

Klimaschutzstudie der Stadt Oranienbaum - Wörlitz



Impressum

Herausgeber:

Verwaltungsamt

Stadt Oranienbaum-Wörlitz

Franzstraße 1

06785 Oranienbaum-Wörlitz

In Zusammenarbeit mit

Alrene Ingenieurbüro

Dr. Alexa K. Lutzenberger (Autor)

Dorfstraße 7

22962 Siek

akl@alrene.de

0171-8260821

Bauamt – Stadtentwicklung

Aufgabengebiet Klimaschutz

Verantwortlicher Mitarbeiter:

Guido Lehmann

Email: guido.lehmann@oranienbaum-woerlitz.de

Kurzfassung

Für diese Studie, welche der Ermittlung der heute ausgestoßenen Treibhausgase diente, wurden verschiedenen Datensätze herangezogen. Für die Emissionen aus Strom wurden die Strommengen, welche in die Stadt Oranienbaum-Wörlitz flossen, vom örtlichen Energieversorger erfasst und bestmöglich sowohl nach Konzessionsabgaben als auch mit Durchschnittswerten des Landes Sachsen-Anhalt und des Bundes auf die Bereiche Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD), öffentliche Liegenschaften und Industrie verteilt.

Leider lagen keine Daten für die Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien vor, so dass diese auch nicht berücksichtigt wurden. Die Berechnung der Treibhausgasemissionen erfolgt auf der Grundlage der Emissionen des Strommix Sachsen-Anhalt.

Um die Emissionen aus der Bereitstellung von thermischer Energie zu erfassen, also Wärme/Kälte, wurde zum einen die Zusammensetzung der Feuerstätten erfasst, zum anderen über Gebäudebestand und Größe der wahrscheinliche Energiebedarf erfasst. Für die öffentlichen Liegenschaften konnten die Energieverbräuche erfasst und auf das Kalenderjahr umgelegt werden. Keine Daten lagen für den Bereich Gewerbe und Industrie vor. Das Autorenteam griff hier auf Schätzungen und Durchschnittswerte des Landes Sachsen-Anhalt zurück. Aufgrund des alten Gebäudebestandes in der Stadt Oranienbaum-Wörlitz sind die ermittelten Emissionen als Mindestwerte zu begreifen, die tatsächlichen Emissionen können höher sein.

Die Emissionen aus der Mobilität wurden mit Hilfe von Daten der Zulassungsstelle, dem Modal Split 2017, der das Verkehrsaufkommen in Deutschland darstellte sowie Daten des Landes Sachsen-Anhalt berechnet. Nicht berechnet wurden Emissionen von Dienstwagen, die in anderen Kreisen zugelassen sind, Emissionen des Durchgangsverkehrs auf der Bundesstraße und der Autobahn. Ebenso wurden keine Emissionen aus dem Öffentlichen Personen Nahverkehr (ÖPNV) einberechnet.

Auch konnte anhand der Daten nicht erkannt werden, wieviel Schwerlastfahrzeuge zugelassen sind. Insofern sind die Treibhausgasemissionen aus der Mobilität als Mindestwerte zu begreifen.

Nicht erfasst wurde die Senkenfunktion des Naturraums der Stadt Oranienbaum – Wörlitz. Senkenfunktion bezeichnet die Fähigkeit von Naturräumen, CO₂ zu speichern. Eine Gutschrift für etwaige CO₂-Speicherung wäre nur ein Schönrechnen der Ergebnisse, da ein einmal emittiertes CO₂-Atom bis zu 1.500 Jahre in der Atmosphäre verbleibt. Ebenso wurden die Emissionen aus der Landwirtschaft nicht erfasst.

Potentiale für die Nutzung aus von erneuerbaren Energien wurden für Photovoltaik, Solarthermie und Biomasse berechnet. Windkraft und Geothermie wurden nicht berücksichtigt, besitzen aber ein hohes Potential. Auch wurden keine Freiflächenanlagen einberechnet oder vertieft untersucht.

Szenarien

Um Handlungsräume für die Kommune darzustellen, wurden für Strom und Wärme verschiedene Zukunftsszenarien erstellt.

Die in dieser Arbeit entwickelten Szenarien beruhen im Wesentlichen auf den Annahmen des der Stadt Oranienbaum-Wörlitz und den Prognosen zur Bevölkerungsentwicklung des Land Sachsen-Anhalts sowie ökologischer und ökonomischer Rahmendaten zur Erreichung eines 100% erneuerbare Energiesystems des Umweltbundesamtes. Die gesellschaftlichen Rahmenbedingungen werden sich bis 2050 nicht grundlegend ändern, lediglich die Energiebezüge aus Russland werden in nächste Zeit wegfallen. Vielmehr setzen sich Lebensstil und die Konsum- und Verhaltensmuster wie bisher fort und Deutschland bleibt auf dem Niveau eines hochentwickelten Industrielandes.

Die Trends und Prognosen des Landes Sachsen-Anhalt für die Bevölkerungsentwicklung in der Stadt Oranienbaum-Wörlitz wurden in den Szenarien berücksichtigt. Die demographische Entwicklung hinsichtlich der Altersstruktur der Bevölkerung flossen nur am Rande in die Betrachtung mit ein. Obwohl die Stadt Oranienbaum-Wörlitz mit seiner räumlichen Lage zwischen den Metropolen Berlin und Leipzig liegt, ergibt sich für die Sozioökonomie des Untersuchungsraumes eine negative Entwicklung. So wird von einer weiteren Abwanderung von Menschen und damit der Wirtschaftsleistung ausgegangen.

Folgende Szenarien wurden entwickelt:

A: Business as usual (BAU)

Die folgenden Jahre werden keine größeren Technologiesprünge hervorbringen und folgen im Wesentlichen einer angepassten Effizienzsteigerung im Strom- und Wärmeverbrauch. Auch energiepolitisch wird sich der bisherige Trend fortsetzen. Die politische Ausrichtung folgt dabei den landes- und bundespolitischen Entwicklungen in der energetischen Neuausrichtung. Einzelne Maßnahmen, wie diese Teilarbeit zum Energiekonzept, werden in den zuständigen Gremien zur Kenntnis genommen. Einzelmaßnahmen zur Gebäudesanierung öffentlicher Liegenschaften werden im Untersuchungsraum sukzessive umgesetzt und bis zum Jahr 2045 entspricht der Gebäudestandard der dann gültigen Gebäudeenergieverordnung.

B: Good Case (GC)

Die Weltgesellschaft ändert sich in den Belangen des Klimaschutzes und der energiesystemischen Steuerung massiv. Für den Landkreis Wittenberg und die Stadt Oranienbaum-Wörlitz ergeben sich daraus neue Handlungsperspektiven. Der Regionalverwaltung

kommt aufgrund des Rechts auf Selbstverwaltung, sowohl in der Planung als auch beim Betrieb von Energieerzeugungsanlagen und der Verteilung der erzeugten Energie eine zentrale Aufgabe zur Sicherung des Energiebedarfs in der Region und darüber hinaus zu. Flächendeckende Niederenergiestandards im Wohnbestand und Neubau werden massiv gefördert und Wärmespeichertechnologien erobern den Markt. Die Wertschöpfung bleibt in diesem System innerhalb der Regionen, so dass der zunächst höchst kostenintensive Umbau des alten Systems schon bis 2045 mit steigenden Einnahmen und zumindest stabilen Energiepreisen gerechnet werden kann. Diese Entwicklung fordert einen hohen Grad an öffentlicher Akzeptanz, da die Bevölkerung als Verbraucher und Steuerzahler an der Realisierung dieses Systems beteiligt wird.

C: 100% erneuerbare Energien Studie nach Umweltbundesamt 2010

Im Ergebnis kam die Studie zu dem Schluss, dass die Stromversorgung zu 100 Prozent aus erneuerbaren Energien technisch und ökologisch vertretbar zu realisieren ist (UBA 2010). Dieses Szenario wurde unter Berücksichtigung der RESCUE-Studie des Umweltbundesamtes, der Ziele der Bundesregierung und der Europäischen Union auf das Jahr 2045 vorgezogen.

Ergebnisse

A: Strom

Für die berechneten Szenarien wurden die berechneten Potentiale der Stadt Oranienbaum-Wörlitz einbezogen und in eine Kalkulation der zu erwartenden Entwicklung der Treibhausgasemissionen überführt

Dazu wurde ein BAU-Szenario ohne jeglichen Zubau an erneuerbaren Energien berechnet. Da angenommen werden kann, dass, den Zielen der Bundesregierung entsprechend, der deutsche Strommix ab 2045 klimaneutral ist, sinken die Emissionen auch in diesem schlechtesten Szenario. BAU ohne weitere erneuerbare Energien für die Stromproduktion emittiert bis 2045 265.234 t Treibhausgase, im besten GC-Szenario EE2 beträgt der Ausstoß nur 141.110 t.

Die Differenz in Bezug auf die Klimagasemissionen zwischen Nichthandeln und Zubau erneuerbarer Energien für die Stromproduktion beträgt demnach etwas mehr als **124.000 t**.

B: thermische Energie:

Wie im Bereich Strom wurden in der Wärmebereitstellung ebenfalls verschiedene Szenarien berechnet. Es wird mit verschiedenen Prozentsätzen bei der Sanierung der Gebäude und dem Ersatz bestehender Heizanlagen ausgegangen, wobei die jeweiligen Gesetze und Verordnungen einbezogen wurden.

Insgesamt können durch Sanierungen, Modernisierungen des Gebäudebestandes und der Ausnutzung des solarthermischen Potentials und beispielsweise Biomasse in den dargestellten Szenarien bis einschließlich 2045 **109.230 t** CO₂-Emissionen eingespart werden. (BAU ohne EE emittiert 447.632 t CO₂-Äquivalente, BAU mit erneuerbaren nur 338.402 t CO₂-Äquivalente).

C: Mobilität

Die Klimagasemissionen, die durch die zugelassenen Kraftfahrzeuge ausgestoßen werden, lassen sich über Antrieb, Kraftstoff, durchschnittliche Jahreskilometerleistung und Durchschnittsverbräuche hochrechnen. Für die Elektromobilität wurden die Emissionen des Strommix Sachsen-Anhalt zugrunde gelegt, der wie in der Berechnung der Emissionen des Stroms dynamisiert und 2045 mit 0 g/kWh berechnet wurde.

Die Stadt Oranienbaum-Wörlitz emittierte somit 2019 mindestens **45812 t** CO₂-Äquivalente.

Fast 60% der Emissionen stammt aus der Bereitstellung von Wärme, 37% der Emissionen stammen aus der Stromproduktion und 3% entstammen der Nutzung der zugelassenen PKW.

Ergebnis der Studie ist, dass die Stadt Oranienbaum-Wörlitz sich nicht vollständig mit erneuerbarer Energie selbst versorgen kann. Auch im Hinblick auf die Nutzung von Ressourcen ist eine lokale Autarkie nicht sinnvoll. Die Einbettung der Stadt in das Klimakonzept des Landkreises Wittenberg und des Landes Sachsen-Anhalt ist sinnvoll.

Allerdings ergeben sich Handlungsfelder für die Stadt Oranienbaum-Wörlitz. Größtes Handlungsfeld ist demnach eine Forcierung der Sanierung des Gebäudebestandes der Stadt Oranienbaum – Wörlitz. Hier besteht das bei weitem größte Einsparungspotential an CO₂-Emissionen. Dies betrifft sowohl die öffentlichen Liegenschaften als auch private Gebäude. Umfassende Beratung und Information sind Aufgabe der Kommune, um die Sanierungsquote deutlich zu erhöhen.

Ansonsten sind auch innerhalb der Verwaltung Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz umzusetzen, ohne Rebound-Effekte hervorzurufen.

Inhaltsverzeichnis

Impressum	II
Kurzfassung	III
Inhaltsverzeichnis.....	VII
Abbildungsverzeichnis.....	XI
Tabellenverzeichnis.....	XII
1 Klima- und Energie Studie Stadt Oranienbaum-Wörlitz.....	1
1.1 Methodik.....	2
1.2 Klima	3
1.3 Energie.....	6
1.4 100% Regionen.....	8
1.5 Potentiale	9
2 Untersuchungsraum Stadt Oranienbaum-Wörlitz.....	12
2.1 Geographische Lage und Naturraum	12
2.2 Bevölkerung.....	12
2.3 Infrastruktur	12
3 Erneuerbare Energien - Grundlagen.....	14
3.1 Photovoltaik.....	14
3.1.1 Modularten.....	15
3.2 Wind	18
3.2.1 Standortfaktoren für Windanlagen	19
3.2.2 Funktion und Aufbau von WEA.....	21
3.2.3 Stand der Technik.....	22
3.2.4 Wind im Wald.....	24
3.3 Solarthermie.....	24
3.4 Biomasse.....	26
3.4.1 Feste Biomasse	27
3.4.2 Gasförmige Bioenergieträger.....	32
3.4.3 Energiegewinnung aus Biomasse	34
3.4.4 Energiegewinnung aus Abfall.....	34
3.5 Geothermie	39
3.5.1 Oberflächennahe Geothermie	39
3.5.2 Tiefengeothermie.....	41
3.6 Speichertechnologien.....	44
3.6.1 Stromspeichersysteme	45
3.6.2 Wärmespeichersysteme	46
4 Erneuerbare Energien – Potentiale.....	48
4.1 Photovoltaik.....	48

4.1.1	Rechtliche Grundlagen	48
4.1.2	Berechnung	49
4.1.3	Potential öffentliche Gebäude.....	50
4.1.4	Potential Industrie- und Gewerbegebäude.....	52
4.1.5	Potential Privathaushalte	52
4.1.6	Konversionsflächennutzung	53
4.2	Solarthermie.....	53
4.2.1	Potential Kommunale Gebäude	53
4.2.2	Potential Privathaushalte	54
4.3	Windenergie.....	54
4.4	Biomassepotentiale	54
4.4.1	Holzartige Biomasse.....	54
4.4.2	Abfall	56
4.5	Geothermie	59
5	Strom.....	62
5.1	Methodik.....	62
5.1.1	Abgrenzung.....	62
5.1.2	Erfassung und Systematisierung der Datengrundlage	62
5.1.2.1	Liegenschaftsverbräuche	63
5.1.2.2	Private Haushaltsverbräuche	63
5.1.2.3	Industrie- und GHD	63
5.2	Verbräuche.....	63
5.2.1	Liegenschaften.....	64
5.2.2	Private Haushalte	68
5.2.3	Gewerbe, Handel und Dienstleistungen und Industrie	70
5.3	Szenarien.....	70
5.3.1	Rahmendaten für die Szenarien	70
5.3.2	Bevölkerungsentwicklung	70
5.3.2.1	BUSINESS AS USUAL-Szenario.....	71
5.3.2.2	GOOD CASE-Szenario	72
5.3.2.3	2050 100%-Szenario.....	72
5.3.3	Private Haushalte	73
5.3.3.1	BAU-Szenario.....	73
5.3.3.2	GC-Szenario	74
5.3.3.3	100% 2050-Szenario.....	74
5.3.4	GHD.....	75
5.3.4.1	BAU-Szenario.....	75
5.3.4.2	GC-Szenario	75
5.3.4.3	100% 2050-Szenario.....	75
5.3.5	Industrie	76
5.3.5.1	BAU-Szenario.....	76
5.3.5.2	GC-Szenario	76
5.3.5.3	100% 2050-Szenario.....	77
5.3.6	Gesamtstromverbrauch	77

6	Wärme	79
6.1	Methodik.....	79
6.1.1	Abgrenzung.....	79
6.2	Erfassung und Systematisierung der Datengrundlage	80
6.2.1	Liegenschaftsverbräuche	80
6.2.2	Private Haushaltsverbräuche	80
6.2.3	Industrie- und GHD	80
6.3	Wärmeverbrauch nach Sektoren.....	80
6.3.1	Liegenschaften.....	80
6.3.2	Private Haushalte	82
6.4	Szenarien.....	83
6.4.1	Rahmendaten und Annahmen für die Szenarien	83
6.4.1.1	BUSINESS AS USUAL-Szenario.....	83
6.4.1.2	GOOD CASE-Szenario	83
6.4.1.3	2050 100%-Szenario.....	83
6.4.2	Private Haushalte	84
6.4.2.1	BAU-Szenario.....	84
6.4.2.2	GOOD CASE-Szenario	84
6.4.2.3	100% 2050-Szenario.....	85
6.4.3	Liegenschaften.....	85
6.4.4	GHD, Industrie	86
6.4.4.1	BAU-Szenario.....	86
6.4.4.2	GC-Szenario	86
6.4.4.3	100% 2050-Szenario.....	87
6.5	Gesamtwärmeverbrauch	87
7	Mobilität	91
7.1	Persönliche Mobilität PKW.....	91
7.2	ÖPNV	93
7.3	Individualverkehr.....	93
7.4	Sonstiger Verkehr:	93
7.5	Szenarien:	93
8	Zusammenführung der Ergebnisse	96
9	Klimabilanz Stadt Oranienbaum – Wörlitz	103
9.1	Strom.....	103
9.1.1	Wärme/Kälte.....	104
9.1.2	Mobilität	107
9.1.3	Gesamtbilanz	108
10	Politik	109
10.1	Ausblick Energiekonzept Land Sachsen-Anhalt:	109
10.2	Umsetzungsmaßnahmen:	109
10.3	Kooperationspartner:	110

10.4	Öffentlichkeitsarbeit	Fehler! Textmarke nicht definiert.
10.5	Informationsmaterialien.....	112
10.6	Öffentlichkeitswirksame Veranstaltungen.....	113
10.7	Beratung.....	114
10.8	Maßnahmen im öffentlichen Raum	116
10.8.1	Beispiel Quartierslösung mit BHKW:.....	118
10.8.2	Gebäudesanierung.....	119
10.8.3	Förderung von Solarenergieerzeugung Strom/ Wärme	121
10.8.4	Nutzung industrieller Abwärme	121
10.8.5	Energetische Nutzung von Abwasser und Klärschlamm.....	122
10.8.6	Biogasanlagen.....	123
10.8.7	Klimaschonendes Bauen und Sanieren für kommunale und private Gebäude.....	124
10.8.8	Ausbau von Fernwärme	124
10.8.9	Bebauungsplan Quartierslösung nach Denkmalrichtlinien	124
10.8.10	Aufgaben des Klimaschutzes in unserer Stadt.....	125
	Literaturverzeichnis.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
11	Literaturverzeichnis:	CXXVIII

<i>Abbildung 37: Zusammensetzung der zugelassenen Fahrzeuge nach Antrieb</i>	94
<i>Abbildung 38: Stadt Oranienbaum-Wörlitz Energieverbräuche gesamter PKW Verkehr ..</i>	95
<i>Abbildung 39: Kilometerleistung / a in MWh</i>	95
<i>Abbildung 40: Strommix Sachsen-Anhalt 2019</i>	96
<i>Abbildung 41: theoretisches Potential Photovoltaik in MWh/a.....</i>	97
<i>Abbildung 42: Theoretisches Potential Solarthermie MWh/a</i>	97
<i>Abbildung 43: Theoretische Potentiale Biomasse Strom und Wärme in MWh/a</i>	98
<i>Abbildung 44: Zusammenführung Strom und Mobilität</i>	99
<i>Abbildung 45 Szenarien Strom plus EE Ausbau</i>	99
<i>Abbildung 46: Zusammenführung Stromverbrauch und Potentiale zur Stromproduktion aus erneuerbaren Energien der Stadt Oranienbaum-Wörlitz.</i>	100
<i>Abbildung 47: Gesamtbilanz Wärme/Kälte: Verbrauch, Potentiale und nötiger Zubau...</i>	101
<i>Abbildung 48: Klimagasemissionen in t der verschiedenen Strom-Szenarien</i>	103
<i>Abbildung 49: CO₂Äq. -Emissionen in t in Summen der verschiedenen Strom- Szenarien</i>	104
<i>Abbildung 50: Veränderung der Zusammensetzung der Energieträger für thermische Energie in % BAU plus Erneuerbare</i>	105
<i>Abbildung 51: Energiebereitstellung pro Jahr und Energieträger in MWh th/a</i>	105
<i>Abbildung 52: BAU Szenario ohne erneuerbare Wärme in MWh/a</i>	106
<i>Abbildung 53: CO₂ Äq. Emissionen in t/a BAU-Szenario ohne erneuerbare Wärme/Kälte</i>	106
<i>Abbildung 54: CO₂ Äq. Emissionen in t/a BAU-Szenario mit erneuerbarer Wärme/Kälte</i>	107
<i>Abbildung 55: CO₂-Emissionen in t durch Kraftfahrzeuge.....</i>	108
<i>Abbildung 56: Zusammensetzung Treibhausgasemissionen 2019 Stadt Oranienbaum- Wörlitz</i>	108
<i>Abbildung 57: Energie- und Klimaschutzmanagement (Quelle: DENA GmbH).....</i>	117
<i>Abbildung 58: Energiekosteneinsparung durch Dämmung (Quelle: Bausparkasse http:, ...)</i>	120

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1. PV-Flächenpotentiale kommunale Gebäude</i>	51
<i>Tabelle 2 - Ergebnisse Energiemenge Wald.....</i>	55
<i>Tabelle 3 Geothermische Bohrungen.....</i>	61
<i>Tabelle 4: Stromverbrauch Liegenschaften:</i>	65
<i>Tabelle 5: Liegenschaftsverbräuche Wärme/Warmwasser nach Energieträger</i>	81
<i>Tabelle 6: Zulassungen nach Emissionsgruppen.....</i>	92
<i>Tabelle 7: Anreizprogrammen zur Anwendung in Kommunen</i>	110
<i>Tabelle 8: Kooperationspartner und mögliche Beiträge zur Förderung des energetischen Bewusstseins</i>	111
<i>Tabelle 3: Beratungsangebote</i>	114

1 Klima- und Energie Studie Stadt Oranienbaum-Wörlitz

Diese Studie wurde im Jahr 2021 von der Stadt Oranienbaum-Wörlitz in Auftrag gegeben. Ziel dieser Untersuchung ist festzustellen, ob sich die Stadt Oranienbaum-Wörlitz mehrheitlich mit Strom und Wärme aus erneuerbaren Energien, welche aus der betrachteten Region stammen, versorgen können. Damit bringen sich die Stadt Oranienbaum-Wörlitz in die aktuellen Prozesse der Transformation der Energiebereitstellung mit ein.

Die Umwandlung des Energiesystems von fossilen zu erneuerbaren Energien besteht letztendlich aus mehreren transformativen Prozessen. Zum einen wird ein stark Nachfrageorientiertes System auf ein stark fluktuierendes Angebotssystem umgestellt, welches durch Speichersysteme, intelligente Netze und einem ausgefeilten Lastmanagement zukünftig auch den Verbrauch an das Angebot anpassen muss. Weiter werden stark zentrale Strukturen, wie Atom- und Kohlekraftwerke ersetzt durch eine große Anzahl dezentrale Anlagen. Damit sind die Netze, die konventionell einer Baumstruktur ähneln, ebenfalls von einem Umbau betroffen, da der Konsument auch gleichzeitig zum Produzenten wird, es entsteht eine Prosumentenstruktur. Diese Umstellung ziehen gleichzeitig eine immense Änderung der Kapitalströme in der Energiebranche nach sich. Erneuerbare Energieanlagen werden zu einem großen Teil aus Privatkapital investiert, so dass auch die Gewinne aus der Energieerzeugung wieder zu den Privatinvestoren fließen und somit in Regionen neue Wertschöpfungsketten entstehen. Diese Wertschöpfungsketten stärken vor allem die ländlichen Räume und strukturschwache Regionen. Allerdings ist die Energiewende auch nur ein Teil der Transformation in eine energie- und ressourcensparende zukünftige nachhaltige Gesellschaft.

Immer wieder in der Diskussion sind die Effekte der Energiewende auf den Strompreis. Der Anteil der EEG-Umlage wird zukünftig wegfallen. Erneuerbare Energien haben schon seit vielen Jahren durch den sogenannten Merit-Order-Effekt eine dämpfende Wirkung auf die Strompreisentwicklung. Dieser Effekt wird sich zukünftig noch deutlich verstärken.

In dieser Studie werden zur Bestimmung des Strom- und Wärmebedarfs der Zukunft Szenarien entwickelt. Diese Szenarien sind mögliche Optionen, nach derzeitiger Datenlage und Prognosen. Ereignisse wie zum Beispiel die Ansiedelung von Großindustrie, oder einer deutlichen Veränderung der Bevölkerungsdaten, Auswirkungen durch Veränderungen in Bundes- und Landespolitik sind nicht vorhersehbar und können deutliche Abweichungen zu den hier präsentierten Ergebnissen hervorrufen.

Diese Studie berechnet sowohl die Verbräuche als auch die energetischen Potentiale immer in Form einer Jahresbilanz. Mehrverbräuche und Überproduktionen durch die Fluktuation der erneuerbaren Energiebereitstellung können so nicht dargestellt werden. Hierzu

wäre eine Spezifizierung durch eine Simulation der Lastgänge mit hoher zeitlicher Auflösung notwendig. Dies ist im Rahmen dieser Studie nicht leistbar. Ebenso ist dadurch bedingt eine Berechnung der Netzkapazitäten und damit der Frage des Ausbaus der Netze für die Zukunft nicht Bestandteil.

Ein Focus dieser Studie lag auf der Betrachtung der kommunalen Liegenschaftender Stadt Oranienbaum-Wörlitz. Hier wurden sowohl die Energieverbräuche spezifiziert und mit heute empfohlenen beziehungsweise vorgeschriebenen Standards verglichen. Ebenso wurde das Potential für Photovoltaik bzw. Solarthermie für den öffentlichen Gebäude Sektor gesondert erhoben und berechnet.

Der Bereich Verkehr wurde in dieser Arbeit nur am Rande betrachtet. Da die Stadt Oranienbaum-Wörlitz bedingt durch die Bundesstraßen einen hohen Anteil an Durchgangsverkehr aufweist, ist die Berechnung eines Einsparpotentials sehr schwierig.

