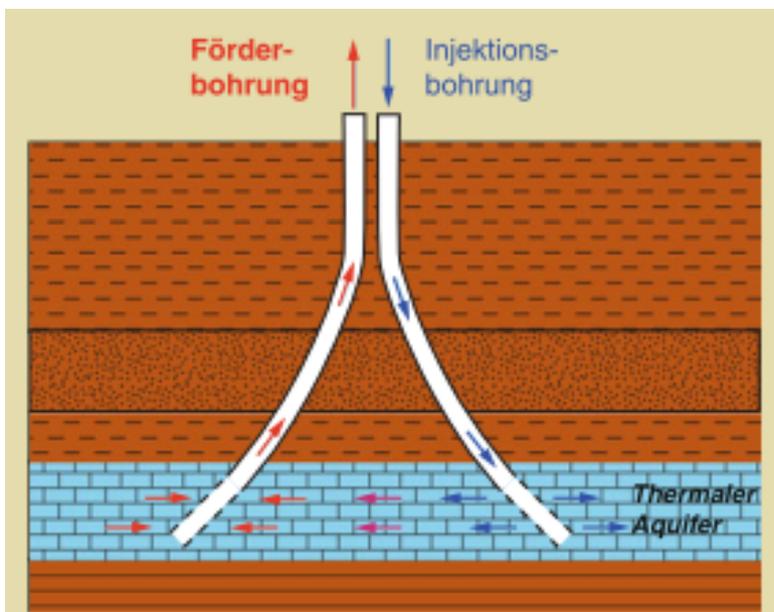


Abb. 7-23: Nutzung hydrothermale Geothermie<sup>227</sup>

Mittels der Injektion des abgekühlten Wassers werden eine Erneuerung und eine Wiederauffüllung des Grundwasserleiters erreicht. Die Bohrungen sind bei einer Dublette mehrere hundert Meter voneinander entfernt. Um einen thermischen Kurzschluss der

<sup>226</sup> Vgl. Stober, 2012, S. 43

<sup>227</sup> Ebd.

---

Bohrungen zu vermeiden bzw. die Abstände nicht zu groß zu wählen, ist es empfehlenswert, vorab die Abstände mit Hilfe einer Modellrechnung zu ermitteln.<sup>228</sup> Für eine nachhaltige und langfristige „... sollte die wasserführende Gesteinsschicht eine möglichst weite vertikale und laterale Verbreitung aufweisen.“<sup>229</sup>

„Bei der petrothermalen Geothermie wird die im Gestein gespeicherte Energie zur Wärme- oder Stromerzeugung genutzt. Dabei kommen vor allem so genannte Hot-Dry-Rock-Verfahren und tiefe Erdwärmesonden zum Einsatz.“<sup>230</sup>

Das Hot-Dry-Rock-Verfahren (HDR) nutzt die in den Gesteinen gespeicherte Energie. Beim HDR-Verfahren wird Wasser über Injektions- oder Förderbohrungen in die Tiefe gepumpt und dient als Wärmeträger, welches die Gesteinswärme aufnimmt. Das Verfahren wird hauptsächlich zur Stromerzeugung eingesetzt. Daher werden auch Temperaturen ab 150°C, eher 200°C avisiert. Diese Temperaturen sind in Gebieten mit normalen geothermischen Gradienten mit Bohrungen in Tiefen um 5000–7000 m erreichbar<sup>231</sup>. Das HDR-Verfahren befindet sich noch in der Erprobungsphase und wurde erstmals 2008 in Soultz-sous-Forets (Elsass) eingesetzt<sup>232</sup>.

Ebenfalls zur petrothermalen Geothermie gehören Systeme mit tiefen Erdwärmesonden (siehe Abb. 7-24). Dieses Verfahren eignet sich aufgrund des geringen Temperaturniveaus nicht zur Stromproduktion. Das Funktionsprinzip ist vergleichbar mit flachen Erdsonden, d.h. in der Erdsonde zirkuliert ein Wärmeträgermedium (z. Bsp. Sole) in einem geschlossenen System, wobei es die Wärme in den tieferen Erdschichten von ca. 3.000 m aufnimmt und an der Oberfläche an ein Heißwassersystem abgibt. Aufgrund des einfachen Aufbaus und der geringen Anforderungen ist das System theoretisch überall einsetzbar.<sup>233</sup>

---

<sup>228</sup> Ebd., S. 45

<sup>229</sup> Vgl. Staab, 2011, S. 57

<sup>230</sup> Ebd.

<sup>231</sup> Vgl. Stober, 2012, S. 49

<sup>232</sup> Vgl. Staab, 2011, S. 57

<sup>233</sup> Vgl. Stober, 2012, S. 49

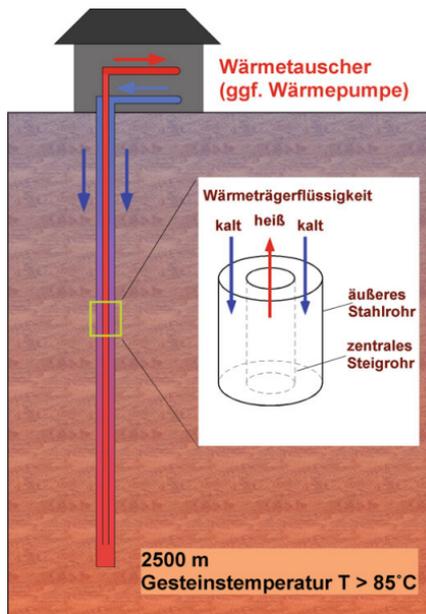


Abb. 7-24: Prinzipschaltbild tiefe Erdwärmesonden<sup>234</sup>

Prinzipiell steht die Nutzung der Tiefengeothermie noch in den Anfängen bzw. hat noch keine Marktreife erlangt. Daher wird fortführend die Tiefengeothermie nicht weiter betrachtet.<sup>235</sup>

### Oberflächennahe Geothermie

Als oberflächennahe Geothermie wird die Nutzung von Niedertemperaturwärme ab einer Tiefe von 1,5 bis zu 400 Metern zur Beheizung oder Kühlung von Immobilien bezeichnet.

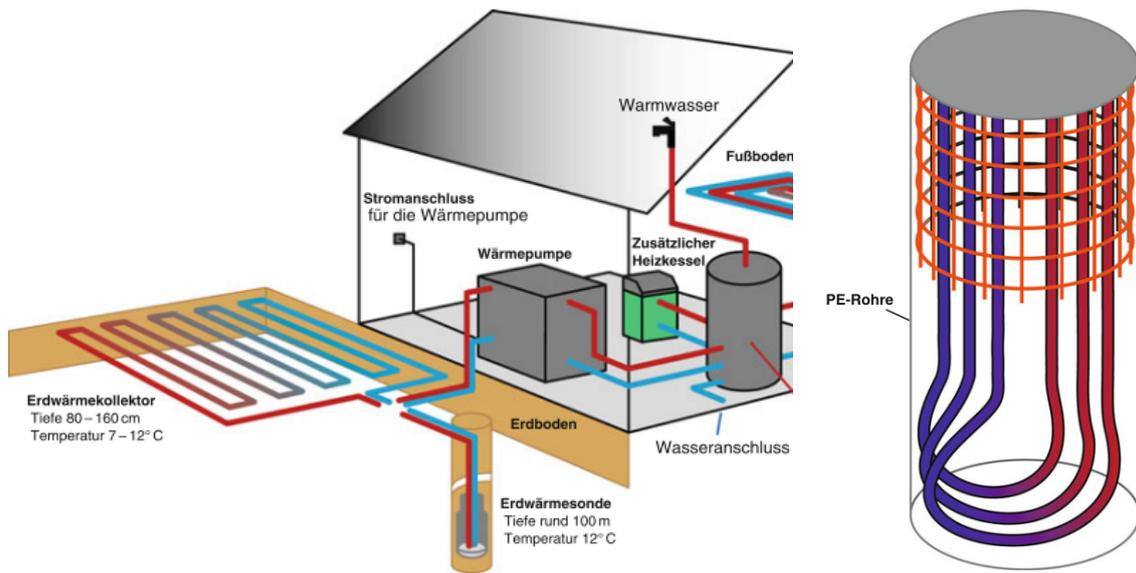
In Abhängigkeit der Bohrungstiefe kommen folgende unterschiedliche Techniken zum Einsatz<sup>236</sup>:

- Erdwärmekollektoren (bis ca. 2 bis 7 Meter Tiefe),
- Energiepfähle (bis ca. 25 Meter Tiefe),
- Grundwasserbrunnen, Schluck- und Saugbrunnen zur Grundwasserentnahme,
- Erdwärmesondenanlagen für die oberflächennahe Nutzung (bis ca. 400 Meter Tiefe).

<sup>234</sup> Ebd.

<sup>235</sup> Vgl. Staab, 2011, S. 57

<sup>236</sup> Ebd., S. 58



a)

b)

**Abb. 7-25: Nutzungsmöglichkeiten oberflächennaher Geothermie durch Erdwärmekollektoren, Erdwärmesonde a) und Energiefahl b<sup>237</sup>)**

In der Regel erfolgt die Kombination der Bohrungen durch eine Wärmepumpe. Eine Wärmepumpe erhöht die dem Boden entzogene Wärme zur Beheizung bzw. bringt überschüssige Wärme zur Kühlung der Gebäude in den Boden ein. Wärmepumpen und Kältemaschinen haben das gleiche Funktionsprinzip, wobei der Anwendungszweck unterschiedlich ist. Prinzipiell unterscheidet man folgende Typen von Wärmepumpen:

- Kompressionswärmepumpen
- Absorptionswärmepumpen und
- Adsorptionswärmepumpen.

Die Kompressionswärmepumpe, welche am weitesten verbreitet ist, besteht prinzipiell aus einem Verdampfer, einem elektrischen Verdichter, einem Verflüssiger und einem Entspannungsventil. In der Wärmepumpe zirkuliert ein Kältemittel, welches bei niedrigen Temperaturen im Verdampfer verdampft. Zum Verdampfen reicht die zugeführte Wärme der Niedertemperaturquelle aus. Im Verdichter wird das dampfförmige Kältemittel mittels Komprimierung auf ein hohes Druck- und Temperaturniveau angehoben. Im Kondensator erfolgt die Verflüssigung des Kältemittels unter Abgabe von Wärme. Die

<sup>237</sup> Vgl. Stober, 2012, S. 37 ff.

abgegebene Wärme wird zur Beheizung von Gebäuden o.ä. genutzt. Das Expansionsventil dient zur Entspannung und Abkühlung des Kältemittels, sodass dieses wieder verdampfen und der Prozess von Anfang beginnen kann.

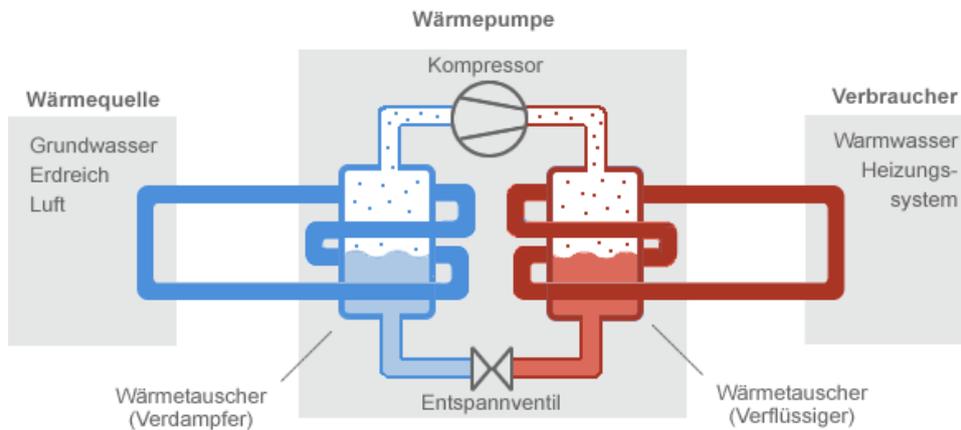


Abb. 7-26: Funktionsprinzip einer Kompressionswärmepumpe<sup>238</sup>

Die Absorptionswärmepumpe funktioniert genauso wie die Kompressionswärmepumpe, mit der Besonderheit, dass ein thermischer Verdichter den elektrisch angetriebenen Verdichter ersetzt (siehe Abb. 7-27). Die Aufgabe des thermischen Verdichters ist die gleiche wie beim elektrischen Verdichter, also die Komprimierung und das Erhitzen des Kältemittels. Dies geschieht durch den chemischen Vorgang der Sorption, wobei die freiwerdende Wärme sich als Heizwärme nutzen lässt. Anschließend transportiert eine Lösungsmittelpumpe die Lösung zum Austreiber, welcher die Lösung wieder in ihre Bestandteile Sorptionsmittel und Kältemittel trennt. Im Gegensatz zur Kompressionswärmepumpe kann die Lösungsmittelpumpe kleiner dimensioniert werden, da diese ausschließlich zum Transport des Lösungsmittels dient. Für das Trennen der Lösung wird Hochtemperaturwärme, bspw. aus Solaranlagen oder Fernwärmeanlagen, benötigt.

Die Absorptionswärmepumpe benötigt weniger elektrische Energie als eine Kompressionswärmepumpe und die nutzbare Wärme ist höher als die zugeführte Wärme.

<sup>238</sup> Vgl. I-WP, 2013

Typischerweise kommen Absorptionswärmepumpen in größeren Leistungsbereichen zum Einsatz.<sup>239</sup>

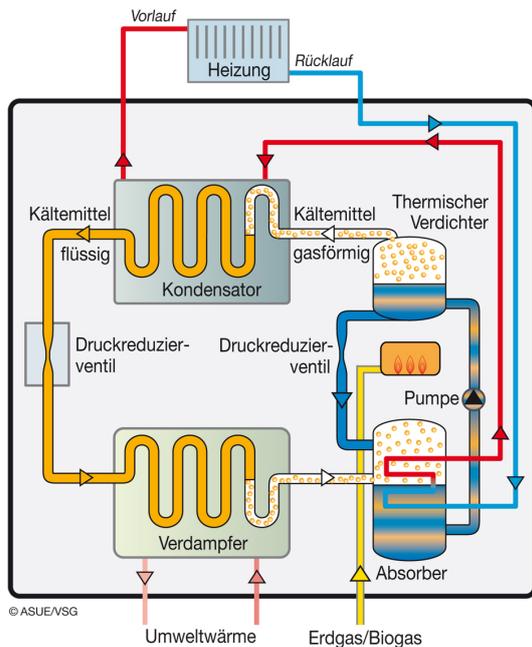


Abb. 7-27: Funktionsprinzip einer Absorptionswärmepumpe<sup>240</sup>

Analog den Absorptionswärmepumpen nutzen Adsorptionswärmepumpen thermische Energie als Antriebsenergie. Das Anlagern eines Gases an einen Feststoff wird als Adsorption bezeichnet. Typische Feststoff sind u.a. Aktivkohle, Silicagel oder Zeolith. Bei der Adsorption, entstehen hohe Temperaturen, die sich bspw. zur Beheizung von Gebäuden nutzen lassen. Adsorptionswärmepumpen sind im Gegensatz zu den vorgenannten Wärmepumpen durch einen azyklischen Betrieb gekennzeichnet. Diese haben bisher keine Relevanz erlangt.

<sup>239</sup> Vgl. Staab, 2011, S. 59

<sup>240</sup> Vgl. I-ECH, 2013

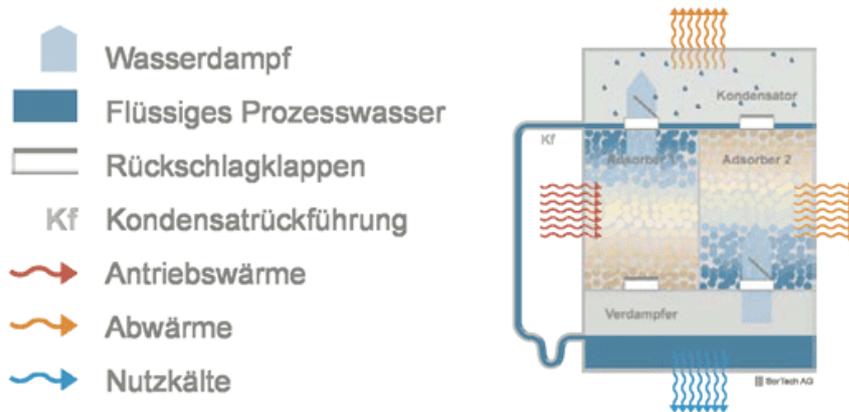


Abb. 7-28: Funktionsprinzip einer Adsorptionswärmepumpe<sup>241</sup>

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal bei Wärmepumpen ist die Wärmequelle. Typische Wärmequellen sind Luft, Wasser und Sole. Wärmepumpen welche als Wärmequelle Luft und als Kältemittel Wasser nutzen, bezeichnet man als Luft/Wasser-Wärmepumpen. Diese Nomenklatur hat sich bis heute durchgesetzt.

### Planung und Auslegung

Wärmepumpen „...existieren für nahezu alle Wärmeleistungen...“<sup>242</sup>. Bei der Dimensionierung und Auslegung der Wärmepumpen und Quellen sind folgende Aspekte zu beachten:

- Rechtliche Rahmenbedingungen
- Bodenbeschaffenheit
- Heizsystem im Gebäude

Die Effizienz einer Wärmepumpe wird mittels des Coefficient of Performance (COP) und der Jahresarbeitszahl (JAZ) angegeben. Je höher diese sind, desto weniger zusätzliche Energie (z. Bsp. Strom für den elektrischen Verdichter) muss der Wärmepumpe hinzugefügt werden. Rechnerisch ermittelt sich die JAZ durch den Quotient aus zugeführter Energie zu genutzter Energie pro Jahr. Der COP ist dem Wirkungsgrad gleich zu setzen, d.h. der COP wird aus der genutzten Leistung zur eingesetzten Leistung ermittelt. Diese werden unter standardisierten Bedingungen ermittelt. Daher ist beim

<sup>241</sup> Vgl. I-AEE, 2013

<sup>242</sup> Vgl. Staab, 2011., S. 60

Einsatz unter realen Bedingungen darauf zu achten, dass die Wärmepumpen bei Heizungssystemen mit möglichst geringen Temperaturen zum Einsatz kommen (Abb. 7-29). Auch die Wärmequelle hat einen Einfluss auf die JAZ. Bei Sole/Wasser-Wärmepumpen, also Wärmepumpen, die dem Erdreich die Wärme entziehen, ist die JAZ höher als bei Luft/Wasser-Wärmepumpen. Dies ist durch die höhere Wärmespeicherkapazität des Bodens und daher der relativ konstanten Bodentemperatur, also der Wärmequelle, über das Jahr geschuldet.

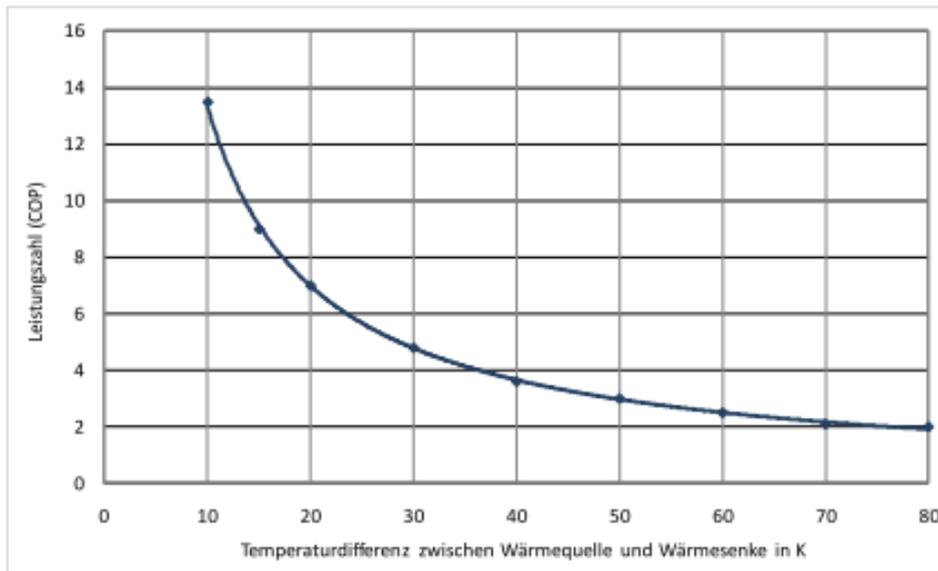


Abb. 7-29: COP in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz<sup>243</sup>

Die Wärmeentzugsrate aus dem Boden ist von der Bodenbeschaffenheit und der eingesetzten Technologie abhängig. Beispielhaft sind in Abb. 7-30 spezifische Entzugsleistungen verschiedener Bodenarten dargestellt. Die Ermittlung der örtlich verschiedenen geologischen Verhältnisse ist kostenintensiv. Für die Auslegung ist daher eine Probebohrung unabdingbar, um sowohl die geologischen als auch die thermischen Eigenschaften des Untergrundes exakt zu bestimmen.

<sup>243</sup> Vgl. I-GZ, 2010, S. 45

Untergrund	spez. Entzugsleistung [W/m] (1'800 Betriebsstunden)	spez. Entzugsleistung [W/m] (2'400 Betriebsstunden)
Schlechter Untergrund mit $\lambda < 1.5$ W/m-K	25	20
Normaler felsiger Untergrund, wassergesättigtes Sediment mit $\lambda = 1.5-3.0$ W/m-K	60	50
Festgestein mit $\lambda = > 3.0$ W/m-K	84	70
Sand, Kies trocken	<25	< 20
Sand, Kies wasserführend	65 - 80	55 - 65
Ton, Lehm feucht	35 - 50	30 - 40
Kalkstein (massiv)	55 - 70	45 - 60
Sandstein (Molasse)	65 - 80	55 - 65
Basalt	40 - 65	35 - 55
Granit	65 - 85	55 - 70
Gneis	70 - 85	60 - 70
Sand Kies mit starken Grundwasserfluss	80 - 100	80 - 100

Abb. 7-30: Spezifische Entzugsleistungen diverser Bodenarten<sup>244</sup>

Weiterhin sind bei der Planung von oberflächennaher Geothermie rechtlichen Rahmenbedingungen zu beachten. Je nach Bohrtiefe sind wasserrechtlichen oder bergrechtliche Aspekte zu beachten. Eine wasserrechtliche Erlaubnis ist typischerweise bei Bohrtiefen von 60 Meter bis 100 Meter oder bei direkter Förderung und Rückführung von Grundwasser notwendig. Ab einer Bohrtiefe von über 100 Metern oder wenn Grundstücksgrenzen überschritten werden muss bei der Bergbehörde eine Genehmigung für Erdbohrungen eingeholt werden.

### Wirtschaftliche Faktoren

Für den typischen Einsatzfall einer Wärmepumpe, im Ein- und Zweifamilienhausbereich, sind mit Kosten zwischen 14 T€ und 20 T€ für eine Wärmepumpe inkl. Wärmequelle zu rechnen (siehe Abb. 7-31). Beim Einsatzfall der oberflächennahen Geothermie macht die Erschließung der Wärmequelle ungefähr 50 % des Investitionsvolumens aus.

<sup>244</sup> Vgl. I-EWP, 2013

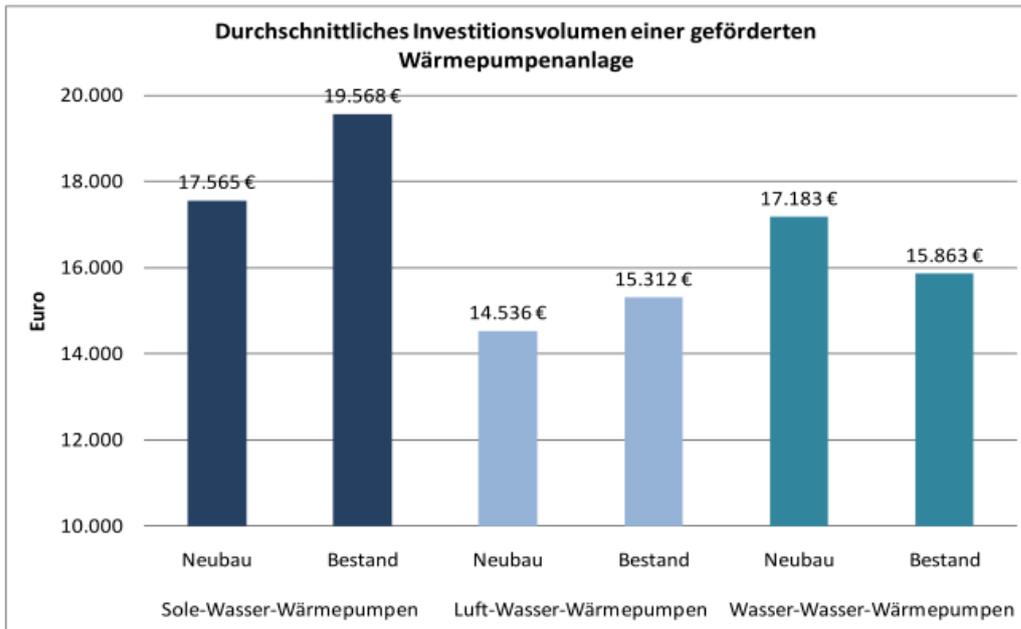


Abb. 7-31: Kosten für Wärmepumpen<sup>245</sup>

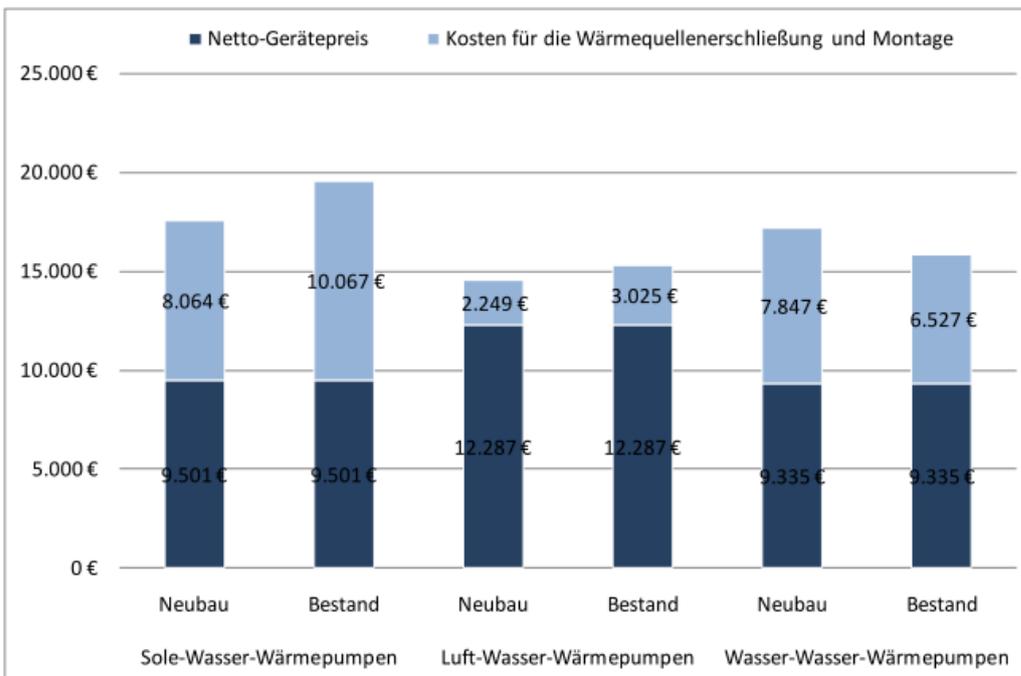


Abb. 7-32: Kostenaufteilung von Wärmepumpenanlagen in Wärmequelle und Gerätepreis<sup>246</sup>

<sup>245</sup> Vgl. I-GZ, 2010, S.55

<sup>246</sup> Vgl. I-GZ, 2010, S. 57

### **7.1.7 Biomasse (B)**

Mit dem Begriff Biomasse wird alles organische Material verstanden und umfasst also damit alle Lebewesen, abgestorbene Organismen und organische Stoffwechselprodukte.

Biomasse ist eine grundlastfähige Energieform, welche bedarfsgerecht zur Bereitstellung von Wärme und Strom genutzt werden kann.

#### **Technik**

Die Biomasetechnologie lässt sich grundsätzlich in drei Bereiche einteilen:

- Fest (Holz, Halmgüter, Energiepflanzen)
- Flüssig (Pflanzenöl, Biodiesel, Bioalkohol)
- Gasförmig (Deponiegas, Klärgas, Landwirtschaftliches Biogas, Biogas aus organischen Siedlungsabfällen)<sup>247</sup>

#### Feste Biomasse

Feste Biomasse dient hauptsächlich zur Bereitstellung von Wärme. „So lag im Jahr 2008 in Deutschland bei den erneuerbaren Energien der Anteil der Wärmebereitstellung aus biogenen Festbrennstoffen bei 77,8 Prozent. Zur festen Biomasse gehören in erster Linie Holz in Form von Stück- oder Scheitholz und Spaltholz, Holzhackschnitzel, Holzpellets oder -brickets.

Stück- oder Scheitholz ist Brennholz, das zur Trocknung maschinell oder mit der Axt gespalten und in der Regel über zwei Sommer aufgeschichtet gelagert wird.“<sup>248</sup>

Holzhackschnitzel werden aus diversen Quellen gewonnen. Es kann sich dabei um

- Waldholz,
- Restholz aus der industriellen Bearbeitung (Möbelindustrie),
- aus schnell wachsenden Baumarten (Kurzumtriebsplantagen),
- aus der Landschaftspflege oder
- aus naturbelassenem Altholz handeln.

---

<sup>247</sup> Ebd., S. 45 f.

<sup>248</sup> Ebd., S. 46

Die Qualität ergibt sich u. a. aus dem Rindenanteil und beeinflusst den Ascheanteil, den Heizwert, den Wasseranteil, die Schüttraumdichte etc. Aufgrund des höheren Aufwands zur Bereitstellung von Holzhackschnitzeln, können Hackschnitzel in vollautomatischen Heizungsanlagen genutzt werden.

Holzpellets sind aufgrund der genormten Form und des relativ aufwendigen Herstellungsverfahrens ein komfortabler Brennstoff zur Beheizung von Objekten. Die Normung klassifiziert Pellets u.a. ihres Durchmessers, Ascheanteils, Heizwertes, Wassergehalt etc. Dies ermöglicht einen einfachen Transport in Tanklastern sowie die Verwendung in vollautomatischen Förderanlagen. Somit erreichen Pelletanlagen „... den gleichen Heiz- und Bedienungskomfort wie beispielsweise Erdgas- oder Erdölheizungen...“<sup>249</sup>.



Abb. 7-33: Übersicht der Formen fester Biomasse: a) Stückholz<sup>250</sup> b) Hackschnitzel<sup>251</sup> c) Holzpellets<sup>252</sup>

Die Verfeuerung fester Biomasse erfolgt in diversen Einsatzgebieten mit entsprechendem Anforderungsniveau an die Verfügbarkeit und Bedienbarkeit. Dementsprechend existieren verschieden Kesselanlagen, welche nachstehend (siehe Abb. 7-34) anhand ihrer Feuerungswärmeleistung eingeteilt wurden.

Analog zu Heizungsanlagen auf Heizölbasis, benötigen Biomasseanlagen einen Bevorratungsraum sowie eine Austragungs- und Förderanlage, ausgenommen Anlagen mit Stückholz.

<sup>249</sup> Ebd., S. 46

<sup>250</sup> Vgl. I-FB-SH, 2013

<sup>251</sup> Vgl. I-FB-HS, 2013

<sup>252</sup> Vgl. I-FB-HP, 2013

Feuerungswärmeleistung	Anlagenbezeichnung	Beispiele
bis 15 kW	Einzelraumfeuerungsanlagen	Kaminöfen, Kachelöfen, zur Beheizung einzelner Räume
bis 30 kW	Kleinanlagen	Einfamilienhaus
bis 1 MW	Mittelgroße Anlagen	Einzelne Schule oder Verwaltungsgebäude, Hallenbad, kleines Nahwärmenetz z. B. für Neubaugebiet
ab 1 MW bis 5 MW	Großanlagen	Nahwärmeverbund bestehend aus öffentlichen und/oder privaten Gebäuden; ggf. Einsatz von KWK; ggf. Einsatz von A I-/ A-II-Hölzern
Ab 5 MW	Großanlagen	Nahwärmeverbund unter Anwendung von KWK; ggf. Einsatz von Altholz

Abb. 7-34: Anlagengröße und -klassifizierung<sup>253</sup>

Die Anforderungen an den Lagerraum sind im Detail abhängig von der Biomasse, aber dienen hauptsächlich zum Schutz des Brennstoffes vor Feuchtigkeit. Weitere Aspekte sind Diebstahlschutz, Bevorratungsmenge, Brand- und Explosionsschutz usw. Entsprechend der vielfältigen Anforderungen, existieren vielfältige Lagervarianten. Angefangen von einfachen Freiluftlagern bis hin zu Erdbunkern.

Die Austragungs- und Förderanlagen werden entsprechend dem Brennstoff, dem Lagerraum, der zu überbrückenden Entfernung und dem einzuhaltenden gesetzlichen Rahmenbedingungen ausgewählt und eingesetzt. Die Palette der Systeme beinhaltet unter anderem Kratzkettenförderer, Schubstangen und Förderschnecken.

Des Weiteren ist festzustellen, dass mit Zunahme der Anlagengröße ein erhöhter Automatisierungsgrad einhergeht, aber dennoch muss im Gegensatz zu Gasanlagen zur Betreibung ein erhöhter personeller Aufwand getrieben werden.

Im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsprojekten existieren Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK-Anlagen), welche feste Biomasse als Ausgangsbrennstoff

<sup>253</sup> Vgl. Staab, 2011, S. 47

einsetzen. Diese erzeugen gleichzeitig Wärme und Strom in einer Anlage. Diese haben noch keine Marktreife erlangt und werden daher in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet.

### Flüssige Biomasse

Zu den wichtigsten Vertretern der flüssigen Biomasse zählen vor allem Pflanzenöl, Biodiesel und Bioethanol als Kraftstoff<sup>254</sup>. Biokraftstoffe können einen Anteil zur Reduzierung der Treibhausgase und zum Erreichen der Umweltziele erreichen, aber sind nicht Bestandteil der Betrachtung dieser Masterthesis.

### Gasförmige Biomasse

Gasförmige Biomasse wird im Allgemeinen mit Biogas gleichgesetzt. „Biogas wird aus der Fermentierung von Biomasse in Biogas-Anlagen gewonnen. Das entstandene Gas besteht zum großen Teil aus dem geruchlosen, brennbaren Methan, das für die Energiegewinnung den Hauptbestandteil bildet.“<sup>255</sup>

Grundlage der Fermentierungsprozesse bildet Biomasse aus extra angepflanzten Energiepflanzen wie Mais und Getreide, aus Restpflanzenteilen wie Grünschnitt, aus tierischen oder vergärfähigen Reststoffen wie Bioabfall, sogenannte Einsatzsubstrate. Weitere Einsatzstoffe können Gülle oder Festmist sein.

Eine weitere Form von gasförmiger Biomasse ist Klärgas, welches in Kläranlagen aus vergorenem Klärschlamm gewonnen wird. Bei der Ko-Fermentation kommen auch Abfälle aus der Lebensmittelindustrie und Schlachtabfälle zum Einsatz.

Zusätzlich zum Biogas entsteht beim Biogasprozess ein hochwertiger Dünger, welcher noch alle Mineralien und Spurenelemente der Ausgangsstoffe enthält.

Heutige typische Biogasanlagen (Flüssigfermentation) bestehen aus folgenden Komponenten:

- einer Vorgrube zum Mischen der Substrate,
- einem Fermenter zur Vergasung der Biomasse unter Animpfung mittels Mikroorganismen,

---

<sup>254</sup> Ebd., S. 48

<sup>255</sup> Ebd., S. 49

- einen Gasspeicher,
- einem BHKW zur Wärme- und Stromerzeugung inkl. Pufferspeicher und/oder
- einer Gasaufbereitungsanlage, welche das Biogas auf Erdgasniveau aufbereitet und ins Erdgasnetz einspeist und
- einem Lagerbehälter.

### Biogas-Anlage

Für die Biogasproduktion eignen sich Gülle und feste Biomasse. Mit einem Rind von 500 kg Gewicht kann pro Tag z. B. eine Gasausbeute von maximal 1,5 Kubikmeter erzielt werden. Energetisch entspricht dies in etwa einem Liter Heizöl. Nachwachsende Rohstoffe liefern jährlich zwischen 6 000 Kubikmeter (Wiesengras) und 12 000 Kubikmeter (Silomais/Futterrüben) Biogas pro Hektar Anbaufläche.

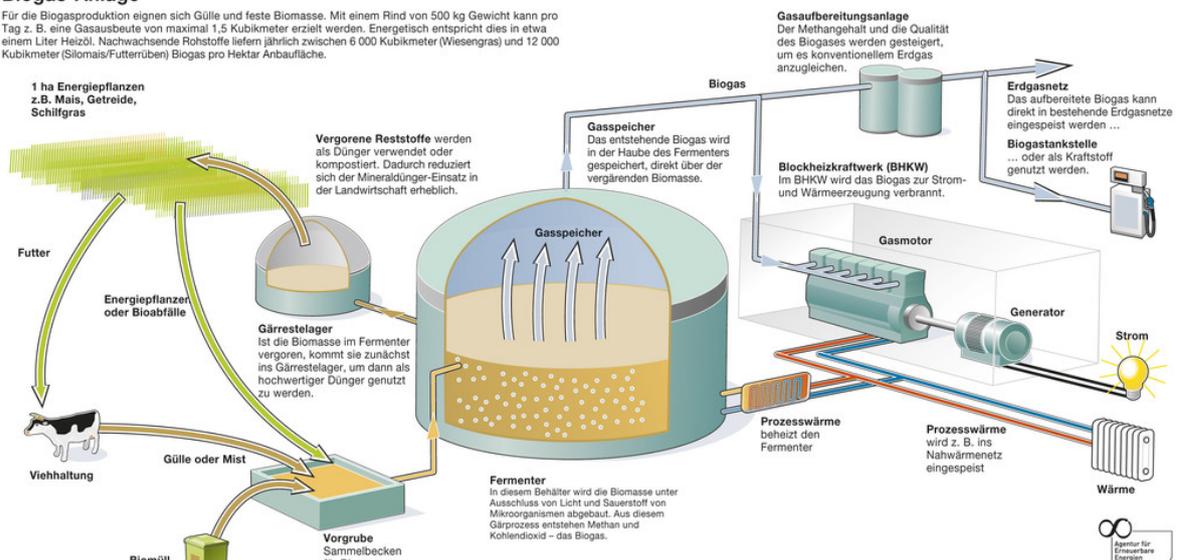


Abb. 7-35: Aufbau einer typischen Biogasanlage<sup>256</sup>

## Planung und Auslegung

### Feste Biomasse

Pauschale Planungs- und Auslegungsregeln sind im Bereich der biogenen Festbrennstoffe nicht vorhanden. Je nach Einsatzzweck und Anforderungsniveau sind folgende Aspekte bei der Planung und Auslegung zu beachten:

- Zielgruppe (Einfamilienhaus, Wohnsiedlung etc.)
- Abnahmeverhalten
- Platzangebot
- Brennstoffeigenschaften und -verfügbarkeit

<sup>256</sup> Vgl. I-UE, 2013

---

In Abhängigkeit der Zielgruppe verändert sich das Abnahmeverhalten und somit die Anforderungen an die Feuerungsanlage. Beispielsweise ist bei der Versorgung einer Siedlung mittels Nahwärmenetz mit geringeren Lastschwankungen zu rechnen als bei der Versorgung eines Einfamilienhauses. Demzufolge besteht bei der Versorgung des Nahwärmenetzes nicht die Anforderungen an den Biomassekessel, dass dieser gut regelbar sein muss. Lastschwankungen werden durch das Nahwärmenetz und eventuell installierter Pufferspeicher ausgeglichen.

Die Auswahl des Brennstoffes ist technisch abhängig von den Anforderungen an das Regelverhalten des Kessels. „Je kleiner die Leistung der Anlage und je ungleichmäßiger der Lastgang, desto trockener und homogener sollte der Brennstoff sein.“<sup>257</sup>

Abhängig vom ausgewählten Brennstoff ist der Platzbedarf für die Lagerung. Die zu lagernde Menge an Brennstoff wird durch folgende Parameter beeinflusst:

- Energiegehalt pro Schüttraummeter (SRM)/m<sup>3</sup> und
- gewünschte Versorgungsdauer /Energiemenge pro Lagervolumen.