1.1 Methodik

Um als Kommune eine erfolgreiche Klimapolitik bestreiten zu können, bedarf es einer umfassenden Klima- und Nachhaltigkeitsstrategie, welche die Ziele, Maßnahmen und Managementansätze zur nachhaltigen Entwicklung der Stadt Oranienbaum-Wörlitz auf der Metaebene umfasst. Diese kann in drei wesentliche Schritte unterteilt werden:

1. **„Handlungsfelder und Leitbild im Stakeholder Dialog entwickeln“**
 - Handlungsfelder und Grenzen definieren
 - Leitbilder in den Handlungsfeldern entwickeln
 - Stakeholder Analysen
 - Stakeholder Dialog zur Nachhaltigkeitsstrategie initiieren
2. **„Die Zielsetzungen in den Handlungsfeldern definieren“**
 - Kurz-mittel-langfristige Ziele (quantitativ und qualitativ) definieren
 - Datenbestände -> Dateninventur der Standorte zu den Zielen
3. **„Management der Nachhaltigkeitsstrategie“**
 - Verantwortlichkeiten in der Stadt Oranienbaum-Wörlitz für die Bearbeitung der Nachhaltigkeitsstrategie definieren und verankern
 - Managementregeln aufstellen zur Umsetzung und Kontrolle der Ziele und

Maßnahmen

- Schlüsselindikatoren festlegen
- Datenerfassung

- Monitoring/ Kontrolle der Ziele
- Werkzeuge/Methoden nutzen (PDCA Zyklus, Sustainability Scorecards, ABC Analysen, Umweltmanagementsystem etc.)

Die Integration einer konsequenten Nachhaltigkeitsstrategie als Querschnittsaufgabe weiter und tiefergehend in die Kommunalpolitik zu integrieren, kann mit Hilfe eines iterativen vierphasigen Prozesses erfolgen (PDCA Zyklus). Damit wird in der Kommune eine stetige Verbesserung des Nachhaltigkeitsmanagements verfolgt.

Insgesamt bedarf es auf Grundlage der bisherigen Analyse einer Strategie, wie Nachhaltigkeit respektive Klimaschutz in der Region auf kommunaler (-meta) Ebene implementiert werden kann.

Die Entwicklung, der Aufbau und die Einführung einer eigenen Klima- und Nachhaltigkeitsstrategie bildet somit den Grundbaustein in der Stadt Oranienbaum-Wörlitz für das weitere Handeln in Bezug zur gesellschaftlichen Verantwortung und nachhaltigen Entwicklung einerseits und macht gleichzeitig den Weg frei für eine strukturiertere Kommunikation über Ziele, Maßnahmen und Steuerungsansätze im Dialog mit den Anspruchsgruppen.

1.2 Klima

Als Klimagase werden Verbindungen bezeichnet, deren Wirkung in der Atmosphäre zu Veränderungen des Klimas auf der Erde führt. Die Hauptverursacher sind die Gase Kohlendioxid, Methan und Distickstoffmonoxid (Lachgas), die auch als Treibhausgase bezeichnet werden. Weiter gehören fluorierte Kohlenwasserstoffe zu den klimaschädlichen Gasen, diese werden aber in dieser Studie nicht weiter behandelt.

Die Darstellung der Gase erfolgt in der Regel in CO₂-Äquivalenten. Dazu werden bestimmte Koeffizienten verwendet. Die Bestimmung der Koeffizienten verschiedener Treibhausgase zur Umrechnung in CO₂-Äquivalente erfolgt aufgrund des jeweiligen Schadpotentials in der Stratosphäre. Diese Schädigung wird Global Warming Potential genannt. Sie werden vom Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) definiert und neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen angepasst. Zurzeit wird Lachgas mit 265 und Methan mit dem Faktor 28 gegenüber Kohlendioxid bewertet.

Kohlendioxid ist mit einem Anteil von über $\frac{3}{4}$ der global ausgestoßenen Klimagase einer der wichtigsten Verursacher unter den Treibhausgasen. Methan und Lachgas sind zusammen für über $\frac{1}{5}$ des globalen Ausstoßes von Treibhausgasen verantwortlich.

Deutschland als Industrienation emittiert mehr Kohlendioxid, geringfügig weniger Lachgas, aber deutlich weniger Methan als der globale Durchschnitt.

Der Ausstoß dieser Klimagase, die über die natürlichen Emissionen hinausgehen, wird als anthropogen bezeichnet, vom Menschen verursacht. Klimagase bewirken durch die Zunahme ihrer Konzentration in der Atmosphäre eine Veränderung der Zusammensetzung derselben, sodass als Folge die durchschnittliche Temperatur auf der Erde ansteigt.

Der Temperaturanstieg beträgt mittlerweile 1°C gemessen, zurzeit werden Steigerungen des Temperaturmittels von $0,2^{\circ}\text{C}$ pro Jahrzehnt festgestellt. Die Folgen des Klimawandels sind nicht absehbar, allerdings berechnet die Weltbank die Folgen des Klimawandels mit 5-20% des globalen Bruttoinlandsproduktes, was eine Summe von bis zu 5,5 Billionen € bedeuten könnte, von Hungersnöten und Trinkwasserknappheit in vielen Regionen der Erde ganz zu schweigen. Angestrebt wird die Beschränkung des globalen Temperaturanstieges auf $1,5^{\circ}\text{C}$ bezogen auf das vorindustrielle Niveau. Um dieses Ziel zu erreichen, müssten die globalen Klimagasemissionen bis zum Jahr 2029 auf null reduziert werden.

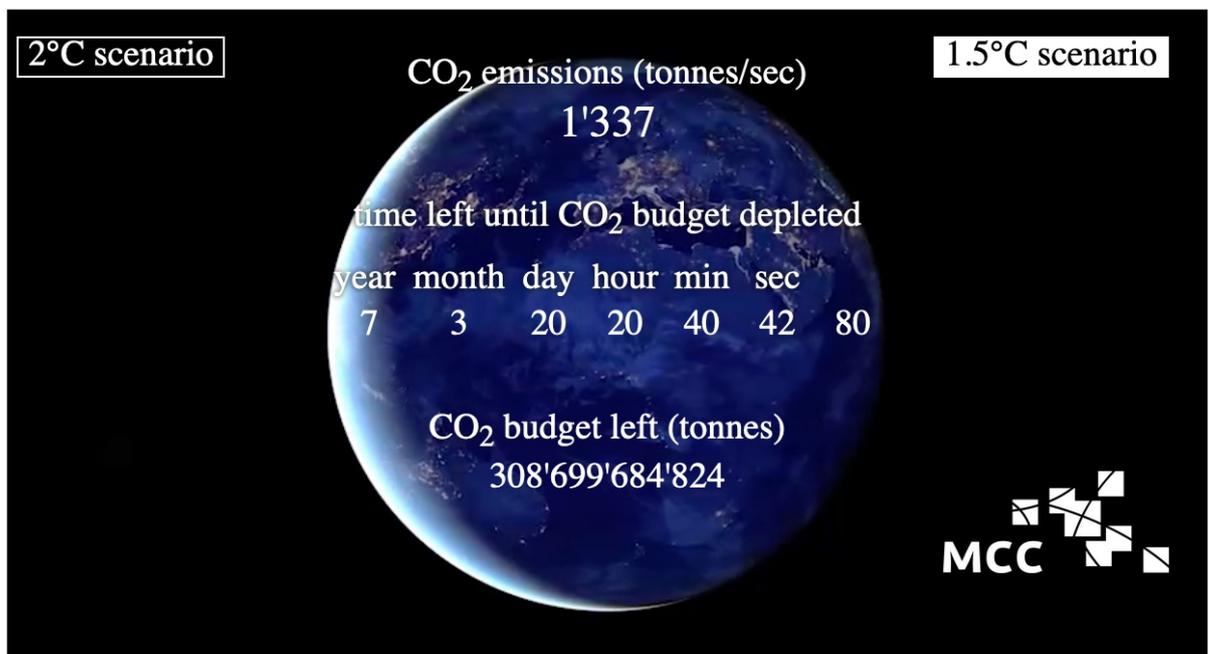


Abbildung 1 CO₂ Budget 1,5 Grad Ziel

Quelle: <https://www.mcc-berlin.net/forschung/co2-budget.html> letzter Aufruf 29.03.2022 17:01

Für die Erreichung des 2°C Zieles verbleibt ein wenig mehr Zeit, in diesem Fall müssten die globalen Emissionen bis 2047 auf Null reduziert werden.

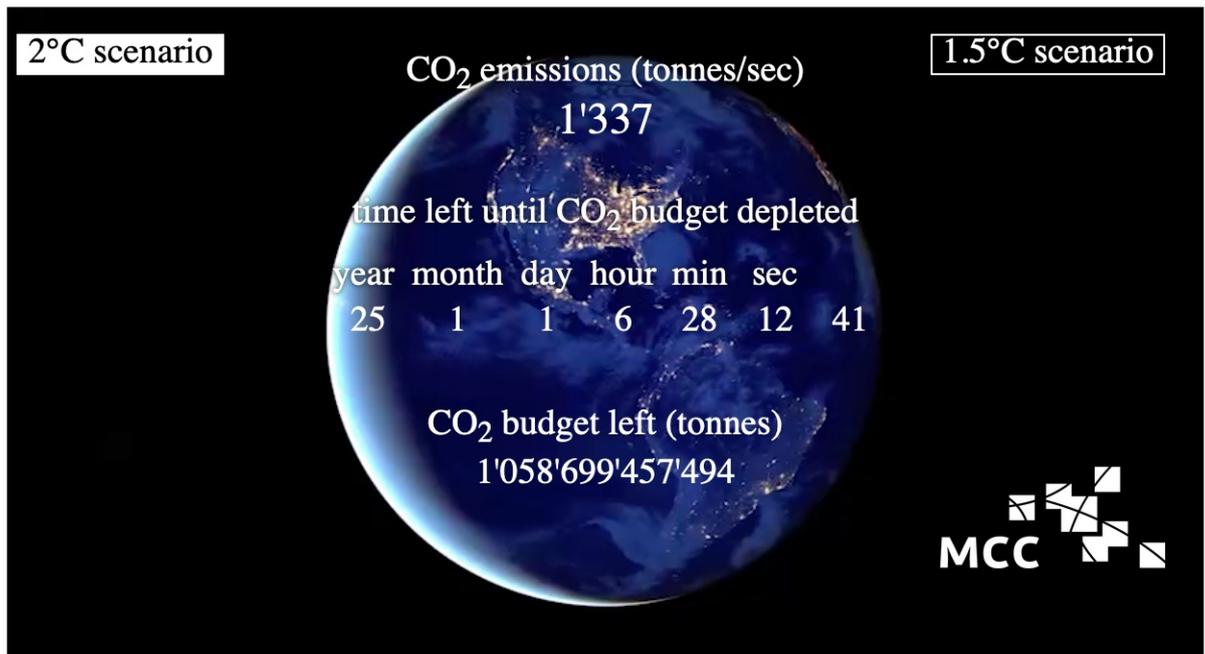


Abbildung 2. CO₂- Budget 2 Grad Ziel

Quelle: <https://www.mcc-berlin.net/forschung/co2-budget.html> letzter Aufruf 17:11 29.03.2022

Der größte Verursacher von Treibhausgasemissionen ist weltweit betrachtet nach wie vor die die Energiebereitstellung, von daher setzen hier auch die meisten Hebel zur Emissionsvermeidung an.

Nichtsdestotrotz kann Deutschland, wie das Umweltbundesamt in diversen Arbeiten mehrfach aufzeigte, bis 2045 bis zu 95% der Treibhausgasemissionen aus der Energieerzeugung einsparen. Vor allem die Umstellung der Energieerzeugung auf regenerative Energie leistet dazu den Hauptbeitrag.

Auch in der Stadt Oranienbaum-Wörlitz können die energiebedingten Emissionen massiv gesenkt werden.

Die Nutzung von endlichen Ressourcen ist ein ebenfalls ein zentraler Punkt der Energiewende. Die Abhängigkeit unserer Wirtschaftssysteme von Ressourcen wie Erdöl, Erdgas, Kohle und anderen Rohstoffen ist immens. Gerade die derzeitige Situation zeigt die dramatische Abhängigkeit Deutschlands von fossilen Energieträgern aus Russland, respektive Erdgas, Erdöl, Steinkohle und Diesel/Heizöl auf. Aber auch eine große Anzahl weitere Exporteure fossiler Energieträger sind nicht unbedingt gewünschte Wirtschaftspartner für einseitige Abhängigkeiten.

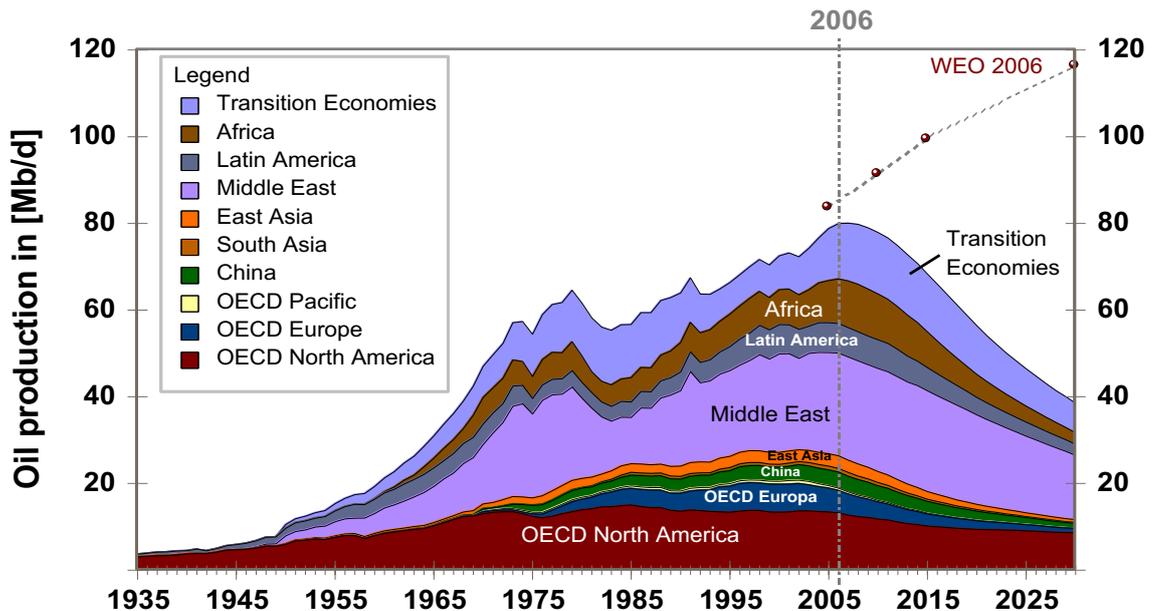


Abbildung 3: Peak Oil Quelle: Energy Watch Group - LBST Munich

Nichtsdestotrotz gehen gerade die Ölreserven ihrem Ende zu, und dieser Rohstoff wird in sehr vielen anderen, wesentlich hochwertigeren und für uns Menschen wichtigeren Prozessen benötigt, als dass er einfach nur verfeuert werden sollte.

Dies zeigt sich nicht zuletzt in der Entwicklung der Ölpreise in dem vergangenen Jahr. Allerdings sind andere Rohstoffe weit schneller betroffen als Öl. Die Diskussion der vergangenen Jahre um Vorkommen und Häufigkeit der seltenen Erden zeigt dies dramatisch. Aber auch Wasser und Fläche sind begrenzte Ressourcen. Die politischen Ebenen haben deswegen dem Thema Ressourcen Gewicht gegeben. Der wissenschaftliche Beirat für globale Umweltfragen (WBGU) stellte in seinem seiner Gutachten „Die große Transformation“ die Ressourceneffizienz ebenfalls in den Mittelpunkt und auch die Enquete-Kommission Wachstum, Wohlstand, Lebensqualität sieht den Ressourcenverbrauch kritisch.

1.3 Energie

Unsere Wirtschaft und auch unser Lebensstil sind von bereitgestellter Energie in Form von Strom, Wärme/Kälte und Treibstoffen für den Bereich Mobilität abhängig. In den letzten beiden Jahrhunderten begann die systematische Nutzung und Erschließung von fossilen Energiequellen wie Steinkohle, Braunkohle, Erdöl und Erdgas. Vorteil dieser Energieträger war die scheinbar große Verfügbarkeit, relativ hohe Energiedichte, vor allem bei Erdöl und die Fähigkeit zu Transport und Lagerung. Die günstige Energie führte zu einer rasanten Umstellung der Wirtschaft auf eine energieintensive Produktion, die

durch die damit mögliche Industrialisierung gleichzeitig den Faktor Mensch aus der Produktion verdrängte. Güter und Waren wurden günstiger, der Wohlstand materialisierte sich dadurch zunehmend bis heute. Energie galt aber auch in Gesellschaft als günstig und allseits verfügbar. Die Sicherheit der Energieversorgung ist ebenfalls eine zentral definierte Aufgabe der Politik heute.

Die Nachteile der auf fossilen Energieträgern beruhenden Energieversorgung sind vielfach. Umweltschäden entstehen durch die Förderung, Transport und Lagerung. Gerade die Nutzung von Erdöl hat in Vergangenheit und Gegenwart immer wieder große Umweltkatastrophen hervorgerufen, genauso wie der Transport mit Öltankern oder über Land mit Pipelines. Aber auch die Förderung von Kohle zieht massive Umweltzerstörungen nach sich, wie zum Beispiel der Braunkohletagebau. CO₂-Emissionen wie im vorhergehenden Kapitel beschrieben führen zu massiven Änderungen unserer Lebensbedingungen. Die Nutzung der Kernenergie ist risikobehaftet, wie jüngst Fukushima deutlich zeigte, die durch Unfälle entstehenden Schäden nicht abseh- und bezifferbar. Auch die Endlagerung ist weltweit noch nicht zufriedenstellend gehandhabt.



Abbildung 4: Fukushima

Erneuerbare Energien haben dagegen deutlich weniger Umweltauswirkungen. Natürlich werden zur Produktion der Anlagen Ressourcen, wie Rohstoffe, Energie und Wasser verbraucht. Auch werden CO₂-Emissionen in der Produktion verursacht. Aber die Anlagen benötigen im Gegensatz zu fossilen Kraftwerken im Betrieb keine weiteren Ressourcen. Als Beispiel sind hier vor allem Wind und Photovoltaik genannt, wo letztendlich auch die Recyclingketten teilweise schon bestehen, beziehungsweise erschlossen werden.

Die Nutzung von Biomasse in Bioenergieanlagen hingegen verbraucht auch im laufenden Betrieb Ressourcen. Allerdings sind diese nachwachsend und damit weitestgehend CO₂-neutral. Biomasse stammt jedoch von der Fläche, welche ebenfalls eine begrenzte Ressource darstellt. In Anbetracht verschiedener Faktoren, die auf die Nachfrage und die Produktion von Biomasse einwirken, können langfristig Konkurrenzsituationen mit anderen Nutzungszweigen entstehen. Daher sollte in langen Zeiträumen der Schwerpunkt der Biomassenutzung auf Abfall- und Reststoffen liegen. Hier ist vor allem an die Verwertung von Wirtschaftsdüngern und Gülle gedacht, sowie an biologische Abfälle aus Haushalten und Lebensmittelproduktion sowie Einsatzstoffen von nicht zur Nahrungsmittelproduktion geeigneten Flächen, wie Landschaftspflegegut oder Straßenbegleitgrün. Feste Biomasse sollte möglichst aus nachhaltig bewirtschafteten Forsten stammen, auch hier liegt der Fokus auf der regionalen Nutzung. Bio-kraftstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen unterliegen derselben Einschränkung wie die anderen Biomassepfade. Eine Kompensation des derzeitigen fossilen Kraftstoffangebotes nur durch Biokraftstoffe ist nicht möglich. Allerdings können Biokraftstoffe nachzeitigem Stand der Technik durchaus sinnvoll eingesetzt werden in Land- und Forstwirtschaft, bei kommunalen Fahrzeugparks und begrenzt auch im öffentlichen Nahverkehr.

Während die oberflächennahe Geothermie schon seit ca. 40 Jahren Einzug in Planung und Durchführung aber auch Renovierung von Gebäuden genommen hat und damit zu einer bewährten und bekannten Technik herangereift ist, ist die Tiefengeothermie bis auf einige Pilotanlagen in Deutschland nicht weit verbreitet. Die norddeutsche Tiefebene besitzt aufgrund ihrer geologischen Struktur große Potentiale für die Gewinnung von Erdwärme mit Hilfe der hydrothermalen Geothermie. Die Verstromung dieser ist allerdings nicht überall möglich. Auch in Oranienbaum-Wörlitz werden die möglichen Temperaturen voraussichtlich nicht für eine Verstromung reichen. Diese wäre wahrscheinlich nur mit dem Einsatz von Hot-Dry-Rock-Verfahren möglich, deren Risiken nachzeitigem Stand der Technik schwer kalkulierbar sind. Aufgrund dessen und auch den Kosten ist dieses Verfahren in dieser Studie nicht näher betrachtet worden.

1.4 100% Regionen

Eine 100% Versorgung mit erneuerbaren Energien ist prinzipiell auf verschiedenen Ausbaumwegen zu erreichen. Dabei reicht die Bandbreite von internationalen Systemen bis zu lokaler Autarkie.

Eine internationale Kooperation mit zentralen Energieerzeugungsanlagen würde beispielsweise Strom aus solarer Erzeugung in Nordafrika, Spanien und den südeuropäischen Ländern kombinieren mit Windenergie von der Atlantikküste und Speicherung in Pumpwasserspeichern in den alpinen Regionen. Ein solches System benötigt einen massiven Netzausbau im Hochspannungsbereich und ein zentralisiertes Lastmanagement.

Lokale Autarkie bildet im Gegensatz zum internationalen Szenario die kleinste Einheit. Hier geht es um die Autarkie bis hin zum einzelnen Gebäude. Damit steht die absolute Dezentralität im Vordergrund, was bedeutet, dass auch Speichermöglichkeiten für Strom und Wärme in diesem kleinen Maßstab bereitstehen müssten.

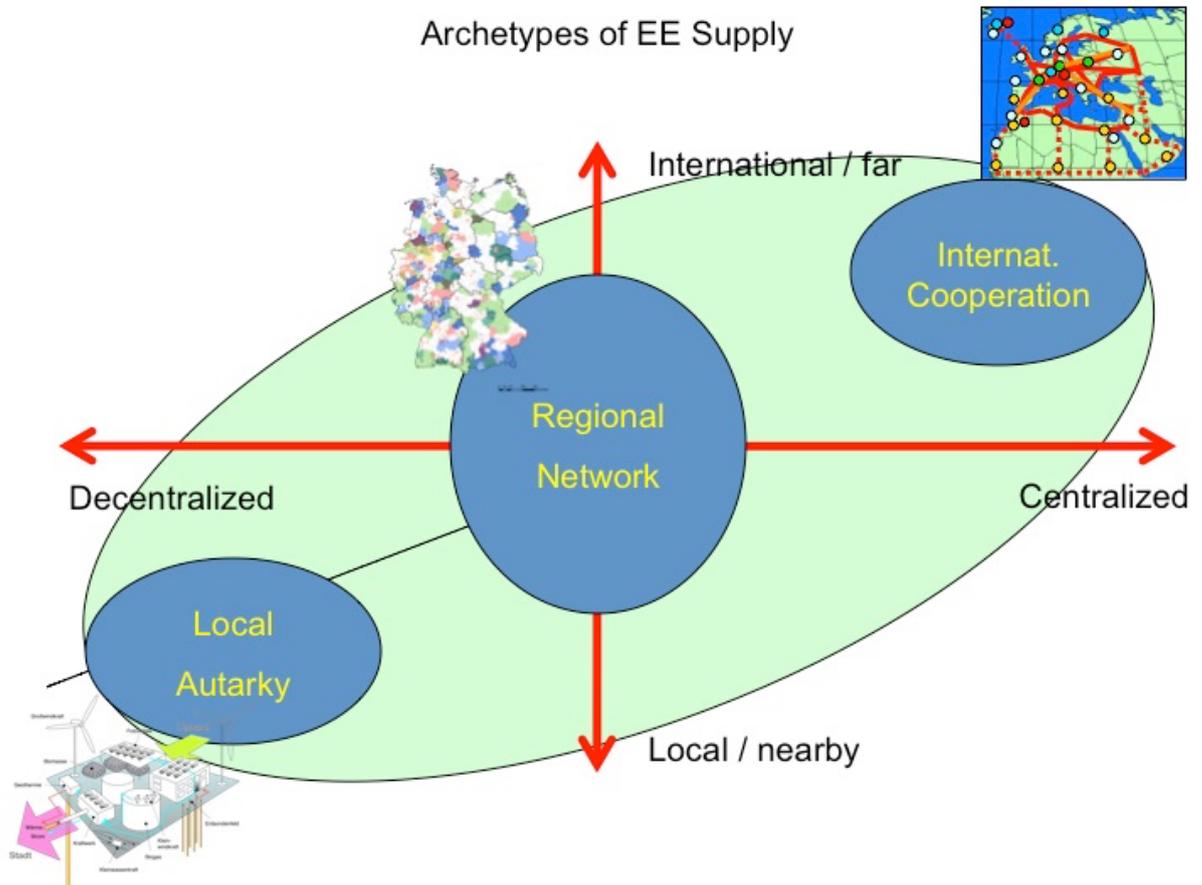


Abbildung 5: Erneuerbare Energie Szenarien Quelle: Lehmann, Harry Vorlesung Lüneburg 2011

Zwischen diesen beiden Szenarien liegt das Szenario der Regionen. Hier streben Regionen wie zum Beispiel Kommunen oder Landkreise danach ihre Energieversorgung möglichst regional zu erreichen. Dabei werden die energetischen Potentiale benutzt und je nach Struktur der Region in kleineren und mittleren dezentralen Anlagen produziert. Städte beziehen dabei ihre umliegenden Regionen mit ein, so dass auch Städte mit erneuerbaren Energien versorgt werden können. Insofern entspricht das Regionen Model einer Mischung von zentralen und dezentralen Anlagen.

1.5 Potentiale

Potentiale werden unterschieden in theoretische und technische Potentiale. Das theoretische Potential beschreibt dabei die gesamte theoretisch nutzbare Menge. Das theoretische Potential der erneuerbaren Energien ist damit fast unendlich groß und ist ein statischer

Wert. Eine erste Eingrenzung des theoretischen Potentials erfolgt durch die Möglichkeiten der Technik, also der Ermittlung des technischen Potentials. Es beschreibt die Menge des theoretischen Potentials, welche mit dem derzeitigen Stand der Technik nutzbar ist. Das technische Potential vergrößert sich mit jeglichen Innovationen und technologischen Entwicklungen. Damit ist das technische Potential einer Dynamik in Abhängigkeit von technologischem Fortschritt unterworfen.



Abbildung 6: Nachhaltige Potenziale Quelle: DENET, 2008

Eine weitere Eingrenzung des theoretischen Potentials erfolgt durch die Bereiche Ökonomie, Soziales/Akzeptanz und die Ökologie.

Das ökologische Potential wird gebildet durch den Ausschluss beziehungsweise die Minimierung von Umweltschäden durch den Einsatz von erneuerbaren Energien. Begrenzungen stellen weiter dar Naturschutz- und Landschaftsschutzgebiete und Vogelschutzgebiete. Beispielsweise sind Abstandsregelungen bei Windkraftanlagen zu Biotopen u.a. eine Eingrenzungsform des ökologischen Potentials. Aber auch die Nutzung von biotischen Ressourcen, wie Land und Wasser begrenzen die Potentiale der erneuerbaren Energien. Von den drei Bereichen, welche das nachhaltig erschließbare Potential bilden, ist das ökologische Potential das am wenigsten dynamische.

Die soziale Akzeptanz steht immer wieder im Vordergrund bei der Planung von erneuerbaren Energieanlagen. Gefühlte Beeinträchtigungen und auch Emotionen wie Ängste und Unsicherheit sind ernst zu nehmen und die betroffenen Beteiligten sind in offene Planungsprozesse möglichst von Anfang einzubinden. Nichts destotrotz erfordert die Energiewende, die Bereitschaft aller Bürger, sich mit der Thematik auseinander zu setzen und

auch gewisse Beeinträchtigungen zu tragen. Gesetzliche Regelungen wie wiederum Abstandsregelungen bei Wind zu Siedlungen und Ortschaften tragen der Problematik Rechnung. Die soziale Akzeptanz ist aber auch abhängig vom technischen Fortschritt, gerade die Reduzierung der Lautstärke von Windenergieanlagen durch eine verbesserte aerodynamische Form der Flügel kann eine Akzeptanzhöhung mit sich bringen. Das ökonomische Potential wird im Bereich erneuerbare Energien stark von der bundespolitischen Gesetzgebung bestimmt und der damit verbundenen Investitionssicherheit bestimmt. Gleichzeitig sinken die Kosten pro kW installierter Leistung kontinuierlich, durch Konkurrenz der Hersteller, etablierter Systeme u. a Faktoren. Weiter ist das ökonomische Potential stark abhängig von den Kosten fossiler Energieträger, hier sei vor allem der Öl- und Gaspreis genannt. Ein in Zukunft kostentreibender Faktor der fossilen Energieträger werden die CO₂-Zertifikate und ihre zukünftige Preisentwicklung sein. Die Berechnung von Kosten für die Energiewende gestaltet sich daher als sehr schwierig aufgrund der starken Volatilität der beeinflussenden Märkte, und der Nichtvorhersehbarkeit von politischen Entscheidungen. Eine Kostendarstellung ist daher immer eine Momentaufnahme und berücksichtigt oben erwähnte Faktoren ebenso wenig wie den technischen Fortschritt.

Es zeigt sich, dass die Bereiche Ökonomie, Soziales und Ökologie eine starke Dynamik aufweisen, wodurch die Schnittstelle der drei Bereiche, das nachhaltig erschließbare Potential, ebenfalls veränderbar ist.

In dieser Studie wurden diverse Eingrenzung vor allem beim ökologischen Potential und auch der sozialen Akzeptanz vorgenommen. Die Eingrenzungen wurden nach einer Relevanzprüfung des Autorenteam vorgenommen.

2 Untersuchungsraum Stadt Oranienbaum-Wörlitz

2.1 Geographische Lage und Naturraum

Die Stadt Oranienbaum-Wörlitz liegt westlich im Landkreis Wittenberg, des östlichsten Landkreises im Land Sachsen-Anhalt.

Die Stadt Oranienbaum-Wörlitz erstreckt sich über eine Fläche von 116 Quadratkilometern. Die Kommune ist insbesondere durch seine Naturräume und seine historischen Gartenanlagen, sowie den historischen Gebäudebestand geprägt.

Große Teile Gebietes liegen innerhalb des Biosphärenreservats Mittelelbe, welches Teil des UNESCO-Biosphärenreservats Flusslandschaft Elbe und damit Bestandteil der Welt-erbe-Region Anhalt-Dessau-Wittenberg gehört. Im Süden liegen die nördlichen Ausläufer der Dübener Heide. Historische Siedlungsstrukturen und die Erhaltung einer ganzen Reihe von Baudenkmalern und geschlossenen historischen Orts- und Stadtkernen prägen die Stadt Oranienbaum-Wörlitz in allen Ortsteilen. Damit erfüllt der Untersuchungsraum als Naherholungsgebiet „raumbedeutende funktionale Eigenschaften“ (Jessel/Tobias, 2002) sowohl für die Städte Berlin und Leipzig als auch das näher gelegene Dessau. Ca. 30% der Fläche sind Wälder, weniger als 50% der Fläche der Stadt werden landwirtschaftlich genutzt.

Die Stadt Oranienbaum-Wörlitz besteht aus den Ortsteilen: Brandhorst, Gohrau, Golte-witz, Griesen mit Drehberg und Münsterberg, Horstdorf, Kakau, Kapen, Oranienbaum, Rehsen, Riesigk mit Rotehof und Schönitz, Vockerode und Wörlitz.

2.2 Bevölkerung

Die Stadt Oranienbaum-Wörlitz ist heute von 8.300 Menschen besiedelt. Das entspricht einer Dichte von 72 Einwohnern je km². Damit liegt die Bevölkerungsdichte etwas über dem Durchschnitt des Landkreises Wittenberg mit 64 Einwohnern je km², aber deutlich unter dem Mittelwert der Einwohnerdichte des Landes Sachsen-Anhalt (107 Einwohnern pro km²) und Deutschland (232 Einwohnern pro km²) (Statistische Ämter, 2021 und 2022).

2.3 Infrastruktur

Die Stadt Oranienbaum-Wörlitz wird infrastrukturell durch die Verkehrsanbindung an die Metropolen Berlin und Leipzig über die Bundesautobahn A9 geprägt. Anschluss an die Autobahn durch die Gebietsfläche verlaufend ist die Bundesstraße 107, erst in Ost-West-Richtung von der Autobahn bis Oranienbaum verlaufend, dann nach Süden abknickend. Ansonsten ist die Infrastruktur von Land-, Kreis- und kommunalen Straßen geprägt, welche insgesamt eine Fläche von 178 ha benötigen. Eine Buslinie (310) verbindet

die Region mit der Stadt Dessau, zudem fährt eine Bahn auf der historischen Eisenbahnlinie von Dessau über Oranienbaum nach Wörlitz.

Das Stromnetzgebiet der Stadt Oranienbaum-Wörlitz wird derzeit von Envia Mitteldeutsche Energie AG betrieben.

3 Erneuerbare Energien - Grundlagen

3.1 Photovoltaik

Photovoltaikmodule zeichnen sich durch verschiedene Eigenschaften aus und reagieren unterschiedlich auf gegebene Verhältnisse wie Strahlung, Verschattung, Ausrichtung und Temperatur. Eine Photovoltaikanlage arbeitet grundsätzlich am besten bei 25°C. Darüber hinaus wird Energie zur Kühlung der Anlage benötigt.

Die kleinsten Elemente einer Photovoltaikanlage sind die einzelnen Solarzellen, die miteinander verschaltet die sogenannten Solarmodule ergeben. Die Verschaltung ist notwendig, um eine genügend hohe Spannung zu erreichen, da in einer Solarzelle (Silizium) lediglich 0,5 Volt erzeugt werden (Stempel, 2007). Module, die sich auf der gleichen Tragfläche befinden, werden zu Paneelen verbunden, die in Reihe geschaltet die sogenannten Strings ergeben. Die Strings werden miteinander parallelgeschaltet und ergeben die größte Einheit, den Generator.

Zur Funktionsfähigkeit einer Photovoltaikanlage gehören Stromkabel, Befestigungssysteme, Blitzableiter und vor allem ein passender Wechselrichter, um den erzeugten Gleichstrom in Wechselstrom umzuwandeln und ins Netz einspeisen zu können (Hennicke/Fischedick, 2007). Innerhalb der Solarzelle sorgt ein dünnes Gitter an der Oberseite und eine leitende Beschichtung auf der Unterseite für die elektrische Leitfähigkeit. Es ist dabei darauf zu achten, das Gitter auf der Oberseite möglichst dünn und klein zu halten, um die Eigenverschattung zu reduzieren. Damit möglichst wenig Strahlung reflektiert, wird zusätzlich eine Antireflexschicht aufgetragen (Haselhuhn, 2005).

In der Solarzelle beginnt der Vorgang der Stromerzeugung. Der Aufbau dieser ist immer ähnlich. Man benötigt zwei unterschiedlich dotierte Halbleitermaterialien, um einen Ladungsunterschied zu erzeugen, der zur Ausprägung eines elektrischen Potentials führt. Dieses kann in elektrische Energie umgewandelt und genutzt werden. Beim Auftreffen der Sonnenstrahlung werden Elektronen in einen angeregten Zustand gebracht und sind frei beweglich, sodass ein Elektronenfluss entstehen kann. Dadurch, dass die beiden Schichten durch eine Grenzschicht getrennt sind, kann sich ein elektrisches Potential ausbilden. Dieser Vorgang geschieht innerhalb der Raumladungszone, die sich zwischen der positiv dotierten n-Schicht und der negativ dotierten p-Schicht ausbildet. Die durch die Strahlung angeregten, frei beweglichen Elektronen fließen in Richtung positiver n-Schicht, während die Elektronenlöcher zur p-Schicht diffundieren. Dieser Spannungsunterschied lässt sich durch Verbindung der beiden Schichten nutzen. Es fließt Strom, da sich Ladungen ausgleichen (Hufnagel, 2010). Leider lässt sich durch dieses Verfahren nur ein Bruchteil der auftreffenden Energie nutzen. Photovoltaikanlagen erreichen nach dem heutigen Stand der Technik im besten Fall einen Wirkungsgrad von 20%. Das liegt

vor allem daran, dass viel Energie durch Umsetzung und Verschattung verloren geht (Haselhuhn, 2005). Trotz der geringen Wirkungsgrade ist von Photovoltaikanlagen nicht abzuraten. Ganz im Gegenteil: Es wird Energie genutzt, die unendlich vorhanden ist. Es werden also keine endlichen Ressourcen verbraucht. Deshalb ist selbst ein Wirkungsgrad von nur 10% noch lohnend, da Energie umgesetzt wird, die ansonsten einer technischen Nutzung verloren geht. Die unterschiedlichen Solarmodultypen, auf die im Folgenden eingegangen wird, unterscheiden sich vor allem in ihren Wirkungsgraden.

3.1.1 Modultypen

Monokristalline Module

Monokristalline Solarzellen sind regelmäßige Kristallstrukturen aus Silizium, bei denen einige Siliziumatome durch Fremdatome ersetzt werden (dotieren), um zwei unterschiedlich dotierte Schichten zu erhalten. Häufig wird Phosphor für die negative Unterschicht (p) und Bor für die positive Oberschicht (n) verwendet.

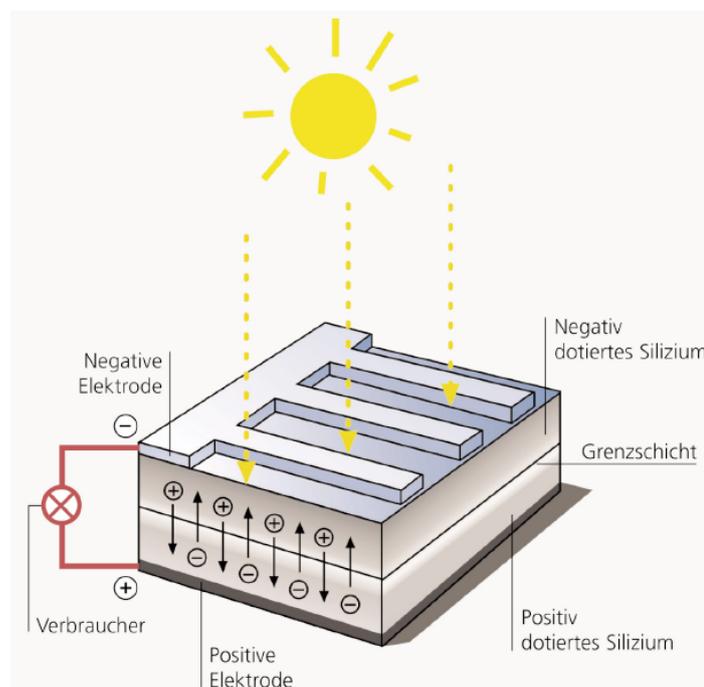


Abbildung 7: Funktionsweise einer monokristallinen Solarzelle

Quelle: Witzel/Seifried, 2003

Diese Art von Solarzellen besteht aus einem einzigen Siliziumkristall und lässt sich deshalb an ihrer einheitlichen schwarz-blauen Struktur erkennen. Sie besitzt einen Wirkungsgrad von 14-18% und braucht verhältnismäßig wenig Fläche von 5-7,5 m² pro kWp Leistung (Kilowatt Peak, vgl. 0 Leistung von Photovoltaikmodulen). Durch das relativ aufwendige Herstellungsverfahren amortisiert sich dieser Solarmodultyp energetisch betrachtet nach ca. 7 Jahren (Seltmann, 2009).

Polykristalline Module

Auch polykristalline Solarzellen bestehen hauptsächlich aus Silizium. Sie werden aus Siliziumblöcken hergestellt und sind aus diesem Grund nicht so einheitlich in ihrer Struktur, was sich auch im niedrigeren Wirkungsgrad von 13-15% widerspiegelt. Für ihre Funktionsfähigkeit benötigen diese rund 6-9 m²/kWp. Mono- und polykristalline Solarzelltypen sind am weitesten verbreitet. Der niedrigere Wirkungsgrad der Polykristallinen gegenüber den Monokristallinen wird durch niedrigere Herstellungskosten und geringeren Energiebedarf ausgeglichen. Deshalb amortisieren sich die polykristallinen Solarzellen wesentlich schneller (3-4 Jahre) (Hennicke/Fischedick, 2007).

Dünnschichtmodule

Immer weiter verbreitet sind Module mit Dünnschichttechnologie. Hierbei wird auf ein Trägermaterial eine dünne Schicht Halbleiter aufgetragen. Der Vorgang geschieht im Gaszustand. Es entsteht ein komplettes Solarmodul, das später durch Laser in einzelne Zellen getrennt wird. Das Besondere ist, dass nur rund 1-2% des Siliziums der Menge von kristallinen Zellen benötigt wird. Zudem besitzen Dünnschichtmodule eine wesentlich höhere Verschattungs- und Temperaturtoleranz. Durch ihre Flexibilität in der Form, lassen sich Flächen besser ausnutzen. Auch eine gewisse Transparenz, wie z.B. für Dachfenster, liegt im Bereich des Möglichen (Haselhuhn, 2005).

Die Amorphe Siliziumzelle (a-Si) ist eine Form, die Dünnschichttechnologie zu nutzen. Diese ressourcenschonende Herstellungsweise hat sich schon in Taschenrechnern bewährt und zeichnet sich durch einen Wirkungsgrad von 6-8% und Flächenbedarf von 12-24 m²/kWp aus. Eine Amortisationszeit von unter drei Jahren ist beachtlich. Das Besondere ist eine undotierte sogenannte i-Schicht, die sich zwischen der n- und p-Schicht befindet. Die *pin*-Struktur verhindert, dass sich die freigewordenen Elektronen direkt wieder rekombinieren. Der geringe Wirkungsgrad lässt sich mittels Stapelzellen erhöhen. Bei diesen werden mehrere Dünnschichtzellen übereinandergestapelt, wobei jede auf ein anderes Spektrum spezialisiert ist, d.h., dass jede Zelle einen anderen Farbbereich des Lichts absorbiert und so effizienter die Strahlung nutzt. So lässt sich mit dieser Methode ein Rekordwert von 10,2% erreichen (Haselhuhn, 2005).

Dünnschichtmodule können auch mit der Kupfer-Indium-Selenid (CIS) bzw. Cadmium-Tellurid-Technologie (CdTe) hergestellt werden. Bei der CIS Technologie agiert eine Kupfer-Indium-Selenid-Schicht als p-Schicht und eine Cadmium-Sulfid-Pufferschicht als n-Schicht. Der Wirkungsgrad dieser Zellen liegt bei 8-10% und der Flächenbedarf bei 10-13 m²/kWp. Die CdTe Solarzelle besteht aus einer Cadmium-Sulfid-Schicht (n) und einer Cadmium-Tellurid-Absorberschicht (p). Sie erreicht Wirkungsgrade von 6-8% bei einem Flächenbedarf von 13-17 m²/kWp (Haselhuhn 2005).

Mit dem Energiewechsel und der Notwendigkeit einer alternativen Stromerzeugung wird sich in den nächsten Jahren mit hoher Wahrscheinlichkeit im Bereich der Solarforschung einiges bewegen und neue und effizientere (energetisch und wirtschaftlich) Methoden entwickelt und weiterentwickelt werden, sodass alternative Energiequellen konventionelle bald vollständig und sicher ablösen können. Eine Entwicklung allein bis 2010 zeigt die folgende Grafik.

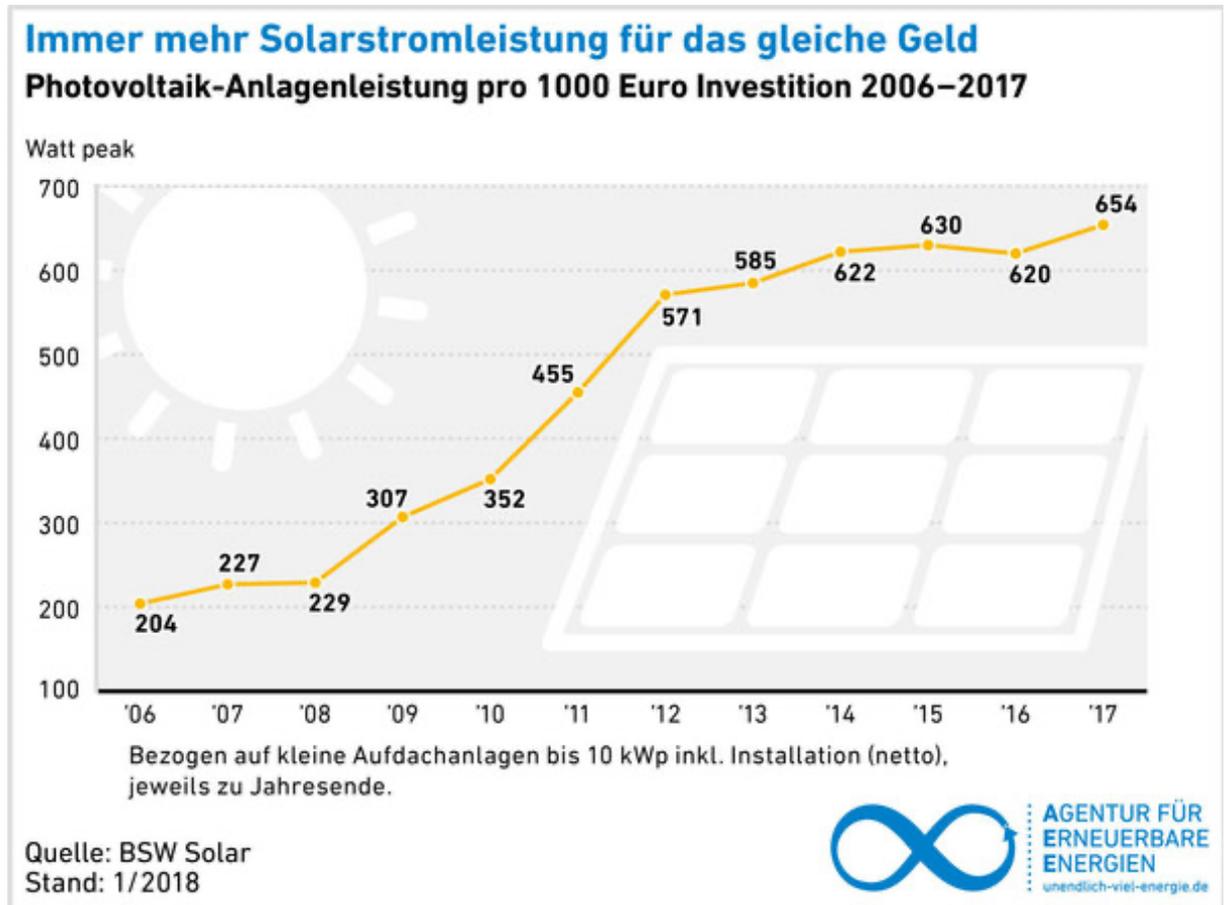


Abbildung 8: Entwicklung der PV Anlagenleistung

Leistung

Die Leistung von Photovoltaikmodulen wird über ihre Nenn- bzw. Peakleistung (kWp) beschrieben. Diese ist an Standardbedingungen von 25°C, einer Globalstrahlung von 1000 W/m² und AM von 1,5 (Luftmassezahl für Europa) gebunden.

Nach Schwister (2003) gilt:

$$\text{Peakleistung [Wp]} = \text{Globalstrahlung} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] \times \text{Fläche Zelle [m}^2\text{]} \\ \times \text{Wirkungsgrad}$$

Die Leistung eines Photovoltaikmoduls ist demnach immer von den äußeren Bedingungen, wie der Globalstrahlung, und deren eigener Größe und dem Wirkungsgrad abhängig. Mit Hilfe der dargestellten Gleichung lässt sich die Leistung eines Moduls abschätzen. Zu beachten sind hierbei unterschiedliche Temperaturen und Globalstrahlungswerte, die die reale Leistung der Module stark beeinflussen (Schwister, 2003). Vereinfacht kann man annehmen, dass 1000 Watt Peak Leistung mit einer rund 10 m² großen Photovoltaikanlage erreicht werden können. Wobei die benötigte Fläche je nach Modulart variiert. Monokristalline Module benötigen eher weniger Fläche, Dünnschichtmodule hingegen eher mehr (Brück, 2008). Die Annahme von 5 m²/kWp wird für die Bestimmung der Leistung der einzelnen Solargeneratoren genutzt, die später für den Finanzteil benötigt wird.

3.2 Wind

Obwohl die Nutzung der Windkraft über große Windenergieanlagen in der Stadt Oranienbaum-Wörlitz nicht möglich sein wird, soll der Vollständigkeit halber trotzdem in diesem Kapitel die Grundlagen erklärt werden.

Windkraft nutzt die kinetische Kraft der Winde. Diese strömenden Luftmassen entstehen durch Druckunterschiede, bzw. als Ausgleicherscheinung zwischen Lufträumen über erwärmten und abgekühlten Erdoberflächen. Die Rotorblätter der WEA werden durch diesen Wind nach dem (Widerstands- bzw.) Staudruckprinzip in Bewegung versetzt (Watter, 2011; Kaltschmitt, 2006), die Nabe dreht sich um ihre Achse und der Wind wird in seiner Geschwindigkeit reduziert, jedoch nicht vollständig. Ihm wird lediglich ein Teil seiner Leistung entzogen (Quaschnig, 2007).

Die Windenergie wird dabei über drei Energiezustände umgewandelt: die windeigene Bewegungsenergie in eine rotatorische, und diese, oft mittels Getriebe, in elektrische per Generator, bzw. Transformator.

Dass eine vollständige Entziehung der Energie des Windes durch Windkonverter nicht zustande kommt, ergibt sich aus dem Betz'schen Leistungsbeiwert als prozentuale Angabe der aus dem Wind entnommenen Leistung geteilt durch dessen Gesamtleistung (ebd.; Kaltschmitt et al., 2006). Somit liegt der Wirkungsgrad einer WEA bei maximal 59,3%.

WEA sind jeweils für bestimmte Windgeschwindigkeiten ausgelegt. Unterhalb dieser könnte ihre Steuerung mehr Energie verbrauchen, als sie erzeugen kann. WEA werden daher mechanisch per Bremse am Anlaufen gehindert, bis die Windgeschwindigkeit einen definierten Startpunkt erreicht (Quaschnig, 2007).

Ferner ist zu beachten, dass die Leistungsdichte des Windes mit seiner Windgeschwindigkeit zunimmt: beträgt die Windleistung weniger als 1 W/m² bei 1 m/s, so erreicht sie

bei Sturmstärke mit 30 m/s $16,6 \text{ kW/m}^2$ (Quaschnig, 2007); Faktor 30 in der Geschwindigkeit zieht umgerechnet ca. Faktor 16.000 in der Leistung mit sich. Diese steigt daher nicht linear an, sondern exponentiell. Je laminarer zudem die Windströmung ist, d.h. je weniger Turbulenzen auftreten, desto weniger müssen WEA ihre Stellung zur sich verändernden Windrichtung ausrichten. Dies ist zumeist an den Küstengebieten der Fall (Quaschnig, 2007).

3.2.1 Standortfaktoren für Windanlagen

Ein Problem der Windstromerzeugung hängt mit der in der jeweiligen Geländebeschaffenheit (Orografie) zusammen: Je mehr Hindernisse in Form von Bewuchs, geologischen Formationen oder Gebäuden sich in der Nähe von WEA befinden, desto geringer wird i. d. R. die Windgeschwindigkeit. Zusätzlich belasten Turbulenzen die Rotorblätter sowie die Antriebseinheit, je geringer die Gesamthöhe ausfällt (BWE, 2010). Dies gewinnt für das Repowering an Relevanz, da hier die Turmhöhe und Rotorradien leistungsbestimmend werden. WEA-Eigner sind daher prinzipiell bemüht, ihre Anlagen in möglichst großer Höhe zu betreiben, um genannten Effekte zu minimieren.

Analog zur Orografie des avisierten Standortes verändert sich die Rauigkeitslänge, die in Meter mit 0,0002 für die Meeresoberfläche bis 2 für Großstadtbebauung angegeben wird. Verlustbedeutsam sind demnach besonders Standorte mit Wäldern, bzw. Ortschaften die in der Hauptwindrichtung liegen (Quaschnig, 2007). Sie sorgen für Verwirbelungen und drosseln so die Windgeschwindigkeit (Keppler, 2008).

Schwankungen in der Erzeugung des Windstromes an einem Standort ergeben sich aus verschiedenen Gesichtspunkten: Zum einen sind unterschiedliche Temperaturen nachts und tagsüber für Druckschwankungen verantwortlich, und zum anderen die verschiedenen Jahreszeiten. Besonders Herbst und Winter sorgen durch erhöhte Sturmereignisse für größere Strommengen. Zusätzlich werden Auswirkungen des Klimawandels deutlich. Während noch in den 80'er Jahren des vergangenen Jahrhunderts die Windvorhersagen eher saisonal gleichbleibend waren, sind sie gegenwärtig unregelmäßiger geworden; Windstillen wie stärkere Böigkeiten treten vermehrt in Erscheinung, das Wetter wird mit Blick auf die Verschiebung der Jahreszeiten extremer (Keppler, 2008; BMU, 2008).