#### Gasförmige Biomasse

Die Dimensionierung von Biomasseanlagen, also die Auslegung der Vorgrube, des Fermenters etc. ist ausschließlich von der Menge und der Art der Substrate abhängig. Demzufolge ist in diesem Fall keine pauschale Aussage möglich.

Die Verwertung des erzeugten Biogases erfolgt typischerweise in einem BHKW. Die Auslegung der BHKW-Aggregate erfolgt aktuell nach der Menge des verfügbaren Biogases. Pauschal kann mit einem Methangehalt zwischen 50 % und 60 % gerechnet werden, also einem Heizwert des Biogases von 5 kWh/m<sup>3</sup> bis 6 kWh/m<sup>3</sup>. Bei Verbrennung des Biogases in einem BHKW erfolgt eine Umwandlung des Biogases in Wärme und Strom in einem Verhältnis von 1:1.

---

<sup>257</sup> Vgl. Staab, 2011, S. 53

## Wirtschaftliche Faktoren

### Feste Biomasse

Die Investitionskosten für biomassebefeuerte Kessel sind stark abhängig von der Leistungsstufe, der Anlagenart und der eingesetzten Biomasse.

Biomassekessel, welche halmgutartiger Biomasse als Brennstoff verwenden, kosten 10 bis 50 % mehr als holzbefeuerte Biomassekessel bei gleicher Leistung. Holzkessel für Einfamilien- und Mehrfamilienhäuser (bis 100 kW Wärmeleistung) sind aufgrund ihres geringeren Ausstattungsgrades günstiger. Für diese einfachen Kessel kann mit spezifischen Investitionskosten von 100 bis 250 Euro pro kW gerechnet werden<sup>258</sup>.

Vollautomatisierte Holzkessel mit erhöhten Ausstattungsgrad bewegen sich in einem Bereich zwischen 100 Euro und 400 Euro pro kW inkl. Peripherie und Installation (siehe Abb. 7-36).

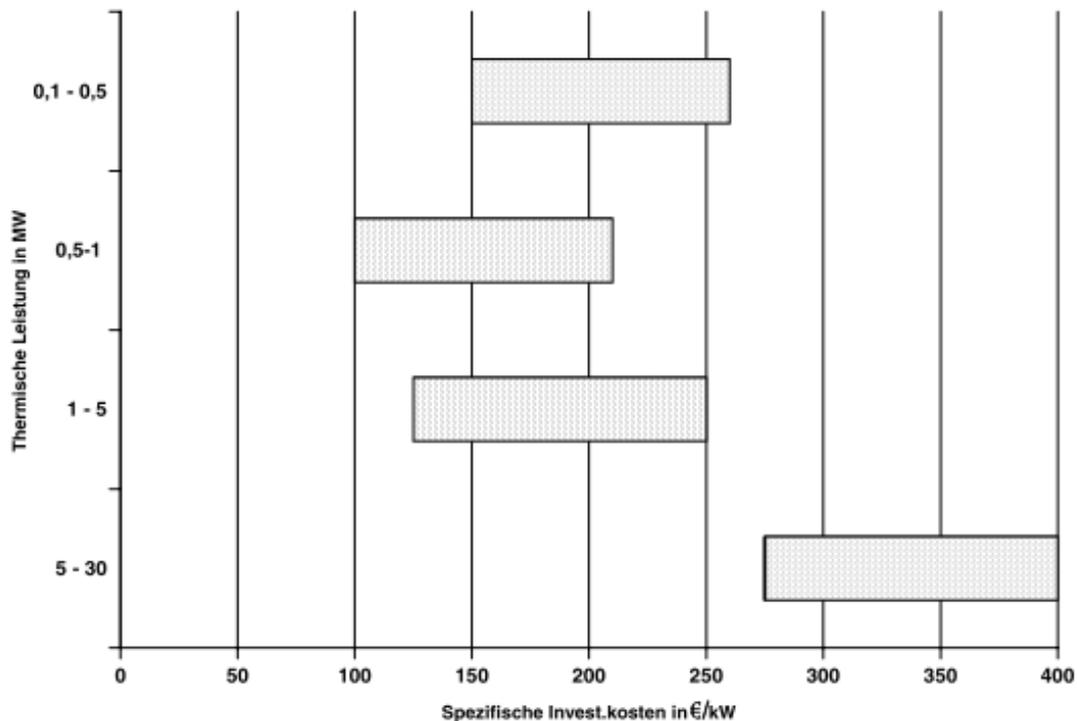


Abb. 7-36: Spezifische Investitionskosten von Holzfeuerungsanlagen<sup>259</sup>

<sup>258</sup> Vgl. FNR-BM, 2005, S. 197

<sup>259</sup> Vgl. FNR-BM, 2005, S. 198

Prinzipiell ist mit zunehmender Anlagengröße eine Senkung der spezifischen Kosten verbunden. Ab einer Feuerungsleistung von 1 MW sind höhere gesetzliche Auflagen einzuhalten, welche eine aufwendigere Anlagentechnik und zusätzliche Kosten verursachen.

„Tendenziell gilt der untere Wert der Kosten-Bandbreite eher für

- den oberen Wert des Leistungsbereichs,
- den Brennstoff Holz,
- einen Kessel zur Warmwassererzeugung und

der obere Wert der Kosten-Bandbreite eher für

- den unteren Wert des Leistungsbereichs,
- den Brennstoff Halmgüter und
- einen Kessel zur Dampferzeugung.<sup>260</sup>

Die Betreibung von Biomasseanlagen ist hauptsächlich abhängig vom eingesetzten Brennstoff. In Abb. 7-37 sind die Preise verschiedener holzartiger Biomasse dargestellt. Mit zunehmenden Heizwert und zunehmenden Aufwand zur Herstellung des Brennstoffes, steigen dessen Preise.

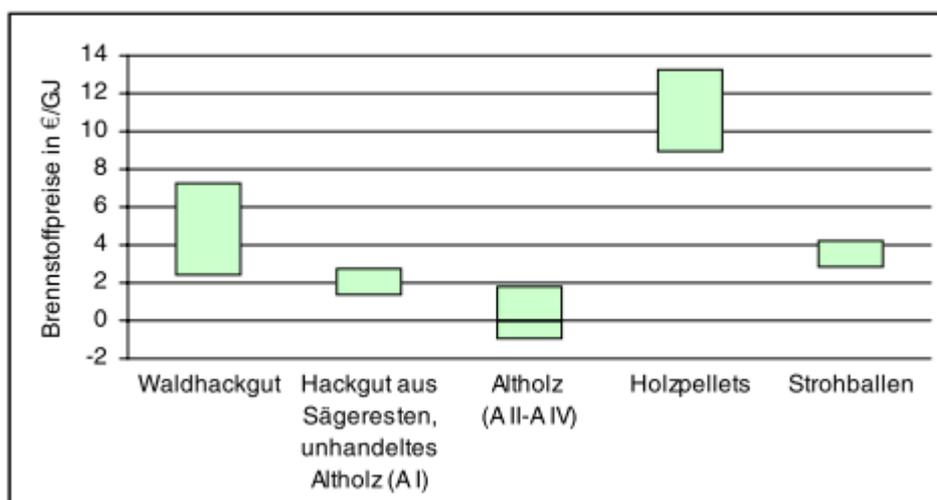


Abb. 7-37: Brennstoffkosten diverser fester Biomasse<sup>261</sup>

<sup>260</sup> Vgl. FNR-BM, 2005, S. 197

<sup>261</sup> Vgl. FNR-BM, 2005, S. 225

Weitere Aufwendungen für die Betreibung von Biomasseanlagen sind:

- Wartungs- und Instandhaltungskosten,
- Versicherungskosten und
- Personalaufwendungen.

### Gasförmige Biomasse

Im Rahmen der Herstellung und Betreibung von Biomasseanlagen sind neben der Investition folgende Kostenbestandteile zu betrachten<sup>262</sup>:

- Rohstoffe, wie Substrate und Hilfssubstrate,
- Versicherungsbeiträge,
- Reparatur- und Wartung
- Personalaufwand bzw. Arbeitszeit und
- Transportkosten.

Die Investitionskosten für Biogasanlagen sind abhängig vom genutzten Verfahren, vom eingesetzten Substrat und vom netztechnischen Anschlusspunkt. Bei zunehmender Anlagengröße sind spezifisch geringere Anlagenkosten zu veranschlagen (siehe Abb. 7-38).

---

<sup>262</sup> Vgl. BB, 2007, S. 14

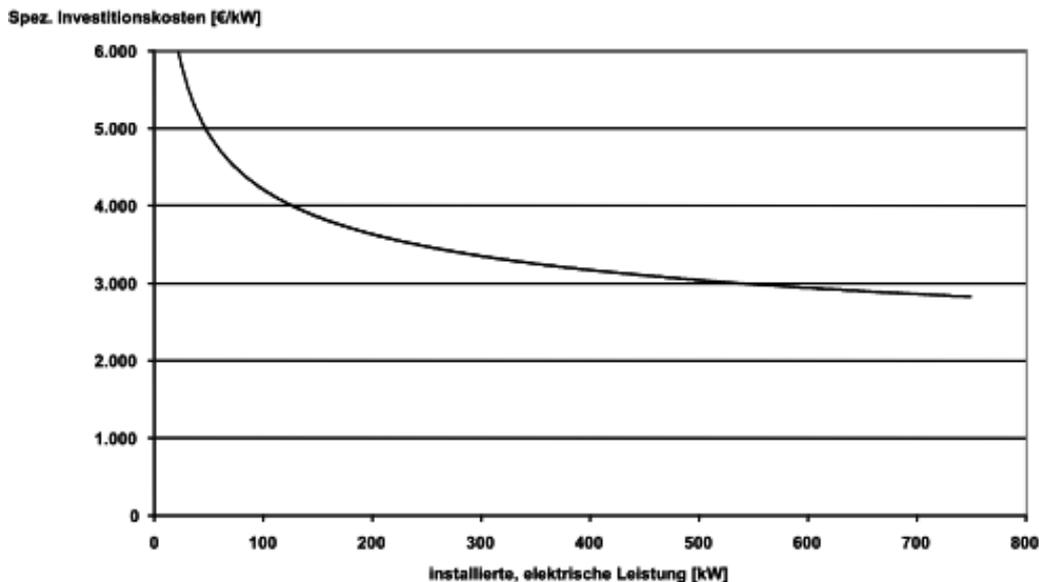


Abb. 7-38: Spezifische Investitionskosten von Biogasanlagen in Abhängigkeit der installierten elektrischen Leistung<sup>263</sup>

Den höchsten Anteil an den Aufwendungen für die Betreuung von Biogasanlagen verursachen die Rohstoffkosten (> 50%)<sup>264</sup>.

Weiterhin bedarf die Betreuung eines BHKW bei Abschluss eines Vollwartungsvertrages zwischen 1,2 Ct/kWh<sub>el</sub> bis 1,8 Ct/kWh<sub>el</sub><sup>265</sup>. Analog der Investitionskosten reduzieren sich die spezifischen Vollwartungskosten für ein BHKW mit zunehmender Größe.

Die Rohstoff- und Transportkosten sowie die Personalkosten sind stark abhängig vom Betreiber der Biogasanlage. Landwirte, welche Biogasanlagen als Zusatzgeschäft zum Kerngeschäft betreiben, können einen Teil der Kosten durch bestehende Strukturen im Kerngeschäft abdecken. Dabei ist zu bedenken, dass durch den Flächenbedarf einer Biogasanlage eine innerbetriebliche Nutzungskonkurrenz entsteht, welche im Vorfeld einkalkuliert werden muss.

Heutige Biogasanlagen stellen sich durch die vergütete Einspeisung von Strom nach dem EEG und der Nutzung bzw. dem Verkauf der Wärme wirtschaftlich dar.

<sup>263</sup> Ebd., S. 20

<sup>264</sup> Ebd., S. 4

<sup>265</sup> Ebd., S. 16

## **7.2 Energieversorgungsnetze (B)**

Nachfolgend werden die diversen Versorgungsnetze im Überblick dargestellt und anhand ihrer wesentlichen Merkmale charakterisiert. Die Parameter der verschiedenen Netze ähneln sich stark, weisen aber im Detail relevante Spezifika auf, welche großen Einfluss auf die Betriebsweise haben. Aus diesem Grund werden die folgenden, in der Energieversorgung relevanten, Netzarten beschrieben. Zu den relevanten Netzen gehören:

- das Stromnetz,
- das Gasnetz und
- das Wärmenetz.

Auf Erläuterungen zur Planung, Dimensionierung und Kostengrundlagen der Versorgungsnetze wird verzichtet, da diese im Rahmen dieser Masterthesis nicht weiter betrachtet werden. Nachstehend werden ausschließlich die Funktionsweise, der wesentliche Aufbau und regulatorische Besonderheiten beschrieben.

### **7.2.1 Stromnetz**

Die Versorgung von Verbrauchern in Deutschland mit elektrischer Energie erfolgt mittels Stromnetzen. Diese weisen eine komplexe Struktur auf und unterliegen rechtlichen sowie wirtschaftlichen Rahmenbedingungen. Nachfolgend wird ein Überblick über das heutige Netz mit seinen wesentlichen Merkmalen gegeben.

Die aktuelle Netzstruktur für die öffentliche Versorgung mit elektrischer Energie hat, historisch bedingt, eine Top-Down-Struktur. Dementsprechend unterscheidet man die Stromnetze nach den verschiedenen Spannungsebenen in Transport-, Übertragungs-, Verteilungs- und Niederspannungsnetz (siehe Abb. 7-39).

Als Transportnetze werden die Höchstspannungsnetze zwischen 380 kV und 220 kV bezeichnet. Der Strom fließt in täglich wechselnden Richtungen innerhalb der Regelzonen sowie über die Regelzonen hinaus.

Die Hochspannungsnetze mit 110 kV werden als Übertragungsnetze bezeichnet. Diese beziehen ihren Strom hauptsächlich aus den vorgelagerten Transportnetzen und geben

diese an regionale und lokale Verteilungsnetze sowie an Sondervertragskunden weiter. Diese dienen hauptsächlich zur Stromverteilung und –transport.

Verteilungsnetze werden auch als Mittelspannungsnetze bezeichnet und haben ein Spannungsniveau zwischen 10 kV und 20 kV. Analog den Übertragungsnetzen beziehen sie den Strom aus den vorgelagerten 110 kV-Netzen und verteilen diesen lokal über ein größeres Areal mittels 110 kV/10 kV-Umspannstationen, Ortsnetz- und Schwerpunktstationen von Ballungsbieten und der Industrie.

$U_n$	$U_m$	Netzart
230 / 400 V 400 / 690 V		<i>Niederspannungsnetze</i> Haushalte, Gewerbe, Industrie Großindustrie, Eigenbedarf
6 kV 10 kV 20 kV 35 kV	7,2 kV 12 kV 24 kV 40,5 kV	<i>Mittelspannungsnetze</i> Industrie-, Eigenbedarfsnetze von Kraftwerken Städtische Verteilnetze Städtische Verteilnetze Sonderabnehmer
110 kV 220 kV 380 kV	123 kV 245 kV 420 kV	<i>Hoch- und Höchstspannungsnetze</i> Übertragungsnetze Transportnetze Transportnetze

Abb. 7-39: Genormte Nennspannungen  $U_n$  und „Höchste Betriebsspannungen  $U_m$ “ von Drehstromnetzen in Deutschland<sup>266</sup>

Niederspannungsnetze mit 0,4 kV und 0,6 kV beziehen wiederum ihre Energie über Ortsnetzstationen oder Schwerpunktstationen der Industrie aus dem vorgelagerten Mittelspannungsnetz und leiten diese an die Endabnehmer vor Ort weiter.

Vor dem Zubau von dezentralen Erzeugern wie Windkraft-, Photovoltaik- und Biomasse-Anlagen floss der Strom monodirektional, d.h. von den zentralen Kraftwerken über die Transport-, Übertragungs-, Verteilungs- und Niederspannungsnetzen, zu den Verbrauchern. Mit der Zunahme an dezentralen Erzeugern fließt der Strom bidirektional, wodurch eine Anpassung der Netzstrukturen bezüglich der Leiterquerschnitte und Schutztechnik notwendig ist. Dies zeigt sich u.a. an dem aktuell verstärkten Zubau von

<sup>266</sup> Schwab, 2012, S. 24

Übertragungsnetzen zum Transport von Energie aus dem Norden nach dem Süden der BRD für beispielsweise Offshore-Windenergie. Zielstellung der Umbauarbeiten ist die Schaffung sogenannter Smart Grids, welche für den bidirektionalen Energietransport geeignet sind und somit die klassische Netzstruktur mit dem Top-Down-Prinzip ablösen soll.

Der technische Wandel sowie den Wunsch die monopolistische Struktur von öffentlichen Netzen aufzuheben, führte zu eigentumsrechtlichen und betrieblichen Änderungen der Netze. Im Rahmen der Liberalisierung des Strommarktes, wurden die Demarkationsgrenzen zwischen den Regelzonen aufgehoben und eine Entflechtung der Verbundunternehmen gesetzlich vorgeschrieben. Dies ermöglicht Stromverbrauchern heute die freie Lieferantenwahl und die Netzbetreiber sind zur Durchleitung von Strom fremder Lieferanten zum Kunden verpflichtet.

Durch die Liberalisierung hat sich die Anzahl der Verbundunternehmen und ihrer Regelzonen reduziert, sondern auch deren Natur verändert. Derzeit gibt es vier Übertragungsnetzbetreiber,



Abb. 7-40: Die vier Regelzonen mit den vier ÜNB<sup>267</sup>

Vor der Liberalisierung lagen die drei Funktionen Erzeugung, Übertragung und Verteilung einer Regelzone in der Verantwortung eines einzigen Betreibers, so genannter vertikal integrierter Verbundunternehmen. Im Rahmen der Liberalisierung erfolgte die Entflechtung („Unbundling“) der Erzeugung, Übertragung und Verteilung von Energie. Im liberalisierten Strommarkt existieren keine klassischen Verbundunternehmen, sondern man spricht von Regelzonen bzw. Übertragungsnetzbetreibern. Die Verantwortung für das einwandfreie Funktionieren des Netzes liegt bei den Transport- bzw. Übertragungsnetzbetreibern.

Zusätzlich existiert nun ein neuer Geschäftsbereich Stromhandel, welcher u.a. Strom kauft und verkauft. Die Strompreisbildung erfolgt am liberalisierten Strommarkt über die Marktmechanismen Angebot und Nachfrage.

Die Netze werden ausschließlich mittels Netznutzungsentgelten durch die Bundesnetzagentur reguliert. „Netzbetrieb und Regelzonen besitzen nach wie vor einen

<sup>267</sup> Schwab, 2012, S. 17

---

inhärenten, natürlichen Monopolcharakter und unterliegen heute verschärfter staatlicher Wirtschaftsaufsicht und Regulierung durch die so genannte Bundesnetzagentur....Aufgabe der staatlichen Regulierung ist die Gewährleistung eines diskriminierungsfreien Netzzugangs, einheitlich fairer Netznutzungsentgelte sowie die Wahrung der Netzleistungsfähigkeit.“<sup>268</sup>

### 7.2.2 Erdgasnetz

Das Erdgasnetz (folgend Gasnetz) mit seinen Bestandteilen dient zur zentralen Versorgung von Verbrauchern mit Erd- oder Bioerdgas. Analog dem Stromnetz unterliegt das Gasnetz rechtlichen und technischen Reglementierungen. Die wesentlichen Merkmale der Gasversorgungsnetze werden nachfolgend beschrieben.

Analog dem Stromnetz, existieren im Gasnetz verschiedene Leitungsarten, welche nach den Druckstufen unterschieden werden. Hochdruck (HD)-Haupttransportleitungen werden als überregionale Verbundnetze von Ferngas- oder Transportgesellschaften betrieben. Über sie erfolgt die Einspeisung in regionale HD-Netze und Leitungen der Gasversorgungsunternehmen (GVU) sowie die Abgabe von Erdgas an andere Industriekunden. Aus den regionalen Leitungen werden Ortsnetze gespeist und größere Kunden versorgt. Die Versorgung von Endkunden erfolgt prinzipiell über das Niederdruck (ND)-Netz.

Beim Gasnetz unterscheidet man folgende Druckbereiche, welche unterschiedliche Anforderungen an die Sicherheitstechnik haben:

- Niederdruck ND: bis 100 mbar
- Mitteldruck MD: ab 100 mbar bis 1 bar
- Hochdruck HD: ab 1 bar

Der Transport von Erdgas erfolgt mittels HD-Ferngasleitungen mit Betriebsdrücken von 67,5 bar bzw. 80 bar.<sup>269</sup> Weitere Unterteilungen bei Gasleitungen für Transport und Verteilung finden sich im HD-Bereich bei 4 bar und bei 16 bar.<sup>270</sup>

---

<sup>268</sup> Schwab, 2012, S. 19

<sup>269</sup> Vgl. Cerbe et al, 2004, S. 168

<sup>270</sup> Ebd., S. 54

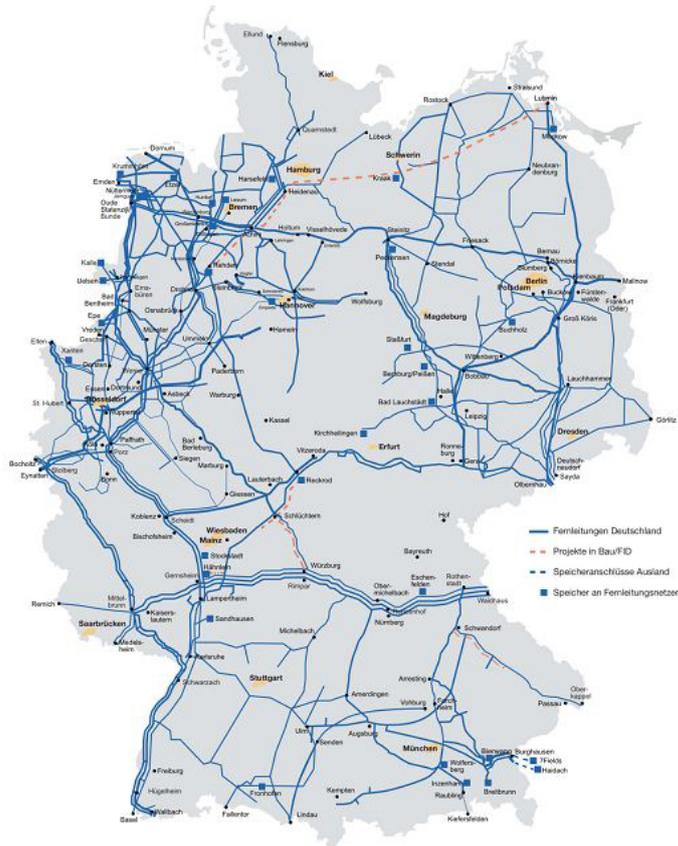


Abb. 7-41: Fernleitungen in Deutschland<sup>271</sup>

Die Versorgung im Niederdruckbereich erfolgt typischerweise mit bis zu 45 mbar, teilweise in Neubaugebieten mit bis zu 100 mbar. In wenigen Fällen findet man MD- oder HD-Versorgungen für Endkunden.

Mittels einer (Hausanschluss-)Anschlussleitung wird die rohrseitige Verbindung zwischen dem Versorgungsnetz und dem Kunden realisiert. Bei Versorgung mit einem Netzdruck, der höher als für den Betrieb der Gasverbrauchseinrichtungen erforderlich ist, wird der Druck innerhalb des Gebäudes mit Gasdruckregelgeräten reduziert. Hausinnenleitungen für Erdgas werden immer mit ND (bis ca. 25 mbar) betrieben.

Weitere Bestandteile des Gasnetzes sind u.a. Verdichter-, Regel-, Messanlagen und Gasspeicher.

<sup>271</sup> I-BMWi, 2013

Eine Besonderheit beim Gastransport ist die Odorierung des Erdgases. Dieses ist von Natur aus geruchlos und wird zur Wahrnehmung mit einem intensiv riechenden Warnstoff versetzt (odoriert). Zweck der Odorierung ist Leckagen und Undichtigkeiten zu erkennen, damit keine Gefahr durch unkontrolliert austretendes Erdgas entstehen kann.

Für die Gasnetze gelten dieselben rechtlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen wie bei den Stromnetzen, d.h. die Gasnetze wurden von den GVV entflechtet und durch die Bundesnetzagentur reguliert. Die Gaspreisbildung erfolgt nach den Marktgesetzen auf Grundlage von Angebot und Nachfrage.

### **7.2.3 Fernwärme**

Fernwärmesysteme dienen zur Versorgung von Gebäuden mit Wärme in Form von Dampf oder Heizwasser. Diese wird in Kraftwerken mit lokaler Nähe zum Verbraucher erzeugt bzw. fällt als Abwärme bei der Stromerzeugung an.

Eine Unterteilung der Systeme erfolgt nach dem Wärmeträger, welcher entweder Dampf oder Heizwasser ist. Es ist festzustellen, dass der Anteil an Fernwärmenetzen mit Dampf als Wärmeträger zurück geht. Dies liegt an den Anforderungen zum Umgang mit Dampf.

Dampf als Wärmeträger hat die Vorteile, dass:

- keine zusätzlichen Transportenergie benötigt wird,
- hohe Wärmeleistungen mittels hoher Dampfparameter möglich ist und
- eine Umwandlung in weitere Druckstufen beim Anwender für technologische Zwecke möglich ist.

Die Nachteile beim Dampf überwiegen die Vorteile, welche im Detail:

- der hohe Aufwand zur Dämmung,
- die fehlende eichfähige Messung,
- die verringerte Stromausbeute bei KWK-Erzeugung und
- die erhöhten Materialanforderungen und -kosten

sind.

Beim Einsatz von Heizwasser als Wärmeträgermedium unterscheidet man Netze mit Temperaturen unter 120°C und über 120°C mit konstanter, gleitender oder gleitend/konstanter Fahrweise.

Im Gegensatz zu Dampfanlagen haben Heizwassersysteme die Vorteile:

- einer zentralen, Außentemperaturabhängigen Vorlauftemperaturregelung und
- durch günstigere Verlegekosten im Rohrbau.

Nachteilig hingegen sind:

- die Notwendigkeit von Umwälzpumpen,
- der hohe zeitliche Aufwand zur Entleerung bei Störfällen und
- die notwendige Wasserreserve bei Havariefällen.

Weitere Bestandteile von Fernwärmesystemen sind Pumpenanlagen, Beimischstationen, Druckminderstationen, Druckhalteanlagen und Entleerungs- bzw. Entlüftungsvorrichtungen.

Im Gegensatz zum Gas- und Stromnetz ist das Fernwärmenetz nicht staatlich reguliert und muss nicht entflechtet werden. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass Fernwärmenetze aufgrund technischer Rahmenbedingungen wie Wärme- und Druckverluste lokal begrenzt sind und in der Regel keine Berührungspunkte zwischen den verschiedenen Netzbetreibern bestehen. Obwohl kein rechtlicher Zwang besteht, wurden und werden die Netzbetreiber sowie die Erzeugung entflechtet, analog den Strom- und Gasnetzen.

#### **7.2.4 Speichertechnologien**

Die Bereitstellung und die Abnahme der Energieträger Strom, Gas und Fernwärme korrelieren in den wenigsten Fällen. Die Bereitstellung und der Transport der vorgenannten Energieträger erfolgt in vielen Fällen kontinuierlich. Die Abnahme ist je nach Verbraucher und dessen Verhalten unterschiedlich, also diskontinuierlich. Durch die Zunahme an diskontinuierlichen regenerativen Erzeugungsanlagen wird die Diskrepanz zwischen Erzeugung und Abnahme weiter verschärft.

Ein Ausgleich zwischen Erzeugung und Abnahme kann durch die Regelung der Erzeugereinheiten und der Abnehmer erfolgen. Alternativ und Ergänzend können die Energieträger gespeichert werden.

Nachfolgend werden die verschiedenen Möglichkeiten zur Speicherung genannt und mittels der relevanten Merkmale charakterisiert.

### **Stromspeicher<sup>272</sup>**

Strom lässt sich großtechnisch nur indirekt speichern, d.h. nach Umwandlung in andere Energieformen kann eine Speicherung erfolgen.

Grundsätzlich bieten sich folgende Technologien an:

- Pumpspeicherkraftwerke
- Druckgasspeicher-Kraftwerke
- Wiederaufladbare Batterien
- Wasserstoffwirtschaft
- Wärmespeicher
- Schwungradspeicher
- Supraleitende induktive Energiespeicher

Pumpspeicherkraftwerke sind hochliegende Speicherbecken. Diese werden bei Stromüberschuss mit Wasser gefüllt, welches mittels Pumpen, unter Aufwendung des überschüssigen Stroms, in die hochliegenden Becken transportiert wird und somit als potentielle Energie zur Verfügung steht. Bei Lastspitzen strömt das Wasser durch Turbinen, welche über Generatoren wieder Strom erzeugen. Aufgrund ihrer langen Lebensdauer, ihrer guten technischen Nutzbarkeit und dem relativ hohen Wirkungsgrad von 80 %, sind Pumpspeicherkraftwerke der beliebteste Speicher für Strom.

Druckgasspeicher-Kraftwerke pressen mittels überschüssigen Strom Luft in unterirdische Kavernen. Bei Bedarf wird die Druckluft durch eine Gasturbine wieder Strom erzeugt. Je nach Evolutionsstufe des Druckgasspeichers weist diese Technologie einen Wirkungsgrad von 40% bis 70% auf.

---

<sup>272</sup> Vgl. Schwab, 2012, 239 ff.

Bei der Wasserstoffwirtschaft wird durch Elektrolyse der Strom zur Wasserstoffgewinnung genutzt. Wasserstoff ist ein transportables und speicherbares Gas analog dem Erdgas. Diese Technik hat die Nachteile eines schlechten Wirkungsgrades und der hohen Explosionsgefahr bei der Vermischung von Luft und Wasserstoff.

Schwungradspeicher wandeln Strom in kinetische Energie um (Rotationsenergie). Diese fristen zurzeit noch ein Nischendasein.

Supraleitende magnetische Energiespeicher (SMES) speichern elektrische Energie direkt im Magnetfeld eines in einer supraleitenden Spule fließenden Gleichstroms. SMES sind durch einen hohen zyklischen Wirkungsgrad gekennzeichnet ( $> 95\%$ ), welcher sich durch die notwendige Kühlung verringert. Aufgrund ihrer Komplexität finden sie noch keinen praktischen Einsatz.

### **Möglichkeiten der Gasspeicherung**

Ein Teil des über das ganze Jahr gleichmäßig angelieferten Erdgases wird in Verbrauchsschwachen Zeiten (Sommer) gespeichert und zu Lastzeiten (Winter) an die Verbraucher geliefert. Ein Speicheranteil von ca. 20% des Jahresverbrauchs wird aktuell in der BRD avisiert.

Für die Unterspeicherung haben sich folgende Möglichkeiten herausgestellt, welche an bestimmte geologische Voraussetzungen gebunden sind:

- Porenraum im Untergrund
- Hohlräume des Untergrundes (Kavernen)
- Behälter für verflüssigtes Erdgas

Porenspeicher werden in ausgebeuteten Gas- oder Ölfeldern sowie in Aquiferen angelegt. Voraussetzung dafür ist das Vorhandensein von porösen und durchlässigen Gesteinsschichten mit einer Abdeckung aus undurchlässigen Erdschichten. In den Porenräumen befindet sich Wasser mit unterschiedlichem Salzgehalt, wodurch in den Schichten der hydrostatische Druck herrscht, Ein freies Porenvolumen von (10 ... 25)% wird für die Gasspeicherung als ausreichend angesehen.

---

Kavernenspeicher werden in Hohlräumen von ehemaligen Salzlagerungen angelegt. Das Salz stellt einen natürlichen Mantel dar, sodass eine Lagerung in einer Salzkaverne für das Grundwasser ungefährlich ist.

Weiterhin gibt es Gasbehälter für die Speicherung unter Niederdruck und unter Hochdruck. Niederdruck-Behälter werden in Verbindung mit dem ND-Versorgungsnetz betrieben. Zu den Niederdruck-Behältern gehören:

- Scheibengasbehälter sind in Prinzip ein Zylinder mit einer innenliegenden, beweglichen, abgedichteten Scheibe, welche den Gasraum abdeckt und
- Rollmembranbehälter, welche eine spezielle Bauart des Scheibengasbehälters darstellen.

Zu den Hochdruckbehältern zählen Kugelgasbehälter und Röhrenspeicher. Eine weitere Speicherkapazität stellen große Gasleitungen dar. Dies sind überdimensionierte Leitungen, welche auch die Transportfunktion sicherstellen müssen.

Speicher für verflüssigtes Erdgas (Liquid Natural Gas - LNG) zeichnen sich durch ihre hohe Speicherkapazität bei relativ geringen Volumina aus. Nachteilig ist der hohe Energieaufwand bei der Verflüssigung des Erdgases und die erhöhten Anforderungen an die Speicher.

### **Aktuelle Speichertechnologien für Wärme<sup>273</sup>**

Die Speicherung von Wärme erfolgt mittels Speicher für sensible Wärme oder mittels latenter Wärmespeicher. Im Gegensatz zu den sensiblen Speichern, welche ausschließlich die Wärmespeicherkapazität des Materials nutzen, verwenden Latentwärmespeicher die frei werdende Energie beim Phasenwechsel.

Eine weitere Unterscheidung erfolgt anhand der temporären Speicherdauer in Kurzzeit- oder Saisonspeicher. Als saisonale Speicher kommen i. d. R. große Wasserspeicher, Aquifere oder Erdsondenspeicher zum Einsatz. Für die kurzzeitige Wärmespeicherung kommen ebenso Wasserspeicher, aber auch Phasenwechselspeicher (PCM) zum Einsatz.

Beim Aquiferspeicher wird die Wärme im Grundwasser gespeichert, welches sich in porösen Gestein einlagert. Dieser besteht aus zwei Bohrungen in einen Grundwasserleiter.

---

<sup>273</sup> Vgl. I-TS, 2005

Die Bohrungen haben einen Sicherheitsabstand zur Verhinderung eines thermischen Kurzschlusses.

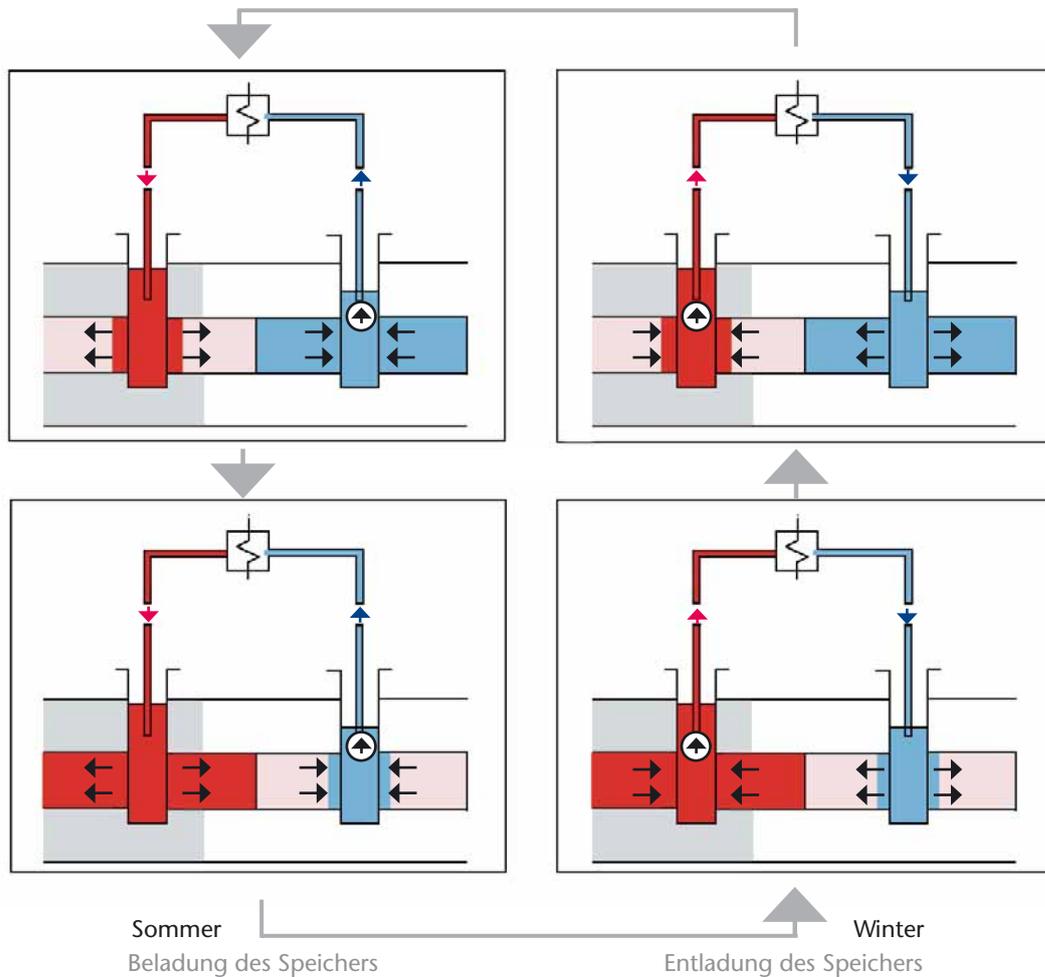


Abb. 7-42: Aufbau und Funktionsweise eines Aquiferspeichers<sup>274</sup>

Der Erdsondenspeicher besteht aus mehreren Wärmetauschern, welche in bis zu 100 m Tiefe in den Erdboden eingebracht werden. Diese werden durch ein Wärmeträgermedium durchströmt. Zwischen den einzelnen Sonden sind Abstände von bis zu 3 m einzuhalten. Aufgrund der langen Distanzen ist dieses System nicht zum kurzzeitigen Ausgleich von Spitzenlasten geeignet.

PCM-Speicher eignen sich zur Speicherung von Wärme unter der Voraussetzung, dass Entladetemperatur und Beladetemperatur keine große Differenz aufweisen. PCM sind

<sup>274</sup> I-TS, 2005, S. 120

gekennzeichnet durch gute Wärmespeicherkapazitäten und dem Phasenwechsel bei der gewünschten Einsatztemperatur. Im weitesten Sinne zählt auch der Eisspeicher als PCM-Speicher.

### **7.3 Fazit (B)**

Die Technologien zur Wandlung und Speicherung von erneuerbaren Energien sind ebenso vielfältig wie die Primärenergiearten. Teilweise werden diese Technologien seit Jahrhunderten genutzt und wurden den aktuellen technischen, wirtschaftlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen angepasst oder sie befinden sich noch in der Erprobungsphase.

Etabliert haben sich die Technologien zur Wind- und Wasserkraftnutzung. Die Nutzung von Biomasse, von oberflächennaher Geothermie, aber insbesondere von Wärmepumpen sowie auch bei der Nutzung von Photovoltaik ist ein stetiges Wachstum zu verzeichnen. Solarthermische Anlagen sind zwar technisch ausgereift, haben aufgrund der geringen Förderung sich nicht am Energiemarkt etablieren können. Tiefengeothermie muss sich aktuell technischen und damit vor allem ein wirtschaftlichen Herausforderungen stellen, wodurch es noch nicht geschafft hat, über den Forschungs- und Entwicklungsstatus hinaus genutzt zu werden.

Die Auswahl, die Planung und Dimensionierung einer Technologie hat anlagen- und standortspezifisch zu erfolgen. Eine pauschale Planung ohne Beachtung der Rahmenbedingungen kann zu einem vollkommen anderen Ergebnis führen und ist somit nicht belastbar. Weiterhin ist eine Kombination verschiedener Technologien möglich, welche sich gegenseitig und entsprechend der Dimensionierung beeinflussen.

Da die Planung und Dimensionierung direkten Einfluss auf die Kosten haben, ist eine pauschale Aussage zur Wirtschaftlichkeit schwierig darstellbar. Dies ist anhand der Schwankungsbreite der spezifischen Investitionskosten erkennbar (siehe Tab. 7-7).