Der für Windgutachten meist genutzte Faktor ist die Weibull-Verteilung, mit der zur statistischen Ermittlung der Häufigkeit des Auftretens vorherrschender Windrichtungen gleichfalls die mittlere Windgeschwindigkeit bestimmt werden kann (Kaltschmitt et al., 2006). Eine Ausführung der Rayleigh-Verteilung wird daher hier nicht weiter ausgeführt. In 30-40 m (Naben-) Höhe nahe der Küste enthält der Wind ca. 320 W/m^2 Flügelfläche bei einer Weibullverteilung (A) von rund 7 m/s. In der norddeutschen Tiefebene kommen davon mit ca. 5,5 m/s (A) nur noch 170 W/m^2 an (Heier, 2009). Hieraus ist erkennbar,

dass sich bei einer geringen Reduzierung der Windgeschwindigkeit von 1,5 m/s der Energieinhalt nahezu halbieren kann.

Zum Verständnis unterschiedlicher Windgeschwindigkeiten in den verschiedenen Nabenhöhen werden nachfolgend die beiden bestimmenden Teile der bodennahen Luftschicht, der sog. Planetary Boundary Layer (PBL) erläutert.

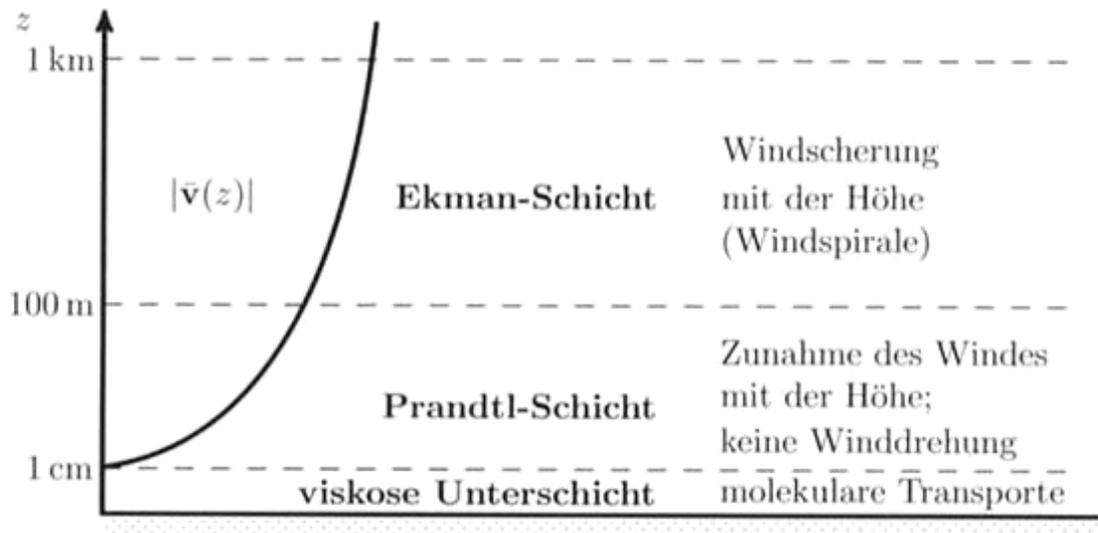


Abbildung 9: - Aufbau der atmosphärischen Grenzschicht

Quelle: Freie Universität Berlin, 2009

Die Prandtl- und die Ekman-Schicht sind deren Bestandteil, wobei sich die Prandtl-Schicht witterungsabhängig meist in Höhen bis 100 m erstreckt. In ihr mindern tieferliegende, durch Bewuchs, geologische Gegebenheiten oder Bebauung gebremste langsamere Windströmungen die darüber liegenden schnelleren (Windscherung) (Kaltschmitt, 2006). Diejenige Schicht, die für WEA Betreiber interessanter ist, ist daher die Ekman-Schicht: Sie befindet sich oberhalb der Prandtl-Schicht und dehnt sich bis in 2 km Höhe aus. Die Reibung durch Turbulenzen nimmt aufgrund geringerer Hindernisse mit der Höhenausdehnung ab, sodass den stetigeren Winden hier ein vergleichsweise höheres Potential innewohnt (Freie Universität Berlin, 2009). **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt, dass mit der Höhe auch die horizontale Windgeschwindigkeit zunimmt und so höhere WEA einen höheren Ertrag erreichen können.

Tauchen WEA mit einer Nabenhöhe von über 100 m demnach in die Ekman-Schicht ein, so ist der Stromertrag um 20% steigerbar (Geitmann, 2010). Ferner ist bei einer doppelten Windgeschwindigkeit Faktor acht in der Leistung möglich (AEE, 2011).

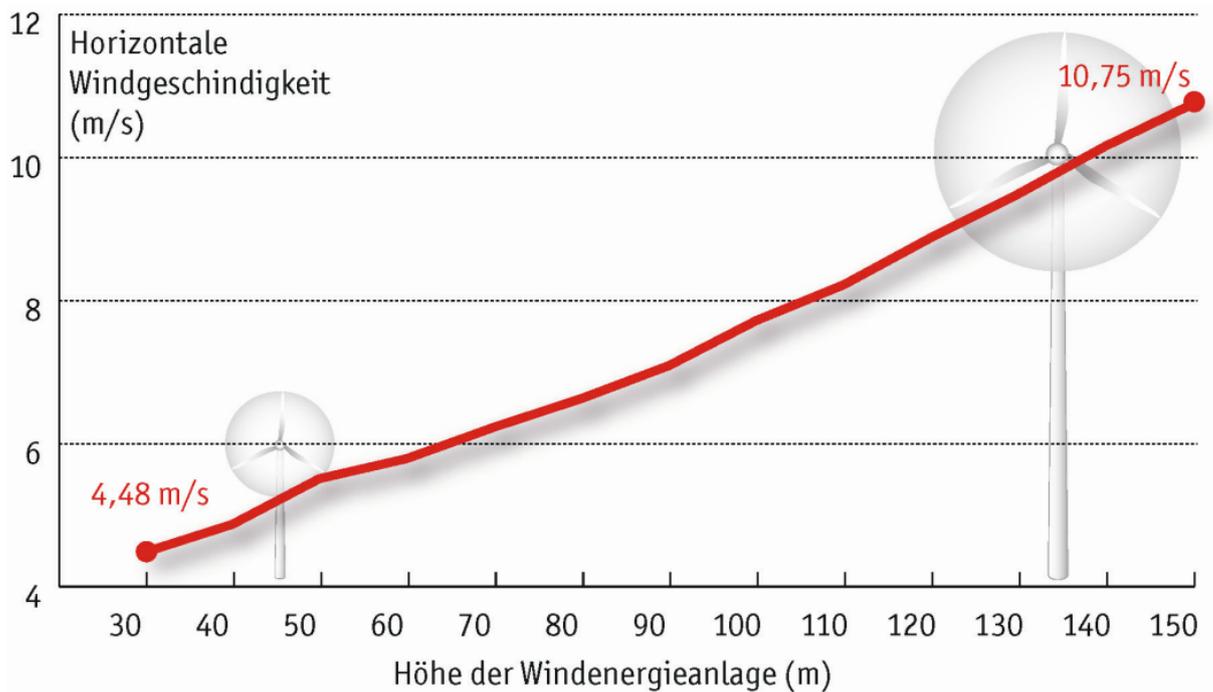


Abbildung 10- Abhängigkeit Turmhöhe und Windgeschwindigkeiten

Quelle: BWE, 2009

3.2.2 Funktion und Aufbau von WEA

In der folgenden Beschreibung von WEA wird von folgenden Gegebenheiten des Aufbaus ausgegangen: Der Rotor besteht aus drei Blättern, die an einer horizontalen Achse hängen, dabei variiert die Rotordrehzahl prinzipiell entsprechend der Windgeschwindigkeit. Grundsätzlich besteht der Aufbau einer WEA aus einem Turm, welcher in einem Fundament im Boden verankert ist, einer am Turmkopf aufsitzenden Gondel mit Maschinenhaus und i. d. R. einem Getriebe, sowie einer Nabe, an der die zumeist drei Rotorblätter montiert sind. Die Steuerung befindet sich in der zugänglichen Turmbasis (Kaltschmitt et al., 2006).

Ähnlich der Funktionsweise eines Fahrraddynamos erfolgt die Übertragung der Energie der sich drehenden Nabe in Strom. Bis zur Netzkoppelstelle erfolgt die Übertragung meist über Spannungsleitungen und einen Transformator, der die vom Netzbetreiber geforderte Spannung -zumeist Mittelspannung (Geitmann, 2010) - und Frequenz einstellt (Kaltschmitt et al., 2006).

Nach Berechnungen von Betz und Glauert liegt der optimale Wirkungsgrad von WEA bei 59,3%. Dieser (theoretische) Wert wird erreicht, wenn der Wind auf 1/3 seiner ursprünglichen Geschwindigkeit abgebremst wird. Praktisch treten noch weitere Verluste auf z.B. durch Reibung und bei der Energieumformung, d.h. der tatsächliche optimale

Wirkungsgrad von modernen Anlagen liegt bei ca. 50%. (Keppler, 2008; Kaltschmitt et al., 2006).

Dreiblattrotoren haben sich in der Vergangenheit als die geräuschlosesten Einheiten erwiesen. Sie bieten, was Unwuchteffekte angeht, eine höhere Stabilität als Ein- und Zweiflügler. Zudem ergibt sich bei dieser Bauform ein physikalisch-ökonomisches Optimum (Kaltschmitt et al., 2006; Quaschnig, 2007). Daher ist die dreiflügelige Bauform in der Multimegawattklasse am Häufigsten vertreten und soll hier Grundlage der Betrachtung werden. WEA fangen bei Windgeschwindigkeiten ab ca. 11 km/h an zu drehen und erreichen ab ca. 50 km/h ihre volle Leistungskraft (Geitmann, 2010) „alles was darüber hinausgeht, wird bis zur Abschaltgeschwindigkeit auf die Nennleistung abgeregelt“ (ebd.) durch *pitchen* oder bei kleineren WEA durch ein gewolltes Abreißen der Strömung am Rotorprofil (*Stall*) (Watter, 2011).

Die Rotoren gängigerer WEA sind *luv*, also windzugewandt ausgerichtet; der Rotor befindet sich *vor* dem Turm. In dieser Arbeit wird ausschließlich dieser Typ der WEA betrachtet, da die Leistungsausbeute der *Lee*-Variante unter Abschattungseffekten durch den vorstehenden Turm gestört wird. Deren Folge sind Druckschwankungen die auf den Rotor wirken und diesen suboptimal laufen lassen. Zusätzliche negative Auswirkungen waren schwankende Auslastung und Geräuschentwicklung (Quaschnig, 2007; Geitmann, 2010).

Als Sicherheitsmerkmal sind an WEA Notabschaltsysteme obligatorisch, die mit dem Verdrehen der Rotorblätter von 90 Grad in den Wind einen weiteren Auftrieb verhindern, und so die Anlagenleistung auf null drosseln. Dies kommt besonders bei Netzüberlastung des Betreibers und drohender Überlast durch Stürme zum Tragen, wenn die maximale Leistungsauslegung der WEA überschritten würde (Kaltschmitt et al., 2006). Hierzu kann zusätzlich der Rotor per Azimutregelung aus dem Wind gedreht werden (Watter, 2011). Um unnötige netzseitige Abschaltungen zu vermeiden, sind bei der Planung des Repowerings möglichst Vorüberlegungen anzustellen, inwieweit das jeweilige Netz der nun erhöhten Einspeisung gewachsen sein wird.

Auf das Verdrehen der Rotorblattwinkel und damit die Blattlastverteilung, das sog. „*Pitchen*“ soll hier nur in der Grundfunktion eingegangen werden, da hier diverse physikalische Momente berücksichtigt werden müssen (Quaschnig, 2007). Durch Veränderung dieses Winkels bei Windgeschwindigkeiten an der Leistungsgrenze kann trotzdem noch die maximale Leistung aus dem Wind bezogen werden, was bei Anlagen ohne diese Einstellmöglichkeit anderenfalls zum Abschalten führen könnte.

3.2.3 Stand der Technik

Im Zeitraum von ca. 30 Jahren technischer Entwicklung wurde mit einer 200-fach gesteigerten Leistung ein um das über 550-fache (571) gesteigerter Ertrag erreicht.

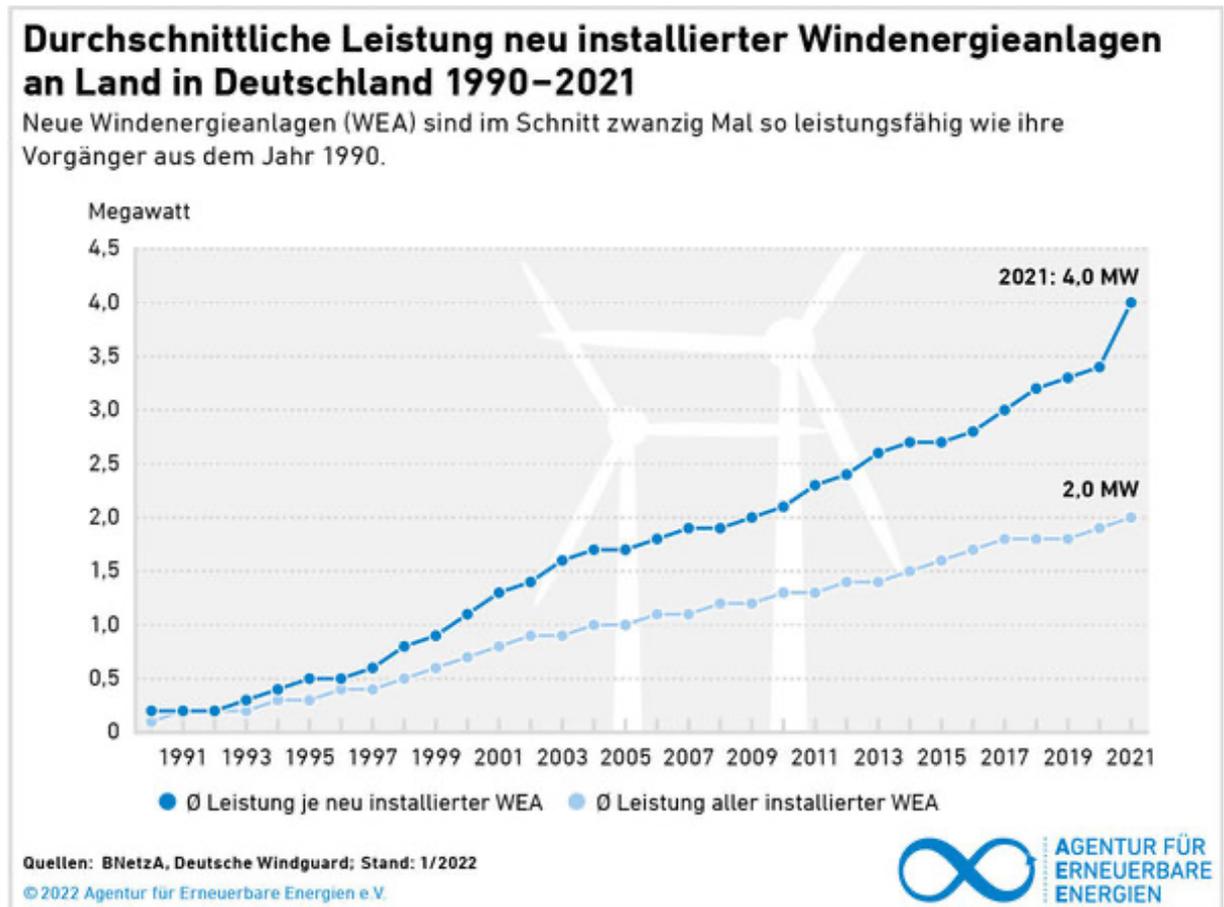


Abbildung 11: - Leistung WEA seit 1990

Bestimmend für die Auswahl einer WEA wird die Leistungskennlinie, die die generatorabhängige Leistung in Relation zur mittleren Windgeschwindigkeit innerhalb einer bestimmten Zeitspanne angibt (Kaltschmitt et al., 2006). Anhand dieser kann einem Windgutachten entsprechend die passende Anlage ausgewählt werden.

Tendenziell werden, ebenso durch die Tendenz zu mehr Repowering, höhere Anlagen gebaut; einerseits durch technischen Fortschritt, andererseits durch die Motivation, mit jedem Meter Bauhöhe (und entsprechend geringerer Rauigkeit) 1% mehr Energieausbeute zu erzielen.

Das Material der Rotorblätter besteht zumeist aus glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK) (Kaltschmitt et al., 2006).

Repowering lohnt sich zumeist bei veralteten Anlagen an guten Standorten. Je älter eine WEA, desto höher wird im Zuge der technischen Entwicklung der zu erwartende Ertrag ausfallen. In der Vergangenheit wurden verschiedene Repowering-Projekte in Schleswig-Holstein durchgeführt. Dabei konnte bei halbiertes Anlagenzahl die Leistung um mehr als das Doppelte gesteigert werden.

3.2.4 Wind im Wald

Innerhalb dieser Arbeit soll ergänzend die Alternative von WEA im Wald betrachtet werden. Mit Nutzung dieser Möglichkeit würde sich das Windpotenzial noch einmal vergrößern. Nach derzeitiger Landesgesetzgebung ist der Aufbau von WEA im Wald noch nicht möglich, obwohl sich Vorteile gegenüber der WEA außerhalb des Waldes ergeben. Die Beeinträchtigung durch Schall und Schattenwürfe auf den Menschen entfällt im Wald fast komplett, zusätzlich werden mit steigender Nabenhöhe auch die Auswirkungen auf Flora und Fauna minimiert. Trotzdem stellt die Abwägung der Windenergienutzung gegenüber dem Naturschutz eine anhaltende Debatte dar. Vor- und Nachteile sind im Einzelfall abzuschätzen.

3.3 Solarthermie

Die Solarthermie nutzt wie die Photovoltaik ebenfalls die Energie der Sonne, jedoch um Wärme und nicht Strom zu produzieren. Solarthermieanlagen oder -kollektoren erwärmen so Wasser und andere Wärmeträgermedien für den täglichen Warmwasser- oder Heizbedarf. Solarkollektoren eignen sich sowohl für den Einsatz bei industriellen Prozessen als auch für den Privathaushalt. Für eine dezentrale Warmwasserbereitung benötigt man bspw. eine Kollektorfläche von 4-8 m² und ein Speichervolumen von 300-500 l.

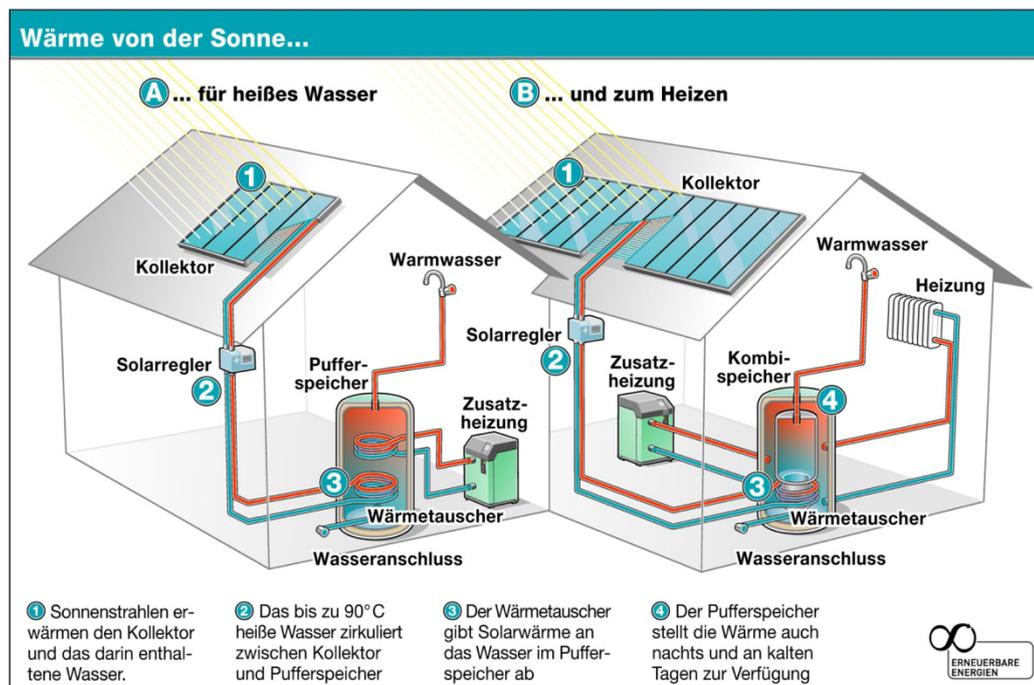


Abbildung 12: - Funktionsweise einer Solarthermieanlage Warmwasser- und Heizbedarf

Solarthermieranlagen bestehen zumeist aus einzelnen Modulen. Die Kollektoreinheiten umfassen dabei 2,5-10 m² Fläche, wenn nicht eine Indachlösung gewählt wurde (Eicker, 2012).

Alle Solarthermieranlagen beinhalten einen Absorber, der die kurzwellige Strahlung in Wärme umwandelt. Dabei ist vor allem wichtig, ein Material zu wählen, welches ein hohes Absorptionsniveau im Wellenbereich des sichtbaren Lichts aufweist. Diese Ansprüche erfüllen Metalle wie Aluminium oder Kupfer (Eicker, 2012). Diese Metalle müssen schwarz beschichtet werden, um Energie besser aufnehmen zu können. Dafür eignet sich eine selektive Beschichtung, die einerseits Strahlung absorbiert, andererseits aber wenig Wärme wieder zurückstrahlt. Der Absorber überträgt die Wärme an ein Wärmeträgermedium, das ihn in Röhren durchfließt und zwischen Kollektor und Wärmespeicher zirkuliert. Das Wärmeträgermedium muss zunächst eine hohe spezifische Wärmekapazität aufweisen und darf bei niedrigen Temperaturen nicht einfrieren. Es hat sich eine Wasser-Frostschutz-Mischung durchgesetzt, aber auch Luft oder Öl stellen eine mögliche Alternative dar (Quaschnig, 2010).

Ausgegangen vom einfachen Absorber, der sich für die Beheizung von Freibädern eignet, lassen sich nach Kaltschmitt et al. (2006) vier weitere Kollektortypen innerhalb der Gruppe der Flüssigkeitskollektoren unterscheiden: Flachkollektoren, Vakuumflachkollektoren, Vakuumröhrenkollektoren und Speicherkollektoren. Vakuumflachkollektoren und Speicherkollektoren werden bei der Betrachtung nur am Rande beleuchtet.

Flachkollektoren funktionieren ebenfalls nach dem Absorberprinzip, sind jedoch um eine Abdeckung ergänzt. Die auftreffende kurzwellige Strahlung trifft wie beim einfachen Absorber auf, mit dem Vorteil, dass langwellige vom Absorber abgestrahlte Strahlung in Form von Wärme zurückhalten wird. Dieses Prinzip führt zu weniger direkten Wärmeverlusten. Als Material hat sich Glas, in vielen Fällen auch Sicherheitsglas durchgesetzt, das durch eine infrarotreflektierende Schicht an der Unterseite noch mehr Wärme im Inneren halten kann.

Vakuumröhrenkollektoren bestehen aus von einem Vakuum umschlossenen Glasröhren. Der Absorber ist entweder als Metallstreifen in die Glasröhre eingelassen und wird vom Wärmeträgermedium direkt durchströmt oder dient als Beschichtung der Glasröhre (Wärmerohr). Beim Wärmerohr wird ein zusätzlicher Wärmetauscher benötigt, zu dem Wärme über ein Kältemittel transportiert wird. Dieses Kältemittel bspw. Methanol verdampft bei Wärmeaufnahme, steigt auf und kondensiert bei Abgabe der Wärme an das vorbeiströmende Wärmeträgermedium (Eicker, 2012; Quaschnig, 2010). Das Vakuumprinzip wirkt dämmend und so erreicht diese Art von Kollektor höhere Wirkungsgrade als Flachkollektoren. Allerdings sind sie in der Anschaffung, auf Grund der höheren Herstellungskosten, teurer. Speicherkollektoren ähneln den Flachkollektoren und vereinen Kollektor und Wärmespeicher. Es wird also direkt auf dem Dach Wasser erwärmt, was hohe Wärmeverluste zur Folge hat und eine zusätzliche Last auf dem Dach darstellt.

Den Flüssigkeitskollektoren stehen die Luftkollektoren gegenüber, die als Wärmeträgermedium Luft nutzen. Sie sind in Deutschland wenig verbreitet, da die Wärmeengewinnung hauptsächlich auf das Medium Wasser ausgelegt ist. Sie kommen beispielsweise bei Niedrigenergiehäusern mit Abluftwärmerückgewinnung zum Einsatz.

Die Effizienz von Solarkollektoren kann durch zusätzliche Spiegel, die die Strahlung auf der Absorberoberfläche konzentrieren, und auch die elektrische Nachführung (ein- oder zweiachsig) erhöht werden. Der Wirkungsgrad selbst hängt vor allem von der Art der Abdeckung, deren Beschichtung und weiteren Wärmedämmungsmaßnahmen ab, also von der Intensität der Einstrahlung und den Verlusten. Dies führt dazu, dass sich je nach Höhe der Temperaturdifferenz ein anderer Wirkungsgrad ergibt und sich somit eine Wirkungsgradkennlinie ergibt. Nach Quaschnig (2010) lässt sich die Kollektorwirkungsgradkennlinie wie folgt berechnen:

$$\eta = \eta_0 - \frac{k_1 \cdot \Delta \vartheta + k_2 \cdot \Delta \vartheta^2}{E}$$

η_0 beschreibt den optischen Wirkungsgrad, also die Strahlungsmenge, die es bis zum Absorber schafft ohne reflektiert zu werden. Typischerweise entstehen so Werte zwischen 0,7 und 0,9. Der Wärmeverlust wird über die beiden Verlustkoeffizienten k_1 und k_2 angegeben. $\Delta \vartheta$ gibt die Temperaturdifferenz von Kollektor zur Umgebung und E die auftreffende Globalstrahlung. So kann ein bspw. ca. 5m² großer Kollektor eine Leistung von 2500 Watt abgeben, welche ausreicht, um 100l 33,5°C warmes Wasser in einer Stunde auf 55°C zu erwärmen (Quaschnig, 2010).

Die einzelnen Kollektoren können in Reihe oder parallelgeschaltet werden. Die serielle Verschaltung hat zum Vorteil, dass höhere Temperaturen erreicht werden können, die jedoch auch zu höheren Temperaturunterschieden im Gegensatz zur Außenluft und somit zu größeren Wärmeverlusten führen. Trotzdem sind diese zu empfehlen, da sie eine gleichmäßige Durchströmung der Kollektoren gewährleisten (Kaltschmitt et al. 2006).

Ein wichtiger Punkt im Bereich der Solarthermie ist die Speicherung der erzeugten Wärme. Innerhalb eines Speicherkollektors kann die Wärme im integrierten Wasserspeicher über mehrere Stunden gehalten werden (Kurzzeitspeicher). Tagesspeicher haben ein höheres Fassungsvermögen wie bspw. Wasserkessel und speichern die Wärme von einem bis über mehrere Tage. Saisonspeicher können bei sehr großen Anlagen bspw. mit einem Aquiferspeichersystem realisiert werden (Kaltschmitt et al. 2006; BMU, 2011).

3.4 Biomasse

Generell werden alle Stoffe organischer Herkunft als Biomasse bezeichnet. Dazu zählen die Phyto- und Zoomasse, sowie daraus resultierende Abfallstoffe. Die Abgrenzung von Biomasse zu fossilen Energieträgern beginnt bereits mit dem Torf, der nicht mehr als

Biomasse angesehen wird. Phytomasse oder auch Pflanzenmasse wird überwiegend von Organismen gebildet, die im Stande sind sich selbst durch Photosynthese mit Energie zu versorgen. Bei der Photosynthese werden mithilfe von Chlorophyll und Licht aus CO_2 und Wasser Kohlenhydrate und Sauerstoff gebildet. Kohlenhydrate dienen der Pflanze einerseits zur Energiegewinnung, andererseits als Material zum Pflanzenaufbau, wodurch indirekt CO_2 in die Pflanzensubstanz eingearbeitet wird. Die Zoomasse wiederum gewinnt Energie durch den Abbau anderer organischer Substanzen, diese wird jedoch nicht weiter betrachtet (Kaltschmitt; Lewandowski, 2002).

Biomasse kann weiter in Primär- und Sekundärprodukte eingeteilt werden. Primärprodukte entstehen durch die direkte Nutzung der Sonnenenergie. In Bezug auf die energetische Nutzung von Biomasse zählen hierzu alle land- und forstwirtschaftlichen Produkte, sowie deren Rückstände und Abfälle, ebenso auch Abfälle aus Industrie und Haushalt. Sekundärprodukte sind die Abbau- bzw. Umbauprodukte organischer Substanz durch höhere Organismen, wie z.B. Gülle, die bei der Verdauung von Tieren entsteht (Kaltschmitt/Radtke, 1997). Biomasse unterschiedlicher Herkunft kann als fester, flüssiger oder gasförmiger Brennstoff aufbereitet werden.

3.4.1 Feste Biomasse

Die Brennstoffe aus fester Biomasse, sogenannte biogene Festbrennstoffe, werden durch Halmgüter oder holzartiger Biomasse bereitgestellt. Zu der holzartigen Biomasse gehören Durchforstungs- und Waldrestholz, schwache Rohholzsortimente, Holz aus Kurzumtriebsplantagen (KUPs), industrielle Holznebenprodukte, sowie Holzabfälle aus der Garten- und Landschaftspflege. In dieser Arbeit werden vornehmlich Durchforstungs- und Waldrestholz, sowie schwache Rohholzsortimente betrachtet und als feste Biomasse verstanden (Hartmann, 2002).

Für die Energieerzeugung stehen verschiedene Holzbrennstoffe zur Verfügung. Neben dem Scheitholz sind stärker mechanisch aufbereitete Sortimente wie Hackgut und Pellets zu nennen. Die Bereitstellungskette für alle Sortimente kann in die Abschnitte Biomasseproduktion bzw. -verfügbarmachung, Bereitstellung, Nutzung, sowie Verwertung bzw. Entsorgung der anfallenden Rückstände eingeteilt werden (Kaltschmitt, 2009). Im Folgenden soll hauptsächlich die forstliche Bereitstellung der verschiedenen Holzbrennstoffe aufgezeigt werden.

Bei der Bereitstellung von Biomasse als Brennstoff muss eine hohe Homogenität und Handhabbarkeit gewährleistet sein. Weiter müssen die Qualitätsanforderungen (z.B. Wassergehalt, Stückigkeit) der jeweiligen Feuerungsanlage erfüllt werden. Letztendlich muss der Brennstoff auch bei schwankendem Bedarf ständig verfügbar sein. Die Aufbereitung kann entweder in Stückgutbrennstoffe (Scheitholz) oder in Schüttgutbrennstoffe

(Hackgut, Pellets) erfolgen (Becher/Kaltschmitt, 1997). Dies lässt unterschiedliche logistische Lösungen zu. Die Arbeitsschritte bei der Bereitstellung von Scheitholz und Hackgut können wie folgt dargestellt werden: Fällen, Rücken (Sammeln), Trocknen, Lagern des Rohholzes, Zerkleinern (mit Sägen, Spaltern oder Hackern), Transport ins End- oder Zwischenlager und Lagern des fertigen Brennstoffs. Jedoch kann die Reihenfolge der Arbeitsschritte je nach Verfahren variieren (Hartmann/Höldrich, 2007). Die Sortimente zur energetischen Verwertung sind wie bereits erwähnt, schwache Sortimente und Abfälle, die bei Durchforstungsarbeiten und der Ernte anfallen und sich nichtstofflich absetzen lassen. Ein weiterer wichtiger Faktor ist der Wassergehalt des Holzes. Dieser ist jahreszeitabhängig und zwischen Januar und März mit 50% am geringsten, weswegen zu dieser Zeit die Ernte am sinnvollsten ist (Becher/Kaltschmitt, 1997). Um bei größeren Holzmenngen einen Käferbefall während der Trocknung zu vermeiden, sollte jedoch bereits im Herbst das Holz geschlagen werden. Somit ist im Frühling der Befall auf Grund der fortgeschrittenen Trocknung nicht mehr möglich (Kaltschmitt/Hartmann, 2009). Für die Holzernte und Pflegemaßnahmen ist eine Generalerschließung über Waldstraßen und eine Feinerschließung über sogenannte Rückegassen erforderlich. Feinerschließungen werden nur vorübergehend angelegt und dienen dem Transport von Holz vom Hiebort zur Abfuhrstraße, was als Rücken bezeichnet wird. Doch soll diese Erschließung zur Schonung des Waldbogens auf ein Minimum reduziert werden (Handstanger et al., 2006). Im Folgenden werden Scheitholz, Hackgut und Pellets vorgestellt.

Scheitholz

Für die Bereitstellung des Scheitholzes (auch Stückholz oder Brennholz genannt) werden generell alle beschriebenen Sortimente zur Energieholzherstellung genutzt. Die Bereitstellung kann im Detail sehr unterschiedlich geschehen. Im Arbeitsablauf ist jedoch das Rücken ein besonderer Kostenfaktor. Einerseits kann bei größeren Rückentfernungen das potentielle Scheitholz am Baum verbleibend vom Hiebort gerückt werden und erst später getrennt werden. Andererseits kann eine Trennung von Brennholz und Nutzholz auch direkt am Hiebort erfolgen. In diesem Fall wird das Scheitholz auch vor Ort grob aufgearbeitet und anschließend gerückt. Das Rücken kann händisch oder mit Seilwinden geschehen, teilweise auch noch mit dem Pferd. Ebenso kommen Erntemaschinen (Harvester) neben der Industrieholzernte, auch hier zum Einsatz. Wenn das Holz bei späteren Durchforstungen ein zu hohes Gewicht erreicht, kann nur noch maschinell oder mit dem Pferd gerückt werden (Kaltschmitt/Hartmann, 2009). Die Bereitstellung kann entweder vom Forstbetrieb selbst, Lohnunternehmern oder aber auch von sogenannten „Selbstwerbern“ vorgenommen werden. Selbstwerber sind private Personen die gleichzeitig auch Endnutzer sein können. Entweder bekommen sie ein „Flächenlos“ mit bereits markierten erntereifen Bäumen vom Förster zugewiesen, auf dem sie das Fällen, Aufarbeiten, Ablängen, Rücken, Spalten, Sägen und Transportieren in Eigenregie durchführen. Ebenso können auch Flächen zugewiesen werden, auf denen aufarbeitungsfähiger Schlagabraum

auf der Fläche verblieben ist. Die Aufarbeitung geschieht bis zu einer im Vorfeld festgelegten Aufarbeitungsgrenze, die meist bei der Derbholzgrenze von 7cm liegt. Äste mit einem geringeren Durchmesser müssen im Wald verbleiben. Neben der Selbstwerbung werden auch für Selbstabholer Scheitholz an der Waldstraße, meist in Meter- und Zwei-Meterholz, angeboten, die noch weiter in übliche Brennstofflängen (25, 33, 50 und 100 cm) gesägt und gespalten werden müssen. Am häufigsten ist Scheitholz mit 33 cm Länge (Hartmann/Höldrich, 2007). Die Trocknung und Lagerung von Scheitholz kann entweder kostengünstig im Wald oder aber aufbereitet beim Endnutzer geschehen. Ofenfertiges Scheitholz hat einen Wassergehalt von 20% (Kaltschmitt/Hartmann, 2009).

Hackgut

Die Bereitstellung von Hackgut (oder Hackschnitzeln) hängt besonders vom Mechanisierungsgrad ab. Nach der Ernte sollte das Holz zur Trocknung noch einige Monate im Wald verbleiben, damit Blätter und Nadeln abfallen können. Durch den Abfall wird ein vermehrter Nährstoffaustrag verhindert, der Wassergehalt verringert und eine Pilzsporenbildung bei der Lagerung vermieden. Es können generell entweder bestimmte Sortimenten (z.B. Schlagabraum oder Stammabschnitte) oder nach Entfernung des Reisholzes Vollbäume aus Durchforstungsmaßnahmen in Holzhackmaschinen zerkleinert werden. Als Hackgut wird vermehrt jedoch hauptsächlich Durchforstungsrestholz oder Schwachholz genutzt (Kaltschmitt/Hartmann, 2009). Es wird unterschieden in motormanuelle, teilmechanisierte und vollmechanisierte Verfahren. Wird bei den beiden ersten Verfahren das Fällen noch mit der Motorsäge durchgeführt, erledigen dies bei dem vollmechanisierten Verfahren spezielle Erntemaschinen (Harvester). Das Hacken kann entweder noch in der Rückegasse durch mobile Hacker oder an der Waldstraße durchgeführt werden, sollte jedoch nicht im Bestand durchgeführt werden, da hierbei der Boden durch die Hackmaschinen verdichtet wird (Hartmann, 2002). Das Hacken kann aber auch erst beim Zwischenlager oder Endnutzer geschehen, wobei der Durchsatz, die Größe und Leistung der Hackmaschine steigt, je weiter entfernt das Hacken vom Hiebort geschieht (Becher/Kaltschmitt, 1997). Je nach Trocknung weist Hackgut einen Wassergehalt von 20-65% auf (Hartmann/Reisinger, 2007).

Pellets

Da die Bereitstellung von Pellets im Vergleich zu den anderen Brennstoffen wesentlich aufwändiger ist und einen höheren Mechanisierungsgrad erfordert, fällt sie nicht unter eine forstliche Bereitstellung. Ebenfalls wird kaum frisches Rohholz für die Herstellung genutzt, da durch Rinde und den hohen Wassergehalt der Produktionsprozess aufwändiger wäre (Döring, 2011). Generell sind Pellets ein körniges, verdichtetes Schüttgut mit genormten Abmaßen, welches durch die Pressung trockener und feiner fester Biomasse entsteht. Die weitere Verarbeitung hat den Vorteil, dass der Brennstoff eine höhere Energiedichte, einen geringeren Wassergehalt von unter 10%, eine hohe Homogenität und

eine gute Dosierbarkeit aufweist. Doch sind die Produktionskosten wesentlich höher (Hartmann/Höldrich, 2007).

Die Energieholzmenge wird für die verschiedenen Sortimente in unterschiedlichen Volumeneinheiten angegeben. So wird Scheitholz in Raummetern (Rm) beziffert, wobei geschichtete 33-cm-Scheite betrachtet werden. Durch die Schichtung entstehen Luftzwischenräumen, dadurch entspricht ein Raummeter Buche nur etwa 0,62 Festmetern (Fm). Ein Festmeter ist ein Kubikmeter Massivholz ohne Luftzwischenräume. Ein Fm kann mit einem Erntefestmeter gleichgesetzt werden. Bei Kiefer liegt der Umrechnungsfaktor auf Grund der geringeren Dichte bei 0,65. Hackgut wird in Schüttraummetern [m^3 oder Srm] angegeben. Hier ist ein noch größerer Luftschluss zu berücksichtigen, wonach 1 m^3 nur etwa 0,41 Fm entspricht. Hier ist keine Unterscheidung zwischen den Baumarten nötig (Hartmann/Reisinger, 2007).

Heizwert und Wirkungsgrade

Um letztlich die aus der Biomasse erzeugbare Energiemenge ermitteln zu können, müssen die jeweiligen Energieinhalte und deren beeinflussende Faktoren bekannt sein. Hierzu wird der Heizwert der einzelnen Sortimente erörtert. Abschließend ist die Wahl der Feuerungsanlage und dessen jeweiliger Wirkungsgrad entscheidend, der die tatsächlich nutzbare Energie vorgibt.

Der Heizwert bezeichnet die Wärmemenge, die bei einer vollständigen Oxidation bereitgestellt wird, ohne die Kondensationswärme des im Abgas befindlichen Wasserdampfes zu berücksichtigen. Der Brennwert hingegen berücksichtigt diese Verdampfungswärme und ist dementsprechend höher als der Heizwert. Daher wird der Brennwert als oberer Heizwert H_o bezeichnet, wohingegen der Heizwert den unteren Heizwert H_u beschreibt. Allgemein wird jedoch noch meist der Heizwert als Bezugsgröße für die chemisch gebundene Energiemenge im Brennstoff angegeben, da in den meisten Feuerungsanlagen die Kondensationswärme nicht nutzbar gemacht wird. Um diese nutzen zu können müssen die Abgase so abgekühlt werden, dass der Wasserdampf kondensieren kann. Sogenannte Konversionsanlagen („Brennwertkessel“) sind hier zu in der Lage und können bezogen auf den Heizwert Wirkungsgrade von über 100% erzielen. Doch sind diese Anlagen technisch aufwendig und werden bisher wenig genutzt (Hartmann, 2009).

Da sich der Heizwert unterschiedlicher Laubbäume bzw. Nadelbäume nicht unterscheidet, wird zur Vereinfachung nur nach Laub- und Nadelholz differenziert. Der Heizwert von Nadelholz ist etwa 2% höher als der von Laubholz, was an dem höheren an Lignin-gehalt und Gehalt an Holzextraktstoffen (Harze, Fette) liegt. Weiteren Einfluss auf die Energiemenge hat neben dem Wassergehalt besonders die Dichte des Holzes in der Trockenmasse. So besitzt zwar Nadelholz pro Kilogramm einen höheren Heizwert, doch weisen Laubhölzer auf Grund ihrer höheren Dichte eine größere Energiemenge pro Volumen auf (Hartmann/Reisinger, 2007).

Auf Grund der großen Abhängigkeit vom Wassergehalt, sollte Energieholz möglichst trocken genutzt werden, um eine höchst mögliche Energieausbeute zu erhalten. Holz kann durch Lufttrocknung einen Wassergehalt von 12-20% erreichen, wodurch bereits ohne weiteren technischen Aufwand offenfertiger Brennstoff produziert werden kann. In der Praxis gilt die Faustregel das 2,5 kg Holz den gleichen Heizwert wie 1 Liter Heizöl haben (Hartmann/Reisinger, 2007).

Der zu erreichende Wirkungsgrad hängt hauptsächlich von den verwendeten Feuerungsanlagen ab. Nach dem Feuerungssystem richtet sich auch die Wahl der Brennstoffsorimente. Es können vereinfacht drei Anlagentypen unterschieden werden. Einzelraumheizungen und Zentralheizungen dienen der Wärmebereitstellung im häuslichen Bereich und werden meist mit Scheitholz und Presslingen befeuert. Hier werden handbeschickte, sowie vollautomatisierte Anlagen genutzt. Bei einem handbeschicktem Kachelofen mit Scheitholz kann der Wirkungsgrad bei 79% liegen. Ein Beispiel der Nutzung fester Bioenergieträger ist die Holzpellettheizung (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Holzpellets werden über eine automatische Fördereinrichtung zum Pelletkessel transportiert, der automatisch angefeuert, nachgefüllt und bei Heizbedarfdeckung gestoppt wird. Der Vorteil einer solchen Anlage ist der geringe Zeitaufwand, auf Grund der Automatisierung, und wenig Asche bei der Verbrennung entsteht. (Quaschnig, 2012). Heizwerke dienen der Beheizung größerer oder mehrerer Gebäude und werden vollautomatisch beschickt.

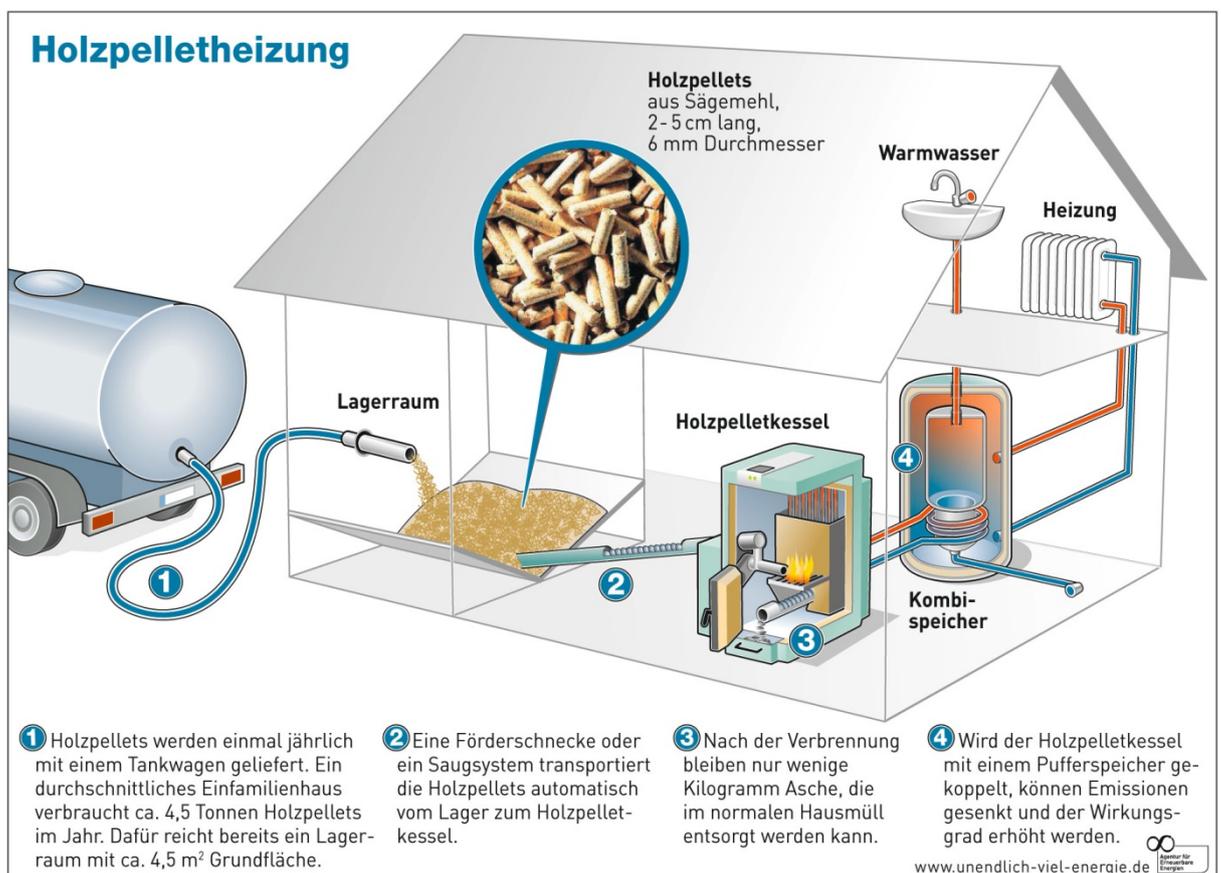


Abbildung 13: - Aufbau und Funktion einer Holzpellettheizung

3.4.2 Gasförmige Bioenergieträger

Biogasanlagen werden nach folgendem Schema betrieben: In einem Fermenter werden Substrate, vor allem Gülle aus Viehhaltung und nachwachsenden Rohstoffen, seltener vergärbare Abfälle aus der Nahrungsmittelindustrie sowie der Gastronomie mittels verschiedener Techniken eingebracht.

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.

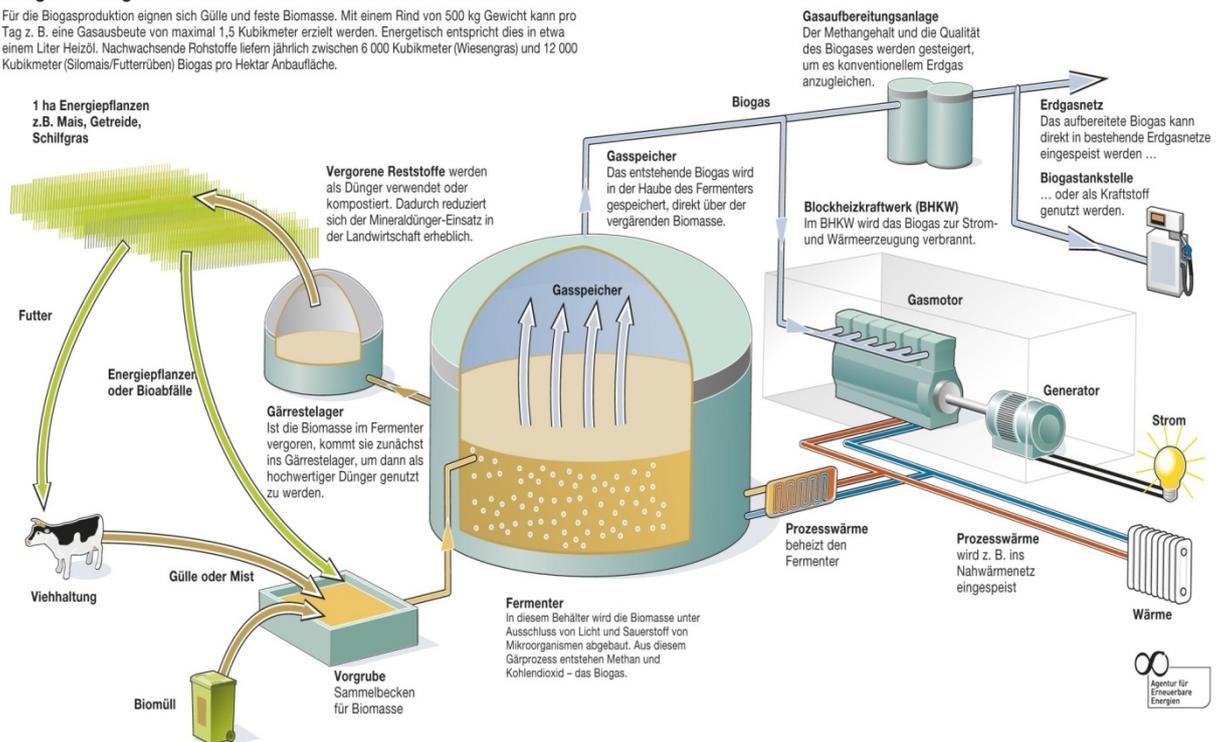


Abbildung 14: - Aufbau und Funktion einer Biogasanlage

Im Fermenter erfolgt nun die Vergärung, die die Stufen Hydrolyse, Versäuerung, Essigsäurebildung und Methanbildung beinhaltet. In der letzten Phase entsteht das Methan, sowie die Abfallprodukte des Biogasprozesses Kohlendioxid, Wasserstoff und je nach eingesetztem Substrat Schwefelwasserstoff. Die Vergärung wird unterstützt durch Beheizung des Fermenters sowie durch Durchmischung des Fermenterinhalt. Das vergorene Material wird in Lagerbehälter überführt, mittlerweile werden auch die Gärrestlager abgedeckt, da immer noch Biogas in geringen Mengen entstehen kann. Das Biogas wird je nach Fermentertyp mit Hilfe von zum Beispiel Folien oberhalb des Fermenters gesammelt und weitergeleitet zur Gasreinigung und Komprimierung, um anschließend in das Erdgasnetz eingespeist zu werden. Der Gärprozess in einem Fermenter verlangt unbedingt ein nasses Milieu, das bedeutet, dass bestimmte Trockensubstanzgehalte nicht überschritten werden sollten. Auch die so genannte Trockenfermentation arbeitet im nassen Milieu, auch wenn die Trockensubstanzgehalte deutlich erhöht sind. Im Batchverfahren

wird auf eine Durchmischung der Substrate verzichtet, hier erfolgt eine Impfung und Durchnässung des Materials über den Einsatz von Perkulat.

Die Hydrolyse beschreibt eine enzymatische Tätigkeit hydrolytischer aerober Bakterien. Mit Hilfe extracellulärer Enzyme, den sogenannten Hydrolasen, die sich aufteilen in Cellulasen, Amilasen, Proteasen und Lipasen, werden hochmolekulare Substanzen wie Kohlenhydrate, Fette, und Eiweiße in die niedermolekularen Substanzen Einfachzucker, Aminosäuren, Fettsäuren und Wasser gespalten (Eder et al., 2006).

Dabei beteiligt sind verschiedene Bakterien, für den Stärke- und Celluloseabbau beispielsweise Clostridien, Bacillus, Pseudomonas, Micrococcus; für den Eiweißabbau: Peptococcus, Bifidobacterium, Bacillus, Staphylococcus, Clostridien; für den Fettabbau: Alcaligenes, Bacillus, Pseudomonas (Böhnke et al., 1993).

Diese Bakterien leben bei einem optimalen pH Wert von 4,5-6. Sie sind außerdem bei schwerverdaulichen Substraten der bestimmende Faktor für die Prozessdauer.

In der Versäuerungs- bzw. acidogenen Phase werden mit Hilfe säurebildender Bakterien interzellulär kurzkettige (C_3 - C_6) Fettsäuren wie Propion-, Butter-, und Valeriansäure gebildet (Eder et al., 2006). Diese Bakterien leben fakultativ anaerob und bevorzugen pH-Werte von 6-7,5. In der acetogenen Phase der Essigsäurebildung werden die C_3 - C_6 Säuren von acetogenen Bakterien, wie Synthrophobacter walonii oder Desulforibrio (Böhnke et al., 1993), zu Essigsäure, Ameisensäure, Kohlendioxid und Wasserstoff umgebaut (Graf, 2002). Acetogene Bakterien sind extrem temperaturempfindlich. Die Essigsäurebildung bestimmt die Prozessdauer bei leicht verdaulichen Substraten. Die methanogene Phase ist entscheidend für den Prozess der Methanbildung. Zwei Arten von den streng anaerob lebenden methanogenen Archaeobakterien (Böhnke et al., 1993) bilden in dieser Phase Methan. Hydrogenotrophe Archaea bilden Methan aus Wasserstoff und Kohlendioxid, acetogene Archaea bilden aus Essigsäure Methan. 90% des gebildeten Methans entstammen dieser Phase, 70% des Methans werden aus Essigsäure gebildet. Archaeobakterien leben bei einem optimalen pH-Wert 7, das Temperaturoptimum liegt bei 30-40°C (Eder et al., 2006).