Technologie	Investitionskosten	Betriebskosten
<b>Photovoltaik</b>	1.800 €/kW <sub>p</sub>	1 % der Investitionskosten
<b>Solarthermie</b>	600 bis 1.000 €/m <sup>2</sup>	2 % der Investitionskosten
<b>Biomasse</b>		
Holzkessel einfach	100 bis 250 €/kW	8 % der Investitionskosten
Holzkessel vollautomatisch	100 bis 400 €/kW	4 % der Investitionskosten
Biogasanlage	3.000 bis 6.000 €/kW <sub>el</sub>	8,8 ct/kWh
<b>Windenergie</b>	800 bis 1.250 €/kW	2 % der Investitionskosten
<b>Wasserkraft</b>		4 % der Investitionskosten
Kl. Wasserkraftanlage	8.500 bis 10.000 €/kW	
Große Wasserkraftanlage	2.000 bis 4.000 €/kW	
<b>Geothermie</b>		
Sole/Wasser-Wärmepumpe	1.700 bis 2.000 €/kW	2 % der Investitionskosten
Wasser/Wasser- Wärmepumpe	1.500 bis 1.800 €/kW	2 % der Investitionskosten

Tab. 7-7: Übersicht der spezifischen Investitionskosten

Durch die Ergänzung der erneuerbaren Energien mit Speichersystemen kann ein Beitrag zum Ausgleich von Erzeugung und Abnahme erreicht werden. Analog den Erzeugungstechnologien existieren etablierte Speichersysteme für Strom, Gas und Wärme wie Pumpspeicherkraftwerke zur Speicherung von elektrischer Energie. Darüber hinaus befinden sich neue Speichertechnologien in der Entwicklung um den erhöhten Bedarf an Ausgleichsenergie durch die Zunahme diskontinuierlicher Erzeugungskapazitäten kompensieren zu können.

## **8 Energietechnische und wirtschaftliche Untersuchung**

### **8.1 Herangehensweise und Identifikation zu untersuchender Parameter (B)**

Für die Untersuchung deutscher Städte bezüglich ihrer Eignung zur autarken Versorgung mittels erneuerbaren Energien werden nachfolgend die Herangehensweise und die wichtigsten Parameter zur individuellen Auswertung beschrieben und erläutert.

Die Vorauswahl der Städte erfolgte anhand der Primärenergiepotenziale (siehe Kapitel 6), welche den ersten Schritt zur Einstufung der Region und Stadt darstellen und aufgrund der hohen Primärenergiepotenziale eine Erwartungshaltung bezüglich der Versorgungsstrategie generieren. Die genaue Untersuchung ist notwendig, um diese Erwartungshaltung zu bestätigen oder zu widerlegen.

#### **8.1.1 Zielstellung**

Das Ziel der vorzunehmenden Auswertung ist die Eignung der untersuchten Stadt hinsichtlich ihrer autarken Versorgung. Folgende Fragen sind zu beantworten, um eine Aussage der Möglichkeit der Versorgung tätigen zu können

1. Ist eine autarke Versorgung mittels EE möglich?
2. Welche Technologien finden ihren Einsatz und zu welchem Anteil tragen sie zur Versorgung bei?
3. Welche Kosten und Kostenänderungen sind mit einer Versorgung nach dem Versorgungskonzept verbunden.
4. Welche Aktivitäten sind zu einer autarken Versorgung noch notwendig bzw. auf welchen Betätigungsfeldern besteht noch Handlungsbedarf?

#### **8.1.2 Identifikation und Beschreibung zu untersuchender Parameter**

Die Bewertung einer Stadt ist abhängig von mehreren Parametern, welche sich gegenseitig beeinflussen. Diese stellen ein komplexes Geflecht dar und werden nachfolgend genauer beschrieben.

Einführend erfolgt zu jeder Stadt eine Kurzbeschreibung zur Lage, Gründung, Einwohnerzahl, Größe und zu eventuellen Besonderheiten wie Universitätsstadt etc. Diese allgemeinen Daten sind relevant zur Einordnung der Stadt. Sie bilden im Rahmen der Berechnung und Bewertung die Grundlage zur Bildung von Kennzahlen.

Weiterhin wird die städtische Struktur, d.h. die Anzahl der Einfamilienhäuser (EFH), Flächen zur Wohnbebauung, der gewerbliche und der industrielle Anteil beschrieben. Detailliertere Aussagen zu den Einwohnern, Haushalten und Gebäuden geben genauere Einblicke zu den siedlungsrelevanten Verhältnissen der untersuchten Stadt.

Als essentieller Schritt zur Bewertung der Stadt werden die energie- und versorgungstechnischen Daten erfasst bzw. ermittelt. Unter Bezugnahme der gegebenen Daten aus diversen Quellen, wie das statistische Bundesamt, Energiestudien oder Ähnlichem, werden die konventionelle, als auch die erneuerbare Versorgungs- sowie Verbrauchsstruktur ermittelt.

Nachfolgend werden die Ausbaupotenziale der erneuerbaren Energien evaluiert. Dies erlaubt die Erstellung von Energieszenarien inklusive der Bewertung der Kosten. Eine Auswahl eines Energieszenarios anhand der geringsten zu erwartenden Investitionskosten ist der nächste Schritt. Das ausgewählte Energieszenario ist weiterhin anhand der Betriebskosten zu bewerten.

Nach Ermittlung des zukünftigen Versorgungsszenarios, kann dieses mit der aktuellen Situation verglichen werden. Unter Einbeziehung der Stadtstruktur ist nun die Bildung von energiewirtschaftlichen Kennwerten möglich.

Dementsprechend werden die Kennwerte unter Zuhilfenahme eines Berechnungsprogrammes ermittelt, welches nachfolgend beschrieben wird.

## **8.2 Berechnungsprogramm (B)**

### **8.2.1 Philosophie und Rahmenbedingungen**

Die Fragestellungen aus Kapitel 8.1.1 und die zu ermittelten Parameter dienen als Grundlage zur Entwicklung eines Berechnungsprogramms.

Die Grundidee hinter dem entwickelten Excel-Programm ist die Schaffung eines Werkzeugs zur Auswertung der bestehenden Energiestrukturen und anschließender Darstellung der Möglichkeit einer möglichst autarken Versorgung durch erneuerbare Energien, dem sogenannten Versorgungsszenario.

Im Rahmen des Berechnungsprogramms ist es nicht möglich alle Parameter vollständig rechnerisch auszuwerten und darzustellen. Entsprechend werden folgende Rahmenbedingungen bei der Auswertung der Städte festgelegt.

Zukünftige Entwicklungen der Verbräuche, Lastgänge und der demographische Wandel bleiben unberücksichtigt. Weiterhin erfolgt die energetische Auswertung auf Basis von Leistungsangaben und Jahresverbräuchen ohne Berücksichtigung der Anlagenanzahl. Etwaige temporäre Zusammenhänge, darstellbar durch Lastgänge sowie die Unterteilung in Grund- und Spitzenlast, werden nicht betrachtet.

Die finanzielle Auswertung findet unter dem theoretischen Gesichtspunkt der heutigen einmaligen Investition innerhalb einer Sekunde statt. Die Investitions- und Betriebskosten werden ohne Berücksichtigung von Zinsen über die Nutzungsdauer gleichverteilt.

### **8.2.2 Aufbau und Beschreibung**

Das Berechnungsprogramm ist durch einen strukturierten, individuell anpassbaren Programmaufbau gekennzeichnet und kann somit als Vorlage zur Auswertung beliebiger Städte und Ortschaften dienen. Nachfolgend wird die Philosophie des Programmes und die darin erfasste Struktur kurz vorgestellt. (siehe Anlage 16)

Die Struktur des Excel-Programms ist durch die Unterteilung in folgende Reiter gekennzeichnet:

- Eingabemaske (siehe Anlage 17)
- Detailberechnung (siehe Anlage 18) und
- Grafiken (siehe Anlage 19).

Die Daten im Reiter „Eingaben“ bilden die Grundlage für die rechnerische Auswertung und stellen die Grunddaten dar. Auf diesem Reiter beziehen sich mehrere Zellen des Reiters „Detailberechnung“.

Der Reiter „Detailberechnung“ enthält in chronologischer Reihenfolge die Berechnungs- und Auswertungsschritte. Die Darstellung der Auswertungsschritte ist dem Lesefluss angelehnt, d.h. von oben nach unten erfolgen die aufeinander folgenden Berechnungen.

Die Werte, welche innerhalb des Programms über Berechnungen ermittelt werden, sind blau dargestellt. Weiterhin existiert in den Tabellen eine Spalte „Bemerkungen“, welche Quellenangaben sowie Annahmen und Festlegungen für die Berechnungen enthält.

Als Vergleichsbasis der energetischen Auswertung dienen die Nutzenergiearten Wärme und Strom. Um dies zu gewährleisten, erfolgt eine Umrechnung der energetischen Ist-Angaben innerhalb des Programms.

Analog der Auswertung der Ist-Energieverbrauchsdaten werden die Potenziale für die Versorgung mit erneuerbaren Energien auf die Nutzenergien Wärme und Strom angepasst. Anhand der Potenziale werden diverse Versorgungsszenarien gebildet und bezüglich der notwendigen Investitionskosten bewertet. Das Versorgungsszenario mit den geringsten Investitionskosten dient als Basis einer tiefergehenden Betrachtung.

Die finanztechnische Auswertung erfolgt auf der Grundlage der Änderung der Kosten der Wärme- und Stromversorgung aus Sicht der zu untersuchenden Stadt. Als Ergebnis ist die Kostendifferenz der bisherigen Versorgung und der Versorgung auf Basis des Versorgungskonzeptes sowie die Kennwerte Wärme- und Stromverbrauch pro EW, Anteil EE an Wärme und Strom aktuell und bei Umsetzung des Versorgungsszenarios sowie die spezifische Gesteungskosten Wärme und Strom aktuell und bei Umsetzung des Versorgungsszenarios dargestellt.

Der Reiter „Grafiken“ stellt die Kennwerte und Ergebnisse noch einmal in visueller Form dar.

### **8.2.3 Besonderheiten der Datenbewertung**

Besondere Aufmerksamkeit ist der Datengrundlage zur programmtechnischen Auswertung zu widmen. Für die Datengewinnung stehen prinzipiell mehrere Herangehensweisen zur Verfügung. Die Auswahl der Daten ist abhängig von diversen Parametern, welche beispielhaft nachfolgend benannt werden:

1. die Genauigkeit der Ergebnisse,
2. die verfügbaren Quellen und
3. die Zielstellung der Untersuchung.

Bei der Grobberechnung über personenabhängige Kennwerte für diverse Energieformen wie Stromverbräuche sind Ergebnisse mit starker Schwankungsbreite zu erwarten. Die verfügbaren Kennwerte spiegeln nicht die stadtspezifischen Eigenheiten wie die Siedlungsstruktur wieder und bilden daher für die Arbeit keine ausreichende Grundlage.

Für die Detailberechnung ist eine vorbereitende Datenerfassung, welche unter anderem örtlichen Umfragen und Auswertung von statistischen Daten notwendig. Ein Teil der Grundlagendaten, wie Anzahl der Einwohner, Altersstruktur der Einwohner, Gebäudearten und –alter und Haushaltstypen sind erfasst und öffentlich zugänglich. Die zeitintensive Erfassung und Zusammenfassung der vorgenannten Daten erfolgt im Rahmen spezieller Aufträge durch den Auftraggeber Stadt bzw. Kommune. Da diese Arbeit über die nationalen Primärenergiepotenziale (siehe Kapitel 6) die zu untersuchenden Städte evaluiert, wird die Detailberechnung nicht weiter in Betracht gezogen.

Die Auswertung vorhandener Energiestudien mit der Ergänzung von statistischen Angaben und ggf. Berechnung von fehlenden Daten über Kennwerte, also die Kombination aus der Grob- und der Detailberechnung dienen als Datengrundlage für die Berechnungen dieser Arbeit. Diese Herangehensweise verspricht eine hinreichende Genauigkeit der Ergebnisse und spiegelt das optimale Verhältnis von Aufwand zu Nutzen im Rahmen der Masterthesis wieder.

Aufgrund der differierenden Datenlage zu den jeweiligen Städten ist von einer großen Bandbreite der auszuwertenden Parameter und Ergebnisse auszugehen. Demzufolge bedarf es einer hohen Aufmerksamkeit um eine einheitliche Basis zum Vergleich der Städte zu schaffen. Daher sind bei jeder Stadt individuelle Auswertungswege zu beschreiben, welche in Abhängigkeit der Datenlage und der Erwartungshaltung zu unterschiedlichen Umfängen der Daten- und Parameterbeschaffung führen.

### **8.3 Ergebnisse (B)**

Im Rahmen dieser Masterthesis werden die verfügbaren versorgungstechnischen Daten auf die Nutzenergien Wärme und Strom übertragen, den aktuellen Stand mit den Ausbaupotenzialen an EE verglichen und mittels eines Versorgungsszenarios kostenseitig bewertet. Darüber hinaus werden folgende Kennwerte gebildet, um einen Vergleich diverser Städte vornehmen zu können:

- Wärme- und Stromverbrauch pro EW
- Anteil EE an Wärme und Strom aktuell und bei Umsetzung des Versorgungsszenarios
- Spezifische Gestehungskosten Wärme und Strom für das Versorgungsszenario

Abgesehen von der numerischen Auswertung auf Basis des Berechnungsprogrammes erfolgt anschließend eine verbale Auswertung bezüglich der gesellschaftsrechtlichen Umsetzung des Versorgungskonzeptes. Auch weitere Stellschrauben zur autarken Versorgung mit erneuerbaren Energien werden andiskutiert.

### **8.4 Freiburg im Breisgau**

#### **8.4.1 Ausgangsdaten der Stadt (A)**

##### **Allgemeine Daten**

Freiburg im Breisgau liegt im Südwesten Deutschlands an der Bundesgrenze zu Frankreich und der Schweiz. Mit ihrer Gründung um 1120 n. Chr. und einer Fläche von ca. 15.300 ha nimmt sie als viertgrößte Stadt Baden-Württembergs mit ca. 230.000 Einwohnern einen festen Wirtschaftsbestandteil der Region ein. Mit der Gründung der Albert-Ludwigs-Universität in 1457 gilt sie zudem als zentrale Universitätsstadt.<sup>275</sup> Freiburg ist östlich des Rheines gelegen und „einer der größten kommunalen Waldbesitzer“<sup>276</sup> der Bundesrepublik.

---

<sup>275</sup> Vgl. I-Freiburg, 2013

<sup>276</sup> GreenCity Freiburg, 2012



Abb. 8-1: Freiburg i.Br., Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald und Emmendingen<sup>277</sup>

### Politische Rahmenbedingungen

Innerhalb Freiburgs wurden auf kommunaler Ebene bislang folgende, politische Schritte und Rahmenbedingungen eingeleitet, um den Ausbau von Erneuerbaren Energien weiter voranzutreiben (exemplarischer Auszug):

- Klimaschutz-Strategie der Stadt Freiburg - Abschlussbericht Szenarien und Maßnahmenplan (Version 3.3), 2007
- Freiburger Fortschreibung der Klimaschutzstrategie, des Klimaschutzzieles und des Maßnahmenplans 2007 (beginnend ab 2008)
  - o jährlich 10% der Konzessionsabgaben der badenova AG (2007: ca. 1,2 Mrd. €) für ergänzende Klimaschutzprojekte der Stadt zu investieren, u.a.:
    - Passivhausstandard für Neubauten bzw. Erweiterungen städtischer Gebäude, vordringlich im Schulbereich

<sup>277</sup> Vgl. GreenCity Freiburg, Map, 2012

- Blockheizkraftwerke (Blockheizkraftwerke (BHKW) in öffentlichen Gebäuden/Schulen
- 12-PunktePrgramm (für Folgejahre), u.a.:
  - Städtische Gebäudebestand, Bauleitplanung
  - Private Haushalte, Wohnungswirtschaft und Gewerbe, Kommunikation, Öffentlichkeitsarbeit
- Maßnahmenpaket Klimaschutz (2009/2010)
- Flächennutzungsplan 2020 – Nachhaltige Stadtentwicklung

### Primärenergiepotenziale

In Freiburg sind folgende, sehr gute Primärenergiepotenziale vorhanden, welche als Auszug der Primärenergien des Berechnungsprogrammes entnommen sind (siehe Kapitel 6.2). Der Großteil der Energiequellen ist in überdurchschnittlichem Umfang vorhanden (siehe Kapitel 6.3).

Energieart	Potential	Bemerkung
Solarenergie	1141 – 1160 kWh/m <sup>2</sup>	jahresdurchschnittliche Globalstrahlung
Windenergie	5,8-7,0 m/s	Jahresmittel, in 80 m über Oberfläche
Wasserkraft	8 WKA	mit Vergütung gem. EEG (kleiner 1 MW)
Geothermie	130 °C	Tiefengeothermie: in 3.000 m unter NN
Bioenergie	-	-
- Waldgebiet	> 40 %	Anteil an Gesamtfläche
- Landwirtschaftliche Fläche	0 – 25 %	Anteil an Gesamtfläche
- Ackerfläche	25 – 50 %	Anteil an Lndwirtschaftsfläche
- Ökologisch bewirtschafteter Betrieb	0 – 2 %	Anteil an Gesamtbetrieben

Tab. 8-1: Freiburg i. Br., Primärenergiepotenziale <sup>278</sup>

<sup>278</sup> Datenbasis sind die Inhalte des Programmes zur Primärenergie.

## Siedlungsstruktur

Die ca. 15.300 ha-große Stadtfläche verteilt sich auf folgende Bereiche. Mit ca. 6,5 T ha nehmen die Waldflächen den größten Anteil von ca. 40 % ein. Mit mehr als 20% besitzt

die Landwirtschaft einen hohen Anteil an Freiburgs Stadtstruktur. Wohn-, Verkehrs- und sonstige Flächen verteilen sich mit je ca. 10% mit Anteilen zwischen 1.400 und 1.600 ha auf Freiburg.

Siedlungsstruktur		
Wohnfläche	ha	1.613
Gewerbe- und Industriefläche	ha	438
Verkehrsfläche	ha	1.475
Konversionsfläche	ha	-
Landwirtschaftsfläche	ha	3.641
Waldfläche	ha	6.532
Sonstige Flächen	ha	1.607

Tab. 8-2: Auszug Rechenprogramm, Eingabemaske, Siedlungsstruktur

## Einwohner und Haushalte

Mit ca. 230.000 Einwohnern ist Freiburg auf der Liste der Groß- bzw. Mittelgroßen Städte auf Position 34 gelegen<sup>279</sup> und der Kategorie der Großstädte zuzuordnen. Die Einwohner in Freiburg verteilen sich gem. Auswertung der statistischen Haushaltstypen (2003) wie folgt auf Ein-, Zwei- bzw. Drei- und Mehrpersonenhaushalte:<sup>280</sup>

Haushaltstyp	Anteil Haushalt	Anteil Einwohner
1-Personen	57,00 %	35,00 %
2-Personen	23,00 %	30,00 %
3+x-Personen	20,00 %	35,00 %

Damit zeigt sich eine relative Gleichverteilung der Einwohner auf die Haushaltstypen. Flächenmäßig dominieren die Einpersonenhaushalte mit über 55 % und besitzen den größten Anteil. Die Zwei- und Drei- bzw. Mehrpersonenhaushalte verteilen sich mit ca. 20 % etwa im gleichen Verhältnis.

Tab. 8-3: Übersicht Einwohner und Haushalte<sup>281</sup>

<sup>279</sup> Vgl. I-Freiburg, 2013

<sup>280</sup> Vgl. Freiburg i.Br, 2003

<sup>281</sup> Ebd., Eigene Darstellung

## Gebäude

Zur Untersuchung der Nachhaltigkeit wurde innerhalb der Masterarbeit „GIS-gestützte Analyse der Energieeinspar- und Klimaschutzpotenziale der Gebäudetypologie der Stadt Freiburg i. Br.“ die Freiburger Gebäudestruktur (Stand 2007) in folgende Gebäudeklassen, von BAK A (vor 1918) bis BAK G (2002 - 2007), unter Berücksichtigung der jeweiligen Normierung unterteilt:

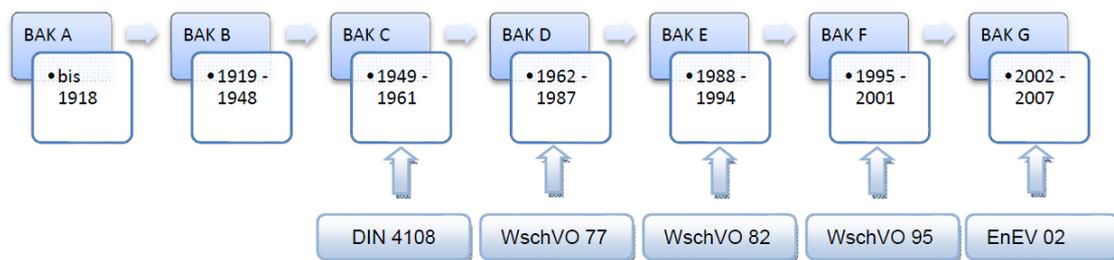


Abb. 8-2: Bauklassen mit Angabe des jeweils gültigen Wärmeschutzstandards <sup>282</sup>

Diese Aufteilung spiegelt gut die Kategorien der nachhaltigen Stadtentwicklung und Schnittstelle zu Energieverbräuchen wieder. Die Ergebnisse sind in nachstehender Abbildung erfasst. Darin wird deutlich, dass über 30 % der Gebäude (Summe BAK A bis C) vor 1962 errichtet wurden und mit ca. 37 % der Hauptteil des Gebäudebestandes der Kategorie D, mit Errichtungen bis 1987, zuzuordnen sind. Allein ca. 7 % der Gebäude erfüllen demnach die Anforderungen der ENEV 2002. Dies entspricht einer Wohnfläche von max. 12 %.



Abb. 8-3: Verteilung der Bauklassen nach der Gebäudeanzahl <sup>283</sup>

<sup>282</sup> Fritz, 2009, S. 64

<sup>283</sup> Ebd., S. 84

## Heizwärmebedarf

Die Auswertung der Gebäudekategorien in Abhängigkeit der Hausgrößen von Einfamilien-, Zweifamilien-, Mehrfamilien-, Großen Mehrfamilien- und Hochhäusern zeigt einen Heizwärmebedarf von ca. 52 bis 225 kWh/m<sup>2</sup>a,<sup>284</sup> wodurch in Freiburg ein Einsparungspotenzial gegenüber des unsanierten Gebäudebestandes von ca. 58% existiert (entspricht ca. 77 kWh/m<sup>2</sup>a). Dadurch sind jährlich ca. 173.000 t CO<sub>2</sub>-Einsparungen erzielbar.<sup>285</sup>

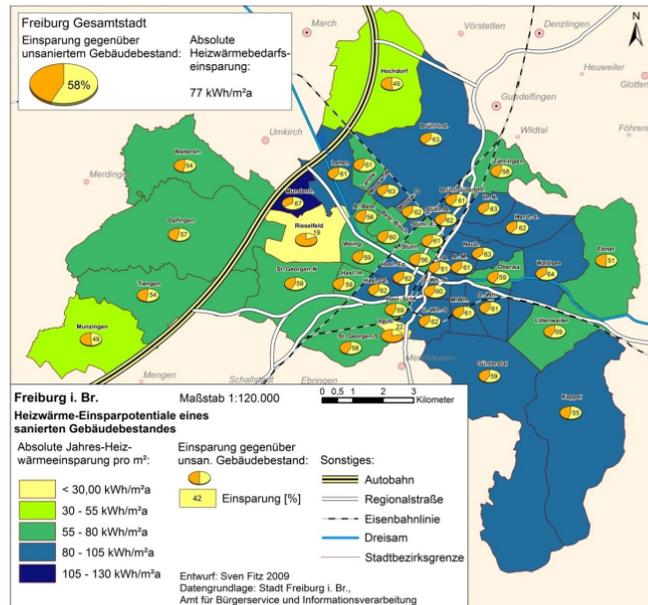


Abb. 8-4: Wohnflächenbezogene Heizwärme-Einsparpotentiale sanierten Gebäudebestand<sup>286</sup>

## Endenergiebedarf

Der jährliche Endenergiebedarf beträgt 4.050 GWh. Der Anteil der Erneuerbaren Energien an der Endenergie beträgt ca. 221 GWh und entspricht somit ca. 6 %. Dies entspricht einem Nutzenergiebedarf für die Sektoren Strom (mit ca. 1.110 GWh) und Wärme (Erdgas, Heizöl und Fernwärme mit ca. 2.235 GWh).

Die benötigte Endenergie verteilt sich auf Gewerbe, Handel und Dienstleistungen sowie Öffentliche Gebäude auf insgesamt ca. 60 %. Der Anteil an Industrie nimmt mit weniger als 2 % den geringsten, die Haushalte mit knapp 40 %, den größten Anteil ein.

Endenergie		
Strom	GWh/a	1.081
Fernwärme	GWh/a	1.028
Erdgas	GWh/a	1.182
Umweltwärme	GWh/a	0
Heizöl EL (Extra Leicht)	GWh/a	627
Solarthermie	GWh/a	15
Biomasse	GWh/a	100
sonstige Fossile	GWh/a	17

Tab. 8-4: Auszug Rechenprogramm, Eingabemaske, Endenergiebedarf<sup>287</sup>

<sup>284</sup> Vgl. Fritz, 2009, S. 90

<sup>285</sup> Vgl. Ebd., S. 99, 103

<sup>286</sup> Ebd.

<sup>287</sup> Eigene Darstellung

## Versorgungs- und Ertragsstruktur

In Freiburg sind mit Stand 09/2012 folgende Erneuerbare Energien installiert. Sie werden anhand der Anlagenanzahl bzw. Anlagenflächen, der Leistungen und Endenergieerträge erfasst.

Energieart	Anlagenanzahl / Fläche	Leistung	Ertrag
Photovoltaik	1638,00 Stk.	21,80 MW	17,90 GWh/a
Solarthermie	12500,00 m <sup>2</sup>	-	8,00 GWh/a
Windenergie	6,00 Stk.	10,80 MW	11,80 GWh/a
Wasserkraft	9,00 Stk.	0,57 MW	2,20 GWh/a
Tiefengeothermie	keine Ansatz	keine Ansatz	keine Ansatz
Oberflächennahe Geothermie	-	-	18,00 GWh/a
Biogas*)	-	-	-
Holz	-	-	87,00 GWh/a
Abfall	-	-	136,00 GWh/a

Legende

\*) wird im Umland von Freiburg betrieben

Tab. 8-5: Versorgungs- und Ertragsstruktur<sup>288</sup>

### 8.4.2 Energetische Betrachtung und Auswertung (B)

Bei der energetischen Untersuchung der Stadt Freiburg im Breisgau werden folgende Aufgaben und Ziele geprüft:

- Aktuelle Energiesituation (IST-Stand) darstellen
- Potenziale am Zubau von Erneuerbaren Energien bzw. Deckungsraten ermitteln
- mögliche zukünftige Versorgungsszenarien mit maximaler Substitution ermitteln
- Szenario genauer untersuchen (wobei die Auswahl des Szenarios anhand des geringsten Investitionskosten- bzw. Gesamtkostenaufwands erfolgt)
- Gesamtkosten ermitteln und Kostendifferenz zum IST-Stand darstellen
- Kennwerte zum Vergleich bilden

<sup>288</sup> Dallmann, 2013, S. 51ff. Eigene Darstellung

## Aktuelle energetische Situation

Aus der Energiestudie zur Region Freiburg (Energiestudie Freiburg)<sup>289</sup> und den statistischen Werten des Bundeslandes Baden-Württemberg wurden die sektorenspezifischen Verbrauchsdaten für Endenergie sowie die Anteile an den Endenergieträgern wie Fernwärme, Strom etc. entnommen und sektorenspezifisch zugeordnet.

Um eine Basis für den Vergleich zu schaffen, erfolgt eine Aufteilung der Endenergieträger auf die Nutzenergien Wärme und Strom. Die aufsummierten Endenergien entsprechen hierbei nicht den Nutzenergiewerten, da entsprechend der Endenergie- und Nutzenergieart Umwandlungs- und Verteilungsverluste auftreten, welche bei der Berechnung im Programm berücksichtigt wurden.

Die kumulierten Nutzenergien ergeben aktuell ein Jahresverbrauch für Wärme von ~2.235 GWh und für Strom von ~1.110 GWh (Zusammensetzung siehe Abb. 8-5). Demzufolge benötigt die Stadt Freiburg ca. 3.334 GWh an Nutzenergie pro Jahr zur Versorgung der privaten Haushalte, des öffentlichen Betriebes, des Gewerbes und der Industrie.

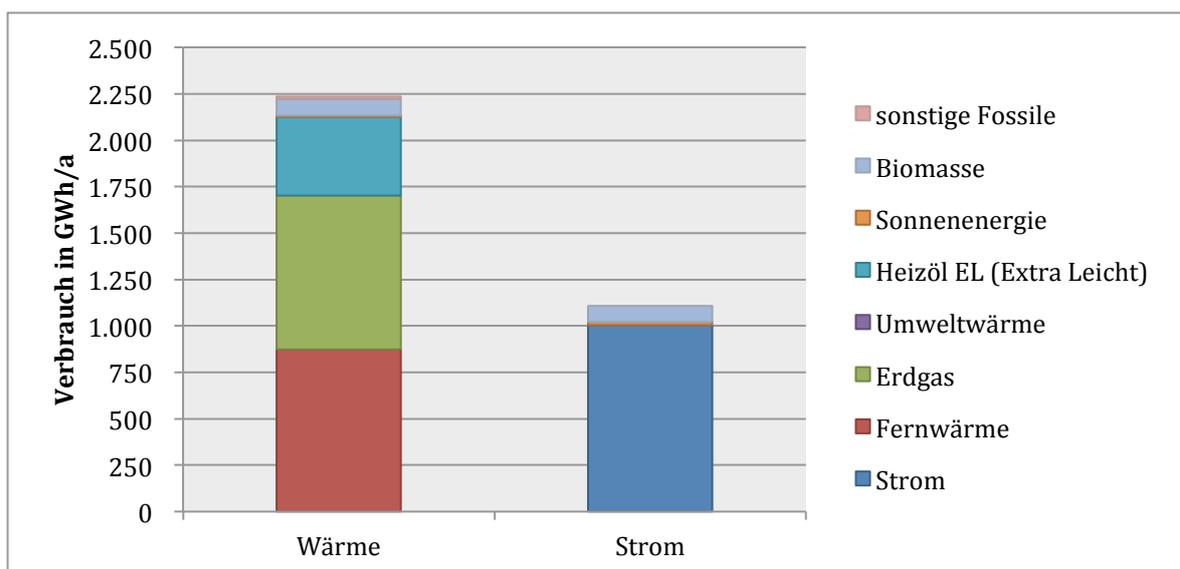


Abb. 8-5: Aktuelle Aufteilung der Endenergieträger auf die Nutzenergien Wärme und Strom

<sup>289</sup> Vgl. DB, 2012

Bei der Bewertung der Endenergieträger mit den spezifischen Netto-Preisen für Erdgas, Fernwärme, Strom und Heizöl aus der Energiestudie Freiburg, ergeben sich Jahresverbrauchskosten von ca. 300 Mio. Euro. Dies entspricht ca. 1.262 Euro Energiekosten je Einwohner von Freiburg.

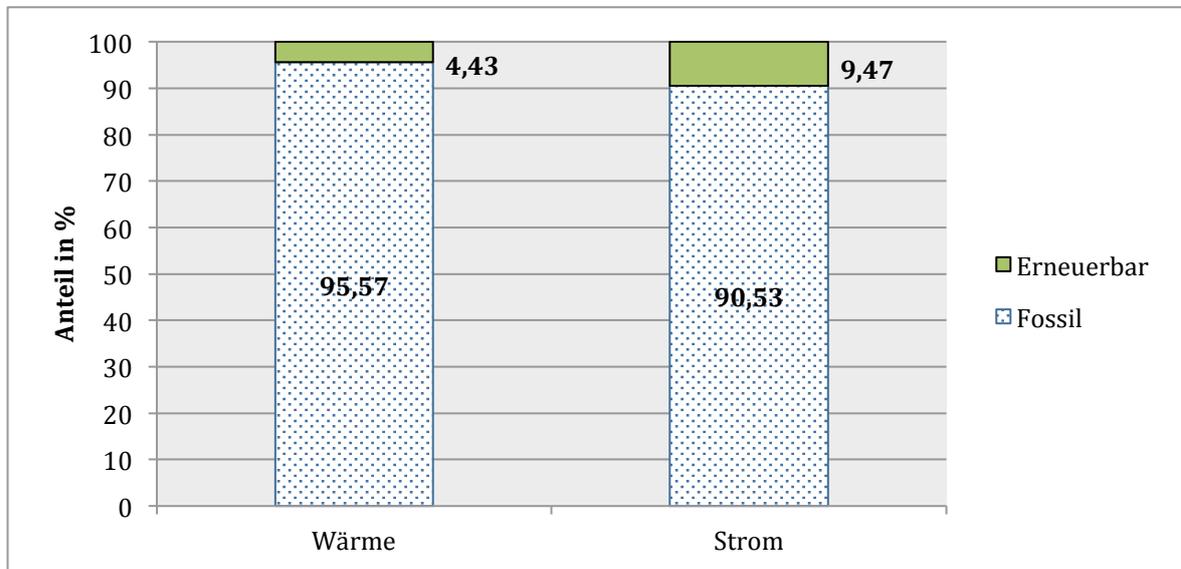
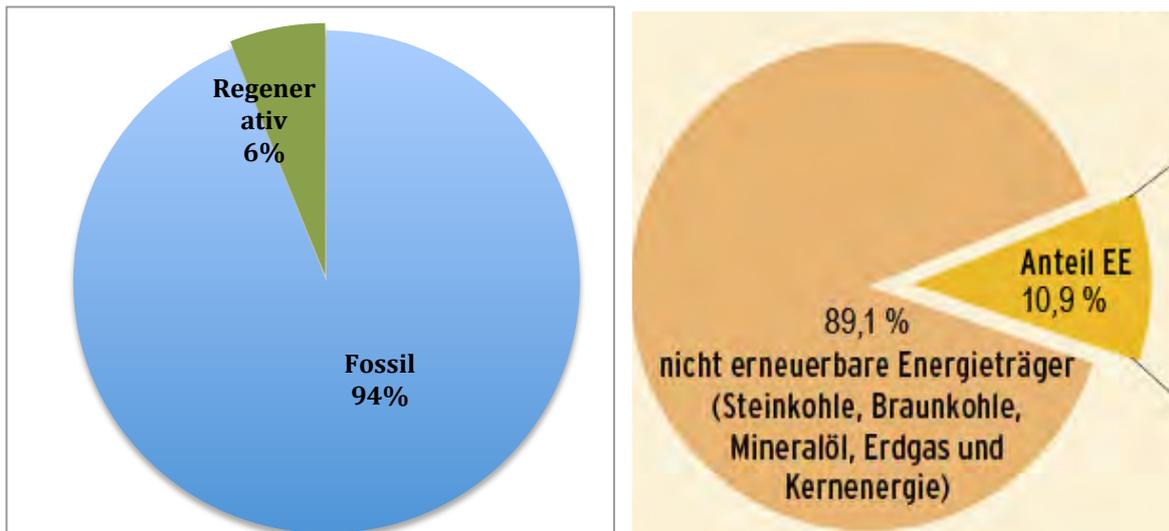


Abb. 8-6: Aktueller Anteil Erneuerbare Energien an der Nutzenergie

In der Abbildung (Abb. 8-6) ist die Aufteilung der Energieversorgung in fossile und erneuerbare Anteile dargestellt. Es ist zu erkennen, dass zurzeit ca. 4,4 Prozent an Wärme und ca. 9,5 Prozent am Strom bzw. 6,0 Prozent Endenergie durch Erneuerbare Energien zur Verfügung gestellt wird. Somit ist deutlich, dass Freiburg unter dem deutschen Durchschnitt am Anteil von erneuerbarer Energie an Endenergie liegt (siehe Abb. 8-7).



a)

b)

Abb. 8-7: Anteil an erneuerbarer Energie an der Endenergie in Freiburg a) und Deutschland b)

### Ermittlung des Potenzials an erneuerbaren Energien

Um den erneuerbaren Anteil durch Ersatz der konventionellen Energieanteile zu erhöhen, sind die erneuerbaren Potenziale zu eruieren. In der Energiestudie Freiburg erfolgte bereits die technologiespezifische Darstellung der genutzten und der Gesamtpotenziale. Da bei einigen Technologien Schwankungsbreiten möglich sind, ist in der Energiestudie Freiburg ein Ertragskorridor („von“- und „bis“-Werte) angegeben.

Im Rahmen der Berechnung erfuhren die diversen Angaben Standardisierungen, d.h. beispielsweise bei allen Leistungsangaben erfolgte eine Umrechnung auf die Leistungseinheit Megawatt (MW).

Erneuerbare Energien	Bereits erschlossenes Potenzial		Potenzial			
	Leistung MW	Ertrag GWh/a	Leistung [MW]		Ertrag [GWh/a]	
			von	bis	von	bis
Windkraft	10,80	11,80	36,00	81,00	72,00	162,00
Wasserkraft	0,57	2,20	0,72	0,72	2,80	2,80
Photovoltaik	21,80	17,90	269,00	269,00	222,00	222,00
Solarthermie	19,23	8,00	601,54	601,54	156,00	156,00

Abb. 8-8: Ausschnitt Tabelle Potenzialermittlung mit beispielhafter Darstellung des Leistungs- und Ertragskorridors

Nach der Ermittlung des Freien Potenzials aus der Differenz des Gesamtpotenzials und des schon genutzten Potenzials, wird dieses den Nutzenergien Wärme und Strom zugeführt. Bei Betrachtung der maximalen Nutzenergiepotenziale für Wärme und Strom (siehe Abb. 8-9) sind beim aktuellen Nutzenergieverbrauch maximal 19,0 Prozent der Wärme und 41,5 Prozent des Stroms mittels erneuerbarer Energien zu decken. Dies entspricht einem freiem Nutzenergiepotenzial von 325 GWh Wärme und von 355 GWh Strom pro Jahr.

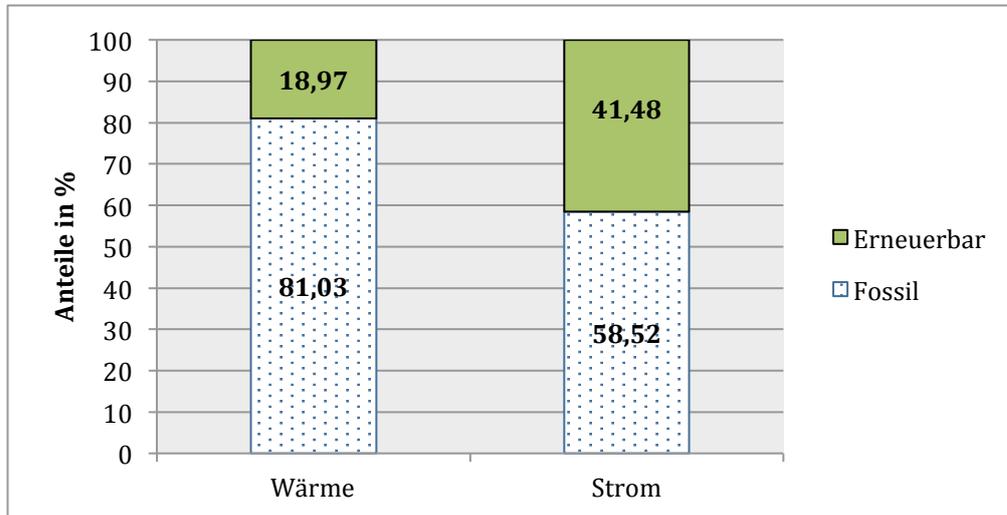


Abb. 8-9: Maximale Substitution fossiler durch erneuerbare Nutzenergien

Den größten Beitrag zur wärmetechnischen Versorgung von Freiburg leisten die Wärmepumpe und die solarthermischen Anlagen. Zur Stromversorgung besitzen Windenergie und Photovoltaik-Anlagen den größten Anteil.