Wichtig ist, dass alle vier Prozessphasen nicht direkt trennbar sind, sie laufen parallel ab, auch bei zweistufigen Biogasanlagen. Bis heute sind nicht alle beteiligten Bakterienarten bekannt. Auch differieren die Populationen in den einzelnen Anlagen, was durch die verwendeten Substrate bedingt ist. Bakterien bilden Microenvironments, sie haben räumlichen Kontakt und es entstehen gegenseitige Wechselwirkungen (Böhnke et al., 1993). Zugaben von Tonmineralien oder Silikaten, sowie kleingehäckselte Substrate erhöhen die Besiedlungsoberfläche für die Bakterien und sollen höhere Abbaugrade erzielen. Enge Vergesellschaftungen bilden die acetogenen Bakterien und die methanogenen Archaeobakterien. Hier findet ein sogenannter Interspecies Hydrogen Transfer (Böhnke et

al., 1993) statt, dabei geht die anaerobe Umsetzung von Fettsäuren und Alkoholen energetisch zu Lasten der Methanbakterien, die methanogene Archaeobakterien erhalten im Austausch die für ihr Wachstum benötigten Substrate wie Wasserstoff, Kohlendioxid und Essigsäure.

3.4.3 Energiegewinnung aus Biomasse

Die hergestellten Bioenergieträger können wie fossile Brennstoffe in Heizwerken verbrannt werden. Mit dieser Technik lassen sich allerdings nur 35% der enthaltenen Primärenergie in Strom umwandeln, Ein Großteil geht als Wärme verloren. Die Nutzung der Biomasse in Heizkraftwerken erzeugt neben Strom auch noch Wärme, die genutzt werden kann. Diese kombinierte Nutzungsform nennt sich Kraft-Wärme-Kopplung (KWK). Die KWK hat zum Vorteil, dass auf Grund der Abwärmenutzung höhere Wirkungsgrade bis 80% erreicht werden und keine Kühlprozesse stattfinden müssen. Die Wärme wird je nach Größe des Heizkraftwerks ins Fernwärmenetz eingespeist oder Industriegebäuden wie auch Ein- und Mehrfamilienhäusern bereitgestellt. Die kleineren Heizkraftwerke nennen sich Blockheizkraftwerke (BHKW) (um 500 kW Leistung) und erreichen nicht ganz so hohe Wirkungsgrade (Quaschnig, 2010; Erneuerbare Energien Agentur).

KWK-Anlagen lassen sich mit unterschiedlichen Technologien betreiben. Man unterscheidet „Dampfturbinen, Dampfmaschinen, Gasturbinen, Gas- und Dampfturbinen (gekoppelt), verschiedene Motorenkonzepte (Otto, Diesel, Stirling) sowie Brennstoffzellen“.

3.4.4 Energiegewinnung aus Abfall

In diesem Kapitel werden einige Verfahren zur Energiegewinnung aus Abfall näher beschrieben. Die Sortierung erfolgt nach der Abfallart, da teilweise mehrere Optionen für eine Abfallart existieren. Diese Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern soll lediglich einige wichtige Aspekte aufgreifen und einen Überblick ermöglichen.

Hausmüll

Im Einklang mit der im Jahr 1999 beschlossenen europäischen Deponierichtlinie dürfen in Deutschland seit dem 1. Juni 2005 nur noch vorbehandelte hausmüllartige Abfälle auf Deponien abgeladen werden. Zudem müssen alle bestehenden Deponien vorgegeben technischen Ansprüchen entsprechen (UBA, 2011b). Nach diesem Verbot gibt es nun im Grunde zwei Alternativen den Hausmüll zu behandeln, wobei beide die in dem Abfall gebundene Energie (teilweise) wiedergewinnen.

1. Müllverbrennungsanlage

Das wohl bekannteste Beispiel zur Gewinnung von Energie aus Abfall sind die sogenannten Müllverbrennungsanlagen (MVA). Seit Ende des 19. Jahrhunderts wird Abfall bereits

in Anlagen verbrannt, vorrangiger Grund ist die Volumenreduktion. So kann das Volumen bei einer Verwertung der entstehenden Schlacke um bis zu 95% gesenkt werden, das Gewicht bis zu 70% (Förstner, 2012). Des Weiteren kann die bei der Verbrennung entstehende Energie in Form von Strom und Wärme genutzt werden. Grundsätzlich kann zwischen direkten und indirekten Verbrennungsverfahren unterschieden werden. Bei direkten Verfahren erfolgen Zersetzung und Oxidation des Abfalls (auch Sonderabfall) bei sehr hohen Temperaturen, in den meisten Fällen durch eine Rostfeuerung, oft mit nachgeschalteten Drehöfen, oder einer Wirbelschichtverbrennung. Bei indirekten Verfahren werden meist Zwischenprodukte geschaffen; so entstehen beispielsweise bei der Pyrolyse unter anaeroben Verhältnissen Brenn- und Synthesegas, kondensierte Komponenten und feste Produkte. Mithilfe von Vergasungsmitteln wird bei der Vergasung der Kohlenstoffanteil in Kohlenstoffmonoxid, -dioxid und Wasserstoff umgewandelt (Förstner, 2012). Die aus dem Abfall gewonnene Energie kann nur für Wärme, nur für Strom und in Kraft-Wärme-Kopplung genutzt werden. In Form von Dampf oder heißem Wasser kann Wärme an Fernwärme- und Kühlungsnetze sowie Industrieanlagen geliefert werden. Mithilfe einer Turbine kann der Dampf aber auch in Strom umgewandelt werden. Bei einer effizienten Kraft-Wärme-Kopplung, die einen flexiblen Umgang mit einer sich ständig ändernden Nachfrage ermöglicht, wird der Niederdruckdampf zum Beispiel in ein Fernwärmenetz eingeleitet, während für die Stromerzeugung der Dampf mit dem höheren Druck zur Verfügung steht. Die gewonnene Energie hängt maßgeblich vom Heizwert des verwendeten Abfalls ab; dieser beträgt bei unbehandelten Siedlungsabfällen zwischen acht und zwölf MJ/kg. Somit lassen sich im Durchschnitt aus einer Tonne Siedlungsabfällen 0,3 bis 0,7 MWh Strom und, bei Kraft-Wärme-Kopplung zusätzlich, 1,25 bis 1,5 MWh Wärme (teilweise mit Einbußen beim Strom) erzeugen. Die Kraft-Wärme-Kopplung erlaubt somit eine Maximierung der verfügbaren Energie (UBA, 2005).

2. Mechanisch-biologische Behandlung/Stabilisierung von Abfällen

Als Alternative zur MVA wurde in der Abfallablagereungsverordnung (AbfAbIV) von 2001 die mechanisch-biologische Abfallbehandlung (MBA) genehmigt. Deren Hauptziel ist es, ein Deponiegut zu schaffen, das den Ablagerungskriterien entspricht, das heißt möglichst geringe Gasemissionen (hier ist vor allem Methan hervorzuheben) und allgemein verringerte Umweltbelastungen (Kranert/Cord-Landwehr, 2010). Hierzu wird durch ein Zusammenspiel von mechanischen Prozessen und biologischer Behandlung das Volumen und die Masse reduziert, verwertbare Materialien und eine heizwertreiche Fraktion abgetrennt und bei einigen Verfahren wird während des Prozesses und aus produzierten Sekundärbrennstoffen Energie gewonnen (INTECUS, o.A.). Im Gegensatz zur MVA handelt es sich hier allerdings um kein abgeschlossenes Entsorgungsverfahren, da die gewonnenen Fraktionen weiteren Verwertungs- und Entsorgungsverfahren zugeführt werden (Förstner, 2012). Generell lassen sich zwei Arten von mechanisch-biologischer Behandlung durch die Anordnung der Prozessschritte unterscheiden:

- Beim Splitting (INTECUS, o.A.) (entspricht der klassischen MBA) erfolgt zuerst eine mechanische Aufteilung des Abfalls in verschiedene Fraktionen und dann die biologische Behandlung – durch anaerobe Vergärung und/oder aerobe Kompostierung – der heizwertärmeren Fraktion (Förstner, 2012), die anschließend deponiert wird (41% des Output-Materials (SRU, 2008)). Erfolgt die biologische Behandlung durch eine Vergärung kann während des Prozesses Energie gewonnen werden.
- Im Gegensatz zum Splitting wird bei der Stabilisierung (INTECUS, o.A.) (mechanisch-biologische Stabilisierung (MBS) und mechanisch-physikalische Stabilisierung (MPS)) der gesamte Abfall zuerst biologisch bzw. thermisch getrocknet, um anschließend mechanisch in verwertbare Stoffe, Sekundärbrennstoff (Hauptziel) und eine Deponiefraktion (maximal zehn Prozent des Output-Materials) aufgeteilt zu werden (SRU, 2008).

Der sowohl beim Splitting als auch bei der Stabilisierung entstehende Ersatzbrennstoff (EBS) kann in Kraftwerken mit Stein- oder Braunkohleeinsatz, in Zement- und Kalkwerken, in Hochofen- und Pyrolyseanlagen sowie in MVA mitverbrannt werden oder in eigens dafür konzipierten Monoverbrennungsanlagen für EBS (INTECUS, o.A.). Der durchschnittliche Heizwert des EBS beträgt 16 MJ/kg (SRU, 2008). Je nach weiterem Verwertungsweg muss der EBS bestimmte Kriterien erfüllen; für eine Mitverbrennung in Kraftwerken

einen Heizwert von 16-19 MJ/kg und für eine Mitverbrennung in Zementwerken einen Heizwert von 14-22 MJ/kg (INTECUS, o.A.). Die Netto-Energieerträge der Anlagen und der anschließenden Verwertung der EBS liegen pro Tonne Abfall bei einer MBA ohne Vergärung bei durchschnittlich 0,3 MWh Strom oder 1,2 MWh Wärme. Wird eine MBA mit Vergärung betrieben, erhöhen sich die Erträge aufgrund der Nutzung des Biogases um je circa 0,1 MWh an Strom und Wärme. Bei einer MBS liegen die Netto-Erträge im Durchschnitt bei 0,3 MWh Strom oder 1,5 MWh Wärme pro Tonne (Kranert/Cord-Landwehr, 2010).

3. Deponiegas

In den Jahren 1999 bis 2005 wurden jedes Jahr circa 110 Mio. t Abfälle, das entspricht mehr als einem Viertel des Gesamtaufkommens, auf deutschen Deponien abgeladen. Dabei wurden von 1999 bis 2001 jährlich etwa 13 Mio. t Siedlungsabfälle deponiert; 2002 bis 2004 nahm diese Menge kontinuierlich bis acht Millionen Tonnen ab, 2005 waren es noch knapp vier Millionen Tonnen. Seit Juni 2005 gilt ein Verbot der Deponierung unbehandelter Siedlungsabfälle und somit sank die Menge 2006 auf 307.000 t (UBA, o.A.). Durch aerobe und anaerobe Abbauprozesse wurden die organischen Anteile der Abfälle zersetzt; bei diesen Prozessen entsteht sogenanntes Deponiegas – ein

Gasgemisch bestehend aus 30-60% Methan, 30-50% Kohlenstoffdioxid und zwei Prozent, die sich aus Schwefelwasserstoff, Kohlenmonoxid, Stickstoff und vielen anderen Spurengasen zusammensetzen. Dieses Gas kann zur Energiegewinnung genutzt werden (Förstner, 2012). 2,5 Kubikmeter Deponiegas haben ungefähr den gleichen Heizwert wie ein Liter Heizöl; etwa 10 kWh (IWO, o.A.). Die Umwandlung kann durch Blockheizkraftwerke (BHKWs), auch in Kraft-Wärme-Kopplung, oder Mikrogasturbinen erfolgen. Dabei ist zu beachten, dass die Menge an verfügbarem Gas durch den andauernden Abbau und das Deponierungsverbot abnimmt; so halbieren sich die Deponiegas mengen innerhalb von sieben bis zehn Jahren nach Ende der Ablagerung (Thomas et al., 2009).

Altholz

Altholz wird durch die Altholzverordnung (AltholzV) in vier Klassen, von A I (naturbelassenes Holz) bis A IV (mit Holzschutzmittel behandeltes Holz), aufgeteilt. A I, A II und A III (die beiden letzteren nach einer Aufarbeitung) kommen rechtlich für eine stoffliche Verwertung in Frage; für eine energetische Verwertung können grundsätzlich alle Klassen in dafür genehmigten Anlagen verwendet werden (AltholzV, 2 ff.). Zur energetischen Verwertung wird das Altholz meist zerkleinert und in Feuerungsanlagen zur Strom- und/oder Wärmeerzeugung eingesetzt (Müller-Langer et al., 2006). Des Weiteren ist eine Mitverbrennung in beispielsweise Kohlekraftwerken möglich (Kaltschmitt et al., 2009). Hierbei ist der Heizwert von Altholz, der 13 MJ/kg beträgt, zu beachten (Müller-Langer et al., 2006). Bisher konnte Strom der aus Altholz gewonnen wird, durch das EEG vergütet werden; dies ist nun bei Neuanlagen nicht mehr möglich. Im EEG 2012 und der dazugehörigen Biomassenverordnung 2012 wird Altholz nicht mehr als Biomasse deklariert. Der Grund hierfür ist laut BMU die „Vermeidung von Nutzungskonkurrenzen“ (BMU, 2011b).

Bio- und Grünabfall

Der Begriff „Bio- und Grünabfall“ umfasst alle in Küche und Garten anfallenden kompostierbaren Abfälle, wie Essensreste, Grasschnitt und Zweige. Biomüll wird, soweit er getrennt erfasst wird, in der Regel kompostiert. Es ist allerdings möglich vor der Kompostierung eine Vergärungsstufe einzubauen, wie schon bei der MBA erwähnt wurde, wodurch die biologische Aktivität und das Reaktionspotenzial des Abfalls reduziert werden (INTECUS, o.A.). Bei der Vergärung werden unter anaeroben Verhältnissen organische Stoffe von Bakterien abgebaut, wodurch die enthaltene Energie in Form der entstehenden Gase abgegeben wird und der produzierte Gärrest als Dünger (beim Biomüll) verwendet werden kann (Kranert/Cord-Landwehr, 2010). Das entstehende „Biogas“, besteht zu 50-75% aus Methan, zu 25-50% aus Kohlenstoffdioxid, aus unter drei Prozent Stickstoff und aus Spuren von Sauerstoff, Wasserstoff, Schwefelwasserstoff und Ammoniak (Kern et al., 2010). Das erzeugte Gas, dessen Heizwert vom Methangehalt abhängig ist und zwischen 21 und 23 MJ/Nm³ bzw. 234 und 256

MJ/kg beträgt (Bischofsberger et al., 2005), kann entweder in beispielsweise einem BHKW oder Mikrogasturbinen zu Strom und/oder Wärme umgewandelt werden, oder auf Erdgasqualität aufbereitet werden und in das Erdgasnetz eingespeist werden oder zum Antrieb von Fahrzeugen verwendet werden (Kern et al., 2010).

Wird aus dem Biogas Strom erzeugt, kann dieser nach §27a des EEG 2012 bis zu einer Bemessungsleistung von 500 kW mit 16 Cent/kWh und bis zu einer Bemessungsleistung von 20 MW (ab dem 1.1.2014 in Betrieb genommene Anlagen nur noch bis 750 kW) mit 14 Cent/kWh vergütet werden. Hierzu muss der verwendete Abfall zu mindestens 90 Massenprozent den Abfallschlüsseln 200201, 200301 und 200302 der Bioabfallverordnung zugeordnet werden können (EEG 2012, 33). Das sind biologisch abbaubare Abfälle im Sinne von Garten-, Park- und Landschaftspflegeabfällen, gemischte Siedlungsabfälle im Sinne von getrennt erfassten Bioabfällen, sowie Marktabfälle (BioAbfV, 13). Die Werte für die aus einer Tonne Biomüll gewonnene Menge an Biogas variieren in der Literatur; so geben Kern et al. (2010) und Funda et al. (2009) gewonnene Mengen von 80 bis 130 bzw. 140 Nm³ an, während Bischofsberger et al. (2005) gar von 100 bis 180 Nm³ spricht. Einig sind sie sich darin, dass die erzeugte Menge von der Qualität des Materials und dem gewählten Verfahren abhängt (Kern et al., 2010). Es gibt verschiedene Verfahren, die grob nach Betriebstemperatur, Trockensubstanzgehalt des Materials und der Kontinuität der Beladung gegliedert werden können.

- Zwischen 50 und 65°C arbeiten thermophile Anlagen, mesophile zwischen 20 und 45°C. Tendenziell erzeugen thermophile Anlagen mehr Biogas, haben aber auch einen höheren Energiebedarf.
- Bei einer Trockenvergärung beträgt der Trockensubstanzgehalt zwischen 20-40%, während er bei einer Nassvergärung nur fünf bis 20% beträgt. Das Verfahren wird hier nach dem zu behandelnden Material ausgewählt (INTECUS, o.A.).
- Technisch einfacher sind diskontinuierliche Verfahren, bei denen der Materialeintrag nicht kontinuierlich erfolgt. Besser zu automatisieren sind allerdings kontinuierliche Verfahren (Funda et al., 2009).

Insgesamt können durch eine zwischengeschaltete Vergärungsstufe vor der Kompostierung Stromerträge von 0,1 bis 0,3 MWh und Wärmeerträge von 0,3 bis 0,6 MWh/t Biomüll generiert werden (Bischofsberger et al., 2005).

Klärschlamm

Bei der Behandlung von Abwasser fallen ein bis zwei Prozent der behandelten Menge als sogenannter Klärschlamm an; Schlamm mit zwei bis fünf Prozent Trockensubstanzgehalt, der die aus dem Abwasser gelösten Schmutzstoffe beinhaltet. In ihm befinden sich unter anderem Keime, Schwermetalle und organische Substanzen. Pro Tag entstehen zwei bis drei Liter Schlamm pro Einwohner in deutschen Kläranlagen, der unterschiedlich

genutzt werden kann. Zum einen wird er durch die Landwirtschaft auf Böden aufgebracht. Eine andere Möglichkeit ist die Deponierung, in Zukunft allerdings nur noch in Form von Verbrennungssasche. Des Weiteren kann Klärschlamm in bestehenden Anlagen, wie zum Beispiel MVA, Kohlekraftwerken oder in der Zementindustrie, mitverbrannt werden. Hierfür eignet er sich durch seine homogene Zusammensetzung sogar meist besser als andere Abfälle. Zudem kann das Kraftwerk für den biogenen Anteil des Klärschlammes eine CO₂-Gutschrift zugeschrieben bekommen (Förstner, 2012). Der Heizwert von Klärschlamm beträgt elf MJ/kg (ausgefäult) bzw. 17 MJ/kg (nicht ausgefäult) bezogen auf die Trockensubstanz (Land Steiermark, 2012). Um den Klärschlamm nutzen zu können, muss er jedoch erst hygienisiert und stabilisiert werden. Dies kann rein aerob oder unter Einbindung einer anaeroben Stufe („Ausfäulen“) passieren (Förstner, 2012). Die anaerobe Stabilisierung findet bei 30-40° C in Faultürmen statt, wobei die organischen Stoffe durch Bakterien abgebaut werden und sich dadurch das Volumen verringert. Das bei diesem Prozess entstehende Klärgas weist eine ähnliche Zusammensetzung wie Deponie- und Biogas auf, wobei es grundsätzlich, mit 60-70%, etwas mehr Methan beinhaltet. 30-40% sind Kohlenstoffdioxid, weniger als vier Prozent Stickstoff, weniger als ein Prozent Sauerstoff und Schwefelwasserstoff, Chlor und Fluor sind nur in Spuren vorhanden. Im Durchschnitt beträgt der Heizwert von Klärgas 23 MJ/Nm³ bzw. 256 MJ/kg. Das gewonnene Klärgas kann ähnlich wie Biogas verwendet werden; entweder wird es energetisch in einem BHKW oder einem Heizkessel genutzt, oder es wird aufbereitet und dann ins Erdgasnetz eingespeist oder als Treibstoff für Fahrzeuge eingesetzt (Thomas et al., 2009).

3.5 Geothermie

In den geologischen Schichten unterhalb der Erdoberfläche ist ein großes Wärmepotential vorhanden, welches mit Hilfe von geothermischen Verfahren für den Menschen nutzbar gemacht werden kann. Die geothermische Energie eignet sich sowohl zur Bereitstellung von Wärme als auch zur Produktion von Strom (Thomsen et al., 2004). Das besondere dieser regenerativen Energieform gegenüber anderen regenerativen Energieträgern ist die Grundlastfähigkeit. Erdwärme ist unabhängig von Witterungsbedingungen und Tageszeiten vorhanden und hat somit im Gegensatz zu anderen regenerativen Energieformen das Potential konventionelle großtechnische Kraftwerke zu ersetzen (Paschen et al., 2003). Die Nutzungsmöglichkeiten einer geothermischen Energieförderung lassen sich differenzieren in die Untergruppen oberflächennahe Geothermie und Tiefengeothermie.

3.5.1 Oberflächennahe Geothermie

Die oberflächennahe Geothermie beschreibt die Nutzung der gespeicherten Erdwärme in dem oberflächennahen Untergrund bis in ca. 100-150 m Tiefe. Die Wärme in diesem

Tiefenbereich wird im Wesentlichen durch die Sonneneinstrahlung sowie durch versickerndes Niederschlagswasser geliefert. Der Wärmefluss aus dem Erdinneren spielt in dieser Tiefe eine nur untergeordnete Rolle (Thomsen et al., 2006).

Ab einer Tiefe von etwa 15 m ergibt sich eine nahezu konstante Temperatur von 10°C. Mit einer Zunahme der Tiefe steigt die Temperatur im Durchschnitt um 3°C pro 100 m an. Im Winter dient die oberflächennahe Schicht somit als Wärmespeicher, im Sommer hingegen als Kältespeicher (Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein, 2001). Grundsätzlich ist die oberflächennahe Erdwärmenutzung nahezu überall möglich solange gewährleistet ist, dass eine Beeinträchtigung des Grundwassers in Trinkwassereinzugsgebieten ausgeschlossen werden kann (Thomsen et al., 2006).

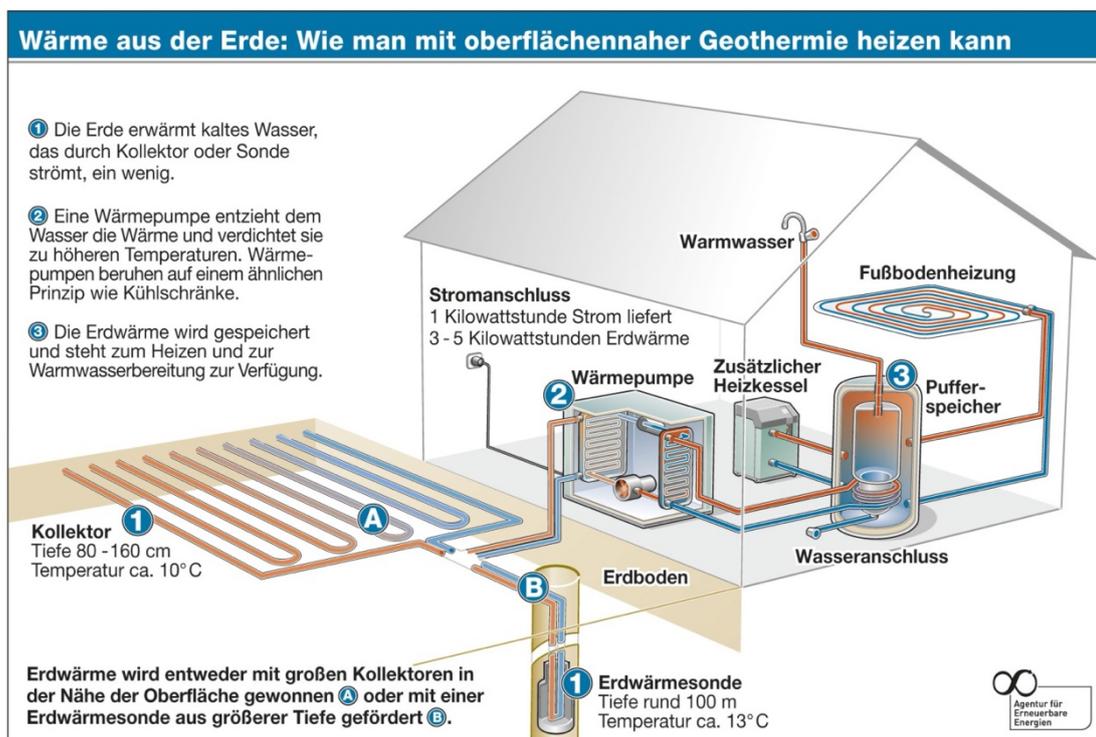


Abbildung 15: - Nutzung oberflächennaher Geothermie

Die Erdwärme in dem oberflächennahen Untergrund kann mit erdgekoppelten Wärmepumpen über Erdwärmesonden, Erdwärmekollektoren, Grundwasserbrunnen oder Energiepfählen genutzt werden. Das Leistungsspektrum der oberflächennahen Geothermie umfasst sowohl die Förderung als auch die Speicherung von Wärme und Kälte (Becker, 2004).

Die Technik der oberflächennahen Geothermie wird vor allem in dezentralen Heizanlagen genutzt. Jeder Bauherr kann diese Techniken individuell in sein Bauprojekt integrieren. Auf diese Weise entstehen für ihn erhöhte Investitionskosten die sich jedoch mit großer Wahrscheinlichkeit im Laufe der Lebensdauer der Anlage durch die Einsparung von Brennstoffen wie Gas und Öl amortisieren werden (Thomsen et al., 2006). **Fehler!**

Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. zeigt die Funktionsweise eines dezentralen Heizsystems über eine Erdwärmesonde oder einen Kollektor. Beide erwärmen kaltes Wasser auf 10 oder 13°C und fördern es zur Wärmepumpe. Diese entzieht die Wärme, verdichtet und überträgt sie auf bspw. einen Pufferspeicher.

3.5.2 Tiefengeothermie

Bei der Tiefengeothermie handelt es sich um die Förderung geothermischer Energie aus tieferen Schichten. Die Energie wird dabei über Tiefbohrungen mit Hilfe verschiedener Technik an die Erdoberfläche befördert und kann dort in der Regel ohne Niveauanhebung genutzt werden. Die Tiefengeothermie beginnt ab einer Tiefe von 400 m und einer Temperatur von 20°C (Stober et al., 2009).