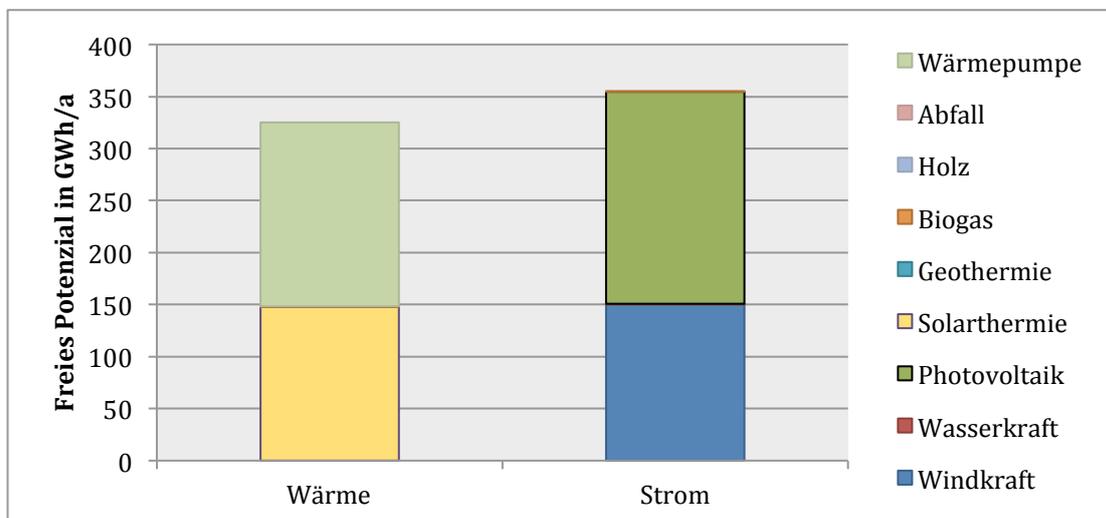


Abb. 8-10: Freies Nutzenergiepotenzial Wärme & Strom

## **Mögliches Versorgungsszenario**

Demzufolge müssen alle erneuerbaren Ressourcen und Potenziale eingesetzt werden, um eine möglichst hohe Substitution der konventionellen, fossilen Energie zu erreichen. Für das Versorgungsszenario mit dem maximalen Zubau zur Deckung des vollständigen Potenzials, welches keine hundertprozentige Versorgung aus erneuerbaren Energien darstellt, sind mit Investitionen in Höhe von ca. 1,4 Mrd. Euro zu kalkulieren. Bei der Ansetzung von Nutzungsdauern für die Anlagen analog dem EEG (zwischen 10 und 20 Jahren) und Berücksichtigung der Betriebskosten, ergeben sich für die Wärmeversorgung jährliche Gestehungskosten von ca. 61,5 Mio. Euro und Stromkosten von ca. 33 Mio. Euro. Demzufolge errechnen sich spezifische Gestehungskosten von 18,92 Ct/kWh für Wärme und 9,13 Ct/kWh für Strom.

Unter der Annahme, dass die aktuellen Börsenpreise für Strom die konventionellen Gestehungskosten und die spezifischen Energiekosten aus der Energiestudie die aktuellen Gestehungskosten für konventionelle Wärme widerspiegeln, erfolgt ein Vergleich der spezifischen Kosten. Konkret bedeutet dies, dass bei der Nutzung der erneuerbaren Energien mit ca. 12 Ct/kWh höheren Gestehungskosten für Wärme und ca. 4 Ct/kWh höhere Gestehungskosten für Strom im Vergleich zu den konventionellen bisherigen Erzeugungstechnologien gerechnet werden muss. Ergo wäre zum heutigen Zeitpunkt eine Erhöhung des erneuerbaren Anteils mit einer erheblichen Kostensteigerung verbunden.

### **8.4.3 Fazit und Ausblick (A)**

#### **Fazit**

Freiburg besitzt mit ca. 15.300 ha als viertgrößte Stadt Baden-Württembergs ca. 230.000 Einwohner und in den Einzelfeldern der Erneuerbaren Energien jeweilig überdurchschnittliche gute Primärenergiepotenziale. Bzgl. der Wohnungs- und Häuserstruktur werden ca. 57 % der Wohnungen als Einpersonenhaushalte bewirtschaftet. Die Gebäudestruktur wurde mit ca. 37% vor dem Jahr 1962 und weitere 30 % vor 1988 errichtet. Aufgrund beider Punkte ist aktuell nicht von einer nachhaltigen Energie- und Gebäudeentwicklung zu sprechen, wodurch der Heizwärmebedarf bis zu 252 kWh/m<sup>2</sup> beträgt und Einsparungspotenziale von bis zu 58% existieren. Der Nutzenergiebedarf (für private Haushalte, öffentliche Betriebe, Gewerbe und Industrie) ist für Strom mit 1.110

GWh und Wärme mit 2.235 GWh (entspricht Wärmeverbrauch von 9.696 kWh/EW und Stromverbrauch von 4.814 kWh/EW) daher als sehr hoch zu bezeichnen. Mit einem Endenergieanteil an Erneuerbaren Energien von ca. 6 % und ca. 221 GWh liegt Freiburg hinter den Ausbauvorgaben Deutschlands von mind. 10 % Erneuerbarer Energien bis 2012 zurück. Ein Grund hierfür sind die nicht hinreichend genauen bzw. überholten Ansätze zur Schaffung politischer Rahmenbedingungen auf kommunaler Ebene der Jahre 2007 bis 2010.

Unter Berücksichtigung der freien Ausbaupotenziale mit Erneuerbaren Energien sind ca. 19 % der Wärme und ca. 41 % des Stroms der am bisherigen Energiebezugs nutzbar. Das bedeutet, dass zum jetzigen Zeitpunkt eine 100 %-ige Energieversorgung mittels Erneuerbaren Energien auch unter Vollaussnutzung der Effizienzsteigerung der Energiebedarfe nicht möglich ist. Im Detail könnte mit der Wärmebedarfsreduzierung um 58% die Energieversorgung mit EE-Wärme bis 45 % ausgebaut werden.

Mit der Umsetzung oben genannten maximalen Energieausbaus sind erhebliche Gesamtinvestitionen von ca. 1,4 Mrd. € erforderlich. Die jährlichen Gestehungskosten betragen, bei Anlagenlaufzeiten von ca. 10 bis 20 Jahre, der Wärmeversorgung ca. 62 Mio. € und der Stromversorgung ca. 32 Mio. €. Unter der Annahme der aktuellen Börsenpreise würde diese Umsetzung, bei den spezifischen Gestehungskosten, für Mehrkosten bei der Wärme von ca. 12 ct/kWh und bei Strom von ca. 4 ct/kWh sorgen.

Damit ist die energieautarke Versorgung deutscher Städte, am Beispiel Freiburgs, nicht möglich. Als Hauptmerkmal reichen die aktuellen Potenziale in Freiburg nicht aus, um den Bedarf zu decken. Gründe sind im Detail bei der schlechten Gebäudestruktur und vor allem dem zu hohen Energiebedarf selbst zu finden. Unter der Voraussetzung keine 100 %-ige Eigenversorgung sicherzustellen, stellt die Kostenhöhe mit nur eingeschränkten Finanzierbarkeiten ein erhebliches Risiko dar.

Wärmeverbrauch	kWh/EW	9.696
Stromverbrauch	kWh/EW	4.814
Jahresenergiekosten Ist-Stand	Euro/EW	1.262
Anteil EE -Aktuell- (Nutzenergie)		
- Strom	GWh	105
- Wärme	GWh	99
- Strom	%	9
- Wärme	%	4
Anteil EE -Szenario- (Nutzenergie)		
- Strom	GWh	325
- Wärme	GWh	355
- Strom	%	41
- Wärme	%	19
Spezifische Gestehungskosten -Szenario-		
- Strom	ct/kWh	9,13
- Wärme	ct/kWh	18,92
Anteil EE -Szenario mit Energieeinsparung - (Nutzenergie)		
- Wärme	GWh	355,06
- Wärme	%	45

Abb. 8-11: Ergebnisse der energetischen und wirtschaftlichen Untersuchung im Überblick

Anhand der Detailuntersuchungen innerhalb dieses Kapitels wird deutlich, dass die Betrachtung sehr vielschichtig ist. Wesentliche zu berücksichtigende Parameter wurden als Resümee innerhalb eines Leitfadens als Checkliste in Anlage 20 erfasst.

### Ausblick

Mögliche Folgemaßnahmen technischer, finanzieller und politischer Art zur Erhöhung der freiburgspezifischen Zielerreichung sind nachstehend in ersten Ansätzen erfasst.

In Freiburg sind nachhaltige Stadtentwicklungsmaßnahmen einzuleiten. Neben dem Bewusstsein der Bürger sind den Energiebedarf reduzierende Projekte bei gleichzeitigem Ausbau an Erneuerbaren Energien zu intensivieren. Hierbei sind u.a. auch Anreizregulierungen zur Beteiligung bzw. der Refinanzierung an den sehr hohen Investitionen innerhalb der politischen Rahmenbedingungen zu schaffen bzw. sicherzustellen. Ein erster Schritt in die richtige Richtung sind Studien und Zielvorgaben der Jahre 2010 bis 2012<sup>290</sup>. Diese sind weiter zu schärfen und die Ergebnisse in die Umsetzungen zu integrieren.

<sup>290</sup> U.a. Energiebilanz für die Bilanz Freiburg (09/2012), GIS-gestützte Analyse der Energieeinspar- und Klimaschutzpotenziale der Gebäudetypologie der Stadt Freiburg i.Br. (03/2009), GreenCity Freiburg – Wege zur Nachhaltigkeit (2012), Windkraft in Baden-Württemberg (12/2012), „Neue Gesamtstrategie Klimaschutz: Um den lokalen Klimaschutz weiter voranzutreiben, setzt sich die Stadt Freiburg ehrgeizige

Da eine Vollversorgung unter Ausnutzung der aktuellen, städtischen Potenziale der Erneuerbaren Energien nicht möglich ist, sind durch Freiburg Überlegungen anzustellen, wie eine 100 %-ige Versorgung gesichert werden kann. Ansätze sind hier neben der Einbindung des Umlandes, die Sicherung von Belieferungen durch zentrale Großkraftwerke oder der Zukauf von Erneuerbaren Energien z.B. anderer Städte.

---

Ziele: Bis zum Jahr 2030 sollen die CO<sub>2</sub>-Emissionen in Freiburg um mindestens 40 % reduziert werden. Ein 12-Punkte-Plan beinhaltet die wichtigsten Schwerpunkte der städtischen Klimaschutzpolitik in den nächsten zwei Jahren.“

## **9 Gesellschaftsrechtliche Untersuchung geeigneter Unternehmensformen am Beispiel der Stadtwerke in Freiburg (im Breisgau) (A)**

Ein Wandel der Versorgungs- und Bereitstellungsstrukturen ist unter anderem anhand der Verschiebung zentraler in Richtung dezentraler Energieversorgungsformen erkennbar. Die Stadtwerke werden dabei als „Gewinner der Energiewende“<sup>291</sup> und „große Treiber der dezentralen Lösung“<sup>292</sup> beschrieben. Sich damit einstellende Änderungen und gesellschaftsrechtliche Möglichkeiten wurden in diesem Zusammenhang bislang nur bedingt untersucht. Daher werden hierzu Betrachtungen innerhalb dieses Kapitels vorgenommen.

Zur Bewertung der gesellschaftsrechtlichen Situation in Freiburg werden im ersten Schritt die aktuelle gesellschaftsrechtliche Struktur und Hintergründe zu diesem Modell dargelegt. Im zweiten Schritt erfolgt die Vorstellung zugehöriger Stärken und Schwächen, um abschließend alternative Gestaltungsmöglichkeiten vorzustellen.

### **9.1 Aktuelle Struktur**

Bei der Gründung der Stadtwerke Freiburg Beteiligungsholding wurde eine GmbH als 100%-iges Unternehmen der Stadt gewählt. Diese Beteiligungsholding übernimmt eine große Anzahl an infrastrukturellen Versorgungsleistungen. Darunter verteilen sich die einzelnen Aufgabengebiete der Stadtwerke auf folgende Tochterfirmen. (siehe Abb.9-1):

- VAG - Freiburger Verkehrs AG
- FFB - Flugplatz Freiburg Breisgau GmbH
- AWF - Abwasser Freiburg GmbH
- StwB - Stadtwerke Freiburg Bäder GmbH
- badenova – badenova AG & Co. KG

---

<sup>291</sup> BMU, 2008, S. 1

<sup>292</sup> Stab, 2011, S. 18

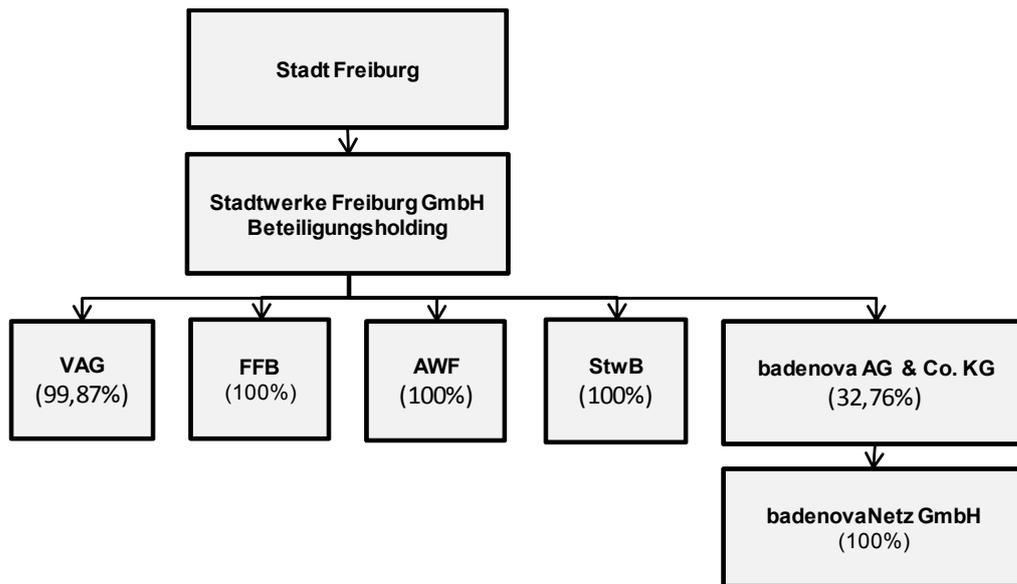


Abb. 9-1: Stadtwerke Freiburg, aktuelle Struktur<sup>293</sup>

Gründe hierfür sind u.a. die Vielfalt, Komplexität und Bündelung von Know-How. An den VAG, FFB, AWF und StwB besitzen die Stadtwerke je nahezu 100 %-ige Anteile.<sup>294</sup>

„Zum neuen regionalen Stadtwerk badenova“<sup>295</sup> wurden nach der Gründung in 2001 sechs von Tradition und Wirtschaftlichkeit geprägte Stadtwerke zwischen Hochrhein bis Nordschwarzwald (u.a. auch die FEW Freiburger Energie- und Wasserwirtschaft AG) zusammengeschlossen. Gründe sind in der Nutzung von Synergieeffekten (z.B. beim Einkauf von Energie und Brennstoffen, hier als Mengenvorteil) und der Anpassung an die aktuelle Marktsituation zu nennen. Damit übernimmt die badenova mit dem fünften Leistungsschwerpunkt im Detail aktuell die Aufgaben eines Stadtwerkes in Freiburg. Dabei besitzt Freiburg eine Beteiligung von ca. 33 %. Hierbei werden u.a. folgende Leistungen erbracht:

- des Vertriebes (Erdgas und Strom),
- der Versorgung (Wasser, Wärme),

<sup>293</sup> Vgl. Badenova, 2011, eigene Darstellung

<sup>294</sup> Die einzelnen Töchterfirmen werden nicht näher betrachtet. Den Schwerpunkt stellt hierbei die Konstellation der Badenova selbst bzw. zur Stadtwerke Beteiligungsholding dar.

<sup>295</sup> I-Badenova, 2013

- der Datenverarbeitung und Informationstechnologie sowie Dienstleistungen.

Entsprechend der Vorgaben zur Liberalisierung des Energiemarktes erfolgt die Umsetzung des „Unbundlings“ - einer Trennung von Vertrieb und Betrieb des Netzes - anhand der separaten Führung der badenova AG & Co. KG und der badenovaNetz GmbH.

## **9.2 Stärken und Schwächen**

Stärken und Schwächen werden einleitend für die Beteiligungsholding und die Tochterfirmen grob vorgestellt. Im Anschluss erfolgt am Beispiel der badenova die Detailbetrachtung der Unternehmenswahl und –struktur, der Kapitaleinlage und Finanzierung sowie Beteiligung und Mitspracherecht.

### **9.2.1 Beteiligungsholding GmbH und Tochterfirmen (GmbH und AG)**

Mit der Unternehmenswahl der Stadtwerke Freiburg Beteiligungsholding GmbH werden die Vorteile der beschränkten Haftung, entsprechend der aktuellen Mindesteinlage, und die Begrenzung der Anzahl an Beteiligten ersichtlich. Freiburg besitzt durch die aktuellen Anteile in Ihrer Funktion als einziger Gesellschafter volles Mitsprache- und Entscheidungsrecht.

Die einzelnen Tochterfirmen vereinen gleichermaßen jeweils die Unternehmensform der GmbH, wodurch mit jeweiligen Mindesteinlagen (im Gründungsfalle von mindestens 25 T€) Haftungsbeschränknisse erwirkt werden und das unternehmerische Risiko der Gesellschafter reduziert wird. Die Unternehmensleitung wird durch die Geschäftsführung umgesetzt. Als einzige Ausnahme werden bei der VAG die Verkehrsbelange Freiburgs in einer Aktiengesellschaft mit Vorstand und Aufsichtsrat umgesetzt. Die Mindestkapitaleinlage beträgt 50 T€, welche durch Gesellschafter oder Aktionärs einlagen bereitgestellt bzw. erhöht werden kann.

### **9.2.3 badenova AG & Co. KG**

#### **Unternehmenswahl und -struktur**

Bei der Unternehmensform der badenova wurde eine AG & Co. KG gewählt. Hierbei werden die Unternehmensmodell der Aktiengesellschaft (AG) und Kommanditgesellschaft (KG) genutzt. Dabei wird bei der ursprünglichen Form einer „typischen“ KG - mit Komplementär und Kommanditist – der Komplementär durch die Aktiengesellschaft als juristische Person, mit beschränkter Haftung, ersetzt. Das bedeutet, dass innerhalb dieser haftungsbeschränkten Kommanditgesellschaft, die Inhalte der AG – u.a. des Vorstandes, des Aufsichtsrates und Aktionären – zum Tragen kommen. Diese werden durch weitere Kommanditisten ergänzt.

#### **Kapitaleinlage und Finanzierung**

Als ein Vorteil der AG ist hier die Mindesteinlage (im Gründungsfalle) von 50T€ zu nennen. Sie ist bei der KG nicht vorhanden und sichert dadurch bei der AG monetäre Haftungsgrundlagen des Unternehmens in begrenzter Form ab. Je nach Handlungsfeld bzw. Aufgabenschwerpunkt ist sie mittels weiterer Einlagen erhöhbar. Aktuell beträgt die Eigenkapitalquote der badenova ca. 230 Mio. €. <sup>296</sup> Dies wird z.B. über Kommanditisten oder stille Beteiligungen ermöglicht. <sup>297</sup>

Unter der Voraussetzung das Eigenkapital vollständig zur einmaligen Fremdfinanzierung von Projekten als Finanzierungsgrundlage zu nutzen, können unter der Voraussetzung der Kapitalbereitstellung in Höhe von ca. 25 % der avisierten Gesamtsumme, Projekte in einer Größenordnung von ca. 690 Mio. € finanziert werden. Hierbei wird deutlich, dass bei dem aktuellen Modell vor allem finanzielle Möglichkeiten und Vorteile zum Tragen kommen, welche, bei badenova, durch eine große Anzahl an unterschiedlichen Gesellschaftern <sup>298</sup> bereitgestellt werden.

---

<sup>296</sup> Von den ca. 1.300 Mitarbeitern werden Umsatzerlöse in Höhe von ca. 670 Mio. € erwirtschaftet. Das Anlagenvermögen bzw. die Eigenkapitalquote von badenova belaufen sich auf ca. 520 bzw. 230 Mio. €.

<sup>297</sup> Es wird davon ausgegangen, dass sich vorgenannte Kapitalgeber bewusst mit den Vorhaben des Unternehmens auseinandersetzen und die Investition bewusst tätigen, so dass Interessenskonflikte ausgeschlossen werden.

<sup>298</sup> Vgl. I-Badenova, 2013

## **Beteiligung und Mitspracherecht**

Dieser Umstand birgt, unter anderem im Vergleich zur GmbH, höhere Risiken, da neben den Stadtwerken weitere Gesellschafter zu 67 % Stimmrechte besitzen. Als weiterer Gesellschafter von badenova ist die Thüga AG mit mehr als 45 % zu nennen. Die Städte Offenburg, Lörrach, Breisach, Waldshut-Tiengen und Lahr sowie weitere Kommunen und Zweckverbände halten die verbleibenden ca. 22 %.<sup>299</sup> Die Stadt Freiburg besitzt aktuell an der badenova AG & Co. KG ein begrenztes Mitspracherecht von 33 %.

Diese Unternehmen und Städte vertreten durch Ihre vordergründig lokal-eigenen Ziele - in Gänze Belange der Region bzw. z.T. überregionale Interessen - was für die Erarbeitung eines gesamtheitlichen sowie ausgewogenen Konzeptes bzw. die Nutzung von Synergien gut ist. Von der Verfolgung rein lokaler Interessen Freiburgs zu sprechen, besitzt bei dieser Konstellation einen eingeschränkten Hauptfokus des Unternehmens. Damit wird sehr gut deutlich, dass Freiburg vor allem Ziele erfolgreich verabschieden und durchsetzen kann, wenn diese lokalen Freiburger Interessen im Einklang der Region stehen und die weiteren 67 % an Beteiligungen anteilig, bestenfalls erschöpfend, genutzt werden können. Im anderen Falle ist davon auszugehen, dass durch die begrenzte Entscheidungsbefugnis die Stimmrechte aktuell nicht ausreichen, eine Entscheidungsmehrheit von > 50 % herbeizuführen.

Grundsätzlich liegt die Unternehmensverantwortung beim Vorstand. Aktuell wird das Unternehmen der badenova AG durch einen dreiköpfigen Vorstand geleitet.<sup>300</sup> Eine direkte Zugehörigkeit der einzelnen Herren zur Stadt bzw. Region Freiburg liegt nicht vor.

Das Risiko der lokalen bzw. regionalen Fremdbestimmung, bzw. die Absicherung der ausgewogenen Entwicklung und Interessensvertretung der Region wird, im Teilbereich Wasser- und Klimaschutz, innerhalb der Unternehmensorganisation mittels zweier weiterer Institutionen abgesichert:

- dem Kommunalbeirat und
- dem Sachverständigenbeirat

---

<sup>299</sup> Vgl. I-Badenova, 2013

<sup>300</sup> Vgl. Ebd.

Den Beiräten zugehörige Vertreter sind beispielsweise dem BUND bzw. Baden-Württemberg, Gemeinden sowie Städten einzelner Versorgungsgebiete zuzuordnen. Der Sachverständigenbeirat besitzt im Detail die Aufgabe bei der Projektwahl mitzuwirken und diese dem Kommunalbeirat zur Entscheidung vorzulegen. Als beratende Instanz des Aufsichtsrates und Vorstandes der Komplementärin bzgl. des Mitteleinsatzes (hier des Klima und Wasserschutzfonds), unterstützt der Kommunalbeirat insbesondere bei regionalbedeutsamen Fragen.

### **9.3 Alternative Gestaltungsmöglichkeiten der badenova AG & Co. KG**

Alternative Gestaltungsmöglichkeiten der Unternehmensstruktur werden anhand nachstehender Punkte diskutiert:

- Beteiligte und Mitsprache
- Kapitaleinlage und Finanzierung
- Projekteumsetzung
- Politische Rahmenbedingungen

#### **Beteiligte und Mitsprache 1)**

Aufgrund der geringen Beteiligung der Stadt Freiburg an badenova in Höhe von 33 % bestehen Risiken des eingeschränkten Mitspracherechtes. Die Erhöhung der Beteiligungen, z.B. auf den gleichen bzw. einen größeren Anteil der Thüga AG von 45 % bzw. > 50 %, stellt für die Ersteller der Arbeit einen idealisierten Zustand und keine reale Option dar - da zum einen die Voraussetzung der Anteilsabgabe und die erforderlichen finanziellen Mittel zur Erwirkung weiterer Anteile als nicht gegeben angesehen werden. Die Kommunen verfügen aktuell weiterhin über sehr begrenzte Mittel.

Daher besteht für die Stadtwerke Freiburg die Möglichkeit ein 100%-ig, eigenständiges, Unternehmen in Freiburg zur Durchführung der badenova-Aufgaben zu gründen. Zur Begrenzung der Mitspracherechte und monetären Haftung bietet sich die Umsetzung einer GmbH an. Die eingesetzte Geschäftsführung mit lokaler Interessenszugehörigkeit und Heimatverbundenheit würde die vorOrt-Belange ideal umsetzen. Dabei würde das Unternehmen zum direkten Konkurrenten der badenova, so dass die Sicherung der aktuell vorhandenen Marktanteile beim neuen Unternehmen nicht gesetzt ist. Ein weiteres Risiko

stellen erneut die begrenzten finanziellen Mittel dar, wodurch zusätzliche Geldeinlagen erforderlich würden.

### **Kapitaleinlage und Finanzierung**

Unter der Berücksichtigung der Ergebnisse von Kapitel 8 sind allein für Freiburg Investitionen in Höhe von ca. 1,4 Mrd. € für die weitere Initiierung der Freiburger Erneuerbaren Energien Wende zu tätigen. Grundlage hierbei ist die begrenzte Haftung der Gesellschafter. Diese wurde bereits bei der aktuellen Unternehmensform realisiert. Desweiteren bedeutet dies, dass selbst die Eigenkapitaleinlage der badenova von aktuell ca. 230 Mio. €, als Voraussetzung einer marktüblichen Eigenkapitalquote (von ca. 25%), zur Umsetzung von Fremdkapitalgeschäften für den Betrachtungsfall der einmaligen Gesamtinvestition weiter zu erhöhen ist. Dies ist mit zusätzlichen Kommanditisten bzw. stillen Beteiligungen möglich. Hierbei sind z.B. die Ansätze der Bürgerbeteiligungen weiter zu vertiefen, wodurch die Vertretung der regionalen Interessensbelange weiter integriert werden könnten.

### **Beteiligte und Mitsprache 2)**

Am Beispiel der badenova zeigt sich aktuell bereits, dass mit 67% bereits eine sehr hohe Anzahl an weiteren Beteiligten vorhanden ist. Daher sind zur Risikominimierung Beteiligte zu binden, welche gleiche Interessen verfolgen. Als gleiche Interessensträger werden dabei Personen und Unternehmen des gleichen Sektors verstanden. Auch dies wurde bei der aktuellen Unternehmensform bereits integriert. Alle Beteiligten streben in Ihren Positionen - der Städte, Kommunen bzw. Stadtwerke - den Erfolg der Projekte und Vorhaben an. Aufgrund der Vielfalt an Projekten und geringen finanziellen Möglichkeiten wurden zudem separate Instanzen der Vorbereitung und Überwachung zur Risikominimierung, hier der Sachverständigen- und Kommunalbeiräte, einberufen. Ein verbleibendes Risiko, dass Einzelvertreter in allen beiden Bereichen und als Beteiligte zugegen sind, mit der Möglichkeit der eigenen Interessensdurchsetzung wird ausgeschlossen.

Aus diesem Grund ist es durch die Ersteller auch nicht von dringender Erfordernis, dass die Beteiligten und der Vorstand zwingend aus der Region Freiburg stammen. Der lokale Bezug ist hierbei sicher nicht von Nachteil. Die lokalen Interessen können allerdings nur mit finanziellen Mitteln gemeistert werden und hierfür sind weitere Beteiligte erforderlich.

## **Projektumsetzung**

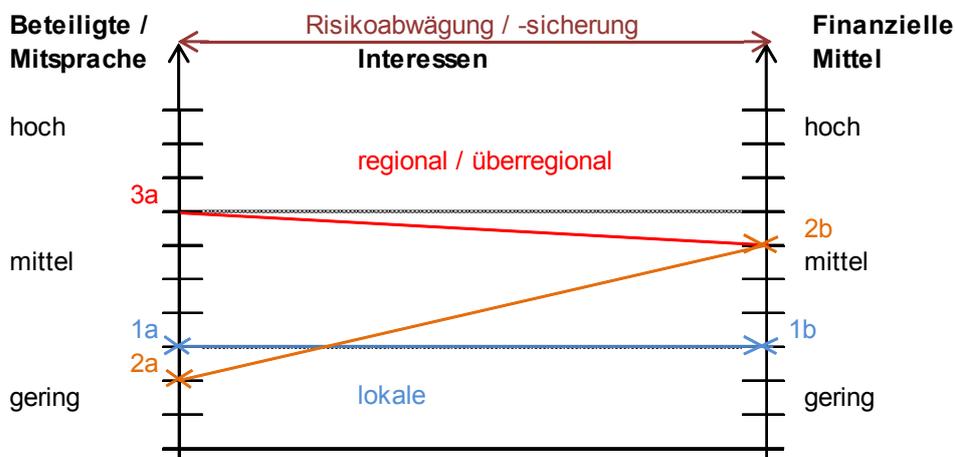
Für die gezielte Projektumsetzung bietet sich für die badenova eine weitere Möglichkeit der Risikominimierung, die Projekte in gesonderten Gesellschaften abzuwickeln, um im Falle des eingeschränkten Erfolges keine monetären bzw. gesellschaftsrechtlichen Folgen für die badenova zu erwarten. Hierbei bietet sich an z.B. im Falle von Biomasse bzw. Biogasprojekten die Rechtsform der Genossenschaft zu wählen. Dadurch ist es möglich die großen Mitspracherechte der Beteiligten (z.B. Einwohner, Substratlieferanten etc.) einfach projektzielfördernd zu integrieren. Finale Bewertungen und Entscheidungen sind jeweils projektspezifisch durchzuführen.

## **Politische Rahmenbedingungen**

Weitere Chancen werden auf Basis der vorliegenden Informationen vor allem in Änderungen zum politischen Rahmen gesehen. Eine wesentliche Grundbasis können hier politischen Anreizregulierungen sicherstellen. Ähnlich wie zum Zeitpunkt der Einführung der Erneuerbaren Energien zur Etablierung als separaten Energieversorgungsform und Wirtschaftszweig sind aktuell Rahmenbedingungen zu initiieren, welche den regionalen Energieversorgern Anreize bieten, die großen Investitionen in die Regionen umzusetzen. Diese Überlegungen decken sich bezugnehmend auf die Interessen der zentralen und dezentralen Versorgung aktuell nur bedingt mit den Vorhaben der Versorgungsnetzbetreiber und der Unsicherheit, in welchen Regionen bzw. welcher Versorgungsform gezielt Förderungen, zu initiieren sind. Daher ist aktuell nicht davon auszugehen, dass die Stadtwerke kurzfristig mit neuen Regelungen unterstützt werden. Fehlende Anreize erfordern aktuell eine hohe und auskömmliche Liquidität, um die nötigen Investitionen umzusetzen.

## Fazit

Das bedeutet zusammenfassend, dass die aktuelle Herausforderung der badenova zwischen Beteiligten und Mitsprache zur Finanzmittelbereitstellung weiter bestehen bleibt und durch eine vielfältige Risikobetrachtung abzuwiegen ist (siehe Abb. 9-2).



### Legende lokale Interesse

- real I) Beteiligte (1a) und finanzielle Mittel (1b)
- idealisiert I) Beteiligte (2a) mit finanziellen Mitteln (2b)
- real II) finanzielle Mittel (2b) führt zu Beteiligten (3a)

Abb. 9-2: Risikoabwägung Beteiligte / Mitsprache zu finanziellen Mittelbereitstellung<sup>301</sup>

Aus Sicht der Bearbeiter wurde im Ergebnis in Freiburg, mit der aktuellen AG & Co. KG, eine geeignete Unternehmensform gewählt.

<sup>301</sup> Eigene Darstellung, Unter realen Bedingungen (siehe real I) sind bei der Umsetzung lokaler Interessen eine geringe Anzahl an Beteiligten vorhanden, was zu einer begrenzten Anzahl an Beteiligten und einem geringen Anteil an Finanzmitteln führt. Idealisiert (siehe idealisiert I) werden zur Umsetzung der lokalen Interessen mittlere bis hohe finanzielle Mittel benötigt, bei einer weiterhin geringen Anzahl an Beteiligten. Am Beispiel der Stadtwerke Freiburg zeigt sich (siehe real II), dass für die Bereitstellung der aktuellen, sehr hohen, Eigenkapitalquote eine große Anzahl an Beteiligten, hier u.a. Kommanditisten und stille Beteiligte, erforderlich sind, wodurch zudem und Interessen von lokalen Belangen zwangsläufig in Richtung regionaler bzw. überregionaler Belange beeinflusst werden.

## **10 Schlussfolgerungen zur energieautarke Stadt und für Deutschland (A, B)**

Nachstehend werden schlussfolgernde Ausführungen zum Stadtbegriff der energieautarken Stadt und zur Versorgungsmöglichkeiten für Deutschland gegeben.

### **10.1 Die energieautarke Stadt**

Unter Kapitel 4.2.3 wurde eine Definition einer energieautarken Stadt erarbeitet, welche anhand der unter Kapitel 4.2.4 erfassten Fragen und anhand der Ergebnisse des Kapitels 8 einer Reflexion des Stadtbegriffes zugeführt wird. Damit können aktuell keine allgemeingültigen Aussagen, aber erste Schlussfolgerungen und Tendenzen für weitere Betrachtungen in diesem sehr komplexen Gebiet abgeleitet werden.

#### **10.1.1 Definition (bisher)**

„Die energieautarke Stadt erreicht eine vollständige Deckung des Bedarfs an elektrischer und thermischer Energie mit Hilfe erneuerbarer Energien. Sämtliche Energie für Privathaushalte, Industrie, Gewerbe, Handel, Verwaltung etc. wird innerhalb der Stadt produziert und über die Versorgungsnetze der Stadt bereitgestellt.“<sup>302</sup>

#### **10.1.2 Reflexion**

**Sind alle bzw. welche Erneuerbaren Energien vordergründig für die Versorgung einzusetzen ?**

Anhand vorgenannter Untersuchungen wird deutlich, dass die 100%-ige Versorgung mittels Erneuerbaren Energien am Beispiel Freiburgs nicht möglich ist. Daher sind alle wirtschaftlich darstellbaren Erneuerbaren Energien mit nachhaltigen technischen Konzepten zur Erreichung dieses Zieles zu nutzen.

---

<sup>302</sup> Eigene Definition

**Liegen die Versorgungsnetze und -struktur zur Energiebereitstellung zu 100% innerhalb der Stadt / Stadtversorgungsträgern ?**

Diese Fragestellung orientiert sich an vorgenannten Ausführungen. **Idealerweise** (mögliche Fortschreibung) wird sämtliche Energie innerhalb der Stadt bzw. lokal produziert. Insbesondere für Groß- und Millionenstädte oder die Abdeckung von Lastspitzen wird diese Betrachtung nicht von allen Städten bzw. Stadtbereichen einhaltbar sein.

**Inwieweit ist die Definition eines dazugehörigen Umlandes zur Sicherstellung der Wärmeversorgung erforderlich ?**

Hierbei sind zwei Möglichkeiten gegeben: A) Mit der Erweiterung der Grenzen und der Eingemeindung ländlichen Raumes werden verbesserte Voraussetzungen insbesondere zur Deckung des Wärmeenergiebedarfes geschaffen. B) Für den Fall der Beibehaltung der Stadtgrenzen ist die Untersuchung der Handelsbeziehungen zwischen ländlichen Regionen und Stadt (z.B. Zukauf von Bioenergie und Brennstoffen zur 100 %-igen Versorgung) weiter zu vertiefen und Modelle zu entwickeln, ob und wie die wirtschaftliche Bereitstellung von Energie durch das Land an die Stadt möglich ist. Im Ergebnis der Untersuchungen von A) und B) sind finale Fortschreibungen gegeben. Eine mögliche Fortschreibung lautet: Sämtliche Energie ... wird innerhalb der Stadt **und dem zugehörigen Umland produziert bzw. deren Handelsbeziehungen und über deren Versorgungsnetze** bereitgestellt.

**Ist die Definition aufgrund des Entwicklungsstandes vorerst auf eine (einzige) quantitative Stadtklassifizierung festzulegen ?**

Diese Fragestellung orientiert sich anhand der Stadtgrößendefinition. Auf Basis der bisherigen Detailuntersuchung dieser einen Großstadt, Freiburgs, sind aktuell keine weiterführenden bzw. allgemeine Aussagen ableitbar, bei welchen Stadtklassifizierungen sich die energieautarke Stadt realisieren lassen.

### **10.1.3 Definition (Fortschreibung)**

Demnach wird die Ergänzung der energieautarken Definition wie folgt erweitert:

„Die energieautarke Stadt erreicht eine vollständige Deckung des Bedarfs an elektrischer und thermischer Energie mit Hilfe erneuerbarer Energien. **Idealerweise wird** sämtliche Energie für Privathaushalte, Industrie, Gewerbe, Handel, Verwaltung etc. innerhalb der Stadt **und dem zugehörigen Umland produziert bzw. deren Handelsbeziehungen und über die zugehörigen Versorgungsnetze** bereitgestellt.“

## **10.2 Schlussfolgerungen für Deutschland**

Gemäß der eigenen Untersuchungen wird die zukünftige Vollversorgung von Deutschland mit Erneuerbaren Energie als positiv eingeschätzt. Sie ist unter Berücksichtigung der maximalen Potenziale u.a. mit nachstehenden Ansätzen denkbar:

- Süd – Windparks (onshore)
- Süd / Südwest - Wasserkraftanlagen
- Süd / Südwest und Teile Norddeutschlands - Geothermienutzung
- Ländliche Bereiche - Biomasseeinsatz
- Gleichverteilung solarer Energie - vorwiegend im Süden gut, vor allem in den Städten auf Dächern nutzbar
- Nord – Windparks (offshore)<sup>303</sup>

Anhand der Untersuchungen der Stadt Freiburg geht hervor, dass Stadtbetrachtungen und Analysen jeweils stadt- bzw. regionenspezifisch durchzuführen sind. Dabei bestehen Abhängigkeiten insbesondere zu folgenden Parametern:

- Potenziale
- Stadtgröße
- Energieeffizienz
- Verbrauch

---

<sup>303</sup> Die Offshore-Technologie stellt keinen Untersuchungsschwerpunkt der Potenzialbetrachtungen dieser Arbeit dar. Der Abbildung eines vollständigen Gesamtkonzeptes wird sie zu den weiteren Potenzialen integriert. Vgl. hierzu FH Kiel, 2010, hier u.a. „Energiepotenziale Szenarien“, Kapitel 5

Daher ist es erforderlich nicht allein einen einzelnen Punkt zu verbessern. Unter optimaler Nutzung aller Parameter sind Voraussetzungen geschaffen, die autarke Vollversorgung zu ermöglichen.

Da in Deutschland eine Allround-Lösung zur Sicherstellung der Vollversorgung mit Erneuerbaren Energien in Städten nicht gegeben sein wird und unter der Voraussetzung der Einbindung des Umlandes durchzuführen, ist aktuell vorstellbar, dass sich hierbei folgende Kategorien etablieren. Eine Bestätigung dieser ersten Überlegung ist in gesonderten Detailuntersuchungen durchzuführen. Hierbei scheint zudem interessant, inwieweit die Einwohnerdichte der Städte auf nachstehende Kategorien Einfluss hat.

- Bioenergiedorf mit Versorgungsüberschuss
- Bioenergiedorf mit Vollversorgung
- Bioenergiedorf mit begrenzter Vollversorgung
- Kleinstadt mit guter Primärenergievorkommen und guten Voraussetzungen zur zukünftiger Vollversorgung
- Kleinstadt mit begrenzten Primärenergievorkommen und geringen Voraussetzungen zur zukünftiger Vollversorgung
- Großstadt mit guter Primärenergievorkommen und guten Voraussetzungen zur zukünftiger Vollversorgung
- Großstadt mit begrenzten Primärenergievorkommen und geringen Voraussetzungen zur zukünftiger Vollversorgung
- Millionenstadt mit zukünftig eingeschränkter Vollversorgung

Insbesondere im Falle der Teilversorgung sind technische und wirtschaftliche Überlegungen anzutreten, inwieweit das bestehende Versorgungsdelta über Speicher bzw. zentrale Großkraftanlagen abdeckbar ist. Auf Basis dieser und der aktuellen Betrachtungen primärer Energievorkommen, werden insbesondere Industriehochburgen (z.B. das Ruhrgebiet) bzw. Millionenstädte (z.B. Berlin) nur sehr schwierig die 100%-ige autarke Versorgung mittels Erneuerbaren Energien sicherstellen können. Aufgrund der fehlenden Verfügbarkeit u.a. an Biomasseressourcen wird hier vor allem die Wärmebereitstellung ohne den direkten Bezug zu zentralen Großanlagen nicht zwingend möglich sein. Interessant scheint dabei, dass zukünftig Bioenergiedörfer hierbei, z.B. bei Wärmebelieferungen, Ihren Anteil beitragen können.

Die Belange der Energieeffizienz und des Verbrauches sind maßgeblich an die technischen, wirtschaftlichen und politischen Rahmenparameter gekoppelt. Dabei sind neben Anreizregulierungen insbesondere das Bewusstsein der Bürger und als einen wesentlichen Beeinflussungspunkt Vorgaben bzgl. der Gebäudestruktur zur Senkung des Heizwärmebedarfes umzusetzen. Gleiches gilt für die verbraucher- und abnehmernahe Energiebereitstellung. Mit Konzepten der Morgenstadt, der Daimler Urban City bzw. der Siemens Green City sind bereits theoretische Überlegungen vorhanden. Diese bzw. Teile davon gilt es umzusetzen. Regulatorisch ist hierfür insbesondere die Entwicklung nachhaltiger Städte und Stadtquartiere voranzutreiben. Damit würde auch automatisch eine Steigerung der Energieeffizienz zu verzeichnen sein. Hierbei ist die Modernisierung bzw. der Ausbau der Netze und der Erneuerbarer Energien für die dezentrale Energieversorgung weiter umzusetzen. Politische Rahmenbedingungen können hierbei für die technische und insbesondere wirtschaftliche Machbarkeit entscheidend durch Vorgaben beitragen. Vor allem zu Umfang, Anzahl, Größe und Standorte von Speichern und Großkraftwerken sind regulatorischen Regelungen zuzuführen. Unter anderem die Investitionen in Großkraftwerke (z.B. Pumpspeicherkraftwerke in Thüringen) stagnieren daher aktuell aufgrund der fehlenden wirtschaftlichen Abbildung der Projekte.

Anlagentechnisch sind im Bereich der Erneuerbaren Energien mit kosteneffizienten Konzepten Systempreise am Markt etablierbar, welche über die Wirtschaftlichkeit im Ergebnis zum nachhaltigen Einsatz führen. Sofern dabei die Wirkungsgrade stetig verbessert werden, sind Voraussetzungen wirtschaftlicher und technischer Art vorhanden, welche mit den Technologien selbst zur Energieeffizienzsteigerung beitragen werden.

## **11 Fazit (A, B)**

### **11.1 Inhalte**

Der Trend, die Energieversorgung von Kommunen und Dörfern zu dezentralisieren und somit eine Unabhängigkeit zu der zentralen Versorgung zu schaffen, ist aktuell allgegenwärtig. Diese Entwicklung zeigt sich u.a. durch die Zunahme von Bioenergie-dörfern und den aktuellen politischen Diskussionen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde untersucht ob eine Adaption des Bioenergie-dorf-Gedankens auf Städte möglich ist und welche Rahmenbedingungen zur Erreichung der autarken Versorgung mittels erneuerbaren Energien notwendig sind.

Um eine Aussage zur Realisierung der autarken Versorgung treffen zu können, wurden einleitend grundlegende Inhalte zum aktuellen Stand der Themen politische Rahmenbedingungen, Stadtbegriff und gesellschaftsrechtliche Unternehmensformen sowie von Primärenergiepotenzialen dargestellt. Die grafische Untersuchung der einzelnen erneuerbaren Primärenergieformen Solar-, Wind-, Bioenergie, Wasserkraft und Geothermie bildeten den nächsten Schritt. Hierfür war die Erarbeitung eines grafischen Auswertungsprogrammes notwendig. Im Ergebnis konnten diese Primärenergien einer regionalen Potenzialverteilung zugeführt werden sowie eine Unterteilung in kontinuierliche und diskontinuierliche Anfalls zugeordnet werden. Darauf aufbauend erfolgte eine grafische Betrachtung im gesamtheitlichen Kontext zur Ermittlung von Gebieten mit hoher Eignung zur autarken Versorgung mit erneuerbaren Energien. Aufbauend auf dem grafischen Ergebnis wurden die vorgenannten Gebiete bezüglich ihrer elektrischen, thermischen, sowie kontinuierlichen und diskontinuierlichen Primärenergiepotenziale tabellarisch ausgewertet. Als Grundlage zur Detailuntersuchung einer Stadt sind die aktuellen technischen Möglichkeiten zur Erzeugung und Speicherung erneuerbarer Energien, inkl. planerischer und finanzieller Aspekte, eruiert wurden. Als Ergebnis wurde u.a. Freiburg im Breisgau als Stadt mit hohem Potenzial zur autarken Versorgung ermittelt. Im Anschluss erfolgte eine energetische und finanzielle Detailbetrachtung mit Schwerpunkt der autarken Versorgung mittels Erneuerbare Energien unter Zuhilfenahme eines separat erstellten Auswertungsprogramms. Weiterhin erfolgte eine gesellschaftsrechtliche Untersuchung der Stadtwerke Freiburg bezüglich geeigneter

---

Unternehmensformen, mit dem Fokus die Erneuerbaren Energien, entsprechend dem vorab eruierten Szenario, etablieren zu können. Ferner wurden Rückschlüsse allgemeiner Natur zur autarken Versorgung deutscher Städte sowie zum Begriff der energieautarken Stadt getroffen.

## **11.2 Ergebnisse und Ausblick**

Mit dem Ziel mögliche energieautarke Städte in Deutschland zu eruieren, stellten sich folgende Fragen:

1. „Was ist eine energieautarke Stadt?“ und
2. „Wie lokalisierere ich geeignete Städte?“

Um diese erste Frage beantworten zu können, wurde der Begriff „Stadt“ eruiert. Es bestehen mehrere Möglichkeiten die Stadt zu definieren und klassifizieren. Neben dem rechtlich-historischen und geografischen Verständnis des Stadtbegriffs haben sich die Autoren für den quantitativen Stadtbegriff inkl. der Klassifizierungen entschieden. Die Ergänzung „energieautark“ bezieht den geografischen Aspekt mit ein, indem sich alle relevanten Substrate, Brennstoffe und Anlagen innerhalb der Stadt zugehörigen Gemarkungsgrenzen befinden sollen. Demzufolge definiert sich eine energieautarke Stadt wie folgt:

„Die energieautarke Stadt erreicht eine vollständige Deckung des Bedarfs an elektrischer und thermischer Energie mit Hilfe erneuerbarer Energien. Sämtliche Energie für Privathaushalte, Industrie, Gewerbe, Handel, Verwaltung etc. wird innerhalb der Stadt produziert und über die Versorgungsnetze der Stadt bereitgestellt.“

Für die Lokalisierung geeigneter Städte zur energieautarken Versorgung sind die potenzielle folgender Primärenergiequellen untersucht wurden:

- Solarenergie,
- Windenergie,
- Wasserkraft,
- Geothermie und
- Bioenergie.

---

Schon alleine das theoretisch nutzbare Primärenergiepotenzial der Solarenergie kann den Primärenergiebedarf von Deutschland 100-fach decken. Auch bei zweiprozentiger Nutzung deutscher Landesflächen für Windenergie, wären 65 % des deutschen Bruttostrombedarfs abdeckbar.

Die Potenziale der vorgenannten Primärenergien unterliegen einer quantitativen Verteilung in Deutschland. Die Auswertung erfolgte unter Zuhilfenahme von Karten, welche individuell für jede Primärenergiequelle eruiert und ausgewertet wurden. Die herangezogenen Karten wurden nach dem gleichen Schema ausgewertet, d.h. es erfolgte eine Skalierung der hinterlegten Angaben, wie Sonneneinstrahlung und Windgeschwindigkeit, in 4 Zonen. Abhängig von den hinterlegten Karten ist eine direktere Nutzung bzw. eine Abstraktion der Angaben möglich bzw. notwendig. Beispielsweise wurde bei Biomasse unterstellt, dass das Aufkommen von Schweinehaltung mit dem Aufkommen von Gülle korreliert und somit eine Ableitung zum Biomassepotenzial erstellt.

Die Auswertung der Primärenergiepotenziale der Solarenergie zeigten, dass in Deutschland ein Nord-Süd-Gefälle sowie ein West-Ost-Gefälle der Einstrahlungswerte zu verzeichnen ist. Das maximale Potenzial ist im Süden Deutschlands auf ca. 24 Tkm<sup>2</sup> in der Alpen- und Schwarzwaldregion vorhanden.

Im Gegensatz zur Solarenergie, ist im Norden um Kiel, in Mitteldeutschland um Hof, Halle, Kassel und Süddeutschland im Alpenraum und Freiburg, das maximale Windenergiepotenzial vorhanden. Auf einer Fläche von ca. 35 Tkm<sup>2</sup> werden durchschnittliche Windgeschwindigkeiten von über 6,7 m/s erreicht.

Die Potenziale der Wasserkraft sind standorttechnisch und energetisch zum großen Teil erschöpft. Studien ergeben ein maximales Zubaupotenzial von 10% der aktuell installierten Wasserkraftanlagen. Über 80% der nutzbaren Wasserpotenziale sind dabei in Bayern und Baden-Württemberg vorhanden.

Die Nutzung der Tiefengeothermie zur kombinierten Strom- und Wärmeerzeugung ist ausschließlich in zwei gebieten Deutschlands möglich. Dazu gehören die Region um Hannover und die Rheintiefenebene, wo in 3.000 m Tiefe Temperaturen zwischen 140 und 180 °C vorliegen.

---

Biomasse kann durch seine Vielfalt einen wesentlichen Beitrag zur Energiebereitstellung leisten. Sehr gutes und gutes Potenzial (Zone 4 + Zone 3) zur energetischen Verwertung für gasförmige Biomasse ist prinzipiell in ganz Deutschland ein erhöhtes Potenzial zur Biomassenutzung vorhanden. Die Holznutzung hat in den Regionen Schwarzwald, Mitteldeutschland (zerstückelte Gebiete) und an der ostdeutschen Grenze gutes Potenzial.

Da das Aufkommen der Solarenergie und der Windenergie nicht beeinflusst werden kann und abhängig von der Jahreszeit, dem Standort und der Witterung schwankt, sind dies diskontinuierliche Primärenergien. Die Wasserkraft, die Tiefengeothermie sowie die Biomasse unterliegen weniger Einflüssen und stehen damit kontinuierlich zur Verfügung.

Zur Erarbeitung regionenspezifischer Aussagen waren Überlagerungen der Einzelprimärenergien erforderlich. Dies ermöglichte Regionen zu identifizieren und in der Nähe dieser Gebiete gelegene Städte vertiefend bearbeiten und auswerten zu können. Mittels eines selbst erstellten grafischen Auswertungsprogramms wurden die Maximalwerte der elektrischen Primärenergieformen (Solar- und Windenergie) mit einem angepassten Skalierungsbereich inkl. Dachflächenpotenzial ausgewertet. Ebenso wurden die thermischen Primärenergieformen ausgewertet und Regionen mit gutem thermischen Potenzial ermittelt. Da unter Beachtung kontinuierlicher und diskontinuierlicher Verfügbarkeit keine eindeutigen Regionen zu ermitteln waren, folgte eine Bewertung der Skalierungszonen von null bis drei (maximales Potenzial ist gleich Wert drei) in tabellarischer Form. Die Wertigkeiten der elektrischen und thermischen Potenziale wurden aufsummiert. Dabei bildete Freiburg im Breisgau mit 22 Punkten das Maximum, dicht gefolgt von Ingolstadt und Mannheim, welche in Summe das höchste Primärenergiepotenzial aufwies.

Für die Nutzung der erneuerbaren Primärenergiepotenziale stehen verschiedene Technologien zur Wandlung und Speicherung zur Verfügung. Diese wurden hinsichtlich ihrer aktuellen technischen, planerischen und wirtschaftlichen Aspekte untersucht um im weiteren Verlauf der Masterthesis angewendet werden zu können. Die Technologien der Wind- und Wasserkraftnutzung, der Biomassenutzung, die Nutzung von oberflächennaher Geothermie sowie die Nutzung der Photovoltaik haben sich etabliert bzw. verzeichnen aktuell ein stetiges Wachstum. Tiefengeothermie und Solarthermische Anlagen hingegen, konnten sich noch nicht am Energiemarkt etablieren. Ein weiteres wichtiges Ergebnis der

---

Untersuchung der Technologien ist, dass die Auswahl, die Planung und Dimensionierung anlagen- und standortspezifisch zu erfolgen hat. Da die Planung und Dimensionierung direkten Einfluss auf die Kosten haben, ist eine pauschale Aussage zur Wirtschaftlichkeit schwierig darstellbar.

Aufbauend auf der Auswertung der Primärenergiepotenziale, konnte Freiburg unter Einbeziehung der vorab ermittelten technischen Möglichkeiten und Parameter hinsichtlich der autarken Versorgung mit erneuerbaren Energien untersucht werden.

In Freiburg leben ca. 230.000 Einwohner und weist keinen überproportional hohen Industrieanteil auf. Der Sanierungsbedarf der Gebäude ist gegeben, da diese einen Heizwärmebedarf bis zu 252 kWh/m<sup>2</sup> und Einsparungspotenziale von bis zu 58 % aufweisen.

Der Nutzenergiebedarf (für private Haushalte, öffentliche Betriebe, Gewerbe und Industrie) ist für Strom mit 1.110 GWh und Wärme mit 2.235 GWh (entspricht Wärmeverbrauch von 9.696 kWh/EW und Stromverbrauch von 4.814 kWh/EW) daher als sehr hoch zu bezeichnen. Mit einem Endenergieanteil an Erneuerbaren Energien von ca. 6 % und ca. 221 GWh liegt Freiburg hinter den Ausbauvorgaben Deutschlands von mind. 10 % Erneuerbarer Energien bis 2012 zurück.

Unter Berücksichtigung der freien Ausbaupotenziale wurden folgende Anteile der Erneuerbaren Energien für eine zukünftige Energieversorgung ermittelt:

- ca. 19 % der Wärme und
- ca. 41 % des Stroms.

Ergo ist aktuell keine 100 %-ige Energieversorgung mittels erneuerbarer Energien möglich. Auch mit der Wärmebedarfsreduzierung um 58 % kann maximal 45 % der Wärme durch EE-Anteile substituiert werden.

Für eine Umsetzung des Versorgungsszenarios mit dem maximalen Anteil an EE sind Investitionen in einer Höhe von ca. 1,4 Mrd. € erforderlich. Die jährlichen Aufwendungen betragen, bei angenommenen Anlagenlaufzeiten von ca. 10 bis 20 Jahre, für die Wärmeversorgung ca. 62 Mio. € und für die Stromversorgung ca. 32 Mio. €. Unter der Annahme der aktuellen Börsenpreise würde diese Umsetzung, bei den spezifischen

---

Gestehungskosten, für Mehrkosten bei der Wärme von ca. 12 ct/kWh und bei Strom von ca. 4 ct/kWh sorgen.

Damit ist die energieautarke Versorgung deutscher Städte, am Beispiel Freiburgs, nicht möglich. Dies ist begründet durch die nicht auskömmlichen Potenziale innerhalb der Gemarkungsgrenzen von Freiburg.

Auf Grundlage der energetischen und finanziellen Untersuchung am Beispiel von Freiburg wurde die Komplexität einer solchen Betrachtung dargestellt und ein Ausblick mit möglichen Maßnahmen zur Erreichung der autarken Versorgung erarbeitet. Die Einleitung nachhaltiger Stadtentwicklungsmaßnahmen, Projekte zur Reduzierung des Energiebedarfs und der Ausbau erneuerbare Energien inkl. finanzieller Förderungen stellen wichtige Maßnahmen dar. Als weiteres Ergebnis wurde die Einbeziehung des Umlandes, entweder durch Vergrößerung des Stadtgebietes oder durch direkte Handelsbeziehungen, als gute Möglichkeit zur Erreichung des Ziels der autarken Versorgung durch erneuerbare Energien herausgearbeitet.

Für die rechtliche Umsetzung der Erhöhung des Anteils an erneuerbare Energien an der Energiebereitstellung von Freiburg, wurde die aktuelle Struktur der Stadt inkl. Stadtwerke und weiterer Beteiligungen analysiert. Aktuell erfolgt die Energieversorgung sowie der Betrieb der Versorgungsnetze über die badenova AG & Co. KG, einem Zusammenschluss aus regionalen und überregionalen Stadtwerken und Versorgungsunternehmen. Unter Beachtung der Herausforderung bezüglich der Bereitstellung von Finanzmitteln, der Beteiligungen, der Haftungsbeschränkung und des Stimmrechts wurden vielfältige Betrachtungen zur gesellschaftsrechtlichen Umsetzung vorgenommen, mit dem Ergebnis, die bestehende Rechtsform beizubehalten.

Fortführend erfolgte eine Abstraktion der Untersuchungen zu Freiburg auf ganz Deutschland. Folgende Ergebnisse lassen sich postulieren:

1. Eine zukünftige Vollversorgung deutscher Städte wird positiv eingeschätzt.
2. Der Ausbau der erneuerbaren Energien orientiert sich an dem Vorhandensein der Potenziale.
3. Stadt- bzw. regionenspezifische Voruntersuchungen unter Beachtung der Abhängigkeiten von Potenzialen, Stadtgröße, Energieeffizienz und –verbrauch.

- 
4. Die Einbeziehung des Umlandes ist bei der Entwicklung von Vollversorgungskonzepten anzuraten.
  5. Es gibt keine allgemeingültige, standardisierte Lösung zur autarken Versorgung in Deutschland.
  6. Technische Weiterentwicklungen, wie Wirkungsgradsteigerung, sind weiterhin notwendig und zu fördern.
  7. Die Kosten für erneuerbare Energien müssen sinken.
  8. Rechtliche Rahmenbedingungen für den Ausbau zentraler und dezentraler erneuerbarer Erzeugungskapazitäten sowie der Ausbau von Versorgungsnetzen und Speichertechnologien sind weiter zu forcieren.

Demnach lässt sich die Definition für eine energieautarke Stadt wie folgt fortschreiben:

„Die energieautarke Stadt erreicht eine vollständige Deckung des Bedarfs an elektrischer und thermischer Energie mit Hilfe erneuerbarer Energien. **Idealerweise wird** sämtliche Energie für Privathaushalte, Industrie, Gewerbe, Handel, Verwaltung etc. innerhalb der Stadt **und dem zugehörigen Umland produziert bzw. deren Handelsbeziehungen und über die zugehörigen Versorgungsnetze** bereitgestellt.“

## **12 Abkürzungsverzeichnis (B)**

EE	Erneuerbare Energien
EJ	Eta Joule
EW	Einwohner
et. al.	et alii / und andere
PJ	Peta Joule
T€	Tausend Euro
TW	Terra Watt
kWp	Kilowattpeak
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung

---

## **13 Abbildungsverzeichnis (A, B)**

Abb. 3-1: Übersicht und Auswahl gesellschaftsrechtlicher Unternehmensformen.....	10
Abb. 3-2: Ausschnitt aus der Anlage 02 - Übersicht über die Rechtsformen - .....	17
Abb. 4-1: Grobübersicht Potenziale .....	23
Abb. 4-2: technische Potenziale, Unterscheidung in Abhängigkeit der Energieform .....	25
Abb. 4-3: technische Potenziale, Unterscheidung nach Angebot und Nachfrage .....	25
Abb. 5-1: Möglichkeiten zur Nutzung Erneuerbarer Energien .....	29
Abb. 5-2: Wasserkraft, Skalierung anhand Wasserkraftanlagen (technisch) .....	36
Abb. 5-3: Anteil der Regelstromerzeugung in Prozent .....	36
Abb. 5-4: Geothermie, Temperaturen in 1.000 und 3.000 m Tiefe .....	38
Abb. 5-5: Geothermie, mögliche Auswertung digital .....	39
Abb. 5-6: Entwicklung Anbauflächen nachwachsender Rohstoffe in Deutschland.....	40
Abb. 5-7: theoretische Potenzial, kontinuierlich und diskontinuierlich .....	45
Abb. 6-1: Screenshot des Programms GIMP mit links dem Werkzeugkasten, in der Mitte der Blattbereich und rechts dem Ebenenbereich .....	49
Abb. 6-2: Ebenen im Programm GIMP.....	49
Abb. 6-3: Maxima der untersuchten Primärenergieformen.....	50
Abb. 7-1: Möglichkeiten zur Nutzung Erneuerbarer Energien .....	55
Abb. 7-2: FlächenPotenziale für Installation von Photovoltaikanlagen in Deutschland ....	57
Abb. 7-3: Jahressumme der Globalstrahlung in Abhängigkeit von Azimut und Neigung in kWh/m <sup>2</sup> .....	58

---

Abb. 7-4: Kostenaufteilung bei Großanlagen .....	60
Abb. 7-5: Übersicht über Solarkollektorbauformen .....	61
Abb. 7-6: Abhängigkeit der Wirkungsgrade diverser Kollektortypen in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz und der Einstrahlung.....	62
Abb. 7-7: Der Tagesverlauf des Zapfprofils eines Mehrfamilienhauses und das Solarwärmeangebot .....	64
Abb. 7-8: Solarspeicher mit Trinkwasser (links) und Heizungswasser (rechts) .....	65
Abb. 7-9: Einfluss der Dachneigung und -ausrichtung auf die jährlich eingestrahlte Energienmenge .....	68
Abb. 7-10: Systemkosten für solarthermische Anlagen bis 80 m <sup>2</sup> .....	69
Abb. 7-11: Kostenstruktur thermischer Anlagen zur Warmwasserbereitung in Ein- und Zweifamilienhäusern .....	70
Abb. 7-12: Auftriebsläufer, Kräfte und Windgeschwindigkeiten eines Rotorblattes .....	72
Abb. 7-13: Windkraftanlagen mit vertikaler Drehachse .....	72
Abb. 7-14: Windkraftanlagen mit horizontaler Drehachse, Aufbau und Komponenten ....	73
Abb. 7-15: Windkraftanlagen mit horizontaler Drehachse, Aufbau und Komponenten ....	74
Abb. 7-16: Spezifische Investitionen von Windkraftanlagen (ohne Trafo und ohne Netzanbindung) .....	76
Abb. 7-17: Laufwasserkraftwerk .....	77
Abb. 7-18: Speicherkraftwerk .....	77
Abb. 7-19: Pumpspeicherkraftwerk .....	78
Abb. 7-20: Turbinenarten .....	79

---

Abb. 7-21: Investitionskosten für Kleinwasserkraftwerke, abhängig von der Anlagengröße .....	82
Abb. 7-22: Übersicht der Möglichkeiten zur Nutzung der Geothermie .....	84
Abb. 7-23: Nutzung hydrothermale Geothermie .....	85
Abb. 7-24: Prinzipschaltbild tiefe Erdwärmesonden.....	87
Abb. 7-25: Nutzungsmöglichkeiten oberflächennaher Geothermie durch Erdwärmekollektoren, Erdwärmesonde a) und Energiepfahl b) .....	88
Abb. 7-26: Funktionsprinzip einer Kompressionswärmepumpe .....	89
Abb. 7-27: Funktionsprinzip einer Absorptionswärmepumpe .....	90
Abb. 7-28: Funktionsprinzip einer Adsorptionswärmepumpe .....	91
Abb. 7-29: COP in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz .....	92
Abb. 7-30: Spezifische Entzugsleistungen diverser Bodenarten.....	93
Abb. 7-31: Kosten für Wärmepumpen .....	94
Abb. 7-32: Kostenaufteilung von Wärmepumpenanlagen in Wärmequelle und Gerätepreis.....	94
Abb. 7-33: Übersicht der Formen fester Biomasse: a) Stückholz b) Hackschnitzel c) Holzpellets.....	96
Abb. 7-34: Anlagengröße und -klassifizierung .....	97
Abb. 7-35: Aufbau einer typischen Biogasanlage.....	99
Abb. 7-36: Spezifische Investitionskosten von Holzfeuerungsanlagen .....	101
Abb. 7-37: Brennstoffkosten diverser fester Biomasse .....	102
Abb. 7-38: Spezifische Investitionskosten von Biogasanlagen in Abhängigkeit der installierten elektrischen Leistung.....	104

---

Abb. 7-39: Genormte Nennspannungen $U_n$ und „Höchste Betriebsspannungen $U_m$ “ von Drehstromnetzen in Deutschland.....	106
Abb. 7-40: Die vier Regelzonen mit den vier ÜNB .....	108
Abb. 7-41: Fernleitungen in Deutschland.....	110
Abb. 7-42: Aufbau und Funktionsweise eines Aquiferspeichers .....	116
Abb. 8-1: Freiburg i.Br., Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald und Emmendingen .....	125
Abb. 8-2: Baualtersklassen mit Angabe des jeweils gültigen Wärmeschutzstandards ....	128
Abb. 8-3: Verteilung der Baualtersklassen nach der Gebäudeanzahl .....	128
Abb. 8-4: Wohnflächenbezogene Heizwärme-Einsparpotenziale sanierter Gebäudebestand .....	129
Abb. 8-5: Aktuelle Aufteilung der Endenergieträger auf die Nutzenergien Wärme und Strom .....	131
Abb. 8-6: Aktueller Anteil Erneuerbare Energien an der Nutzenergie .....	132
Abb. 8-7: Anteil an erneuerbarer Energie an der Endenergie in Freiburg a) und Deutschland b).....	133
Abb. 8-8: Ausschnitt Tabelle Potenzialermittlung mit beispielhafter Darstellung des Leistungs- und Ertragskorridors .....	133
Abb. 8-9: Maximale Substitution fossiler durch erneuerbare Nutzenergien.....	134
Abb. 8-10: Freies Nutzenergiepotenzial Wärme & Strom .....	134
Abb. 8-11: Ergebnisse der energetischen und wirtschaftlichen Untersuchung im Überblick .....	137
Abb. 9-1: Stadtwerke Freiburg, aktuelle Struktur .....	140
Abb. 9-2: Risikoabwägung Beteiligte / Mitsprache zu finanziellen Mittelbereitstellung	147

---

## **14 Tabellenverzeichnis (A, B)**

Tab. 2-1: Gesetze im Überblick mit Schwerpunkten Energieeffizienz und Erneuerbare Energien .....	7
Tab. 5-1: Solarenergie, Skalierungszonen .....	31
Tab. 5-2: Auswertung Sonnenergie (theoretisch, primär) .....	31
Tab. 5-3: Windenergie, Skalierungszonen .....	33
Tab. 5-4: Auswertung Windenergie (theoretisch, primär) .....	34
Tab. 5-5: Geothermie, Skalierungszonen optisch anpassen .....	38
Tab. 5-6: Zonen der Rinder-, Schweine- und Hühnerhaltung .....	42
Tab. 7-1: Übersicht Photovoltaik Zellarten und Wirkungsgrade .....	56
Tab. 7-2: Übersicht Photovoltaikkosten für Dünnschichtmodule .....	59
Tab. 7-3: Einsatztemperaturen Solarkollektoren im Haushaltsbereich .....	61
Tab. 7-4: Solarkollektortypen und deren Anwendungsgebiete .....	63
Tab. 7-5: Beeinflussung von Wirkungsgraden bei Windkraftanlagen .....	75
Tab. 7-6: Übersicht der spezifischen Investitionskosten .....	118
Tab. 8-1: Freiburg i. Br., Primärenergiepotenziale .....	126
Tab. 8-2: Auszug Rechenprogramm, Eingabemaske, Siedlungsstruktur .....	127
Tab. 8-3: Übersicht Einwohner und Haushalte .....	127
Tab. 8-4: Auszug Rechenprogramm, Eingabemaske, Endenergiebedarf .....	129
Tab. 8-5: Versorgungs- und Ertragsstruktur .....	130

---

## **15 Literaturverzeichnis (A, B)**

### **15.1 Gesetze**<sup>304</sup>

- BImSchG, 2012      Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG)"Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. September 2002 (BGBl. I S. 3830), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 27. Juni 2012 (BGBl. I S. 1421) geändert worden ist", Stand Neugefasst durch Bek. v. 26.9.2002 I 3830; Zuletzt geändert durch Art. 2 G v. 27.6.2012 I 1421
- BiomasseV, 2012    Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse (Biomasseverordnung - BiomasseV) Biomasseverordnung vom 21. Juni 2001 (BGBl. I S. 1234), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 10 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist" Stand: Zuletzt geändert durch Art. 5 Abs. 10 G v. 24.2.2012 I 212
- EEG, 2012            Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG), Konsolidierte (unverbindliche) Fassung des Gesetzestextes in der ab 1. Januar 2012 geltenden Fassung \*, (Grundlage: Entwurf der Bundesregierung vom 6. Juni 2011 – BT-Drucks. 17/6071 und Beschluss des Deutschen Bundestages vom 30. Juni 2011 – BT-Drucks. 17/6363)
- EEWärmeG           Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – EEWärmeG), Beschluss Deutscher Bundestag vom 24. Februar 2011 bzgl. der Änderung des EEWärmeG mit Gültigkeit ab 1. Mai 2011

---

<sup>304</sup> nachstehende Inhalte spiegeln einleitende Ausführungen der jeweiligen Gesetzestexte wieder bzw. sind in Anlehnung dieser zitiert

- ENEV 2012      Energieeinsparverordnung 2009 wurde in der aktuellen Fassung 2012 novelliert, jedoch bislang nicht eingeführt, aktuell finden Abstimmungen zur ENEV 2013 und deren Einführung in 2013 statt
- EnEG, 2005      Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden (Energieeinsparungsgesetz - EnEG), Ausfertigungsdatum: 22.07.1976  
Energieeinsparungsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 1. September 2005 (BGBl. I S. 2684), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 4. Juli 2013 (BGBl. I S. 2197) geändert worden ist" Stand: Neugefasst durch Bek. v. 1. 9.2005 I 2684; Hinweis: Änderung durch Art. 1 G v. 4.7.2013 I 2197 (Nr. 36) textlich nachgewiesen, dokumentarisch nicht abschließend bearbeitet
- EnLAG, 2009      Gesetz zum Ausbau von Energieleitungen (Energieleitungsausbaugesetz - EnLAG), Ausfertigungsdatum: 21.08.2009, Vollzitat: "Energieleitungsausbaugesetz vom 21. August 2009 (BGBl. I S. 2870), das durch Artikel 5 des Gesetzes vom 7. März 2011 (BGBl. I S. 338) geändert worden ist". Stand: Geändert durch Art. 5 G v. 7.3.2011 I 338
- EnWG, 2005      Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz - EnWG) Ausfertigungsdatum: 07.07.2005, Vollzitat: "Energiewirtschaftsgesetz vom 7. Juli 2005 (BGBl. I S. 1970, 3621), das durch Artikel 5 Absatz 1 des Gesetzes vom 26. Juni 2013 (BGBl. I S. 1738) geändert worden ist", Stand: Zuletzt geändert durch Art. 4 G v. 31.5.2013 I 1388, Hinweis: Änderung durch Art. 5 Abs. 1 G v. 26.6.2013 I 1738 (Nr. 32) textlich nachgewiesen, dokumentarisch nicht abschließend bearbeitet
- GasNEV, 2005      Verordnung über die Entgelte für den Zugang zu Gasversorgungsnetzen (Gasnetzentgeltverordnung - GasNEV)  
Ausfertigungsdatum:                    25.07.2005,                    Vollzitat:  
"Gasnetzentgeltverordnung vom 25. Juli 2005 (BGBl. I S. 2197), die zuletzt durch Artikel 5 der Verordnung vom 3. September 2010

---

(BGBI. I S. 1261) geändert worden ist", Stand Zuletzt geändert durch  
Art. 5 V v. 3.9.2010 I 1261

- GasNZV            Verordnung über den Zugang zu Gasversorgungsnetzen  
(Gasnetzzugangsverordnung - GasNZV), Ausfertigungsdatum:  
03.09.2010, Vollzitat: "Gasnetzzugangsverordnung vom 3. September  
2010 (BGBI. I S. 1261), die durch Artikel 4 der Verordnung vom 30.  
April 2012 (BGBI. I S. 1002) geändert worden ist", Stand: Geändert  
durch Art. 4 V v. 30.4.2012 I 1002
- KWKG, 2012        Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der  
Kraft-Wärme-Kopplung            (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz),  
Vergleichende Arbeitsausgabe des BHKW-Forum e.V. zur KWKG-  
Novelle 2012, 07/2012

## **15.2 Normen und VDI-Richtlinien**

- VDI 4640            VDI-Richtlinie 4640, Thermische Nutzung des Untergrundes, (Baltt  
1 bis 4, 2001 bis 2011)

## **15.3 Monografien**

- Ackermann, 2006            Stephan Ackermann, Trier: Deutschlands älteste Stadt ,  
Verlag Schoening und Co., Neuauflage, 2006
- AEE, 2009            Agentur für Erneuerbare Energien, Erneuerbare Energien  
2020, Potenzialatlas Deutschland, DMP-Berlin, 2009
- Badenova, 2011            Badenova AG und Co. KG, Dr. Dieter Salomon,  
Jahresbericht 2011, Badenova-Unternehmenskommuni-  
kation, 2011
- Benevolo, 1983            Leonardo Benevolo (Autor), Jürgen Humburg (Übersetzer),  
Die Geschichte der Stadt, Campus Verlag, Frankfurt, 1983

- BMU et al, 2010                      Potenzialermittlung für den Ausbau der Wasserkraftnutzung in Deutschland, BMU, Ingenieurbüro Floecksmühle, Universität Stuttgart Institut für Strömungsmechanik und Hydraulische Strömungsmaschinen, Aachen, September 2010
- BMU, 2011                                Erneuerbare Energien in Zahlen, BMU-KI III 1, nach Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat), Dezember 2011
- BMU et al, 2011                      BMU, Ingenieurbüro Floecksmühle, Fichtner, Forschungsstele UmweltEnergieRecht e.V., IHS, Vorbereitung und Begleitung der Erstellung des Erfahrungsberichtes 2011 gemäß § 65 EEG, Vorhaben IId Spartenspezifisches Vorhaben Wasserkraft, Aachen, 06/2011
- Breßler et al, 2003                    Christian Breßler, Martin Harsche, Skript Stadtgeographie, Die Stadt - Definition, Terminologie und Klassifikation, Universität Berlin, aktualisiert 05/2003
- BSW, 2012                                Bundesverband Solarwirtschaft e.V. (BSW-Solar), Statistische Zahlen der deutschen Solarstrombranche (Photovoltaik), September 2012
- Cerbe et al, 2004                      Günter Cerbe, Martin Dehli, Jan Eibe Kätelhön, Grundlagen der Gastechnik, Carl Hanser Verlag, 6. Auflage, München, 2004
- DGS, 2010                                DGS, Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie, Landesverband Berlin Brandenburg e.V., Ralf Haselhuhn, Uwe Hartmann, Photovoltaische Anlagen, 4. überarbeitete Auflage, Berlin, 2010
- Heimerl, 2005                            Dr.-Ing. Stephan Heimerl, EnBW Kraftwerke AG, Bereich

- Bautechnik und Wasserkraftplanung (TB), Wasserkraft in Deutschland – wie geht es weiter ?, 2. Konferenz der Elektrizitätswirtschaft „Regenerative Energien“, Stuttgart, 2005
- EU, 2010 Mitteilung der Kommission an das europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen – Energiefahrplan 2020 - Eine Strategie für wettbewerbsfähige, nachhaltige und sichere Energie, Europäische Kommission, Brüssel, November 2010
- EU, 2011 Mitteilung der Kommission an das europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen – Energiefahrplan 2050, Europäische Kommission, Brüssel, Dezember 2011
- Fraunhofer, 2012 Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES, Windenergie Report Deutschland 2011, Kassel, 04/2012
- Freiburg i.Br, 2003 Freiburg im Breisgau, Amt für Statistik und Einwohnerwesen, Haushalte in Freiburg, Haushaltsinformationen aus dem Einwohnermelderegister, Freiburg, 2003 (siehe auch [www.freiburg.de/statistik](http://www.freiburg.de/statistik))
- Fritz, 2009 Sven Fritz, Fachgebiet Geographie, Magisterarbeit GIS-gestützte Analyse der Energieeinspar- und Klimaschutzpotenziale der Gebäudetypologie der Stadt Freiburg i. Br., Albert-LudwigsUniversität Freiburg i.Br., 2009
- Gasch et al, 2011 Robert Gasch, Jochen Twele, Windkraftanlagen – Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb, 7. Auflage, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 2011

- GreenCity Freiburg, 2012      GreenCity Freiburg, Freiburg Wirtschaft Touristik und  
Messe GmbH & Co. KG, Dr. Bernd Dallmann, GreenCity  
Freiburg 2012
- GreenCity Freiburg, Map, 2012      GreenCity, Map, Freiburg, Hot Spots, Wirtschaft Touristik  
und Messe GmbH & Co. KG, Dr. Bernd Dallmann,  
GreenCity Freiburg 2012
- Korby et al, 2005      Wilfried Korby, Arno Kreuz, Paul Lindner, NN ?  
Städtische Räume im Wandel, Ernst-Klett-Verlag,  
Stuttgart, 2005
- Hierl et al, 2008      Susanne Hierl, Steffen Huber, Rechtsformen und  
Rechtsformenauswahl – Recht, Steuern, Beratung, 1.  
Auflage, GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2008
- Hillebrecht, 1975      Rudolf Hillebrecht, Städtebau und Stadtentwicklung in  
Städtebau als Herausforderung, Neue Schriftenreihe des  
Städtetages, Heft 30, 1975
- Hofmeister, 1993      Hofmeister, Burkhard, Stadtgeographie, das geographische  
Seminar, Westermann-Verlag, 1993
- IEKK, 2011      Integrierte Energie- und Klimaschutzkonzepte für die Stadt  
Leipzig, KMA IEV, Ingenieurunternehmen für  
Energieversorgung GmbH, Dresden, 2011
- Kaltschmitt et al, 2006      Martin Kaltschmitt, Wolfgang Streicher, Andreas Wiese,  
Erneuerbare Energien, Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit,  
Umweltaspekte, 4. Auflage, Springer-Verlag Berlin  
Heidelberg, 2006
- Koeppen, 2011      Prof.-Dr. J. Koeppen, Hochschule für Angewandte  
Wissenschaften Hamburg, Fakultät Technik und  
Informatik, Departement Maschinenbau und Produktion,  
Windenergieanlagen, Skript zur Lehrveranstaltung,

---

31.01.2011

- Kohlhammer, 1996      „Einführung in die Stadtplanung“, Band 1,  
Vieweg+Teubner; Kohlhammer, Stuttgart, 1996
- König, 2001            König, Sureth, Besteuerung und Rechtsformwahl, Verlag  
Neue Wirtschafts-Briefe GmbH & Co, Herne/Berlin, 2001
- Löffelholz, 1993      Löffelholz, Dr. Josef, Unternehmensformen und  
Unternehmenszusammenschlüsse, Gabler Verlag,  
Wiesbaden, 1993
- Nothdurft, 2011        Akademie für Erneuerbare Energien Lüchow-Dannenberg,  
Rohstofflogistik und Stoffstrommanagement, Dr. rer. nat.  
Frieder Nothdurft, Vorlesungsskript, 2011
- Staab, 2011            Jürgen Staab, Erneuerbare Energien in Kommunen  
Energiegenossenschaften gründen, führen und beraten,  
Gabler Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH,  
1.Auflage, Wiesbaden, 2011
- Schwab, 2012          Professor Dr.-Ing., Dr.-Ing. h.c. mult. Adolf J. Schwab,  
Elektroenergiesysteme - Erzeugung, Transport,  
Übertragung und Verteilung elektrischer Energie, Springer-  
Verlag, 3 Auflage, Heidelberg, 2012
- Stober, 2012           Ingrid Stober, Prof. Dr. Kurt Buchner, Geothermie,  
Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012
- Quaschnig, 2011       Quaschnig, Volker, Regenerative Energiesysteme, Hanser  
Verlag München, 7. Auflage, München, 2011
- Werny, 2007            Werny, Sven, Die Rechtsformen GbR, OHG und GmbH -  
ein kurzer Überblick, 1. Auflage, Grin Verlag, Norderstedt,  
2007