Hydrothermale Systeme mit niedriger Enthalpie

Bei der hydrothermalen Geothermie werden mit Hilfe von hydrothermalen Tiefbrunnensystemen die erwärmten Wässer im Porenraum des Gesteinsverbandes genutzt. Für diese Technik benötigt man eine Förder- und eine Injektionsbohrung. Über die Förderbohrung wird warmes Wasser an die Erdoberfläche gepumpt (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Diesem Wasser wird durch einen Wärmetauscher die Wärme entzogen, bevor es über die Injektionsbohrung in einer bestimmten Entfernung zur Förderbohrung in dasselbe Aquifer zurückgepumpt wird. Die untertägige Entsorgung des Wassers ist aufgrund der hohen Mineralisation aus Umweltschutzgründen notwendig (Thomsen et al., 2004). Der Abstand von Förder- und Injektionsbohrung sollte so groß gewählt werden, dass voraussichtlich während der Nutzungsdauer (ca. 30 Jahre) keine Temperaturerniedrigung infolge der Einleitung des abgekühlten Wassers entstehen kann (Stober et al., 2009). Die Anordnung der Dublette kann variiert werden. Entweder man errichtet zwei Vertikalbohrungen mit entsprechender Entfernung oder man nutzt lediglich einen Bohrplatz und lenkt eine der beiden Bohrungen oder beide Bohrungen unterirdisch voneinander ab, so dass untertägig die benötigte Entfernung erreicht wird (Schulz et al., 1992).

Hydrothermale Geothermie

Die hydrothermale Geothermie nutzt vorhandenes heißes Thermalwasser (ca. 100-150 °C) in 2.000-4.000 Metern Tiefe zur Strom- und Wärmeabgewinnung.

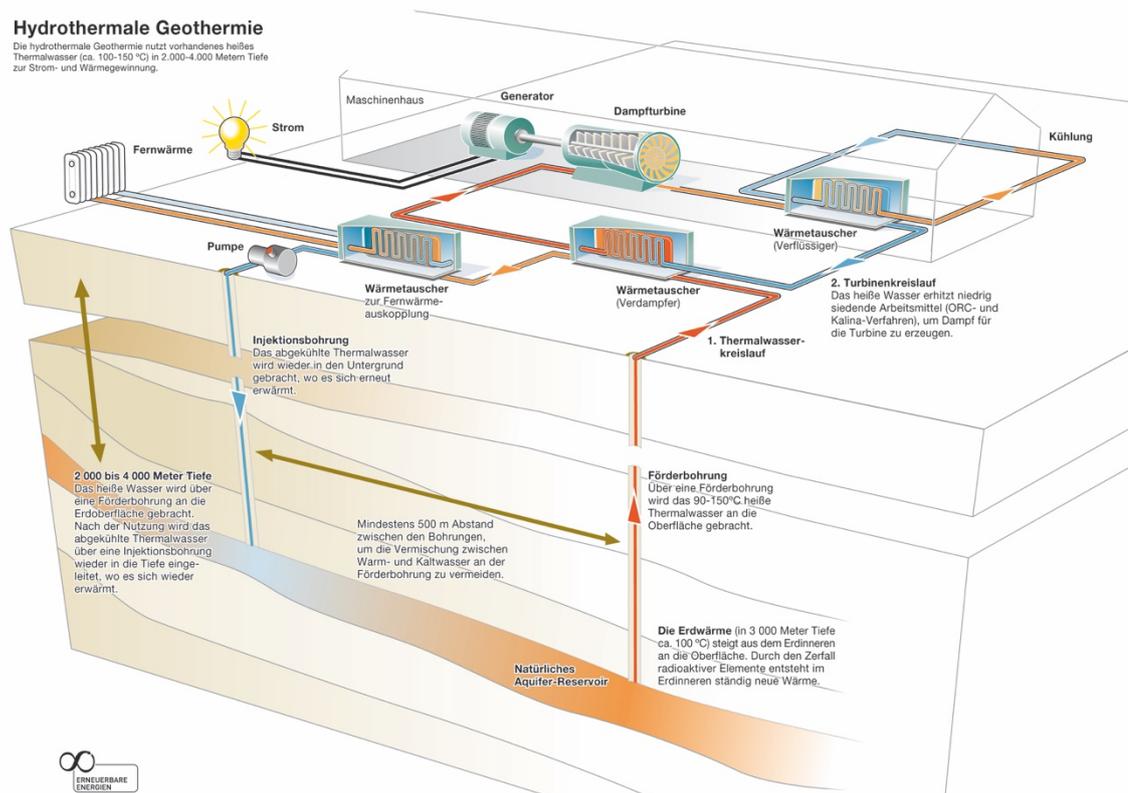


Abbildung 16: - Nutzung hydrothermalen Geothermie

Eine effiziente Nutzung von Tiefbrunnensystemen im Dublettenbetrieb erfordert spezielle geologische Voraussetzungen der Schichten. Erstens benötigt man eine wasserführende Sandschicht mit Nutzporositäten von mehr als 20% bzw. Permeabilitäten von mehr als 500 m. Zweitens sollte die geeignete Sandschicht mindestens eine Mächtigkeit von 20 m besitzen. Drittens muss das Thermalwasser einen Volumenstrom von 50 bis über 100 m³/h erreichen. Viertens muss der Chemismus des Wassers hinsichtlich Korrosion und Ausfällung beherrschbar sein. Darüber hinaus ist es essentiell, dass die geeignete Schicht ein ausreichendes Temperaturniveau hat um wirtschaftlich Strom oder Wärme zu erzeugen. (Thomsen et al., 2004).

In Deutschland ist die Dublettentechnik weitestgehend ausgereift und wird seit Jahrzehnten erfolgreich verwendet (Stober et al., 2009). Die positiven Erfahrungen mit der hydrothermalen Geothermie machen sie für eine Anwendung in dem Land Sachsen-Anhalt attraktiv, sofern die geologischen Anforderungen erfüllt sind.

Hydrothermale Systeme mit niedriger Enthalpie: Störungen

Störungen kann man als Bruchzonen beschreiben, die sowohl in Sedimentgesteinen, wie auch in kristallinen Gesteinen auftreten können. Sie entstehen in der oberen Erdkruste, wenn die Gesteine auf einwirkende tektonische Kräfte reagieren. Sind Störungen in einem Gebiet vorhanden erhöht sich das hydraulische Leitvermögen der Gesteinsschichten. Die

Störungszonen durchziehen das gesamte Bundesgebiet, was ein sehr großes geothermisches Potential hervorruft (Paschen et al., 2003).

Die hohen Investitionskosten für die Exploration und die aufwendige Technik, die für eine energetische Nutzung notwendig ist, tragen dazu bei, dass in der geothermischen Nutzung von Störungszonen bisher noch wenig Erfahrung besteht (Stober et al., 2009).

Petrothermale Systeme: Hot Dry Rock (HDR)- Technik

Die petrothermalen Systeme arbeiten im Gegensatz zu den hydrothermalen Systemen unabhängig von wasserführenden Horizonten.

Bei der HDR-Technik wird die im geringdurchlässigen Gestein gespeicherte Wärme genutzt. Um diese Nutzung zu ermöglichen muss eine Bohrung bis in das kristalline Gestein hinein erfolgen. Das kristalline Gestein enthält viele Klüfte, die meist geöffnet und mit mineralisiertem Wasser gefüllt sind, was eine Wasserzirkulation ermöglicht. Nach erfolgreichem Abteufen der Bohrung wird das natürliche Kluftsystem durch das Einpressen von Wasser erweitert. Damit dauerhaft die nötigen Durchflussraten und Temperaturen erzielt werden können, muss das Riss-System eine bestimmte Mindestgröße als Wärmetauschfläche aufweisen. Eine zweite Bohrung ist notwendig, damit das erhitzte Wasser an die Erdoberfläche gefördert werden kann. Der stimulierte Bereich zwischen Injektions- und Förderbohrung wirkt somit als „Durchlauferhitzer“ (Stober et al., 2009).

Um die HDR-Technik effizient nutzen zu können, müssen spezifische geologische Voraussetzungen erfüllt sein. Die Temperatur in diesem Gebiet sollte ca. 200°C betragen, das Gebirge sollte eine möglichst hohe Standfestigkeit aufweisen und die Wasserverluste dürfen nicht höher als 10% sein. Darüber hinaus muss auch die Kluftdichte und Größe der Wärmeaustauschfläche beachtet werden, um ein optimales Ergebnis zu erzielen (Stober et al., 2009).

Zum jetzigen Zeitpunkt steht die Technik zur Nutzbarmachung der Energie in den tiefen Gesteinsschichten noch nicht großtechnisch zur Verfügung. Wenn in der Zukunft die Forschungs- und Entwicklungsphase abgeschlossen sein werden, könnte man sich große Potentiale von dieser Technik erhoffen (Kaltschmitt et al., 2003).

Die Anwendung der HDR-Technik trägt durch den Druck der Verpressung ein Erdbebenrisiko in sich. Ende 2006 kam es beispielsweise zu kleineren Beben in Basel, nachdem Wasser in eine Tiefe von 5.000 m verpresst wurde. Die Folge solcher Beben können Risse an Gebäuden sein, was zu unerwarteten Kosten führen kann (Quaschnig, 2008).

Petrothermale Systeme: Tiefe Erdwärmesonden

Tiefe Erdwärmesonden kommen meist dann zur Anwendung, wenn in einem Gebiet kein Thermalwasservorkommen erschlossen werden kann. Anders als die hydrothermalen Systeme arbeiten die tiefen Erdwärmesonden in einem geschlossenen System. Für diese

Technik nutzt man eine verrohrte Tiefbohrung, die mit einer doppelten, koaxialen Verrohrung ausgestattet werden muss. Um die Wärme des Gesteins nutzbar machen zu können, wird ein Wärmeträgermedium (z.B. Wasser) über die Verrohrung in die Tiefe gepumpt. Dieses Wärmeträgermedium erwärmt sich auf dem Weg in die Tiefe und entzieht dabei dem Gebirge die Energie. Über den Tubingstrang (Steigleitung), der über die gesamte Länge wärmeisoliert ist, wird das Wärmeträgermedium an die Erdoberfläche gefördert. Übertägig wird die Energie mit Hilfe eines Wärmetauschers und einer Wärmepumpe nutzbar gemacht (Kaltschmitt et al., 2003). Tiefe Erdwärmesonden werden in einer Tiefe von 400-3.000 m installiert und arbeiten besonders effizient, wenn eine positive Temperaturanomalie vorliegt. Darüber hinaus sind die thermischen Eigenschaften des Untergrundes, z.B. die Wärmeleitfähigkeit und der Temperaturgradient, aber auch die Bauart der Sonde entscheidende Faktoren für die Wirtschaftlichkeit dieser Technik. Wenn die Wirtschaftlichkeit weiter gesteigert werden soll ist es sinnvoll eine bereits vorhandene, aber ungenutzte Tiefbohrung zu nutzen. Bisher betrug die Leistung von tiefen Erdwärmesonden nur wenige hundert Kilowatt und ist damit wesentlich geringer als die Leistung von hydrothermalen Systemen (Stober et al., 2009).

3.6 Speichertechnologien

Im Zuge des Ausbaus Erneuerbarer Energien tritt vermehrt die Frage der Speicherung in den Mittelpunkt. Besonders Wind- und Solarenergie unterliegen stark witterungsbedingten und tageszeitlichen Schwankungen, die derzeit kaum durch Speicherung ausgeglichen werden können. Bei der Umstellung auf Erneuerbare Energien und der weiteren Gewährleistung der Versorgungssicherheit ist von neuen Speichertechnologien nicht mehr wegzudenken.

Innerhalb des Energiekonzepts der Bundesregierung wurden vier zentrale Handlungsfelder formuliert:

- (...) „mittelfristig die verfügbaren deutschen Potentiale für Pumpspeicherkraftwerke im Rahmen der technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten erschließen“
- Langfristiger Ausbau der Nutzung ausländischer Pumpspeicher (Norwegen oder Alpen)
- (...) „Investitionsanreize prüfen, damit Strom aus Biomasse gezielt zum Ausgleich der Fluktuationen von Wind und Sonne erzeugt und eingespeist wird“
- (...) „Forschung in neue Speichertechnologien deutlich intensivieren und zur Marktreife führen“ (bspw. Druckluft- oder Wasserstoffspeicher)

3.6.1 Stromspeichersysteme

Stromspeichersysteme sind solche Energiespeicher, in die elektrische Energie eingeladen wird. Dabei lässt sich die direkte Speicherung elektrischer Energie von der indirekten Speicherung in mechanische oder der indirekten Speicherung in elektrochemische Energie unterscheiden.

Direkte Speicherung

Kondensatoren/Super Caps

Kondensatoren speichern direkt die elektrische Energie in Form von Strom und können diese schnell aufnehmen und wieder abgeben. Die Speicherfähigkeit über einen längeren Zeitraum ist jedoch gering. Die Weiterentwicklung zu Doppelschichtkondensatoren (Super Caps) oder Electrochemical Double Layer Capacitor (EDLC) brachte eine Erhöhung der Speicherkapazität bei gleichem Volumen. Diese finden bspw. in Linienbussen oder netzfernen Photovoltaikanlagen Einsatz.

Spulen

Supraleitende Spulen (SMES) eignen sich ebenfalls für die Stromspeicherung. Diese können Strom, unterhalb einer vom Material abhängigen kritischen Temperatur, ohne messbaren Widerstand leiten. Ein breiter Einsatz ist jedoch nicht möglich, da zum Erreichen dieser Temperatur energieintensive Kühlung nötig ist. Anwendung findet diese Technik vor allem als Kurzschlussstromquelle. Sie wäre aber auch zur Glättung der Leistungskurven von Photovoltaik- und Windenergieanlagen denkbar.

Mechanische Speicherung

Pumpspeicherkraftwerke

In Pumpspeicherkraftwerken wird der Höhenunterschied zwischen zwei großen Speicherseen genutzt. Diese Methode eignet sich besonders zur Zwischenspeicherung in Schwachlastzeiten.

Druckluftspeicher

Druckluftspeicher komprimieren Luft und speichern diese in unterirdischen Kavernen (bspw. ehemalige Salzlagerstätten). Auf Grund der vielen alten Salzspeicher, sind Druckluftspeichersysteme besonders für Norddeutschland interessant. Dies steht jedoch in Konkurrenz mit der Nutzung der Salzspeicher für Erdgas oder CO₂-Endlager.

Schwungmassespeicher

Im Schwungmassespeicher wird Energie als Rotationsenergie gespeichert. Dabei wird ein Rotor mittels Elektromotors auf eine hohe Drehzahl beschleunigt. Die gespeicherte Energie wird über den Motor, der dann als Generator fungiert, wieder verfügbar gemacht. Ein

Schwungmassespeicher eignet sich auf Grund der schnellen Regelbarkeit vorzugsweise als Überbrückungsspeicher für Netzschwankungen.

Elektrochemische Speicherung

Akkumulatoren

Akkumulatoren speichern die Energie in elektrochemischer Form. Es lassen sich Systeme mit internen und externen Speichern unterscheiden. Zu den verbreitetsten Akkumulatoren gehören Blei-Säure-Akkumulatoren, die sich bspw. in Startbatterien von Verbrennungsmotoren befinden. Hinsichtlich der Speicherung Erneuerbarer Energien werden auch Lithium-Ionen- und Redox-Flow-Batterien eine große Rolle spielen. Diese Art der Speicherung wird besonders im Bereich Elektromobilität interessant.

Wasserstoffspeicher

Wasserstoffspeicher nutzen die überschüssige Energie, um Wasserstoff und Sauerstoff mittels Elektrolyse aus Wasser zu gewinnen. Sauerstoff dient dabei der industriellen Verwertung. Wasserstoff kann als Gas oder in flüssiger Form transportiert und genutzt werden. Dabei speichert ein m³ Wasserstoff 30mal mehr Energie als Druckluft und kann ebenfalls in Salzkavernen gelagert werden. Einen enormen Vorteil verschafft die Flexibilität in der Nutzung des Wasserstoffs. Er kann als Energiespeicher, Puffer, Transportmittel für Strom und als Brenn- und Kraftstoff eingesetzt werden.

3.6.2 Wärmespeichersysteme

Physikalisch lassen sich drei unterschiedliche Möglichkeiten der Wärmespeicherung unterscheiden: die Speicherung als fühlbare Wärme, latente Wärme oder chemische Energie.

Die Speicherung als fühlbare Wärme funktioniert über ein Speichermedium (bspw. Wasser) welchem Wärme zugeführt wird und das sich folglich erwärmt.

Bei der Speicherung als latente Wärme ändert sich in Folge der Wärmeübertragung der Aggregatzustand des Speichermediums, ohne das sich dieses erwärmt. Die Speicherung als chemische Energie funktioniert über die Veränderung der chemischen Zusammensetzung des Speichermediums. Fossile Energieträger gehören somit zu den chemischen Speichern. Innerhalb der Wärmespeicher lassen sich verschiedene thermische Systeme unterscheiden, die im Folgenden kurz vorgestellt werden sollen.

Latentwärmespeicher nutzen die in Baustoffen, Wänden, Decken, Fußböden und Fassadenelementen überschüssige Wärme und geben diese bei sinkenden Temperaturen wieder ab.

Hochtemperaturspeicher finden bspw. in solarthermischen Kraftwerken Anwendung. Die überschüssige Solarwärme wird dabei in einem Hochtemperaturspeicher genutzt und

nachts zur Stromerzeugung verwendet. Als Speichermedien agieren Luft oder metallische Verbindungen.

Thermochemische Wärmespeicher nutzen den Wärmeumsatz chemischer Reaktionen. Mit diesem Prinzip ist bspw. eine saisonale Speicherung mit hohen Energiedichten möglich.

Wärmespeicher für Heizungen finden in Heizungs- oder Solarthermieanlagen Anwendung. Dabei wird ein kombinierter Speicher beheizt, der dann einen Teil des Wärmebedarfs eines Gebäudes deckt.

Große Wärmespeicher weisen ein geringeres Außenfläche-Volumen-Verhältnis auf und eignen sich deshalb noch besser für die effiziente Wärmespeicherung. Als Möglichkeiten erweisen sich Hochbehälter, aber auch Grundwasseraquifere.

Solar unterstützte Nahwärme mit Langzeitspeicher funktioniert mit Hilfe von Solarkollektorfeldern, die in den Sommermonaten die geerntete Energie in heißem Wasser speichern und in eine Heizzentrale transportieren. Von hier aus wird die benötigte Wärme über ein Nahwärmenetz in die Haushalte verteilt. Die überschüssige Wärme wird einem saisonalen Speicher zugeführt, der die Energie in den Wintermonaten wieder zur Verfügung stellt.

Je nach Größe des Speichers und den regionalen geographischen Bedingungen lassen sich der Behälter-Wärmespeicher, Erdbecken-Wärmespeicher, Erdsonden-Wärmespeicher und der Aquifer-Wärmespeicher voneinander unterscheiden.

4 Erneuerbare Energien – Potentiale

4.1 Photovoltaik

4.1.1 Rechtliche Grundlagen

Vor der Installation einer Photovoltaikanlage muss sichergestellt werden, dass diese der aktuellen Bauordnung entspricht und ob diese einer Genehmigung bedarf.

Die Landesenergieagentur Sachsen-Anhalt schreibt dazu:

„Grundsätzlich sind PV-Anlagen genehmigungsfrei. Allerdings sind allgemein das materielle Baurecht sowie die Vorschriften über Bauprodukte und Bauarten einzuhalten. PV-Anlagen unterliegen den Anforderungen der jeweiligen Bauordnung des Bundeslandes. Da es sich um eine bauliche Anlage handelt, muss jeder Bauherr selbst für die Einhaltung baurechtlicher Vorschriften sorgen. Gegen eine Gebühr kann man mit einer Bauanzeige beim Bauamt prüfen lassen, ob für die eigene PV-Anlage ein Genehmigungsverfahren notwendig ist. Denkmal-geschützte Häuser bilden eine Ausnahme und werden gesondert geregelt. Außerdem sind die örtlichen Bebauungspläne zu beachten. Hierzu ist es sinnvoll, entsprechende Informationen im Vorfeld einzuholen.

Allgemein gültige Regelungen und Vorschriften:

- Bundesrechtliche Regelungen (nach Baugesetzbuch BauGB)
 - Landesrechtliche Regelungen (nach Landesbauordnung LBO)
 - Musterbauordnung (MBO)
 - Bauregelliste B Teil 2 (PV-Module)
 - Bauordnungsrecht
 - Denkmalschutz
 - Sicherheitsvorschriften (CE-Zeichen erforderlich)
 - Europäische Niederspannungsrichtlinie 2006/95/EG
 - IEC 61215 (kristalline Siliziummodule), IEC 61646 (Dünnschichtmodule), IEC 61730 (Sicherheitsprüfungen).
-
- DIBt-Informationsschrift „Hinweise für die Herstellung, Planung und Ausführung von Solaranlagen“

Diese Genehmigungsfreiheit setzt bei denkmalgeschützten Gebäuden aus. Demnach dürfen denkmalgeschützte Gebäude nicht verändert, verschoben oder abgerissen werden. Dies gilt jedoch nicht, wenn die Veränderung einem öffentlichen Zweck unterliegt. In jedem Fall bedarf die Installation von Photovoltaikanlagen einer Genehmigung Sie wird nach Betrachtung des Einzelfalls erteilt.

Einige Gemeinden agieren als Vorreiter bei der Nutzung denkmalgeschützter Gebäude mit Photovoltaik. Das Besondere ist, dass hier sehr hohe Anforderungen an die Ästhetik

der Photovoltaikanlagen gefordert werden. Sie müssen sich in die äußere Struktur der Gebäude eingliedern und dürfen das Erscheinungsbild nicht wesentlich verändern.

Um den höchstmöglichen Stromertrag zu erzielen, gibt es verschiedene Voraussetzungen in Bezug auf Dach- und Modulausrichtung, sowie die Auswahl der Photovoltaikmodule, die kombiniert und analysiert werden müssen.

Ob eine Dachfläche geeignet ist, hängt von ihrer Ausrichtung und Form ab. Zunächst werden hierbei geneigte und Flachdächer unterschieden, die sich beide für die Montage von Photovoltaikmodulen eignen. Flachdächer haben den Vorteil, dass man Module auf diesen immer genau nach Süden ausrichten kann und man im Aufstellwinkel, auf Grund der fehlenden Dachneigung, flexibel ist. Es ist von Vorteil, wenn diese eine Ausrichtung von

+/- 30° Süd haben, da man dann die ganze Fläche nutzen kann und die Module unter Flächenverlust nicht schräg auf das Dach aufbringen muss. Für die Ermittlung des Potentials auf öffentlichen Gebäuden und Industriegebäuden wurden grundsätzlich alle Dachflächen mit einer Ausrichtung Süd +/- 90° ausgewählt, also auch reine Ost und reine Westausrichtungen. Weiter wurden Dächer mit einer Dachneigung von <70°, sowie Flachdächer ausgewählt. Weiter wurden die Aspekte Verschattung und Verbauung in die Auswahl mit aufgenommen. Ebenfalls wurden Kriterien wie die Dachkonstruktion soweit möglich mit aufgenommen.

4.1.2 Berechnung

Das Photovoltaikpotential eines Daches ist abhängig von verschiedenen Faktoren. Zusammenzuführen sind zunächst Globalstrahlung, Fläche der Photovoltaikanlage und deren Wirkungsgrad. So erhält man das theoretische Potential. Bei der Ertragsprognose muss jedoch berücksichtigt werden, dass der reale Energieertrag nicht dem theoretischen entspricht. Diese Abweichung bezeichnet man als Performance Ratio (PR), die als Prozentsatz mit dem theoretischen Ertrag verrechnet wird. Des Weiteren wird ein vom Optimum abweichender Aufstell- und Azimutwinkel eingerechnet (Haselhuhn, 2005).

Daraus ergibt sich:

$$\begin{aligned} \text{Ertrag} = & \text{Globalstrahlung} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right] \times \text{Wirkungsgrad} [\%] \times A[\text{m}^2] \\ & \times \text{PR}[\%] \times \text{Faktor (Aufstellung)}[\%] \end{aligned}$$

Die Globalstrahlung in Sachsen-Anhalt unterliegt wie in ganz Deutschland jahresbedingten Schwankungen. Grundsätzlich ist in der Stadt Oranienbaum-Wörlitz eine durchschnittliche Globalstrahlung von rund 1500 kWh/m²*a zu erwarten.

Laut Lödl et al. (2010) gilt für den Flächeninhalt geneigter Dächer:

$$A_{\text{Nutz}} = A_{\text{Dach}} = a \times s$$

$$s = b \div 2 \cos \alpha$$

Die Variable a beschreibt hierbei die Dachkante, die der einen Gebäudeseite entspricht, s beschreibt die Länge der Dachschrägen und b die Luftlinie von Dachkante bis Dachfirst, die über die Draufsicht vermessen werden kann. Bei Flachdächern lässt sich die Dachfläche am besten durch Aufständigung der Photovoltaikmodule nutzen. Um dabei die Eigenverschattung der Module untereinander zu vermeiden, muss Abstand gehalten werden. Folglich ist nicht die komplette Fläche nutzbar sondern ca. die Hälfte. Laut Lödl et al. (2010) gilt:

$$A_{\text{Nutz}} = 0,5 \times A_{\text{Dach}}$$

Die abweichende Berechnung ist in der Potentialtabelle mit dem Faktor 0,5 für die Flachdachkalkulation festgehalten.

Grundsätzlich sind rund 30 cm zu den Seiten des Daches und 30 cm nach unten hin freizulassen (Scheer, 2011). Dies gilt nur für geneigte Dächer, Flachdächer werden wie dargestellt, ohne Abzüge, berechnet.

Bei der Vermessung der Gebäude ist zu beachten, dass es sich um Näherungswerte handelt. Teilweise ist durch das Geoportal keine direkte Draufsicht auf die Dächer gewährleistet, dadurch entstehen Abweichungen bedingt durch den Blickwinkel. Zusätzlich ist zu beachten, dass die Dachflächen per Hand mittels des Maßstabs vermessen und auf eine Stelle nach dem Komma gerundet wurden. Durch Abweichungen nach oben und unten sollte das Ergebnis im Durchschnitt sehr nahe am Realwert liegen, sodass mögliche Abweichungen nicht weiter in die Analyse eingehen. Die Ergebnisse werden für jede Dachfläche einzeln in der Potentialtabelle (Anhang) festgehalten.