---

## **15.4 Fachzeitschriften / Fachbeitrag**

- Anderer et al, 2010 Pia Anderer, Ulrich Dumont, Stephan Heimerl, Albert Ruprecht und Ulrich Wolf-Schumann, *Wasserwirtschaft* 9/2010, „Das Wasserkraftpotenzial in Deutschland“, Vieweg Verlag, Wiesbaden, 2010
- AEE, 2010 Agentur für Erneuerbare Energien, *Erneuerbare Energien 2020, Potentialatlas Deutschland* (Sonderausgabe Bioenergie), Berlin, 2010
- BB, 2007 Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.), *Biogashandbuch Bayern - Materialienband*, Augsburg, 2007
- BDEW et al, 2012 Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. Frank Brachvogel (BDEW), Ernst & Young Dag-Steffen Rittmeier, *Stadtwerke setzen auf Erneuerbare Energien und dezentrale Erzeugung*, Berlin, Perma, 2012
- BEM, 2013 Bundesverband eMobilität e.V. (BEM), Tim Baack, *Einstieg für Stadtwerke in Energieversorgung der Zukunft*, Cymage Media Berlin, 2013
- BMU, 2008 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, *Stadtwerke als Motor der Energiewende – Umweltministerium und Verband kommunaler Unternehmen legen Thesenpapier zur Zukunft der Stadtwerke vor*, Berlin, 2008
- BMWi, 2010 Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, *Rechtsformen*, Berlin, 2010
- DB, 2012 Dallmann, Dr. Bernd, *Energiebilanz für die Region Freiburg - Verbrauch und Potenziale*, 2012

- DGS-ST, 2008                      DGS Berlin, Planungsordner Solarthermische Anlagen, 2008
- FNR-BM, 2005                      Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., Leitfaden Bioenergie - Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen, Gülzow, 2005
- VKU-1 et al, 2011                      Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU), YourSales Unternehmensberatung, EVU-Projektpartner, Studie Stadtwerke der Zukunft I – Update, Perspektiven kommunaler Energieversorgung 2020/2025, München, 09/2011
- VKU-II et al, 2010                      Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU), YourSales Unternehmensberatung, EVU-Projektpartner, Studie Stadtwerke der Zukunft II – Kooperationen, München, 07/2010
- VKU-III et al, 2012                      Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU), YourSales Unternehmensberatung, EVU-Projektpartner, Studie Stadtwerke der Zukunft III – Perspektiven im Geschäftsfeld Energiedienstleistungen, München, 02/2012
- VKU-IV et al, 2012                      Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU), YourSales Unternehmensberatung, EVU-Projektpartner, Studie Stadtwerke der Zukunft IV – Neue Wege für Kommunen und kommunale Energieversorgungsunternehmen, München, 04/2012
- Vie, 2008                              Planungshandbuch Solarthermie, Viessmann Werke; November 2008
- ZfK, 2011                              Stadtwerke der Zukunft, Strategien für den Markt von Morgen, Zeitung für Kommunale Wirtschaft, Verlag Sigillum GmbH München / Berlin, 04/2011

---

## 15.5 Internetquellen

- I-AEE, 2013 [http://www.aee.at/aee/images/Bilder-fuer-Zeitungen/2008-02/images/07\\_2.gif](http://www.aee.at/aee/images/Bilder-fuer-Zeitungen/2008-02/images/07_2.gif), Abruf 07/2013
- I-Badenova, 2013 Badenova AG & Co. KG, 2013, [www.badenova.de](http://www.badenova.de)
- I-BR-a , 2012 Bundesregierung, Energiewende, 02.11.2012  
[http://www.bundesregierung.de/Content/DE/StatischeSeiten/Breg/Energiekonzept/Fragen-Antworten/1\\_Allgemeines/2012-11-02-warum.html](http://www.bundesregierung.de/Content/DE/StatischeSeiten/Breg/Energiekonzept/Fragen-Antworten/1_Allgemeines/2012-11-02-warum.html)
- I-BR-b, 2012 Bundesregierung, Klima schützen und Energie sparen – das Programm der Bundesregierung, 09.11.2012  
<http://www.bundesregierung.de/Content/DE/Magazine/MagazinWirtschaftFinanzen/053/sp-1-klima-schuetzen-energie-sparen-das-programm-der-bundesregierung.html>
- I-BR-c, 2012 Bundesregierung, Gemeinsam der Energiewende verpflichtet, 09.11.2012  
<http://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2012/11/2012-11-02-energietreffen-merkel-mp.html>
- I-Breßler, 2003 Christian Breßler, Martin Harsche, Katrin Fischer, Geographischen Institut der Humboldt-Universität, Arbeitsbereich Prof. Dr. B. Freund, Skript Stadtgeographie aktualisierte Form 2004 des Skriptes von 1996-1998, Die Stadt - Definition, Terminologie und Klassifikation, aktualisiert 05/2003,  
[http://www.mygeo.info/skripte/skript\\_bevoelkerung\\_siedlung/siedl1.htm#statistisch](http://www.mygeo.info/skripte/skript_bevoelkerung_siedlung/siedl1.htm#statistisch), 2012.11.25
- I-Bross, 2009 Wirtschafts- und Stadtgeographie, Fabian Bross, 2008/2009, <http://fabianbross.de/wirtschafts-%20und%20stadtgeographie.pdf>

- 
- I-BMU-a, 2009 Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz und Reaktorsicherheit, Das Integrierte Energie- und Klimaschutzprogramm (IEKP), Juni 2009, [http://www.bmu.de/klimaschutz/nationale\\_klimapolitik/doc/44497.php](http://www.bmu.de/klimaschutz/nationale_klimapolitik/doc/44497.php)
- I-BMU-a, 2011 Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz und Reaktorsicherheit, Szenarien und Prognosen zur Energiewende, Oktober 2011, <http://www.bmu.de/themen/klima-energie/energiewende/szenarien-und-prognosen/>
- I-BMWi, 2013 Übersicht Fernleitungsnetze Erdgas in Deutschland, <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/Bilder/Energie/gas-fernleitungsnetz-im-ueberblick,property%3Dbild,bereich%3Dbmwi2012,sprache%3Dde,width%3D620,height%3D653.jpg>, Aufruf 07/2013
- I-ECH, 2013 [http://www.erdgas.ch/fileadmin/customer/erdgasch/Data/Waermemarkt/GWP/Wie\\_funktioniert\\_eine\\_GWP/schema\\_absorption\\_d.jpg](http://www.erdgas.ch/fileadmin/customer/erdgasch/Data/Waermemarkt/GWP/Wie_funktioniert_eine_GWP/schema_absorption_d.jpg), Abruf 07/2013
- I-EG, 2013 [http://www.e-genius.at/fileadmin/user\\_upload/solarthermie/welche\\_kollektoren\\_stehen\\_zur\\_verfugung.html](http://www.e-genius.at/fileadmin/user_upload/solarthermie/welche_kollektoren_stehen_zur_verfugung.html), Abruf 07/2013
- I-Energiefoerderung, 2012 Energieförderung BINE, Länder- und Standortspezifische Fördermittelsuche, 2012, [www.energiefoerderung.info](http://www.energiefoerderung.info)
- I-Energiepolitik, 2013 Energiepolitik, deutscher Energieverbrauch 2012, <http://www.energiepolitik.de/deutscher-energieverbrauch-2012/>, Abruf, 01.03.2013
- I-EWP. 2013 <http://www.effiziente->

- 
- waermepumpe.ch/wiki/Dimensionierung\_Erdw%C3%A4rme-  
mesonden, Abruf 07/2013
- I-EZ, 2012 Energiezukunft, New York, 2016, die Stadt wird autark,  
[http://www.energiezukunft.eu/bauen-  
wohnen/bauzukunft/new-york-2106-die-stadt-wird-autark/](http://www.energiezukunft.eu/bauen-wohnen/bauzukunft/new-york-2106-die-stadt-wird-autark/),  
Abruf 10/2012
- I-FB-HP, 2013 <http://www.demarch.de/images/pellets.jpg>, Abruf 07/2013
- I-FB-HS, 2013 <http://www.holzgibtgas.com/holzgas/Hackschnitzel.jpg>,  
Abruf 07/2013
- I-FB-SH, 2013 [http://www.brennholz-lager-  
lindau.com/uploads/media/brennholz-scheitholz-2\\_01.jpg](http://www.brennholz-lager-lindau.com/uploads/media/brennholz-scheitholz-2_01.jpg),  
Abruf 07/2013
- I-FG-KGaA, 2013 Für Gründer – Erfolgreich selbstständig machen,  
[http://www.fuer-gruender.de/wissen/existenzgruendungs-  
planen/recht-und-steuern/rechtsform/kgaa/](http://www.fuer-gruender.de/wissen/existenzgruendungsplanen/recht-und-steuern/rechtsform/kgaa/), Abruf 07/2013
- I-FE, 2012 Föderal Erneuerbar, Bundesländer mit neuer Energie,  
[www.foederal-erneuerbar.de](http://www.foederal-erneuerbar.de), Abruf 12/2012
- I-Fraunhofer, 2012 Fraunhofer-Institut, 100 % Erneuerbare Energien für  
Strom und Wärme in Deutschland, 11/2012,  
[http://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/veroe-  
ffentlichungen-pdf-dateien/studien-und-  
konzeptpapiere/studie-100-erneuerbare-energien-in-  
deutschland.pdf](http://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/veroeffentlichungen-pdf-dateien/studien-und-konzeptpapiere/studie-100-erneuerbare-energien-in-deutschland.pdf))
- I-Freiburg, 2013 Freiburg im Breisgau - Stadt, Wirtschaft, Umwelt etc.,  
[www.freiburg.de](http://www.freiburg.de), Abruf 05/2013
- I-FUB, 2010 Freie Universität Berlin, Geographie, Userpage, „Die  
Definition einer Stadt“, 2010,  
<http://www.schreiben10.com/referate/Geographie/13/Die->

- 
- Definition-einer-Stadt-reon.php, Abruf 10/2012
- I-Energieallianz, 2012      Energieallianz Glarus-Linth, Energieautarke Region -  
Definition und Vorteile <http://energieallianz-glarus.ch/energieautarke-region-definition-und-vorteile>,  
Abruf 11/2012
- I-Gesetze, 2013      Gesetze im Internet, <http://www.gesetze-im-internet.de/aktuell.html>, Abruf 06/2013
- I-GW-KG, 2013      Berwanger, Dr. Dr. Jörg, Dautzenberg, Dr. Norbert,  
Dennerlein, Birgitta, Gabler Wirtschaftslexikon,  
<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/kommanditgesellschaft-kg.html>, Abruf 07/2013
- I-GW-KGaA, 2013      Dr. Dr. Jörg Berwanger, Dr. Norbert Dautzenberg, Gabler  
Wirtschaftslexikon,  
<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/kommanditgesellschaft-auf-aktien-kgaa.html>, Abruf 07/2013
- I-GW-StG, 2013      Winter, Dr. Eggert, Gabler Wirtschaftslexikon,  
<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/stille-gesellschaft.html>, Abruf 07/2013
- I-GW-UG, 2013      Dr. Dr. Jörg Berwanger, Gabler Wirtschaftslexikon,  
<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/gesetz-zur-modernisierung-des-gmbh-rechts-und-zur-bekaempfung-von-missbraeuchen-momig.html?referenceKeywordName=Unternehmergeellschaft>, Abruf 07/2013
- I-GZ, 2010      [http://www.geothermiezentrum.de/fileadmin/media/geothermiezentrum/Projekte/WP-Studie/Abschlussbericht\\_WP-Marktstudie\\_Mar2010.pdf](http://www.geothermiezentrum.de/fileadmin/media/geothermiezentrum/Projekte/WP-Studie/Abschlussbericht_WP-Marktstudie_Mar2010.pdf), Stand März 2010

- I-IG, 2013                      Windenergie, Fachbereich, Größe von Windkraftanlagen,  
<http://www.ingenieur.de/Fachbereiche/Windenergie/Grosse-Rotorblaetter-Pruefstand>, Abruf 04/2013
- I-isomax, 2012                      Isomax-terrasol, die energieautarke, schwimmende  
Ökostadt, [http://www.isomax-terrasol.eu/uploads/media/Energieautarke\\_schwimmende\\_OEkostadt.pdf](http://www.isomax-terrasol.eu/uploads/media/Energieautarke_schwimmende_OEkostadt.pdf), Abruf 11/2012
- I-OZ, 2012                      Autarke Energieerzeugung und -versorgung eingebunden  
in die Regionalentwicklung,  
[http://www.originalsozial.de/fileadmin/m\\_v\\_2020/Leitbild\\_MV2020\\_Soicher\\_Kasbohm\\_100306.pdf](http://www.originalsozial.de/fileadmin/m_v_2020/Leitbild_MV2020_Soicher_Kasbohm_100306.pdf), 06.03.2010,  
Abruf 11/2012
- I-P, 2013                      <http://www.paradigma.de/mediadb/10834459/10834460/solkollektor-wirkungsgrad.png>, Abruf 05/2013
- I-RC, 2013                      Die Genossenschaft: Grundsätze, Rechtsgrundlagen,  
Informationen, [http://www.raiffeisen-campus.de/fileadmin/dateien/Dokumente/Die\\_Genossenschaft-Infoblatt.pdf](http://www.raiffeisen-campus.de/fileadmin/dateien/Dokumente/Die_Genossenschaft-Infoblatt.pdf), Abruf 05/2013
- I-RZ, 2011                      Regenerative Zukunft, Wasserkraft, Wirtschaftlichkeit,  
11/2011, <http://www.regenerative-zukunft.de/erneuerbare-energien-menu/wasserkraft>, Abruf 05/2013
- I-SB, 2013                      Solarthermische Anlagen Wirtschaftlichkeit,  
<http://www.solarbusiness.de/daten-a-fakten/zahlen>, Abruf  
05/2013
- I-SN, 2013                      Solarthermische Anlagen, <http://www.solarthermie.net>,  
Abruf 05/2013
- I-Thega, 2012                      Thega, Energieautarke Kommune am Beispiel  
Großbreitenbach, <http://www.thega.de/uploads/media/>

- 
- ziege.pdf, 15.11.2011, Abruf 11/2012
- I-TS, 2005 Peter Schossig, Thermische Speicher - Wärmespeicher für die Hausenergieversorgung, 2005  
[http://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Themenhefte/th2005/th2005\\_06\\_01.pdf](http://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Themenhefte/th2005/th2005_06_01.pdf), Abruf 07/2013
- I-UE, 2013 <http://www.unendlich-viel-energie.de/de/bioenergie/detailansicht/browse/1/article/103/wie-funktioniert-eine-biogasanlage.html>, Abruf 07/2013
- I-UO, 2013 Ein Unternehmen gründen & als Unternehmer erfolgreich sein., Einzelunternehmen, <http://www.unternehmung.org/einzelunternehmen.html>, Abruf 07/2013
- I-VDI, 2012 VDI-Nachrichten, nächster Engpass Silizium, 05.10.2012, <http://www.vdi-nachrichten.com/artikel/Naechster-Engpass-bei-Silizium-in-Sicht/60714/2>
- I-Windatlas, 2013 Windkarten, online, <http://www.windatlas.dk/Europe/Index.htm>, hier Europa, Höhen von 50m, Abruf 04/2013
- I-WP, 2013 <http://www.waermepumpen-portal.de/pic/funktionsweise.gif>, Abruf 07/2013
- I-ZUM, 2013 Übersicht Rechtsformen Unternehmen, <http://www.zum.de/Faecher/kurse/boeing/udb/recht/Unternehmensformen-Uebersicht.pdf>, Abruf 07/2013

## **16 Konsultationsverzeichnis (A)**

### **Ansprache der Dozenten**

- Romeike/Schulze 1) 10/2012, Prof. Dr. Romeike und Dr. Schulze, Telefonkonferenz, Gliederung und Aufgabenstellung
- Romeike/Schulze 2) 11/2012, Prof. Dr. Romeike und Dr. Schulze, Telefonkonferenz, aktueller Stand und weiteres Vorgehen
- Romeike/Schulze 3) 12/2012, Prof. Dr. Romeike und Dr. Schulze, Telefonkonferenz, Schwierigkeiten Rasterwahl Auswertung der EE aus Strom und Wärme
- Romeike/Schulze 4) 03/2013, Prof. Dr. Romeike und Dr. Schulze, Telefon-konferenz, Ergebnis Auswertung Region, Problem keine max. Bereiche
- Romeike/Schulze 5) 05/2013, Prof. Dr. Romeike und Dr. Schulze, Telefonkonferenz, Aufbau und Auswertung Excelprogramm Stadt
- Romeike/Schulze 6) 06/2013, Prof. Dr. Romeike und Dr. Schulze, Telefonkonferenz, Abstimmung finaler Schritte zur Fertigstellung und Restaufgaben bis zur Abgabe
- Romeike/Schulze 7) 07/2013, Prof. Dr. Romeike und Dr. Schulze, Telefonkonferenz, wirtschaftliche und gesellschaftsrechtliche Auswertung

## **17 Anlagenverzeichnis**

Anlage 01 – kommunale Ebene, Inhalt Integrierte Energie- und Klimaschutzkonzept (A)

Anlage 02 – Übersicht Unternehmensformen (B)

Anlage 03 – Definition von Stadtbegriffen und ihre Klassifizierungsarten (A)

Anlage 04 – Solarenergie, Globalstrahlung in Deutschland, Zeitraum 1981 bis 2010 (A)

Anlage 05 – Solarenergie, Globalstrahlung in Deutschland, Auswertung Zone 1 bis 4 (A)

Anlage 06 – Windenergie, Wetterdienst, Höhe in 80m, Zeitraum 1981 bis 2000 (A)

Anlage 07 – Windenergie, Wetterdienst, Höhe in 80m, Auswertung Zone A bis D (A)

Anlage 08 – Wasserkraft, Technische Potenziale in Deutschland (A)

Anlage 09 – Biomasse, Potenziale in Deutschland, Auswertung Wald (B)

Anlage 10 – Biomasse, Potenziale in Deutschland, Auswertung Tier (B)

Anlage 11 – Biomasse, Potenziale in Deutschland, Auswertung Acker (B)

Anlage 12 – Überlagerung Sonnenenergie und Windenergie, Skalierung 65 bis 100 %  
inkl. Dachpotenziale, Auswertung (A)

Anlage 13 – Überlagerung Primärenergiepotenziale, Skalierung 65 bis 100 % (A, B)

Anlage 14 – Überlagerung Primärenergiepotenziale, Skalierung 0 bis 100 % (A, B)

Anlage 15 – Photovoltaik, Aufbau netzgekoppeltes System und Inselsystem (A)

Anlage 16 – Auswertungsprogramm, Aufbau (B)

Anlage 17 – Auswertungsprogramm, Eingabemaske (B)

Anlage 18 – Auswertungsprogramm, Detailberechnung (B)

Anlage 19 – Auswertungsprogramm, Grafiken (B)

Anlage 20– Leitfaden, Potenzialanalyse der Stadt (A)

**Anlage 01**

**kommunale Ebene, Inhalt des Integrierten Energie- und  
Klimaschutzkonzeptes**

- übergeordnete Maßnahmen
  - o Erhöhung Priorität Klimaschutz, Einrichtung von Beratungsstellen und Klimaschutzbeauftragter sowie Klimaschutzfonds
  - o Intensivierung Dialog / Zusammenarbeit mit Behörden/Förderstellen in bestehenden Fernwärmeversorgungsgebieten
  - o Erstellung Leitziele für Energie- und Klimaschutz
- Energieversorgung
  - o Ausbau Fernwärmenetz in geeigneten Stadtteile
  - o Überprüfung Öffnung Fern- und Nahwärmenetz zur zukünftigen Einbindung erneuerbarer Wärme (z.B. Bioenergie, Solarthermie)
  - o Anstreben höchster Effizienz bei der Energieumwandlung fossiler und erneuerbarer Energieträger (bei Bestand, Modernisierung und Neubau)
  - o Förderprogramme Einsatz von Mini-BHKW-Anlagen und Inselnetze
- Energieerzeugung
  - o Strategie zur Nutzung Biomassepotenziale
  - o Energetische Nutzung Abfallproduktion, Abwasserproduktion, Wasserkraft
  - o Konzepterstellung für die zentrale Wärmespeicherung
  - o Erstellung Solarkataster,
  - o Bestimmung PV-Potenziale auf Brachflächen / Frei-
  - o Mustergestattungsanlagen für Bürgersolaranlagen
  - o Pilot- und Demonstrationsvorhaben von Kleinwindanlagen
  - o Bau und Kauf von EE-Anlagen, Förderprogramme EE-Einsatz
- Stadtentwicklung
  - o Energiekonzept für ein Wohnbau- oder ein Wohnungssanierungsgebiet
  - o Erweiterung des Integrierten Stadtentwicklungskonzeptes (SeKo) bzgl. Energie- und Klimaschutz
  - o Modellierung hochwertige Sanierung Stadtquartiere
- Gebäude
- öffentliche Einrichtungen
  - o 100%-Bezug aus erneuerbaren Energien (zertifiziert)
- private Haushalte

## **Anlage 02**

### **Übersicht Unternehmensformen**

**Rechtsformen der Unternehmung / Unternehmensformen**

Kennzeichen	Einzelunternehmung	OHG	KG	BGB-Gesellschaft GbR	Unternehmergesellschaft (UG haftungsbeschränkt)	GmbH	AG	KGaA	Genossenschaft
<b>Vertrag/ Satzung/Statut</b>	-----	Gesellschaftsvertrag	Gesellschaftsvertrag	Gesellschaftsvertrag	Gesellschaftervertrag (Musterprotokoll)	Gesellschaftsvertrag	Satzung	Satzung	Statut
<b>Mindestgründungskapital</b>	-----	nicht vorgeschrieben	nicht vorgeschrieben	nicht vorgeschrieben	25.000,-€ Bareinl.bei Gründ.; Nennbetrag d. GA 1,-€ 25 % Rücklage v. Gewinn bis 25.000,- €erreicht sind	25.000,-€ Bar-/Sacheinlage bei Gründung 12.500.- € Nennbetrag der Geschäftsanteile 1,-€	50.000,-€ Mindestnennwert 1,- €	50.000,-€	nicht vorgeschrieben
<b>Mindestpersonenzahl bei Gründung</b>	1	2	2	2	1-3 (max.) „Mini-GmbH“	1 oder mehrere	1 oder mehrere, Kleine AG=1 Gründer	5	3
<b>Formvorschriften</b>	nicht vorgeschrieben	nicht vorgeschrieben, üblich schriftl. Vertrag	nicht vorgeschrieben, üblich schriftl. Vertrag	nicht vorgeschrieben, üblich schriftl. Vertrag	notarielles Musterprotokoll (Gesellsch.vertrag./ -liste, Geschäftsführer-bestellg.)	notariell beurkundeter Vertrag	notariell beurkundeter Vertrag	notariell beurkundeter Vertrag	Aufstellung eines Statuts und Unterzeichnung durch die Gründer
<b>Bezeichnung der Gesellschafter</b>	Inhaber	Gesellschafter	Komplementär/ Kommanditist	keine besondere vorgesehen	Gesellschafter (lt. Gesellschafterliste)	Gesellschafter	Aktionäre	Kommanditaktionäre + mind. 1 Komplementär	Genossen
<b>Gesellschaftsorgane</b>	keine	Gesellschafterversammlung	Gesellschafterversammlung	Gesellschafterversammlung	Gesellschafter-versammlung	Gesellschafterversammlung	Hauptversammlung, Vorstand, Aufsichtsrat	Hauptversammlung, Vorstand, Aufsichtsrat	Generalversammlung Vorstand, Aufsichtsrat
<b>Geschäftsführung</b>	Inhaber	richtet sich nach dem Vertrag, sonst alle	Komplementär	richtet sich nach dem Vertrag, sonst gemeinschaftlich	Geschäftsführer	Geschäftsführer	Vorstand	persönlich haftender Gesellschafter	Vorstand aus mindestens 2 Personen
<b>Vertretung</b>	Inhaber	richtet sich nach dem Vertrag, sonst alle	Komplementär	richtet sich nach dem Vertrag, sonst gemeinschaftlich	Geschäftsführer	Geschäftsführer	Vorstand	persönlich haftender Gesellschafter	Vorstand aus mindestens 2 Personen
<b>Haftung</b>	Inhaber haftet allein und unbeschränkt mit seinem gesamten Vermögen	alle Gesellschafter haften unmittelbar, unbeschränkt, solidarisch (als Gesamtschuldner)	Komplementär mit Gesamtvermögen, Kommanditisten bis zur Höhe ihrer Einlage	gemeinschaftlich	Gesellschaftsvermögen, mind. Stammkapital, evtl. Nachschusspflicht, Geschäftsführer bei Verschulden	Gesellschaftsverm., mind. Stammkapital, evtl. Nachschusspflicht	Gesellschaftsverm., mind. Grundkapital	persönlich haftender Gesellschafter unmittelbar, unbeschränkt, solidarisch	Haftungssumme (Geschäftsguthaben + ausstehende Pflichtanteile) Evtl. Nachschusspflicht
<b>Stimmrecht</b>	entfällt	nach Köpfen	nach Köpfen	nach Vertrag, sonst nach Köpfen	nach Kapitalanteilen	nach Kapitalanteilen	nach Anteilen am Grundkapital	nach Anteilen am Grundkapital	nach Köpfen
<b>Rechtspersönlichkeit Firma</b>	keine eigene Rechtspersönlichkeit, Personal-/ Sach-/ Phantasie- oder gemischte Firma mit Zusatz e.K.; e.Kfr.	keine eigene Rechtspersönlichkeit, Personal-/ Sach-/ Phantasie- oder gemischte Firma mit Zusatz oHG	keine eigene Rechtspersönlichkeit, Personal-/ Sach-/ Phantasiefirma mit od. gemischte Firma mit Zusatz KG	keine eigene Rechtspersönlichkeit, kein Firmenname möglich; Gesellschafter m. Familiennamen u. mind.einem aus-geschr.Vornamen	Unternehmergesellschaft juristische Person, Personal-/ Phantasie- oder Sachfirma mit Zusatz haftungsbeschränkt	juristische Person, Personal-/ Phantasie- oder Sachfirma mit Zusatz GmbH	juristische Person, Personal-/ Sach- / Phantasiefirma mit Zusatz AG bei Gründung vor 1900: auch Personalfirma möglich	juristische Person, Personal-/ Sach- / Phantasiefirma mit Zusatz KGaA	juristische Person, Personal-/ Sach- / Phantasiefirma mit Zusatz eG
<b>Gewinnbeteiligung</b>	Inhaber	nach Vertrag, sonst 4% auf die Einlage, Rest nach Köpfen	nach Vertrag, sonst 4% auf die Einlage, Rest wird im angemessenen Verhältnis verteilt	nach Vertrag	nach dem Verhältnis der Geschäftsanteile	nach dem Verhältnis der Geschäftsanteile	Dividendenzahlung gemäß Beschluss der Hauptversammlung	zuerst 4% an den Komplementär, dann 4% an die Aktionäre, Rest angemessen.	nach dem Verhältnis der Geschäftsguthaben gem. Beschluss
<b>Verlustbeteiligung</b>	Inhaber	nach Vertrag, sonst nach Köpfen	in angemessenem Verhältnis zwischen den Gesellschaftern	nach Vertrag, sonst Solidargemeinschaft	beschränkte oder unbeschränkte Nachschusspflicht	beschränkte oder unbeschränkte Nachschusspflicht	keine Beteiligung, bei Insolvenz, evtl. Kapitalherabsetzung	Komplementäre wie bei KG, Aktionäre wie bei AG	Abzug vom Geschäftsguthaben
<b>Publizitätspflicht</b>	nicht vorgeschrieben	nicht vorgeschrieben	nicht vorgeschrieben	nicht vorgeschrieben	nur mittelgroße und große GmbH abhängig von Bilanzsumme, Umsatz, Anzahl Arbeitnehmer	nur mittelgroße und große GmbH abhängig von Bilanzsumme, Umsatz, Anzahl Arbeitnehmer	Veröffentlichung nach § 160 AktG	Veröffentlichung nach § 160 AktG	Veröffentlichung der Statuten nach § 12 GenG
		<b>HRA = Handelsregister A (Personengesellschaften)</b>		<b>Kein Register-eintrag</b>	<b>HRB = Handelsregister B (Kapitalgesellschaften)</b>			<b>Genossenschaftsregister</b>	

### **Anlage 03**

#### **Definition von Stadtbegriffen und ihre Klassifizierungsarten**

Um die Unterscheidungsmerkmale besser werten zu können, wird nachstehend ein grober Überblick folgender Definitionen und Ihrer Klassifizierungsarten zu Städten gegeben:

- Rechtlich-historisch
- Quantitativ
- Geographisch
- Verwaltungstechnisch
- Rechtlich-soziologisch und strukturell

### **Rechtlich-historisch**

Nach Benevolo <sup>1</sup> ist mit rechtlich-historischem Bezug „die Stadt ... die umfassend ausgestattete Ansiedlung, die ursprünglich mit allerlei Privilegien <sup>2</sup> ... und Macht <sup>3</sup> ... ausgestattet war. Sie hat zwar ihren Ursprung im Dorf, ist auch vielfach (aber nicht immer) aus dem Dorf hervorgegangen, und doch ist sie unverkennbar mehr als ein vergrößertes Dorf.“

Deutsche Städte wurden dabei maßgeblich durch folgende Hauptphasen und den sich daraus ergebenden Stadttypen beeinflusst: <sup>4</sup>

- Die römische Stadt (ab ca. 5.Jh. n.Chr.)
- Die Mittelalterliche Stadt (ca. 1100 bis 1400)
- Die Frühneuzeitliche Stadt (ca. 1550 bis 1800)

Zudem besitzt die Industrielle Revolution, vor allem ab dem 19. Jh. prägenden Charakter. Weitere Zeichen, hier der Evolution und der Stadtfucht, sind das Städtewachstum bzw. die Neugründung von Städten infolge des Industriezeitalters mit zum Teil erheblichem Einfluss auf die aktuellen bzw. bisherigen Stadtbilder. <sup>5</sup>

---

<sup>1</sup> Benevolo, 1983 Fn. 6, hier Auszug aus Kohlhammer 1996, S. 15

<sup>2</sup> Vgl. hierzu auch Korby et al, 2005, S. 68, Privilegien im europäischen Mittelalter nach Verleihung des Stadtrechts sind das Marktrecht, das Zollrecht, die Gerichtsbarkeit, die Aufhebung der Leibeigenschaft („Stadt mach frei!“) – Breßler et al., 2003 ergänzt hierzu: neben dem Recht zur Selbstverteidigung, .das Recht der Besteuerung und das Recht der Selbstverwaltung

<sup>3</sup> Vgl. Kohlhammer 1996, S. 15, hier zum Beispiel Befestigungen

<sup>4</sup> Mit Einflüssen der antiken griechischen Stadt, unter anderem bzgl. der schachbrettartigen Anordnung

<sup>5</sup> vgl. Ackermann, 2006, S. 40-47

„Klassifikationen von Städten erfolgen meist aufgrund ihrer Funktion und so ist auch die Funktion jener Städte, die als Städte im historischen Sinn gelten, das namensgebende Element zur Einordnung in den jeweiligen kulturhistorischen Stadttyp“. <sup>6</sup> Einige rechtlich-historisch (hier: kulturhistorische) Typen von Städten sind, die:

- Burg-, Plan-, Kolonialstadt,
- Bürgerstadt, Fernhandelsstadt/Messestadt
- Gewerbestadt,
- Ackerbürgerstadt und sog. Minderstadt.

Die Gliederung einer Stadt in diese Bereiche erfolgt dabei mittels ausgewählter Kriterien, unter anderem: <sup>7</sup>

- des Alters,
- der Entstehungsgeschichte,
- der Besiedlung, z.B. infolge Eroberung oder Krieg
- den Grundrissen der Stadt

### **Quantitativ**

Im Rahmen der statistischen Stadterhebungen und Begriffsdefinitionen wird bestrebt „ländliche Siedlungen von Städten“ <sup>8</sup> abzugrenzen. Hierfür wurde „auf dem Statistischen Kongress 1860 in London die Vereinbarung getroffen“, dass alle Gemeinden mit über 2.000 Einwohnern fortan als Städte gelten“ <sup>9</sup>, so auch in Deutschland. Am Beispiel von Norwegen bzw. Finnland und Japan schwanken die statistischen Untergrenzen von 200 bis ca. 50.000 Einwohnern. Eine weltweite Vereinheitlichung der Mindesteinwohnergrenze steht derzeit aus.

---

<sup>6</sup> I-Breßler, 2003

<sup>7</sup> Ebd.

<sup>8</sup> Breßler et al., 2003, S. 4

<sup>9</sup> Ebd. – eigene Anmerkung: Es wird darauf hingewiesen, dass in Deutschland zudem Städte mit geringeren Einwohnerzahlen, aufgrund der Erlangung des Stadtrechts, existieren. Gleichermäßen gibt es Gemeinden, welche zum Teil nach Bürgerentscheiden auch mit mehreren Tausend Einwohnern weiterhin nicht als Stadt gelten, hier wird auf Bad Dürkheim verwiesen, welche mit ca. 21T Einwohnern auch weiterhin als Gemeinde geführt werden.

Stadttyp	Einwohnerzahl
Landstadt	2.000 – 5.000
Kleinstadt	5.000 – 20.000
Mittelstadt	20.000 – 100.000
Großstadt/Millionenstadt	100.000 – 1.000.000
Weltstadt	ab ca. 500.000
Metropole	ab ca. 1.000.000
Kontinentstadt	ab ca. 2.000.000
Megacity	ab ca. 5.000.000

Bei der quantitativen Klassifizierung werden Städte anhand der Einwohnerzahlen wie folgt unterteilt.<sup>10</sup>

**Tab.: Stadttypen und Einwohnerzahlen im Überblick**

## Geographisch

Lt. Korby et al ist „der geographische Stadtbegriff ... komplexer (als die vorherigen Definition der statistischen und rechtlich-historischen Abgrenzung) und berücksichtigt sowohl quantitative ... (als auch) qualitative Bestimmungskriterien“<sup>11</sup> - funktionaler, sozial-geographischer und physiognomischer Art.<sup>12</sup> Folgende Merkmale werden unterschieden.

Quantitative	Qualitative
Mindestgröße	funktional bestimmte innere Gliederung
Geschlossenheit der Ortsform mit hoher Bebauungsdichte	sozial bestimmte innere Gliederung
Mehrstöckigkeit	städtische Lebensformen bzw. Lebensstile
Hohe Wohn- und Arbeitsplatzdichte	Mindestmaß an Zentralität (d. h. Bedeutungsüberschuss von Funktionen, die auf das Umland gerichtet sind, z. B. Einzelhandel, Dienstleistungen, Arbeitsmarkt)
Einpendlerüberschuss	Verkehrsknotenpunkt
Zuwanderung	naturferne Gestalt
Dominanz des sekundären und tertiären Wirtschaftssektors	-

**Tab.: geographische Definition, quantitative und qualitative Merkmale<sup>13</sup>**

<sup>10</sup> Breßler et al, 2003, S. 5, Metropole und Megacity nach Breßler et al., 2003, S. 2, hier Bronger 1996, Fuchs 1994, Mertins 1992 sowie Hofmeister, 1993, S. 54, 55, hier Schultze 1959, Stewig 1964, I-BMU-a, 2009

<sup>11</sup> Korby et al, 2005, S. 68

<sup>12</sup> Vgl. I-FUB, 2010

<sup>13</sup> Ebd., S. 69

Bezüglich der geographischen Stadtklassifizierungen inkl. funktionaler, sozialgeographischer und physiognomischer Details ist in nachstehender Übersicht erfasst:

Funktionaler Typ	Städtebildende Funktionen (Beschäftigte pro 100 Einwohner)					Funktionsbereich
	Einwohnerzahl	Industrie, Handwerk, Bergbau	Handel und Verkehr	Verwaltung, Bank- und Versicherungswesen	Kultur und Volksbildung	
A Weltstadt	ca. 500.000 und darüber	in mindestens 2 Bereichen zusammen > 25				in starkem Maße übernational
B Großstadt	ca. 100.000 und darüber	in mindestens 2 Bereichen zusammen > 25				vorwiegend national bzw. überregional
C Multifunktionale Mittel- und Kleinstädte	1.000 bis ca. 100.000					
C <sub>1</sub> Industriestädte mit zentralörtlicher Funktion		>15	<5	>5	<5	überregional bzw. zentralörtlich
C <sub>2</sub> Industriestädte mit Handels- und Verkehrsfunktion		>15	>5	<5	<5	
C <sub>3</sub> Handels und Verkehrsstädte mit zentralörtlicher Funktion		<15	>10	>5	<5	
C <sub>4</sub> Sonstige...		>=15	>=5	>=5	>5	
D Monofunktionale Mittel- und Kleinstädte	1.000 bis ca. 100.000					
D <sub>1</sub> Industriestädte		>35	<5	<5	<5	überregional bzw. zentralörtlich
D <sub>2</sub> Städte mit zentralörtlichen Funktionen		<15	<5	>10	<5	
D <sub>3</sub> Handels- und Verkehrsstädte		<15	>10	<5	<5	
D <sub>4</sub> Sonstige		<15	<5	<5	>10	

Tab.: geographische Stadttypen, Übersicht funktionaler Stadttypen <sup>14</sup>

## Verwaltung

Zudem werden in Deutschland Kreisfreie und Kreisangehörige Städte differenziert. Sie unterscheiden sich maßgeblich anhand der Zugehörigkeit zu einem Kreis. Dabei werden von dem Kreis bzw. der Stadt selbst Verwaltungsfunktionen übernommen. <sup>15</sup>

<sup>14</sup> Hofmeister, 1993, S. 54, 55, hier Schultze 1959, Stewig, Eigene Darstellung

<sup>15</sup> I-Bross, 2009

## **rechtlich-soziologisch und strukturell**

Hillebrecht formuliert nach Betrachtung rechtlicher, soziologischer und struktureller Aspekte folgende Definition einer Stadt.

„Die Stadt ist ein Gebilde, das nach Art und Anlage komplex ist. Bewußt oder unbewußt arbeiten an ihrer Form und Gestalt alle jene Kräfte mit, die der Stadtgesellschaft angehören. In ihrer sich wandelnden Erscheinungsform ist die Stadt ein Abbild ihrer jeweiligen Gesellschaft. Dies gilt besonders für unsere Städte mit Ihrem ausgeprägten Recht. Daß unter solchen Umständen Bürgerstädte im Vergleich zu anderen eher, schneller und nachhaltiger ihr Gesicht verändern, sobald die gesellschaftlichen Kräfte in ihnen sich wandeln, neue Aufgaben sehen und anpacken, liegt auf der Hand.“<sup>16</sup>

Diese Erarbeitung von Stadtklassifizierungen dieser Definition ist aufgrund Ihrer Komplexität bislang nicht bekannt.

---

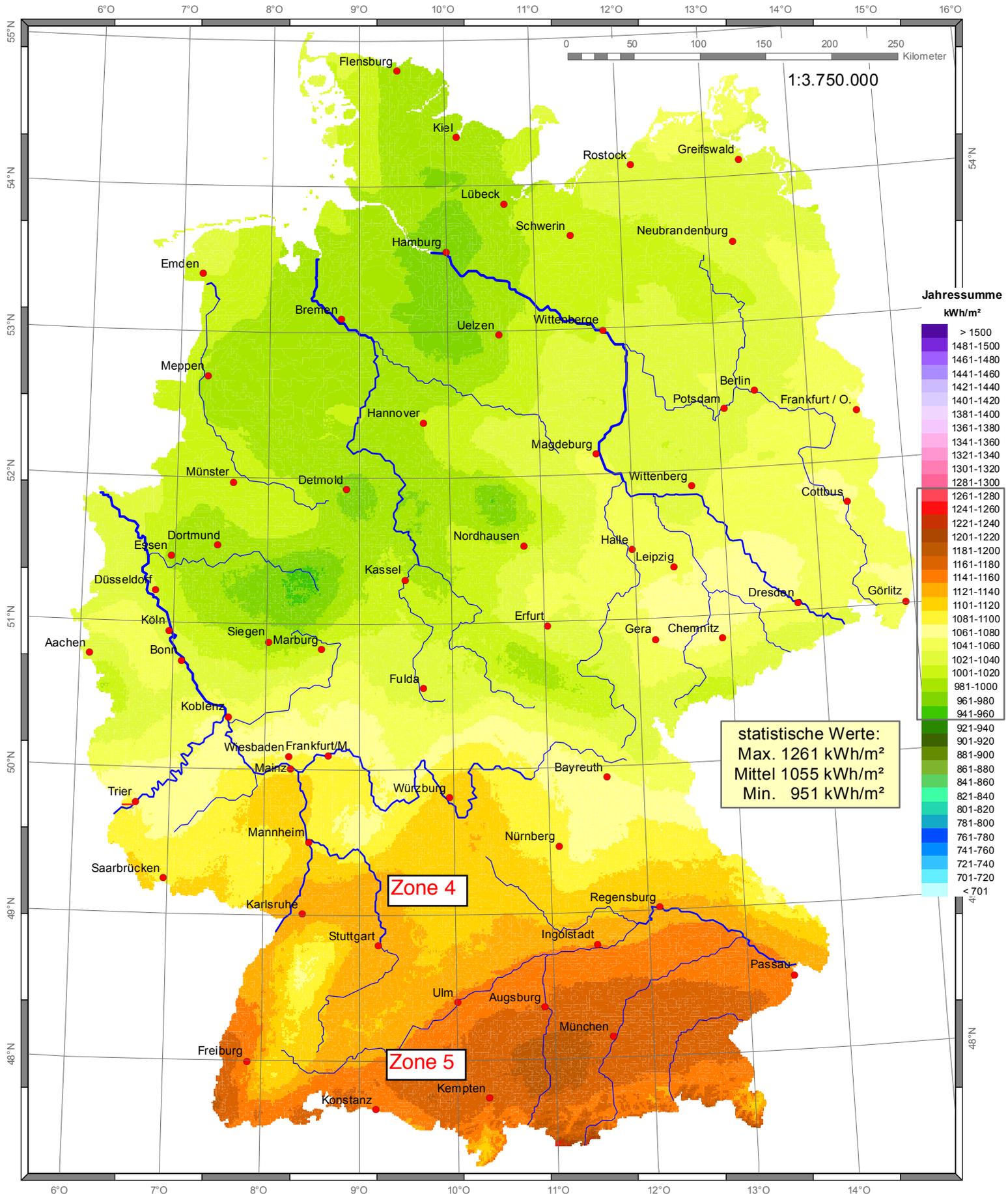
<sup>16</sup> Hillebrecht, 1975, Heft 30 – eigene Anmerkung: obwohl diese Definition sehr weitläufig und umfassend erscheint, wird nicht auf neuzeitliche Standorttheorien, unter anderem des Industriestandortes von Alfred Weber Anfang (20. Jh.) oder der Theorie der Landnutzung von Johann Heinrich von Thünen (19.Jh.) eingegangen. Dies belegt erneut, dass eine alleseinbeziehende Definition derzeit nicht vorhanden ist.

**Anlage 04**

**Solarenergie, Globalstrahlung in Deutschland, Zeitraum 1981 bis 2010**

# Globalstrahlung in der Bundesrepublik Deutschland

## Mittlere Jahressummen, Zeitraum: 1981 - 2010



Wissenschaftliche Bearbeitung:  
DWD, Abt. Klima- und Umweltberatung, Pf 30 11 90, 20304 Hamburg  
Tel.: 040 / 66 90-19 22; eMail: klima.hamburg@dwd.de

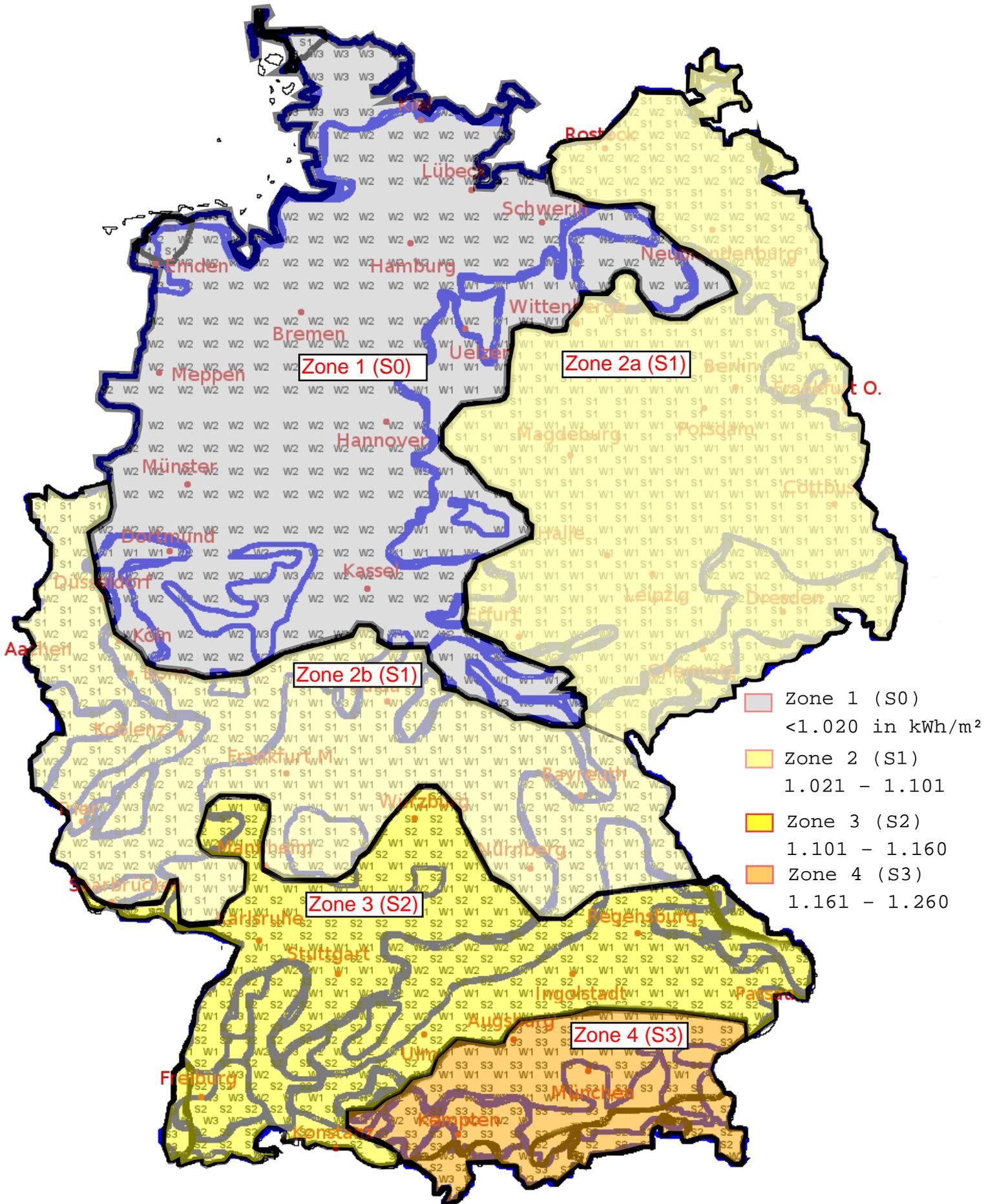
Deutscher Wetterdienst  
Wetter und Klima aus einer Hand



**Anlage 05**

**Solarenergie, Globalstrahlung in Deutschland, Auswertung Zone 1 bis 4**

Anlage 05 - Solarenergie, Globalstrahlung in Deutschland  
 Auswertung Zone 1 bis 4



**Anlage 06**

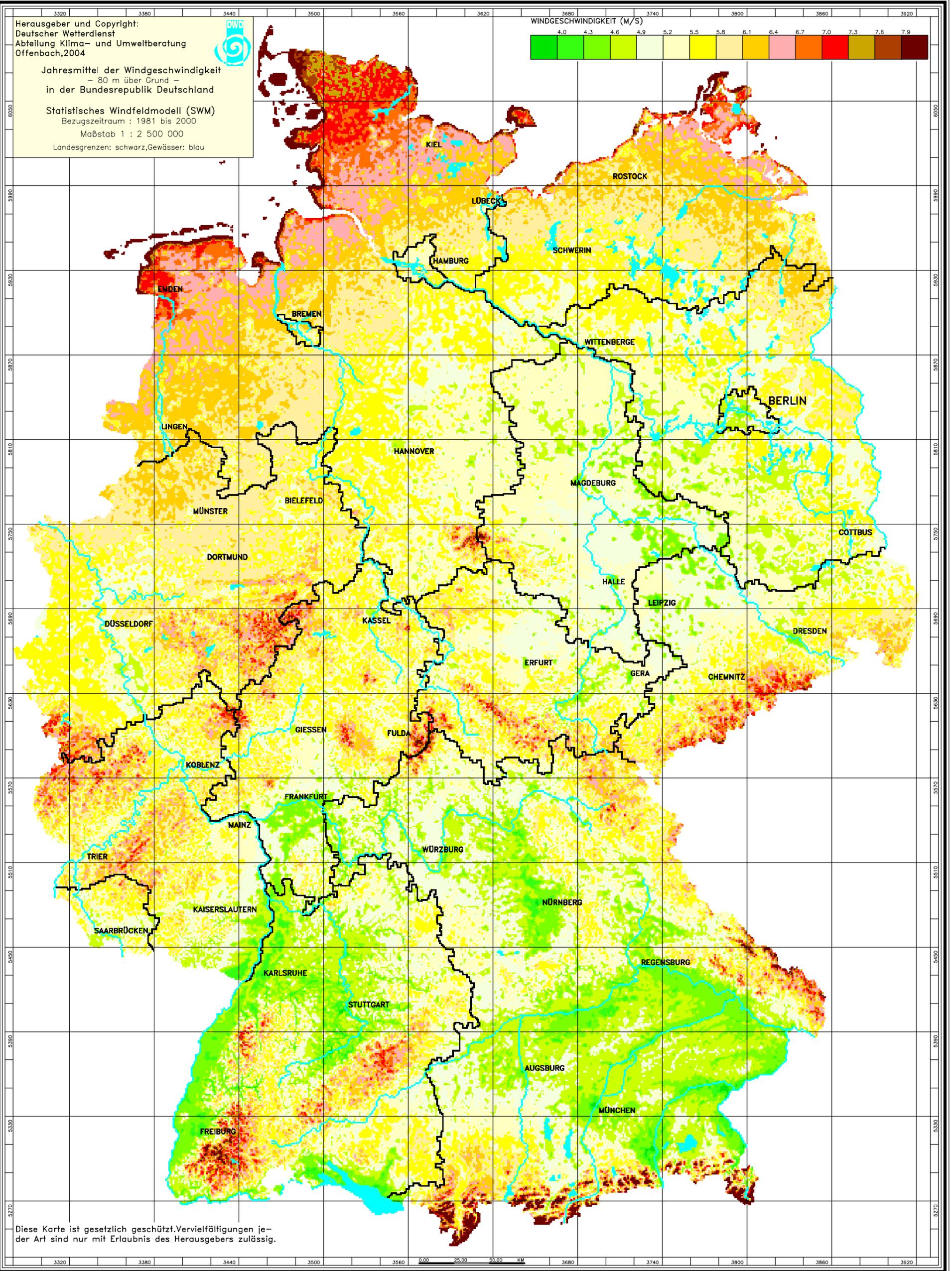
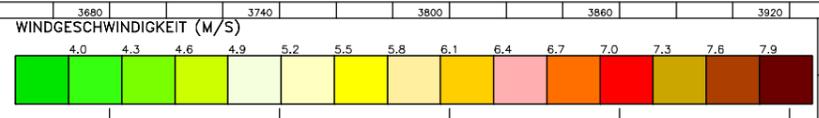
**Windenergie, Wetterdienst, Höhe in 80m, Zeitraum 1981 bis 2000**

Herausgeber und Copyright:  
 Deutscher Wetterdienst  
 Abteilung Klima- und Umweltberatung  
 Offenbach, 2004

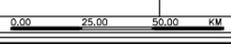


Jahresmittel der Windgeschwindigkeit  
 – 80 m über Grund –  
 in der Bundesrepublik Deutschland

Statistisches Windfeldmodell (SWM)  
 Bezugszeitraum : 1981 bis 2000  
 Maßstab 1 : 2 500 000  
 Landesgrenzen: schwarz, Gewässer: blau



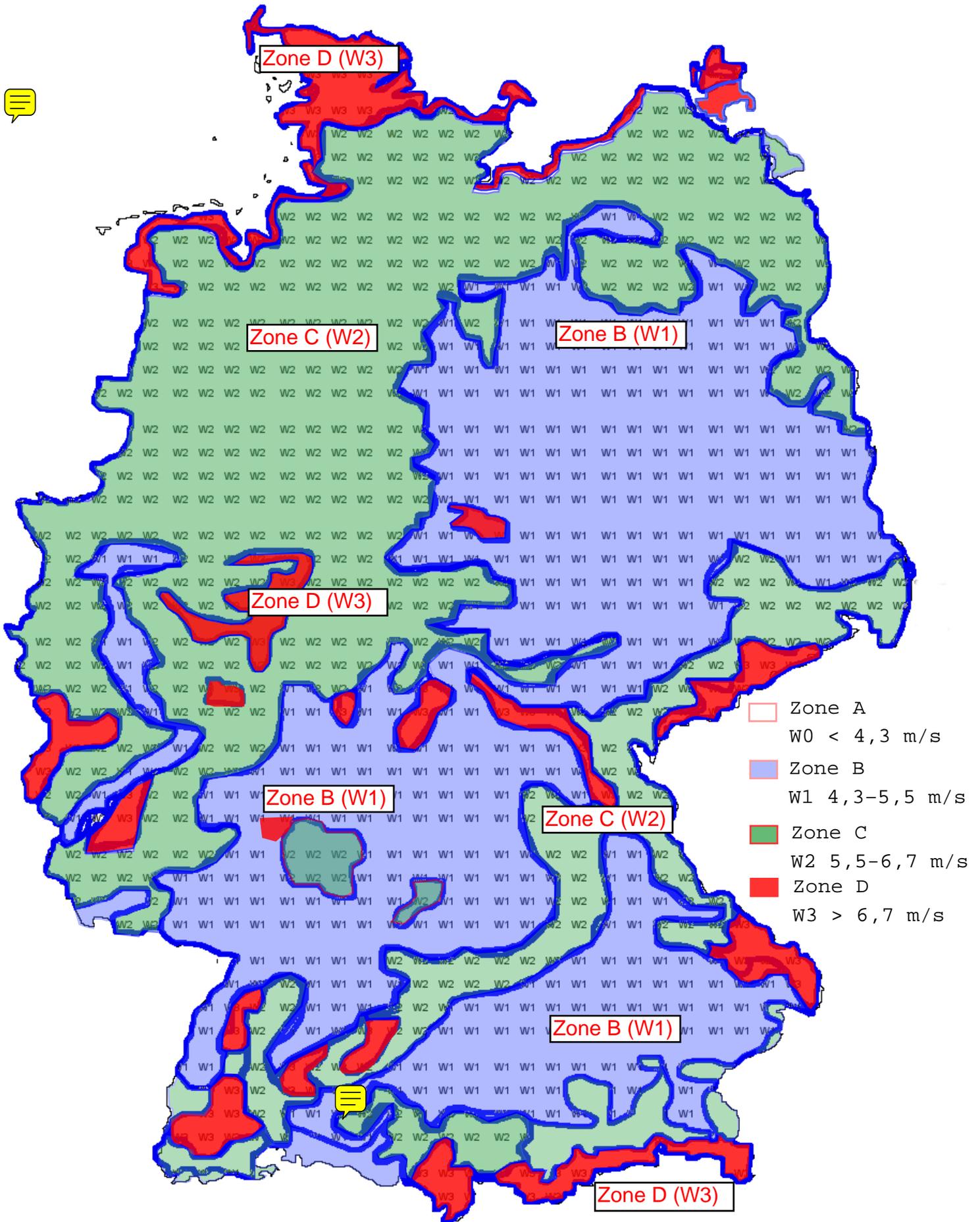
Diese Karte ist gesetzlich geschützt. Vervielfältigungen jeder Art sind nur mit Erlaubnis des Herausgebers zulässig.



**Anlage 07**

**Windenergie, Wetterdienst, Höhe in 80m, Auswertung Zone A bis D**

Anlage 07 - Windenergie, Windgeschwindigkeiten in Deutschland  
Auswertung Zone A bis D



**Anlage 08**

**Wasserkraft, Technische Potenziale in Deutschland**



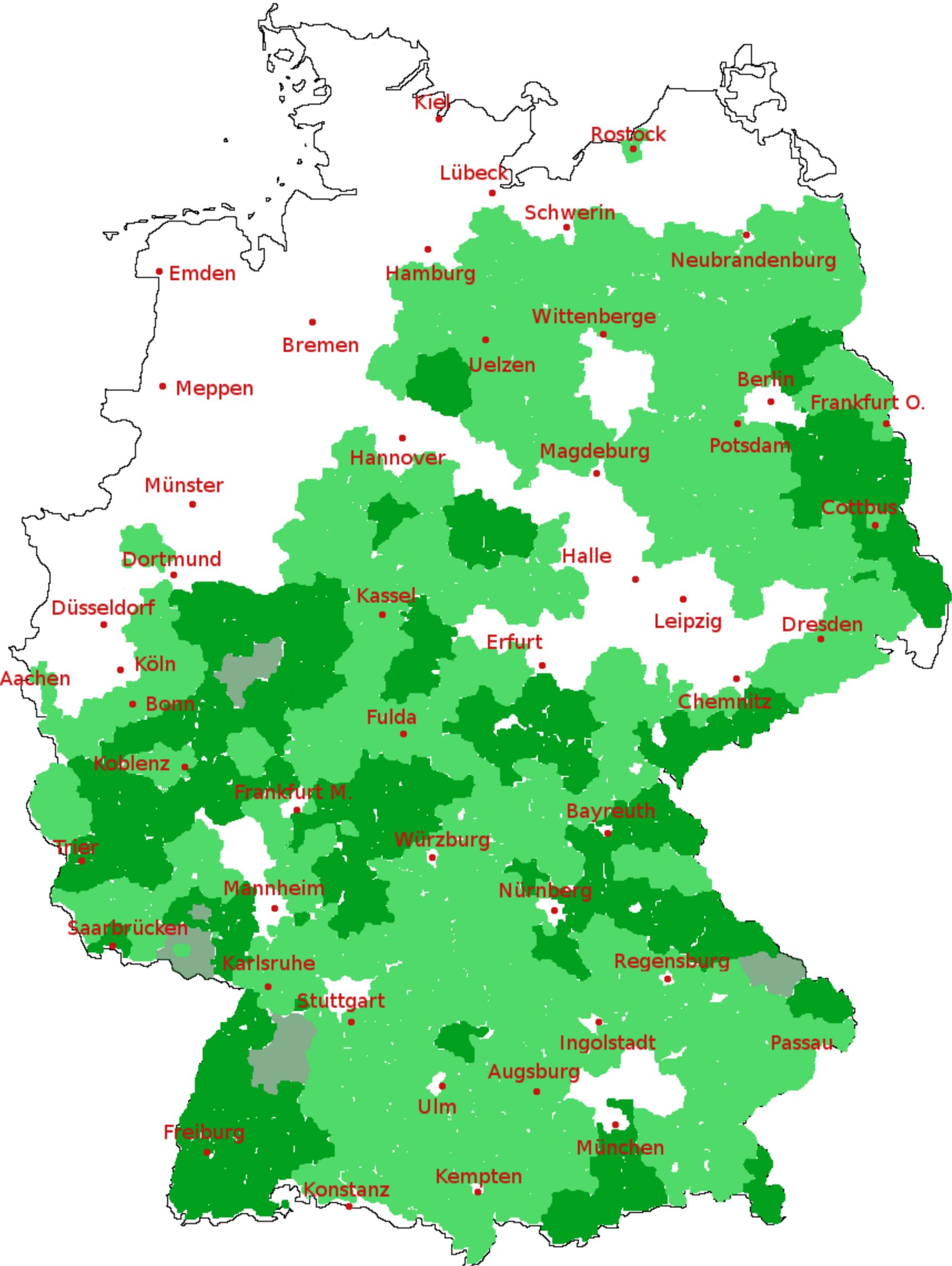
**Bild 1:** Bestand der genutzten Wasserkraftanlagen in Deutschland; berücksichtigt wurden Wasserkraftanlagen mit EEG-Vergütung [11], WKA mit  $P_{inst} \geq 1 \text{ MW}$  und Pumpspeicherkraftwerke (DLM1000W: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie) <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Anderer et al, 2010, S. 15

**Anlage 09**

**Biomasse, Potenziale in Deutschland, Auswertung Wald**

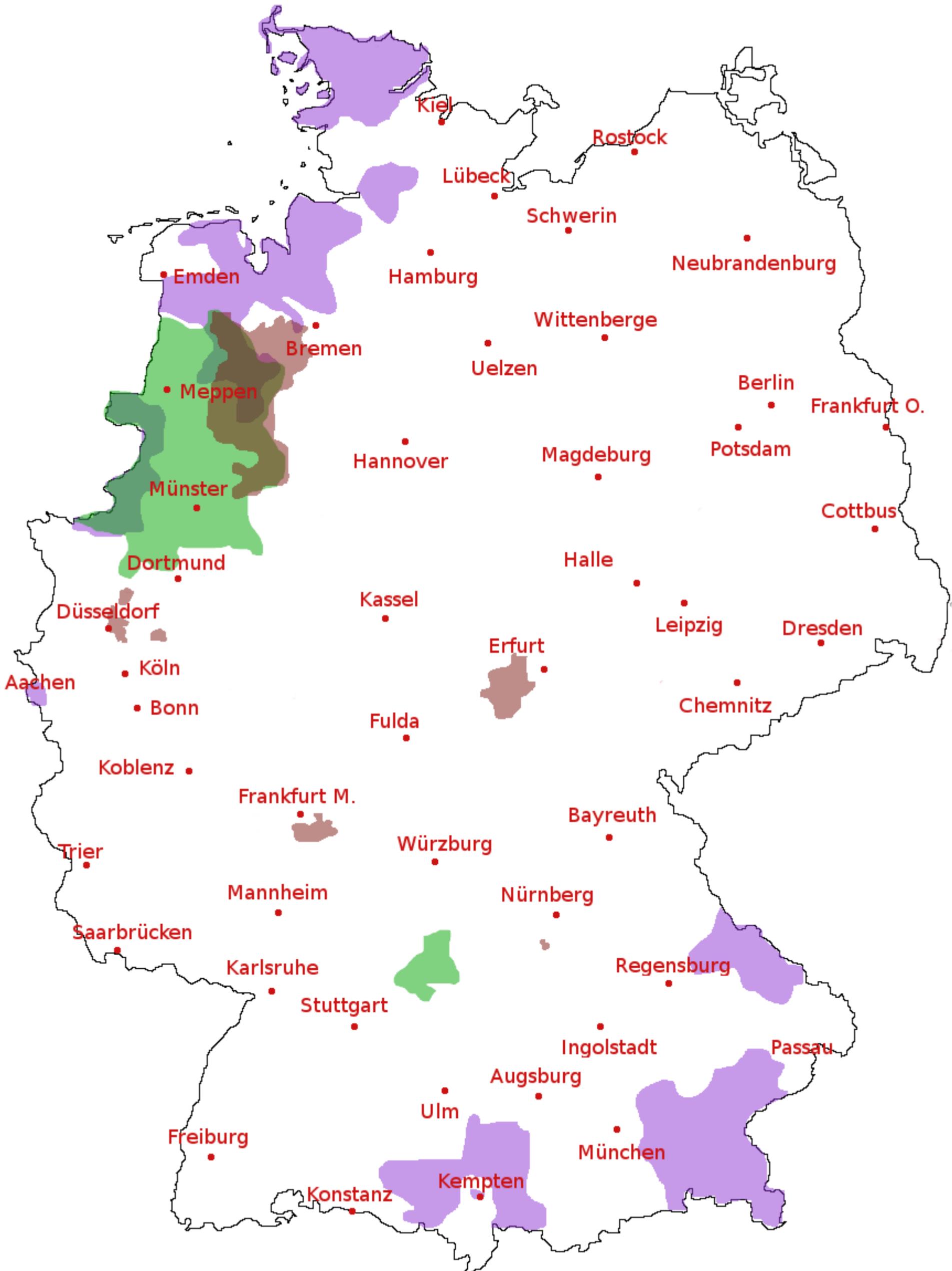
Anlage 09 - Biomasse, Potenziale in Deutschland  
Auswertung Wald



**Anlage 10**

**Biomasse, Potenziale in Deutschland, Auswertung Tier**

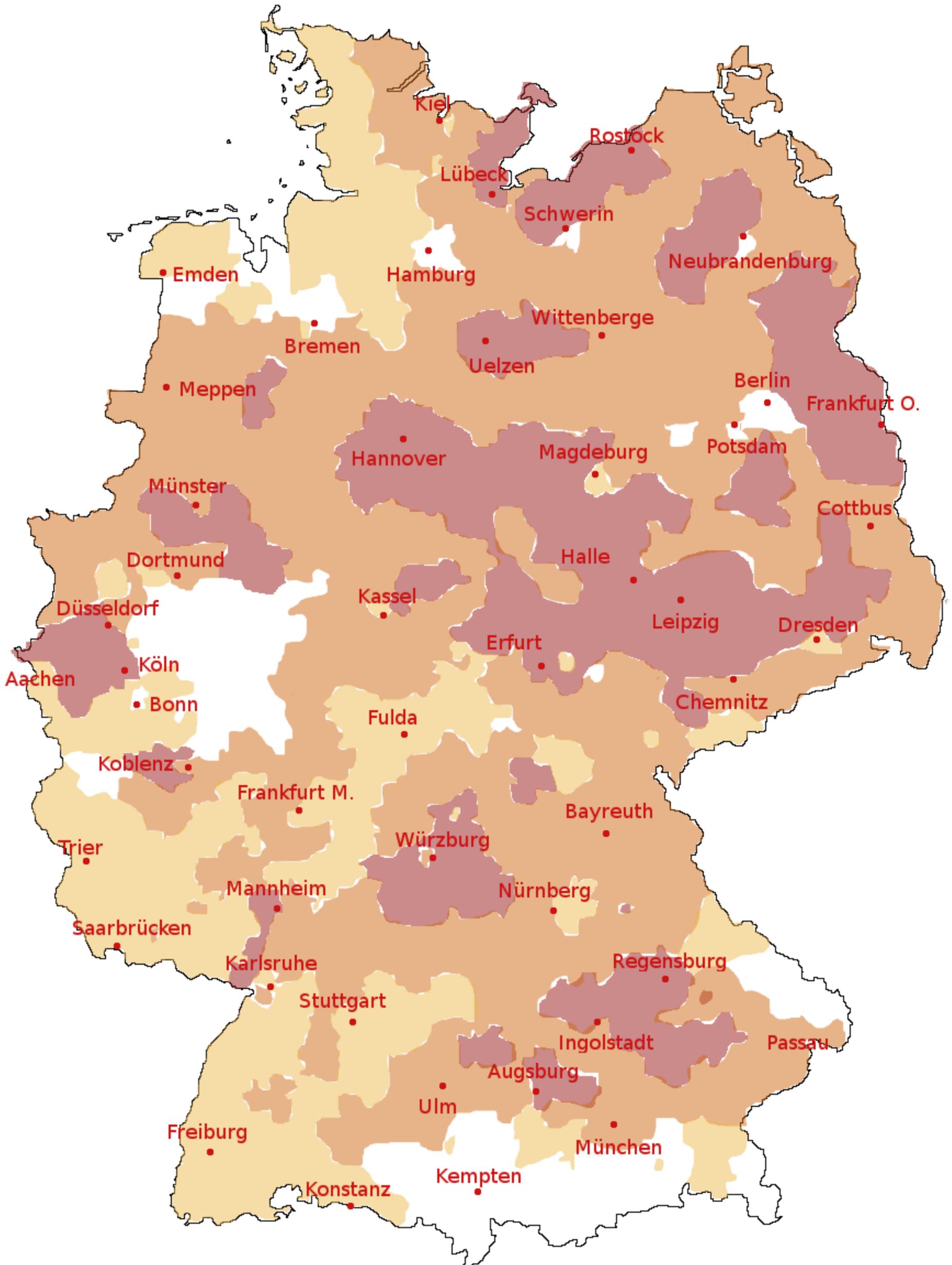
Anlage 10 - Biomasse, Potenziale in Deutschland  
Auswertung Tiere (Huhn, Schwein, Rind)



## **Anlage 11**

### **Biomasse, Potenziale in Deutschland, Auswertung Acker**

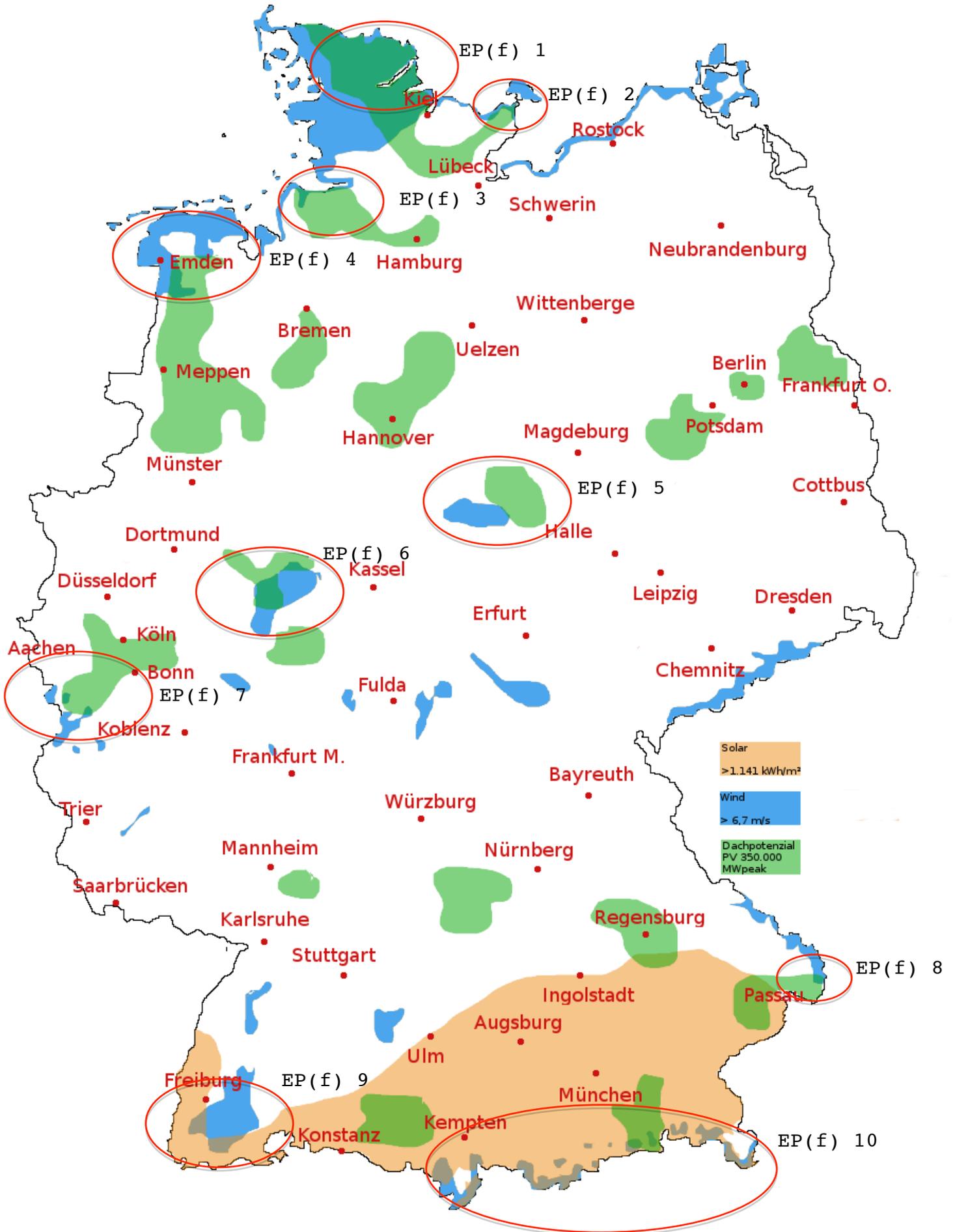
Anlage 11 - Biomasse, Potenziale in Deutschland  
Auswertung Ackerflächen



**Anlage 12**

**Überlagerung Sonnenenergie und Windenergie, Skalierung 65 bis 100 %  
inkl. Dachpotenziale, Auswertung**

Anlage 12 - Überlagerung Sonnenenergie und Windenergie  
 Skalierung 65 bis 100 % inkl. Dachpotenziale, Auswertung



EP(f) = Elektrisches Primärenergiepotential (fluktuativ)

### **Anlage 13**

**Überlagerung Primärenergiepotenziale, Skalierung 65 bis 100 %**

Überlagerung Teilprimärenergien Skalierung 100 bis 65%				Primärenergiepotenziale								
				Elektrisch						Thermisch		
				diskontinuierlich			kontinuierlich			diskontinuierlich	kontinuierlich	
Region	Bezeichnung	nahegelegene Stadt		Sonne	Wind (onshore)	Wind (offshore)	Wasser	Geothermie	Biomasse	Sonne	Geothermie	Biomasse
südlich von Aachen	(EP (f) 7)	Aachen	A	x	x	x	-	-	-	-	-	-
-	-	Augsburg	B	-	-	-	-	-	-	x	-	-
Südlich und Östlich von Cuxhaven	(EP (f) 3)	Cuxhaven	A	x	x	x	-	-	-	-	-	-
Südlich und südöstlich von Emden	(EP (f) 4)	Emden	A	x	x	x	-	-	-	-	-	-
südlich von Freiburg	(EP (f) 9)	Freiburg	A	x	x	x	-	-	-	-	-	-
Nordwestlich von Halle (um Halberstadt)	(EP (f) 5)	Halle / Halberstadt	A	x	x	x	-	-	-	-	-	-
-	-	Hannover	B	-	-	-	-	-	-	-	x	x
westlich von Kassel	(EP (f) 6)	Kassel	A	x	x	x	-	-	-	-	-	-
-	-	Karlsruhe					x	x	x	-	x	x
Nördlich von Oldenburg in Holstein	(EP (f) 2)	Holstein	A	x	x	x	-	-	-	-	-	-
-	-	Ingolstadt	B	-	-	-	-	-	-	x	-	-
südlich von Donau bis Alpen	-	Konstanz	B	-	-	-	-	-	-	x	-	-
südlich von Kempten und München entlang der Alpen	(EP (f) 10)	Kempten / München / Alpen	A	x	x	x	-	-	-	x	-	-
Westlich und nördlich von Kiel	(EP (f) 1)	Kiel	A	x	x	x	-	-	-	-	-	-
-	-	Mannheim	A	-	-	-	x	x	x	-	x	x
-	-	München	B	-	-	-	-	-	-	x	-	-
östlich von Passau	(EP (f) 8)	Passau	A	x	x	x	-	-	-	x	-	-
-	-	Stuttgart	A	-	-	-	x	x	x	-	x	x
-	-	Ulm	B	-	-	-	-	-	-	x	-	-

- 1. Aussage keine Stadt mit allen Energieformen in o.g. Skalierung(primär, kontinuierlich und fluktuativ, für elektrisch sowie thermisch)
- 2. Aussage Überschneidung von Elektrisch und Thermisch (kombinierte Form) - siehe rote Kreuze

**Anlage 14**

**Überlagerung Primärenergiepotenziale, Skalierung 0 bis 100 %**

Überlagerung Teilprimärenergien Skalierung 100 bis 0%			Primärenergiepotenziale												Summation								
			Einzelbetrachtung												Elektrisch			Thermisch			Elektrisch + thermisch		
			Elektrisch						Thermisch						Elektrisch			Thermisch			Elektrisch + thermisch		
			diskontinuierlich			kontinuierlich			diskontinuierlich			kontinuierlich			Diskontinuierlich + kontinuierlich			Diskontinuierlich + kontinuierlich			Diskontinuierlich + kontinuierlich		
Stadt *	Bundesland		Sonne	Wind (onshore)	Σ	Wasser**	Geothermie	Biomasse	Σ	Sonne	Σ	Geothermie	Biomasse	Σ	Σ Elektrisch	Σ Thermisch	Σ Elektrisch und thermisch						
Aachen	Nordrhein-Westfalen	A	1	2	3	1	1	3	5	1	1	1	3	4	8	5	13						
Augsburg	Bayern	B	3	0	3	3	2	3	8	3	3	2	3	5	11	8	19						
Emden	Niedersachsen	A	1	3	4	1	1	3	5	1	1	1	3	4	9	5	14						
Freiburg	Baden-Württemberg	A	3	3	6	3	3	2	8	3	3	3	2	5	14	8	22						
Halle / Halberstadt	Sachsen-Anhalt	A			0	1	1	3	5	0	1	1	3	4	5	4	9						
Hannover	Niedersachsen	B	0	2	2	1	3	3	7	0	0	3	3	6	9	6	15						
Kassel	Hessen	A	0	2	2	1	1	2	4	0	0	1	2	3	6	3	9						
Karlsruhe	Baden-Württemberg	A	2	1	3	3	3	2	8	2	2	3	2	5	11	7	18						
Ingolstadt	Bayern	B	3	1	4	3	2	3	8	3	3	2	3	5	12	8	20						
Konstanz	Bayern	B	3	1	4	3	2	1	6	3	3	2	1	3	10	6	16						
Kempten	Bayern	A	3	2	5	3	1	3	7	3	3	1	3	4	12	7	19						
Kiel	Schleswig-Holstein	A	0	3	3	3	1	2	6	0	0	1	2	3	9	3	12						
Mannheim	Baden-Württemberg	A	2	1	3	3	3	3	9	2	2	3	3	6	12	8	20						
München	Bayern	B	3	1	4	3	1	2	6	3	3	1	2	3	10	6	16						
Passau	Bayern	A	3	1	4	3	2	2	7	3	3	2	2	4	11	7	18						
Stuttgart	Baden-Württemberg	A	2	1	3	3	3	1	7	2	2	3	1	4	10	6	16						
Ulm	Bayern	B	3	1	4	3	2	2	7	3	3	2	2	4	11	7	18						

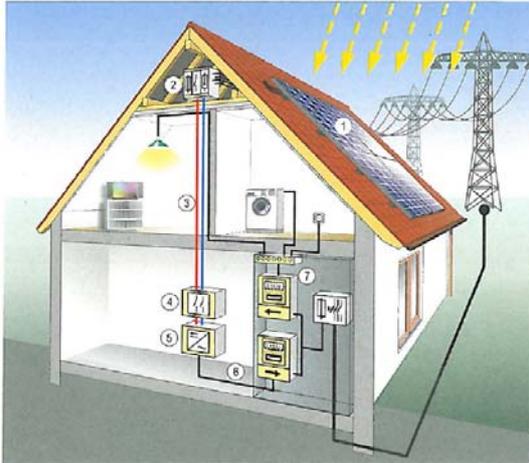
Legende \* nahegelegene Stadt einer Primärenergieregion  
 \*\* infolge der theoretischen Primärpotenziale in Bayern und Baden-Württemberg wurden diese Bundeslandzugehörigen Städte mit 3 bewertet, alle weiteren Städte überschlägig anhand der Nähe zu Gewässern

Farbgebung **Maximalbereiche der kontinuierlich und diskontinuierlichen Einzelbetrachtung thermischer und elektrischer Primärenergiepotenziale**  
 Einzelsummation der kontinuierlich und diskontinuierlich Primärenergiepotenziale, je für elektrisch und thermisch  
 Gesamtsummation der elektrischen und thermischen Primärenergiepotenziale

## **Anlage 15**

### **Photovoltaik, Aufbau netzgekoppeltes System und Inselsystem**

Installierte Photovoltaik-Anlagen werden bezüglich Ihres Aufbaus und Ihrer Bestandteile in netzgekoppelte und Inselsysteme unterschieden – nachstehende beide Abbildungen zeigen einen möglichen Grundaufbau.



**Abbildung: Netzgekoppeltes System**<sup>1</sup>

- 1) PV-Generator (mehrere PV-Module in Reihen- / Parallelschaltung, Montagegestell)
- 2) Generatoranschlusskasten (mit Schutztechnik)
- 3) Gleichstromverkabelung
- 4) DC-Hauptschalter
- 5) Wechselrichter
- 6) Wechselstromverkabelung
- 7) Zäunerschrank mit Stromkreisverteilung, Bezugs- und Einspeisezähler und Hausanschluss

<sup>1</sup> DGS, 2010, 2-7

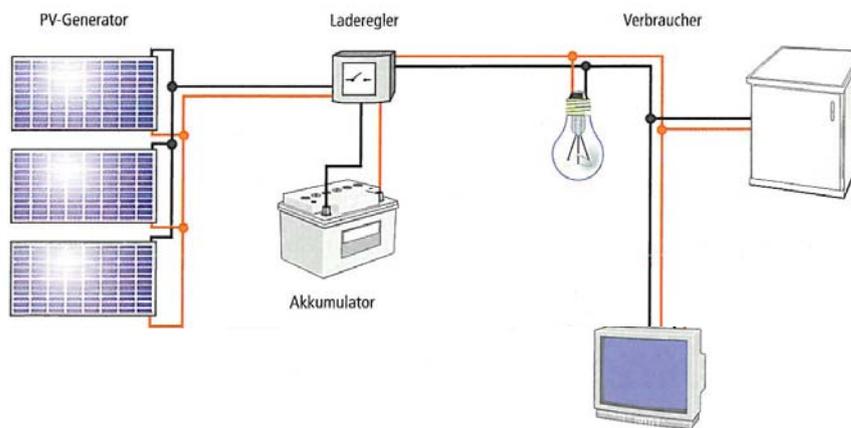


Abbildung: Inselsystem<sup>2</sup>

- 1) PV-Generator (ein oder mehrere PV-Module meist in Parallelschaltung)
- 2) Laderegler
- 3) Akkumulator
- 4) Verbraucher

<sup>2</sup> DGS, 2010, 2-6

**Anlage 16**

**Auswertungsprogramm, Aufbau**

# Anlage 16

## Auswertungsprogramm - Aufbau

Einfügen									
H35									
fx 17									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	<b>Eingabemaske</b>								
2									
3	<b>Allgemeine Daten</b>								
4									
5	<b>Stadt</b>	Freiburg in Breisgau	<a href="http://www.freiburg.de">www.freiburg.de</a>	<b>Bundesland</b>		Baden-Württemberg			
6									
7	<b>Gründung</b>	1120	<a href="http://www.freiburg.de/pb/Lde/231015.html">http://www.freiburg.de/pb/Lde/231015.html</a>	<b>Einwohnerzahl</b>	230.557		<a href="http://www.freiburg.de/pb/Lde">http://www.freiburg.de/pb/Lde</a>		
8									
9	<b>Kenndaten der Stadt</b>								
10									
11	<b>Größe (Bodenfläche)</b>	ha	15306	<a href="http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de">http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de</a>		<b>Gebäudestruktur</b>			
12					Haushalt				
13	<b>Stadtklassifizierung</b>	Großstadt		Gewerbe, Handel, Dienstleistungen					
14					Industrie				
15					Öffentliche Gebäude				
16	<b>Siedlungsstruktur</b>								
17	Wohnfläche	ha	1.613			Haushalt			
18	Gewerbe- und Industriefläche	ha	438			Einpersonenhaushalt			
19	Verkehrsfläche	ha	1.475			Zweipersonenhaushalt			
20	Konversionsfläche	ha	-	k. A.		Mehrpersonenhaushalt			
21	Landwirtschaftsfläche	ha	3.641			Gewerbe, Handel, Dienstleistungen			
22	Waldfläche	ha	6.532			Industrie			
23	Sonstige Flächen	ha	1.607	Größe abzgl. restl. Siedlungsstruktur		Öffentliche Gebäude			
24									
25	<b>Energiekenndaten</b>								
26									
27	<b>Primärenergie</b>				<b>Endenergie</b>				
28	Braunkohle	GWh/a		Strom		GWh/a	1.055		
29	Steinkohle	GWh/a		Fernwärme		GWh/a	1.004		
30	Kernenergie	GWh/a		Erdgas		GWh/a	1.154		
31	Sonne	GWh/a		Umweltwärme		GWh/a	0		
32	Wind	GWh/a		Heizöl EL (Extra Leicht)		GWh/a	602		
33	Wasser	GWh/a		Solarthermie		GWh/a	26		
34	Biomasse	GWh/a		Biomasse		GWh/a	195		
35	Erdenergie	GWh/a		sonstige Fossile		GWh/a	17		
36	Erdgas	GWh/a							
37	Erdöl	GWh/a							
38									
39	Haushalt	GWh/a		Haushalt		GWh/a	1.550	Energiebilanzstudie 619, Se	
40	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	GWh/a		Gewerbe, Handel, Dienstleistungen		GWh/a	1.300		
41	Industrie	GWh/a		Industrie		GWh/a	50		
42	Öffentliche Gebäude	GWh/a		Öffentliche Gebäude		GWh/a	1.150		
43									
44	<u>Referenzwerte Deutschland</u>				<u>Referenzwerte Deutschland</u>				
45	<u>Primärenergieverbrauch</u>		kWh/EW	<u>spezifischer Strombedarf (ø DL)</u>		kWh/EW	1.716	<a href="http://www.regenerative-zuku">http://www.regenerative-zuku</a>	
46				<u>spezifischer Wärmebedarf (ø DL)</u>		kWh/EW	7.373		
47									
48	<b>Energiekosten aus Verbrauchersicht</b>								
49									
50									
51	<b>spezifische Energiekosten</b>			<b>Sektoren</b>					
52				Haushalt & Öffentliche Einrichtungen		Gewerbe, Handel, Dienstleistungen & Industrie		Netto-Kosten	
53	Strom	ct/kWh		19,66	9,70				
54	Fernwärme	ct/kWh		6,39	6,00				
55	Erdgas	ct/kWh		5,38	2,93				
56	Heizöl EL (Extra Leicht)	ct/kWh		5,46	5,20				
57									

**Anlage 17**

**Auswertungsprogramm, Eingabemaske**

## Eingabemaske

Allgemeine Daten					
<b>Stadt</b>	Freiburg in Breisgau	<a href="http://www.freiburg.de">www.freiburg.de</a>	<b>Bundesland</b>	Baden-Württemberg	
<b>Gründung</b>	1120	<a href="http://www.freiburg.de/pb/,Lde/231015.html">http://www.freiburg.de/pb/,Lde/231015.html</a>	<b>Einwohnerzahl</b>	230.557	<a href="http://www.freiburg.de/pb/,Lde/207904.html">http://www.freiburg.de/pb/,Lde/207904.html</a>
Kenndaten der Stadt					
<b>Größe (Bodenfläche)</b>	ha	15306	<a href="http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de">http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de</a>	<b>Gebäudestruktur</b>	
<b>Stadtklassifizierung</b>		Großstadt		Haushalt	
<b>Siedlungsstruktur</b>				Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	
Wohnfläche	ha	1.613		Industrie	
Gewerbe- und Industriefläche	ha	438		Öffentliche Gebäude	
Verkehrsfläche	ha	1.475		Haushalt	
Konversionsfläche	ha	-	k. A.	Einpersonenhaushalt	
Landwirtschaftsfläche	ha	3.641		Zweipersonenhaushalt	
Waldfläche	ha	6.532		Mehrpersonenhaushalt	
Sonstige Flächen	ha	1.607	Größe abzgl. restl. Siedlungsstruktur	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	
				Industrie	
				Öffentliche Gebäude	
Energiekenndaten					
<b>Primärenergie</b>			<b>Endenergie</b>		
Braunkohle	GWh/a		Strom	GWh/a	1.055
Steinkohle	GWh/a		Fernwärme	GWh/a	1.001
Kernenergie	GWh/a		Erdgas	GWh/a	1.154
Sonne	GWh/a		Umweltwärme	GWh/a	0
Wind	GWh/a		Heizöl EL (Extra Leicht)	GWh/a	602
Wasser	GWh/a		Solarthermie	GWh/a	26
Biomasse	GWh/a		Biomasse	GWh/a	195
Erdenergie	GWh/a		sonstige Fossile	GWh/a	17
Erdgas	GWh/a				
Erdöl	GWh/a		Haushalt	GWh/a	1.550
			Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	GWh/a	1.300
Haushalt	GWh/a		Industrie	GWh/a	50
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	GWh/a		Öffentliche Gebäude	GWh/a	1.150
Industrie	GWh/a				
Öffentliche Gebäude	GWh/a		<b>Referenzwerte Deutschland</b>		
			<i>spezifischer Strombedarf (Ø DL)</i>	<i>kWh/EW</i>	1.716
<b>Referenzwerte Deutschland</b>			<i>spezifischer Wärmebedarf (Ø DL)</i>	<i>kWh/EW</i>	7.373
<i>Primärenergieverbrauch</i>	<i>kWh/EW</i>				
					<a href="http://www.regenerative-zukunft.de/energieverbrauch">http://www.regenerative-zukunft.de/energieverbrauch</a> - Angaben nur für Haushalte
					Energiebilanzstudie 619, September 2012, Seite 21-22
Energiekosten aus Verbrauchersicht					
<b>spezifische Energiekosten</b>			Sektoren		
			Haushalt & Öffentliche Einrichtungen	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen & Industrie	
Strom	ct/kWh		19,66	9,70	Netto-Kosten
Fernwärme	ct/kWh		6,39	6,00	
Erdgas	ct/kWh		5,38	2,93	
Heizöl EL (Extra Leicht)	ct/kWh		5,46	5,20	
sonstige Fossile	ct/kWh				
Haushalt	ct/kWh				
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	ct/kWh				
Industrie	ct/kWh				
Öffentliche Gebäude	ct/kWh				

## Anlage 17 Auswertungsprogramm - Eingabemaske

## **Anlage 18**

### **Auswertungsprogramm, Detailberechnung**

### Ermittlung des (End-)Energieverbrauchs über Hilfswerte

Endenergie		Sektor				Anteile [-]	Anteile [%]
		Haushalt	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	Industrie	Öffentliche Einrichtungen		
Verbrauch Endenergie	GWh/a	1.550	1.300	50	1.150	4.050	100
Endenergeträger							
Strom	GWh/a	404	339	13	300	1.055	26
Fernwärme	GWh/a	383	321	12	284	1.001	25
Erdgas	GWh/a	442	370	14	328	1.154	28
Umweltwärme	GWh/a	0	0	0	0	0	0
Heizöl EL (Extra Leicht)	GWh/a	230	193	7	171	602	15
Sonnenenergie	GWh/a	10	8	0	7	26	1
Biomasse	GWh/a	75	63	2	55	195	5
sonstige Fossile	GWh/a	7	5	0	5	17	0

### Anlage 18 Auswertungsprogramm - Detailberechnung

### Zuordnung des (End-)Energieverbrauchs zu den Nutzenergien Wärme und Strom

Endenergie		Sektor				Nutzenergie		Bemerkungen / Erläuterungen
		Haushalt	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	Industrie	Öffentliche Einrichtungen	Wärme	Strom	
Strom	GWh/a	404	339	13	300	0	1.005	5% Leitungs- und Umwandlungsverluste 15% Verteilungsverluste Umrechnung Ho zu Hu; Kesselnutzungsgrad 80%;
Fernwärme	GWh/a	383	321	12	284	870	0	
Erdgas	GWh/a	442	370	14	328	832	0	Kesselnutzungsgrad 70% Aufteilung Wärme zu Strom 1:2; keine Verluste 2% Holz-Kessel (Quelle: Energiebilanzstudie 619, S.16) Wirkungsgrad 75%
Umweltwärme	GWh/a	0	0	0	0	0	0	
Heizöl EL (Extra Leicht)	GWh/a	230	193	7	171	421	0	
Sonnenenergie	GWh/a	10	8	0	7	9	17	
Biomasse	GWh/a	75	63	2	55	90	88	
sonstige Fossile	GWh/a	7	5	0	5	13	0	
<b>Summe</b>	<b>GWh/a</b>					<b>2.235</b>	<b>1.110</b>	

### Ermittlung der aktuellen Energieverbrauchskosten

Endenergie		Sektoren				Anteile [Euro]	Anteile [%]
		Haushalt	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	Industrie	Öffentliche Einrichtungen		
Verbrauch Endenergie	Euro	128.874.001	63.984.909	2.460.958	95.616.195	290.936.063	
Endenergeträger							
Strom	Euro	79.395.892	32.848.272	1.263.395	58.906.629	172.414.188	59,26
Fernwärme	Euro	24.466.812	19.278.519	741.481	18.152.796	62.639.608	21,53
Erdgas	Euro	23.752.837	10.853.299	417.435	17.623.073	52.646.644	18,10
Umweltwärme	Euro						
Heizöl EL (Extra Leicht)	Euro	1.258.460	1.004.820	38.647	933.696	3.235.624	1,11
Sonnenenergie	Euro						
Biomasse	Euro						
sonstige Fossile	Euro						

### Potenzialermittlung Ausbau Erneuerbare (End-)Energien

Erneuerbare Energien	Bereits erschlossenes Potenzial		Potenzial				Freies Potenzial				Bemerkungen
	Leistung MW	Ertrag GWh/a	Leistung [MW]		Ertrag [GWh/a]		Leistung [MW]		Ertrag [GWh/a]		
			von	bis	von	bis	von	bis	von	bis	
Windkraft	10,80	11,80	36,00	81,00	72,00	162,00	25,20	70,20	60,20	150,20	Rückrechnung Leistung mit Annahme von elektr. Wirkungsgrad mit 10% angesetzt Faktor 4545 aus bereits erschlossenem Ansatz 100% Wärmenutzung; VBh 1800; Ansatz analog Biogas Vbh 2500
Wasserkraft	0,57	2,20	0,72	0,72	2,80	2,80	0,15	0,15	0,60	0,60	
Photovoltaik	21,80	17,90	269,00	269,00	222,00	222,00	247,20	247,20	204,10	204,10	
Solarthermie	19,23	8,00	601,54	601,54	156,00	156,00	582,31	582,31	148,00	148,00	
Geothermie											
Biogas	1,10	5,00	1,32	1,32	5,40	5,40	0,22	0,22	0,40	0,40	
Holz	69,05	87,00	10,32	43,89	13,00	55,30	-58,73	-25,16	-74,00	-31,70	
Abfall		136,00			136,00	136,00			0,00	0,00	
Wärmepumpe	7,20	18,00	78,00	78,00	195,00	195,00	70,80	70,80	177,00	177,00	
<b>Summe</b>	<b>129,75</b>	<b>285,90</b>	<b>996,90</b>	<b>1.075,47</b>	<b>802,20</b>	<b>934,50</b>	<b>867,15</b>	<b>945,72</b>	<b>516,30</b>	<b>648,60</b>	

### Zuordnung des Potenzial an EE zu den Nutzenergien Wärme und Strom

Erneuerbare Energien	Nutzenergiepotenzial								Bemerkungen
	Wärme				Strom				
	Leistung [MW]		Arbeit [GWh/a]		Leistung [MW]		Arbeit [GWh/a]		
von	bis	von	bis	von	bis	von	bis		
Windkraft					25,20	70,20	60,20	150,20	
Wasserkraft	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,15	0,60	0,60	
Photovoltaik	0,00	0,00	0,00	0,00	247,20	247,20	204,10	204,10	
Solarthermie	582,31	582,31	148,00	148,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Geothermie									
Biogas			0,16	0,16	0,02	0,02	0,16	0,16	
Holz									
Abfall									
Wärmepumpe	70,80	70,80	177,00	177,00					
<b>Summe</b>	<b>653,11</b>	<b>653,11</b>	<b>325,16</b>	<b>325,16</b>	<b>272,57</b>	<b>317,57</b>	<b>265,06</b>	<b>355,06</b>	

### Anlage 18 Auswertungsprogramm - Detailberechnung

Rückrechnung Leistung aus Energiestudie Freiburg 0,4 elektr. Wirkungsgrad mit 10% angesetzt (siehe Quelle: 8-KWK-Nutzung mit 90% Gesamtnutzung und 50:50 Ansatz 100% Wärmenutzung Ansatz analog Biogas Vbh 2500

### Szenarioauswahl

Nutzenergievergleich	Fossil	Erneuerbar Ist	Erneuerbar Neu Minimum	Erneuerbar Neu Maximum	Bemerkungen/Ergebnis
Wärmeverhältnis	1	0,04	0,17	0,19	Maximal 19 % des aktuellen Wärmeverbrauchs ist
Stromverhältnis	1	0,09	0,16	0,41	Maximal 41 % des aktuellen Stromverbrauchs ist

Erneuerbare Energien	Spezifische Investitions-kosten [Euro/kW]	Investitions-kosten [Mio. Euro]	Bemerkungen
Windkraft	1.150,00	80,73	Erneuerbare Energien - Innovationen für eine Modernisierung
Wasserkraft	3.150,00	0,47	
Photovoltaik	1.800,00	444,96	Erneuerbare Energien - Innovationen für eine <a href="http://www.regenerative-zukunft.de/erneuerbare-">http://www.regenerative-zukunft.de/erneuerbare-</a> <a href="http://biogas.fnr.de/daten-und-fakten">http://biogas.fnr.de/daten-und-fakten</a>
Solarthermie	1.300,00	757,00	
Geothermie	3.750,00	0,00	
Biogas	7.000,00	0,15	
Holz		0,00	
Abfall		0,00	
Wärmepumpe	1.000,00	70,80	
<b>Summe</b>		<b>1.354,11</b>	

### Kostenvergleich

Erneuerbare Energien	Investitions-kosten [Mio. Euro]	Betrachtungs-zeitraum [a]	Investitions-kosten [Mio. Euro/a]	Spezifische Investitionskosten		Spezifische Betriebs-kosten [ct/kWh]	Gesamtkosten				Bemerkungen
				Wärme [ct/kWh]	Strom [ct/kWh]		Wärme [ct/kWh]	Strom [ct/kWh]	Wärme [Euro/a]	Strom [Euro/a]	
Windkraft	80,73	20	4,04		2,69	1,07		3,76		5.651.100	Erneuerbare Energien - Innovationen für eine Modernisierung
Wasserkraft	0,47	20	0,02		3,94	3,15		7,09		42.525	
Photovoltaik	444,96	20	22,25		10,90	2,18		13,08		26.697.600	Erneuerbare Energien - Innovationen für eine <a href="http://www.regenerative-">http://www.regenerative-</a> Betriebung aus Masterprojekt
Solarthermie	757,00	20	37,85	25,57		10,23	35,80		52.990.000		
Geothermie	0,00	20	0,00			0,00					
Biogas	0,15	10	0,01	8,97	8,97	8,80	13,37	13,37	21.688	21.688	
Holz	0,00	10	0,00			0,00					
Abfall	0,00	20	0,00			0,00					
Wärmepumpe	70,80	10	7,08	4,00		0,80	4,80		8.496.000		
<b>Summe</b>	<b>1.354,11</b>		<b>71,25</b>	<b>13,82</b>	<b>7,41</b>		<b>18,92</b>	<b>9,13</b>	<b>61.507.688</b>	<b>32.412.913</b>	

Fossile Energien	Spezifische Kosten	
Wärmepreis Fossil	7,00	ct/kWh
Strompreis (Base EEX-Börse)	5,00	ct/kWh

Kostendifferenz	EE-Fossil	
Wärme	11,92	ct/kWh
Strom	4,13	ct/kWh

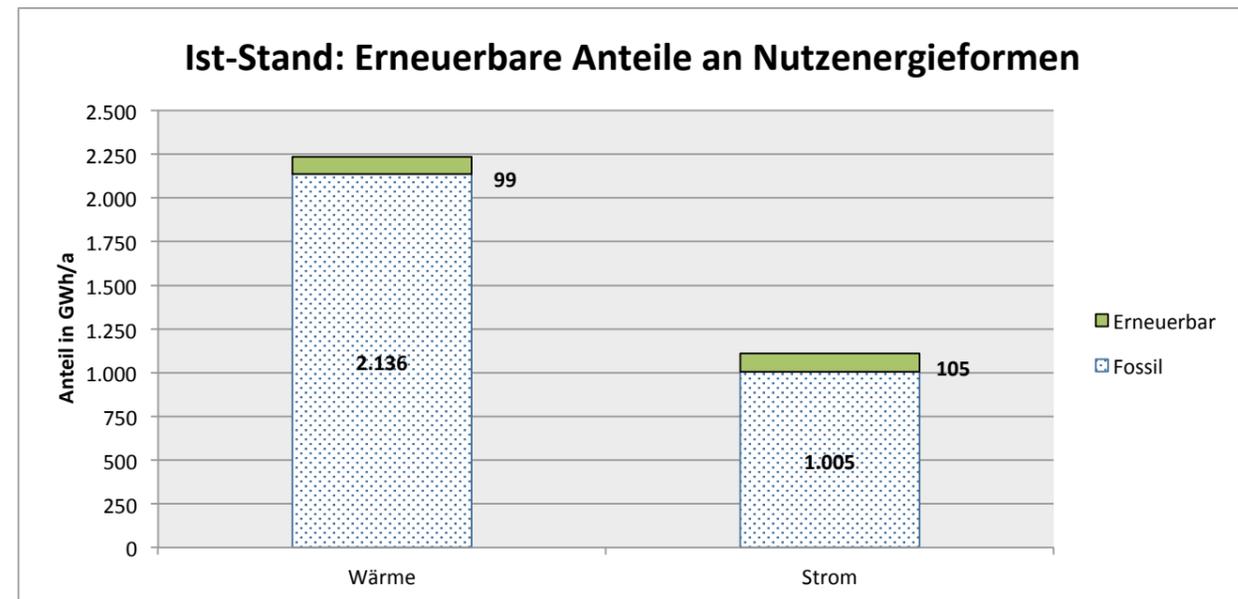
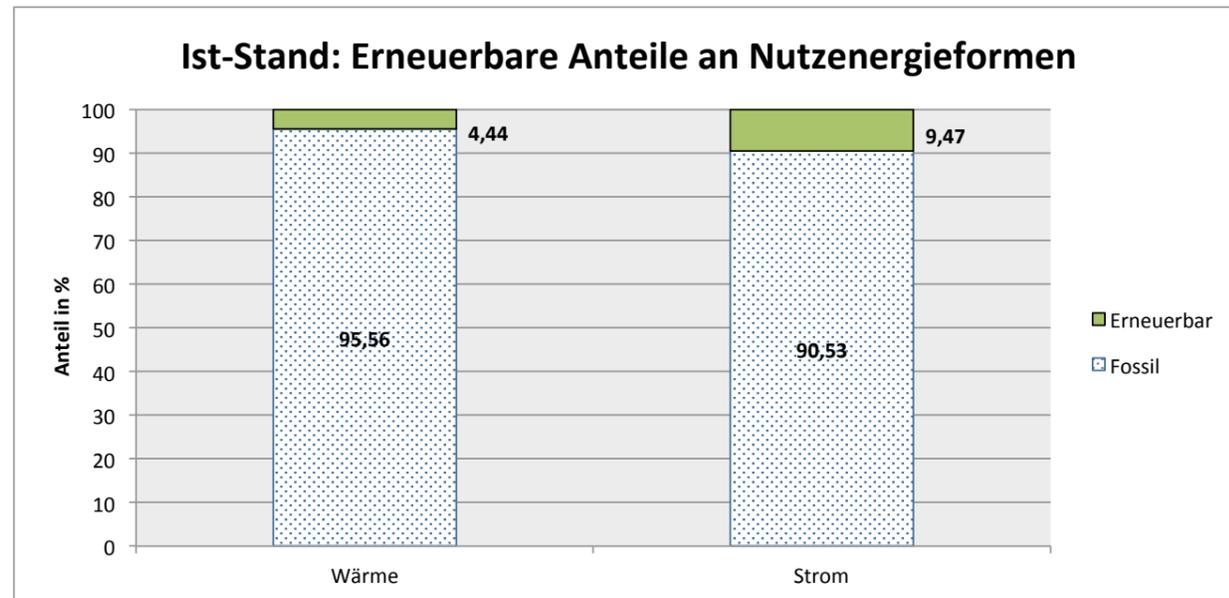
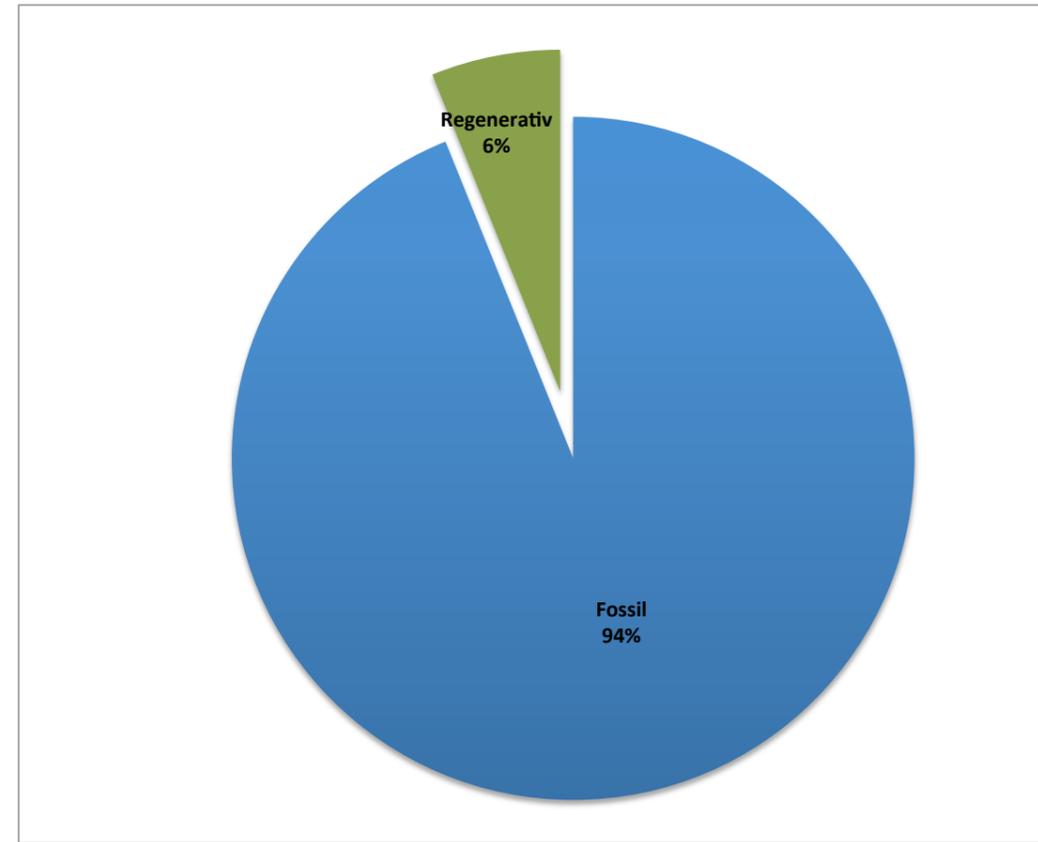
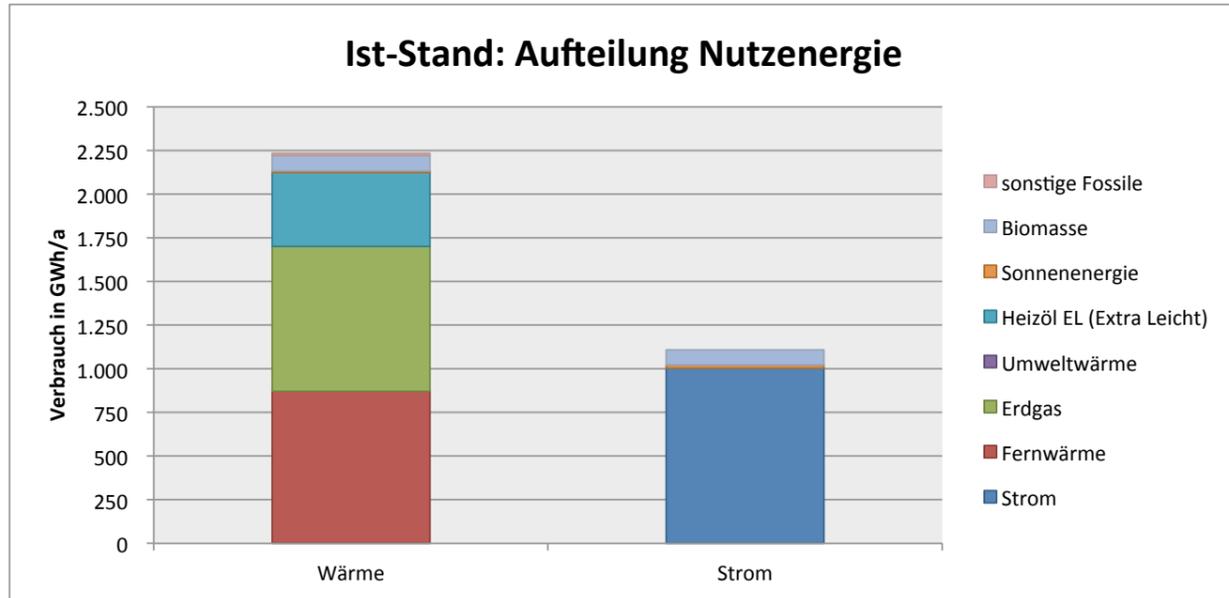
## Kennwerte

Wärmeverbrauch	kWh/EW	9.696
Stromverbrauch	kWh/EW	4.814
Jahresenergiekosten Ist-Stand	Euro/EW	1.262
Anteil EE -Aktuell- (Nutzenergie)		
- Strom	GWh	105
- Wärme	GWh	99
- Strom	%	9
- Wärme	%	4
Anteil EE -Szenario- (Nutzenergie)		
- Strom	GWh	325
- Wärme	GWh	355
- Strom	%	41
- Wärme	%	19
Spezifische Gestehungskosten -Szenario-		
- Strom	ct/kWh	9,13
- Wärme	ct/kWh	18,92
Anteil EE -Szenario mit Energieeinsparung - (Nutzenergie)		
- Wärme	GWh	355,06
- Wärme	%	45

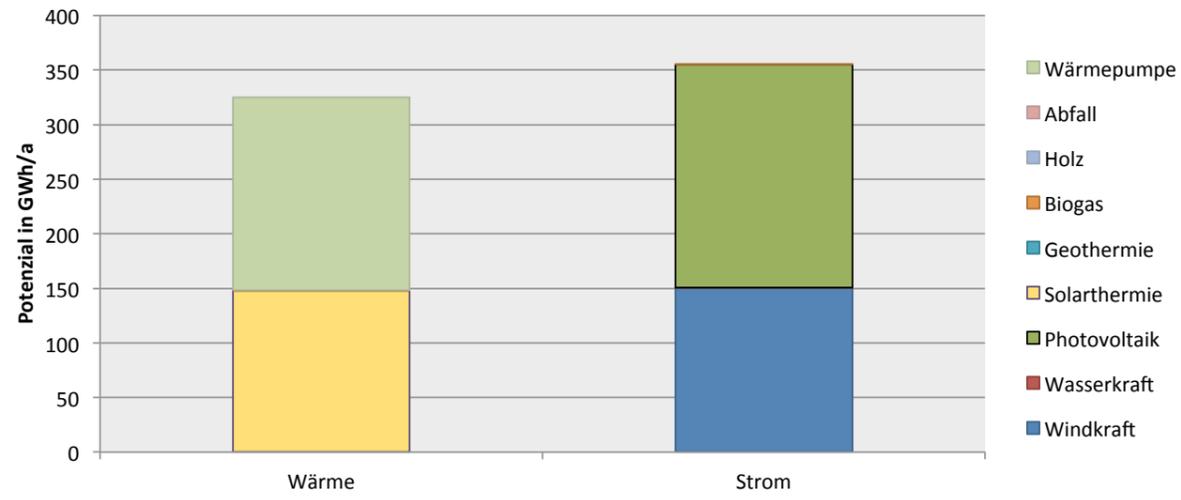
## Anlage 18 Auswertungsprogramm - Detailberechnung

## **Anlage 19**

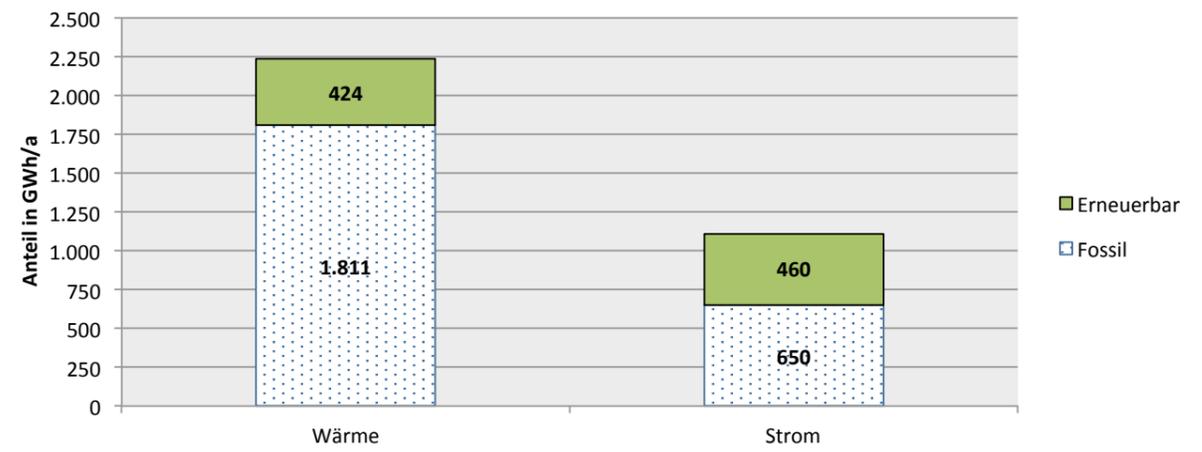
### **Auswertungsprogramm, Grafiken**



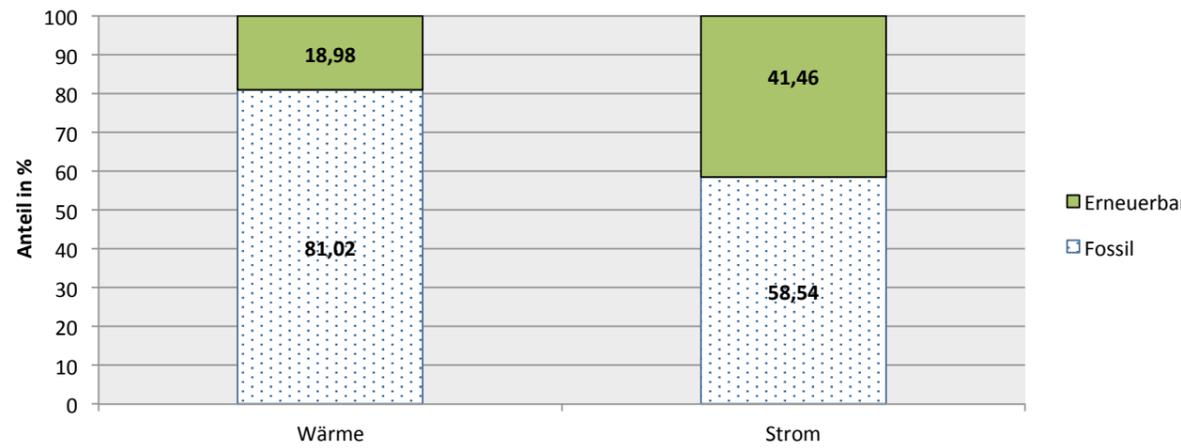
### Maximales Nutzenergiepotenzial Wärme & Strom



### Maximale Substitution fossile durch erneuerbare Nutzenergien



### Maximale Substitution fossile durch erneuerbare Nutzenergien



## **Anlage 20**

### **Leitfaden, Potenzialanalyse der Stadt**

**Leitfaden - Potenzialanalyse der Stadt**

<b>1 geographische und historische Daten</b>		<b>Inhalt</b>	<b>Einheit</b>
	Stadtname	.....	-
	Bundesland	.....	-
	Gründungsjahr	.....	-
	Einwohnerzahl	.....	-
	Stadtkategorie	.....	-
	Lage in Deutschland	.....	-
	Bundesland (angrenzend)	.....	-
		.....	-
	Nachbarland (angrenzend)	.....	-
		.....	-
		.....	-

<b>2 politische Rahmenbedingungen</b>		<b>Inhalt</b>	<b>Einheit</b>
	kommunale Gesetze, Studien, Strategien	.....	-
		.....	-
		.....	-
		.....	-
		.....	-
		.....	-
		.....	-
		.....	-

<b>3 Primärenergiepotentiale</b>		<b>Inhalt</b>	<b>Einheit</b>
	Solarenergie	.....	kWh/m
	Windenergie	.....	m/s
	Wasserkraft	.....	WKA
	Geothermie	.....	°C
	Bioenergie	.....	-
	- Waldgebiet	.....	%
	- Landwirtschaftliche Fläche	.....	%
	- Ackerfläche	.....	%
	- Ökologisch bewirtschafteter Betrieb	.....	%

**Leitfaden - Potenzialanalyse der Stadt**

4 Siedlungsstruktur		Inhalt	Einheit
	Wohnfläche	.....	ha
	Gewerbe- und Industriefläche	.....	ha
	Verkehrsfläche	.....	ha
	Konversionsfläche	.....	ha
	Landwirtschaftsfläche	.....	ha
	Waldfläche	.....	ha
	Sonstige Flächen	.....	ha
		.....	ha
		.....	ha

5 Einwohner und Haushalte		Inhalt	Einheit	Inhalt	Einheit
	1-Personen	.....	Haushalt	.....	Einwohner
	2-Personen	.....	Haushalt	.....	Einwohner
	3+x-Personen	.....	Haushalt	.....	Einwohner

6 Gebäudestruktur		Inhalt	Einheit
	Gebäudeklasse 1	.....	%
	Gebäudeklasse 2	.....	%
	Gebäudeklasse 3	.....	%
	Gebäudeklasse 4	.....	%
	Gebäudeklasse 5	.....	%
	Gebäudeklasse 6	.....	%

7 Heizwärmebedarf		Inhalt	Einheit
	aktueller Heizwärmebedarf	.....	kWh/m
	Einsparpotential	.....	%

8 Endenergiebedarf		Inhalt	Einheit
	Strom	.....	GWh/a
	Fernwärme	.....	GWh/a
	Erdgas	.....	GWh/a
	Umweltwärme	.....	GWh/a
	Heizöl	.....	GWh/a
	Solarthermie	.....	GWh/a
	Biomasse	.....	GWh/a
	sonstige Fossile	.....	GWh/a

Leitfaden - Potenzialanalyse der Stadt

9 Versorgungs- und Ertragsstruktur		Anlagenanzahl /		Leistung		Ertrag	
Energieart (aktuell)							
	Photovoltaik	.....	Stk.	.....	MW	.....	GWh/a
	Solarthermie	.....	m	.....	MW	.....	GWh/a
	Windenergie	.....	Stk.	.....	MW	.....	GWh/a
	Wasserkraft	.....	Stk.	.....	MW	.....	GWh/a
	Tiefengeothermie	.....	Stk.	.....	MW	.....	GWh/a
	Oberflächennahe Geothermie	.....	Stk.	.....	MW	.....	GWh/a
	Biogas	.....	Stk.	.....	MW	.....	GWh/a
	Holz	.....	Stk.	.....	MW	.....	GWh/a
	Abfall	.....	Stk.	.....	MW	.....	GWh/a

10 Versorgungs- und Ertragsstruktur		Anlagenanzahl /		Leistung		Ertrag	
Energieart (zukünftig)							
	Photovoltaik	.....	Stk.	.....	MW	.....	GWh/a
	Solarthermie	.....	m	.....	MW	.....	GWh/a
	Windenergie	.....	Stk.	.....	MW	.....	GWh/a
	Wasserkraft	.....	Stk.	.....	MW	.....	GWh/a
	Tiefengeothermie	.....	Stk.	.....	MW	.....	GWh/a
	Oberflächennahe Geothermie	.....	Stk.	.....	MW	.....	GWh/a
	Biogas	.....	Stk.	.....	MW	.....	GWh/a
	Holz	.....	Stk.	.....	MW	.....	GWh/a
	Abfall	.....	Stk.	.....	MW	.....	GWh/a

11 Kosten		spez. Investitions- kosten		Investitions- kosten		spez. Betriebskosten		Betriebskosten	
Energieart (zukünftig)									
	Photovoltaik	.....	%	.....	€	.....	%	.....	€/a
	Solarthermie	.....	%	.....	€	.....	%	.....	€/a
	Windenergie	.....	%	.....	€	.....	%	.....	€/a
	Wasserkraft	.....	%	.....	€	.....	%	.....	€/a
	Tiefengeothermie	.....	%	.....	€	.....	%	.....	€/a
	Oberflächennahe Geothermie	.....	%	.....	€	.....	%	.....	€/a
	Biogas	.....	%	.....	€	.....	%	.....	€/a
	Holz	.....	%	.....	€	.....	%	.....	€/a
	Abfall	.....	%	.....	€	.....	%	.....	€/a
	<b>Summe</b>	.....	%	.....	€	.....	%	.....	€/a