Die Performance Ratio ist ein Faktor, der Verluste einer Photovoltaikanlage bei alltäglicher Inbetriebnahme beschreibt. Er wird mit dem theoretischen Potential verrechnet und beinhaltet *Temperatureffekte, Reflexion, Ausfallzeiten und Verluste durch Kabel und Wechselrichter*, die bei der Potentialermittlung nicht außer Acht gelassen werden dürfen. In der gängigen Literatur rechnet man mit ca. 80%, also rund 20% Verlust (Hufnagel, 2010). Dieser Wert wird für die Potentialermittlung übernommen.

4.1.3 Potential öffentliche Gebäude

Die öffentlichen Gebäude der Stadt Oranienbaum-Wörlitz können mit Hilfe von Liegenchaftskarten und Geodaten berechnet werden.

Für die Analyse sollte grundsätzlich von einer Installation monokristalliner Module ausgegangen, da diese die höchsten Wirkungsgrade erzielen und eine bessere Qualität aufweisen als andere Modularten. Für die Potentialanalyse der öffentlichen Gebäude und der Industriebauten bedeutet das, dass mit einem Wirkungsgrad von 14% gerechnet wird. Die 14% ergeben sich aus dem durchschnittlichen Wirkungsgrad von 14-18%. In der Potentialtabelle sollte weiterhin festgehalten werden, welche Gebäude zeitweise verschattet sind. Für teilverschattete Gebäude wird die Nutzung von Dünnschichtmodulen in Betracht gezogen. Diese erreichen einen Wirkungsgrad von 6-8% (Mittelwert 7%), der individuell und anstatt der 14% in das Potential der ausgewählten Dächer eingerechnet wurde. Allerdings wird nur für sehr große, teilverschattete Dachflächen ab 50 m² Fläche das Potential mit Dünnschichtmodulen berechnet.

Folgende Tabelle zeigt die Potenziale für Photovoltaik bei öffentlichen Gebäuden:

Tabelle 1. PV-Flächenpotentiale kommunale Gebäude

Oranienbaum	RATHAUS	20	50 m ² als PV möglich Süd-Ost Ausrichtung 50% verschattet ab 12
	Grundschule	120	300 m ² als PV möglich Süd-Ost Ausrichtung 50 % verschattet ab :
	KITA	30	30 m ² als PV möglich Süd-West Ausrichtung
	KITA		wird Neubau Süd-West Ausrichtung
	KITA		wird Neubau Süd-West Ausrichtung
	FFW	80	100 m ² als PV möglich Süd-West Ausrichtung
	Hort	25	30 m ² als PV möglich Süd-West Ausrichtung = Kita
	Mietgebäude 1	70	Süd-West Ausrichtung/ Nebengelass 80 m ²
	Mietgebäude 6	35	40 m ² als PV möglich Süd-West Ausrichtung
	Mietgebäude 8	560	812 m ² Süd-West Ausrichtung, 15% verschattet - Quartierslösung
	Blöcke 12	250	280 m ² als PV möglich, Süd-Ost Ausrichtung
Friedhof	200	225 m ² als PV möglich, Süd-Ost Ausrichtung	
Regiebetrieb	115	154 m ² als PV möglich, Süd-West Ausrichtung, 20% verschattet	
		1505	m² PV-Fläche
Wörlitz	Sportlerheim Wörlitz	300	500 m ² als PV möglich, Süd-Ost Ausrichtung, 30% verschattet
	Gebäude Schützenverein		ist Bestandteil der Quartieranlage Sportlerheim
	Turnhalle	900	960 m ² als PV möglich Süd-West Ausrichtung- Quartierslösung n
	Funktionsgebäude		ist Bestandteil der Quartieranlage Turnhalle
	Kegelbahn Wörlitz		ist Bestandteil der Quartieranlage Turnhalle
	Feuerwehrgerätehaus	290	310 m ² als PV möglich Süd-West Ausrichtung
		1490	m² PV-Fläche
Vockerode	Sportlerheim Vockerode	200	380 m ² PV möglich Süd Ausrichtung, 40% verschattet
	Kegelbahn Vockerode	460	480 m ² PV möglich Süd-West Ausrichtung
	Kinder- und Jugend-Treff-Pun	500	640 m ² PV möglich Süd Ausrichtung, 20% verschattet = incl. näcl
	KITA "Elbstrolche"		
	Gemeindezentrum	725	750 m ² PV möglich Süd-West Ausrichtung
		1885	m² PV-Fläche
Riesigk/ Rehsen	FFW	280	Süd-West Ausrichtung
	FFW/ Gemeindebüro	50	5% verschattet Süd-Ost Ausrichtung
Gohrau	FFW / Gemeindebüro	203	203 m ² PV möglich Süd Ausrichtung
	Trauerhalle Gohrau	15	39,60 m ² PV möglich, Süd-West Ausrichtung, 50% verschattet
		548	m² PV-Fläche
Kakau	Gemeindebüro	45	53 m ² PV möglich Süd-West Ausrichtung
	FFW Kakau	60	138 m ² PV möglich Süd-West Ausrichtung, 45% verschattet
Griesen/ Münsterberg	KITA "Zwergenhaus"/ Gemein	320	425 m ² PV möglich Süd Ausrichtung, 20 % verschattet
	FFW Gerätehaus Münsterberg	13	17 m ² PV möglich, Süs Ausrichtung
		438	m² PV-Fläche

Insgesamt entspricht diese Aufstellung 5.866 m², damit einer installierten Leistung von 1.173,20 kW_p. Pro kW_p können etwa 1.000 kWh Strom pro Jahr erzeugt werden. Damit können die öffentlichen Gebäude pro Jahr etwa 1,17 GWh bereitstellen. Es werden an dieser Stelle 20% der Fläche abgezogen, um diese für die Warmwasserbereitstellung mit Hilfe der Solarthermie bereitzustellen. Verbleiben 938,56 kW_p, entsprechend 938,56 MWh

4.1.4 Potential Industrie- und Gewerbegebäude

Ebenfalls mit Hilfe von Satellitendaten können alle Gebäude analysiert werden, die als Gewerbe- oder Industriegebäude bekannt sind.

Es werden nur geeignete Gebäude in einer Potentialtabelle und auf Satellitenfotos festgehalten. Geeignete Gebäude fallen unter folgende Kriterien:

- Ausrichtung: +/- 90°
- Wenig oder keine Verschattung
- Kein offensichtliches Blechdach
- Größte rechteckige Fläche >25m²

Die Dachflächen werden über zur Verfügung stehenden Daten und einem geschätzten Dachwinkel von 20° berechnet.

4.1.5 Potential Privathaushalte

Da bei der Anzahl aller Gebäude eine Betrachtung der einzelnen Dachfläche nicht möglich ist, wurde das Potential für den Bereich Gebäude Privathaushalte näherungsweise berechnet.

Um das Potential für Photovoltaik in der Stadt Oranienbaum zu berechnen wurden folgende Annahmen getroffen.

1. Bestand von 3018 Gebäuden, mit einem Wohnungsbestand von 4488 m². Die Durchschnittsquadratmeterzahl pro Kopf beträgt ca. 49 m².
2. Das durchschnittliche Gebäude in Oranienbaum-Wörlitz ist zweigeschossig.
3. Daraus ergibt sich eine Gebäudegrundfläche von 199.450 m², abzüglich einem Abschlag von 10% für mehrgeschossige Bauten, die hier noch nicht berücksichtigt sind.
4. Verbleibt eine Gebäudegrundfläche für Privathaushalte von gerundet 180.000 m².

5. Davon werden 50% als ungeeignete Dachrichtung und Winkelung abgezogen, verbleiben 90.000 m². Nicht berücksichtigt ist hier der Denkmalschutz, der geschätzt weitere 50% der Gebäude betrifft. Verbleibt eine nutzbare Dachfläche von 45.000 m².

Insgesamt verbleibt eine angenommene nutzbare Fläche von ca. 45.000 m². Von dieser Fläche werden weitere 20% für die solarthermische Nutzung abgezogen, so dass letztendlich für die Potentialberechnung PV eine Fläche von 36.000 m² verbleibt.

Als Faustregel wird angenommen, dass 5 m² Photovoltaik etwa 1kWp ergeben, dieser pro Jahr ca. 1000 kWh Strom produzieren kann.

Bei Nutzung der gesamten ermittelten Fläche ergibt sich ein Ertrag von 7,2 GWh/a dies entspricht einer zu installierenden Leistung von 7.200 kWp.

In diese Berechnung gehen nur angenommene Dachflächen ein, weder Carports, noch Fassaden, die ebenfalls nutzbar sind, wurden hier berechnet. Zudem ist die Annahme zu den Gebäuden, die wegen des Denkmalschutzes nicht berücksichtigt werden können, nur geschätzt, Einzelfallbetrachtungen der Denkmalschutzbehörde können in diese Berechnung nicht mit einfließen.

4.1.6 Konversionsflächennutzung

Laut EEG ist die Installation von Photovoltaikanlagen auf Konversionsflächen aus wirtschaftlicher, verkehrlicher, wohnungsbaulicher oder militärischer Nutzung möglich. Dazu zählen beispielsweise versiegelte Flächen, Randstreifen an Bundesautobahnen und anderes.

Die Feststellung von Konversionsflächen für die Stadt ist sehr schwierig. Beispielsweise kann die Nutzung eines Streifens längs der A9 für die Nutzung von PV berechnet werden. Auch Halden können mit Freiflächenphotovoltaik bestückt werden, ebenso Parkplätze etc.

4.2 Solarthermie

Für die Stadt Oranienbaum-Wörlitz kann bei der Nutzung von Solarthermieanlagen von einem durchschnittlichen Jahresertrag von ca. 1000 kWh/m² ausgegangen werden.

4.2.1 Potential Kommunale Gebäude

Wenn von der für die Photovoltaik berechneten Dachflächen 20% für die Nutzung solarthermischer Anlagen genutzt werden, so ergibt sich für den kommunalen Gebäudebestand eine Fläche von ca. 1.180 m², welches einer Leistung von ca. 1.180 MWh/a entspricht.

4.2.2 Potential Privathaushalte

In der Berechnung der Potentiale im Bestand der Privathaushalte wurde eine Fläche von 9.000 m² für eine solarthermische Nutzung zur Bereitstellung von Warmwasser kalkuliert. Auf dieser Fläche können ca. 9.000 MWh/a bereitgestellt werden.

4.3 Windenergie

Aufgrund der Lage innerhalb des Biosphärenreservates aber auch bedingt durch die kulturhistorischen Sichtachsen der Gartenanlagen Oranienbaum und Wörlitz kann eine Windenergienutzung auf dem Gebiet der Stadt Oranienbaum-Wörlitz nahezu ausgeschlossen werden.

4.4 Biomassepotentiale

Für die Berechnung der energetischen Potentiale aus Biomasse wurden verschiedene Annahmen getroffen:

4.4.1 Holzartige Biomasse

Für die Bereitstellung von Energieholz werden prinzipiell nur sogenanntes Durchforstungs- und Waldrestholz verwendet, welches bei Ernte- und Pflegearbeiten anfällt, dies sind Kronenmaterial, Äste, Stammabschnitte. Sowie minderwertige und schwache Sortimente, die aus qualitativen oder ökonomischen Gründen keiner stofflichen Nutzung zugeführt werden können. Das nährstoffreiche Reisholz (Nadeln, Feinäste, Wipfel) soll im Wald belassen werden, um dem Kreislaufsystem nicht zu viele Nährstoffe zu entziehen (Flaig, 1998). Von dem bei der Ernte anfallenden Schlagabraum können das Kronenmaterial oder Stammabschnitte aufgearbeitet werden. Bei der Durchforstung fällt Schwachholz mit einem Brusthöhendurchschnitt von 7 bis 20 cm an (Hartmann, 2002).

Die Nutzung des Schwachholzes hängt maßgeblich vom Preis ab. Doch können diese schwachen Sortimente als Industrieholz meist nicht genug Ertrag bringen. Die Grenze zwischen stofflicher und energetischer Nutzung ist nicht eindeutig zu klären und beginnt sich auf Grund der steigenden Energiepreise zu überlappen (Hepperle, 2010; Radkau, 2007).

Bei der Darstellung der Ergebnisse ist zuerst auf die Eigentumsverhältnisse der erfassten Fläche einzugehen. Der Privatwald stellt in der Stadt Oranienbaum-Wörlitz, wie auch in Deutschland, den höchsten Flächenanteil dar. Ebenfalls sind 158 ha der Fläche PEFC zertifiziert.

Die Waldfläche in der Stadt Oranienbaum-Wörlitz beträgt insgesamt 4.483 ha, davon gehört der Kommune der Stadtwald mit einer Fläche von 158 ha.

Tabelle 2 - Ergebnisse Energiemenge Wald

	Gesamtforstfläche	Stadtwald
Waldfläche [in ha]	4.483	158
Laubbaumanteil [in %] geschätzt	25	25
Nadelbaumanteil [in%] geschätzt	75	75
Vorratsfestmeter [Vfm]	1.223.808	42.186
Vorratsfestmeter pro ha [in Vfm]	273	267
Zuwachs [in Efm]	31.828	1.122
Zuwachs pro ha [in Efm]	7,1	7,1
Nutzung [in Efm]	21.966	774
Nutzung pro ha [in Efm]	4,9	4,9
Nutzung des Zuwachses [in %]	68,6	68,6
energetische Nutzung [in %]	12,5	12,5
energetische Nutzung [in Fm]	2.746	97
Nadelholz [in m³]	2.059	73
Laubholz [in m³]	686	24
Nadelholz [in Rm]	2.883	101
Laubholz [in Rm]	961	34
Energiemenge Nadel [in MWh]	4.325	152
Energiemenge Laub [in MWh]	1.922	68
Energiemenge gesamt [in MWh]	6.247	220

Grundsätzlich ist anzumerken, dass die Wälder der Stadt Oranienbaum wahrscheinlich über einen geringeren Holzvorrat gegenüber dem Durchschnitt deutschen Wäldern verfügen. Der Nadelbaumanteil hingegen ist höher als im bundesweiten Durchschnitt und geht zu Lasten des Laubbaumanteils. Ebenso sind die Zuwachsraten recht gering. Für diese Studie wurde von einer geringen Nutzungsintensität des Zuwachses ausgegangen, wie das Autorenteam in vergleichbaren Wäldern mit ähnlichem Bestand und Bodenverhältnissen in der Vergangenheit feststellen konnte. Auch wird davon ausgegangen, dass lediglich 12,5% des Holzes einer energetischen Nutzung in Form von Scheitholz u.a. zugeführt wird.

Die gesamte Energiemenge des geschlagenen Holzes beläuft sich auf 6.250 MWh. Diese Energiemenge entspricht jedoch nicht der sogenannten Nutzenergie, die dem Verbraucher

zur Verfügung steht. Nähme man für die Verfeuerung des Hackguts eine Anlage mit einem Wirkungsgrad von 90% und für die Verfeuerung des Scheitholzes einen Anlagenwirkungsgrad von 79% an, würden sich lediglich nur noch 5.625 MWh, bzw. 4.938 MWh ergeben.

4.4.2 Abfall

In der Stadt Oranienbaum-Wörlitz werden folgende Abfälle entsprechend des Abfallentsorgungssatzung des zuständigen Landkreises Wittenberg getrennt eingesammelt und entsorgt:

- Hausmüll und hausmüllähnlicher Abfall aus anderen Herkunftsbereichen
- kompostierbare Abfälle und sperrige Grünabfälle
- Altpapier und Pappe
- Sperrmüll
- Haushaltselektro(nik)geräte
- Altmetall
- Altglas
- Problemabfallkleinstmengen aus Haushaltungen und Kleinmengen an Sonderabfall
- Altholz

Für die energetische Nutzung sind vor allem die Bio- bzw. Grünabfälle von Bedeutung.

Es besteht ein Anschluss- und Benutzungszwang der Restabfallbehälter sowie der Biotonne (außer bei Eigenkompostierung) für jeden Eigentümer eines privat genutzten Grundstücks,

Bei den kompostierbaren Abfällen besteht eine Zweiteilung in der Sammlung; zum einen können Küchen- und Gartenabfälle in der Biotonne entsorgt werden, zudem können Grünschnitte zu den entsprechenden Sammelstellen gebracht werden.

Im Landkreis Wittenberg fallen nach den Daten des Abfallwirtschaftskonzeptes des Landkreises Wittenberg im Jahr 2016 pro Einwohner 105 kg Grüngut pro Jahr an. Allerdings wurden über die Biotonne lediglich 19,1 kg pro Einwohner und Jahr gesammelt. Verschiedene Prognosen gehen von einer Erhöhung des gesammelten Bioabfalls aus der Biotonne aus, die Prognosen für Grüngut bleiben in etwa gleich.

Der Bioabfall wird bisher in dem Kompostwerk Jessen-Klossa eingehaust verarbeitet ohne aus dem Vorgang Energie zu gewinnen. Davon abgetrennt erfolgt die offene Kompostierung von Grünabfällen in Oranienbaum und Vockerode.

Potentiale beim Bio- und Grünabfall ergeben sich grundsätzlich durch eine Verbesserung und eventuelle Erweiterung der bestehenden Verwertung. Dies wird ergänzt durch eine optimierte Getrennsammlung und damit Erhöhung der erfassten Menge an Bio- und Grünabfällen.

Im Hinterkopf sollte allerdings behalten werden, dass circa 40% der Lebensmittelabfälle aus Haushalten vermeidbar wären; das heißt es kann (und sollte) zukünftig auch zu einer Reduktion des Bioabfallaufkommens durch Konsumveränderungen in Haushalten kommen.

Bei der Verwertung von Bio- und Grünabfällen ist sich die Literatur einig, dass zukünftig die Erweiterung bestehender Kompostwerke um eine Vergärungsstufe in Betracht gezogen werden sollte. Besonders geeignet ist die Erweiterung, wenn Umbau- und Erneuerungsarbeiten anstehen, bei Anlagen, die mindestens 10.000 t im Jahr umsetzen. Der gesamte anfallende Bioabfall könnte einer Vergärung zugeführt werden, da davon ausgegangen werden kann, dass der Holzanteil im Bioabfall durch das vorhandene Grünabfallsammelsystem vernachlässigt werden kann. Holz und andere Stoffe wie beispielsweise Stroh sind aufgrund ihres hohen Ligningehalts nicht für eine Vergärung geeignet; sie können nur schlecht durch die Bakterien abgebaut werden. Generell weist Grünabfall sehr unterschiedliche Strukturen auf, weswegen er grob in „krautig“ und „holzig“ eingeteilt wird. Krautiges Material kann vergoren werden und ist zum Beispiel Gras, Pflanzenreste und Heckenschnitt. Ast- und Strauchwerk wird hingegen als holzig bezeichnet und eignet sich eher zur rein energetischen Verwertung in beispielsweise einem Holzkraftwerk. Das Verhältnis von krautigem und holzigem Material variiert saisonal bedingt. Aufgrund der unterschiedlichen Struktur sollte eine gezielte Stoffstromtrennung erfolgen (Vogt et al., 2010). Dadurch lassen sich circa 30% (UM, o.A.) bzw. 25-30% (Vogt et al., 2010) nach geeigneter Behandlung als Brennstoff mit einem Heizwert bis zu 15 MJ/kg (Vogt et al., 2010) abtrennen. Ungefähr 25-50% (in den Sommermonaten, UM, o.A.) bzw. 15-30% (Vogt et al., 2010) eignen sich für eine Vergärung. Der Rest kann als holziges Strukturmaterial für die Produktion von Kompost eingesetzt werden (UM, o.A.).

Insgesamt könnten in der Stadt Oranienbaum-Wörlitz somit ungefähr 500 t bis 850 t Bio- und Grünabfälle jährlich vergärt werden und weitere 520 t als Brennstoff vermarktet oder stofflich zu Grünabfallkompost verwertet werden. Es ergeben sich folgende mittlere Strom- und Wärmepotentiale pro Jahr in der Stadt Oranienbaum-Wörlitz:

- Bei einer diskontinuierlichen Trockenfermentation: 115 bis 195 MWh Strom und 110 bis 187 MWh Wärme.
- Bei einer kontinuierlichen Trockenfermentation: 125 bis 212 MWh Strom und 130 bis 220 MWh Wärme.

- Bei einer Nassfermentation: 117,5 bis 200 MWh Strom und 110 bis 187 MWh Wärme.

Ungefähr 520 t Grünabfälle könnten aufbereitet und als Brennstoff eingesetzt werden. Daraus könnten beispielsweise in einem Biomasse-Kraftwerk mit Kraftwärmekopplung circa 1040 MWh Wärme und 208 MWh Strom produziert werden (Kern et al., 2008).

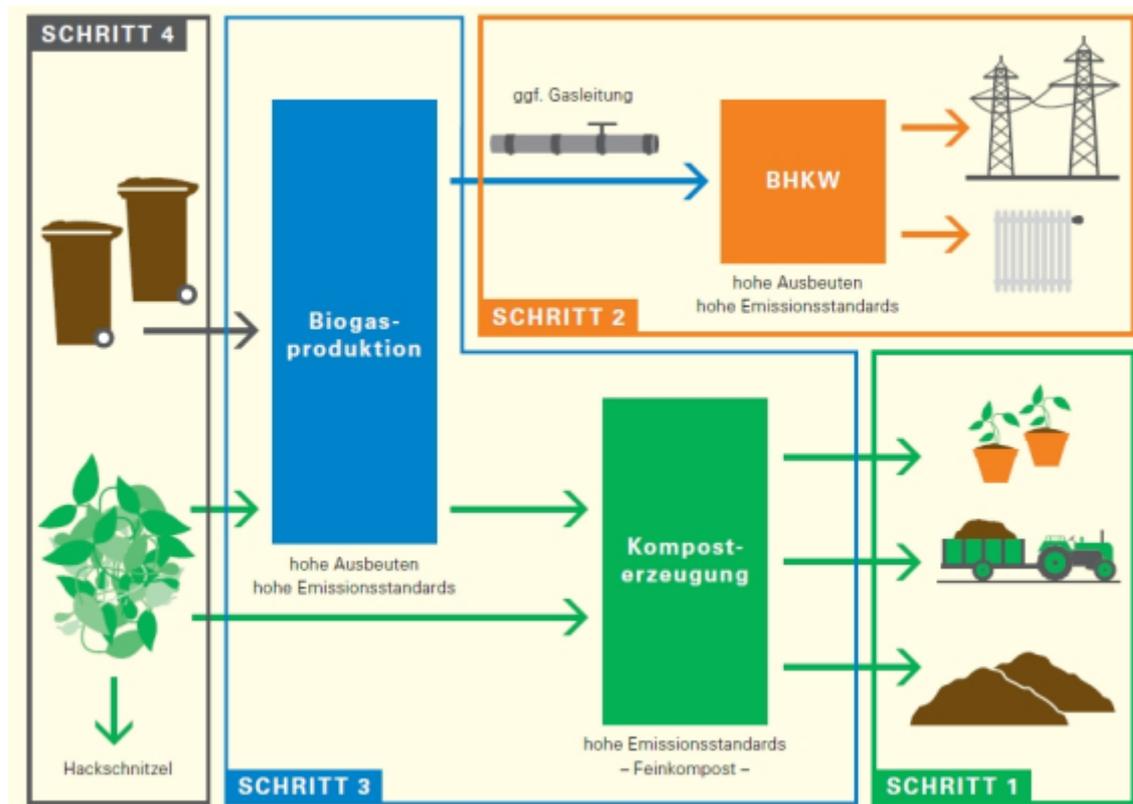


Abbildung 17 - Vier Schritte zur Optimierung der Bio- und Grünabfallverwertung

Quelle: UM, o.A.

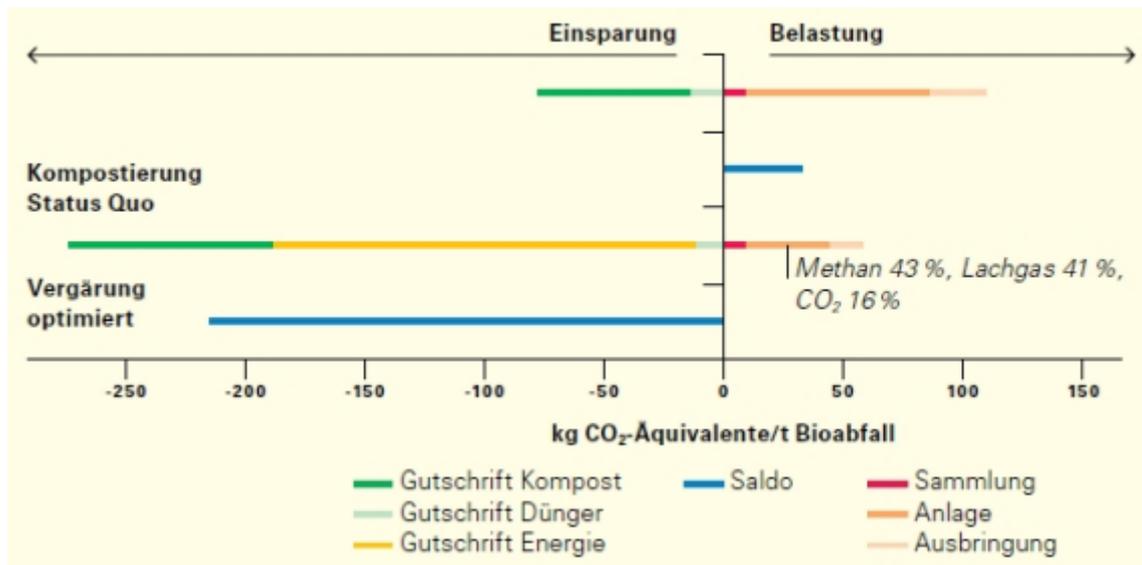


Abbildung 18- Klimabilanz für die Kompostierung und eine optimierte Vergärung in Kilogramm CO₂-Äquivalenten

Quelle: UM, o.A.

Wie in dieser Abbildung zu sehen ist, belastet die reine Kompostierung das Klima im Durchschnitt um 36,8 kg CO₂-Äquivalente pro t Bioabfall. Im Gegensatz dazu wird das Klima durch den Einbau einer Vergärungsstufe nach heutigem Stand um 64,3 kg CO₂-Äquivalente pro Tonne Bioabfall entlastet, bzw. bei einer optimierten Vergärung (die Methanemissionen werden auf maximal zehn Prozent beschränkt und 80% der Überschusswärme können genutzt werden) um 231,4 kg CO₂-Äquivalente (Vogt et al., 2010).

Eine Umstrukturierung der bestehenden mechanisch-biologischen Vorbehandlungsanlage zu einer mechanisch-biologisch Stabilisierungsanlage wäre möglich und aufgrund des geringeren Anteils von Deponiegut an der Inputmenge und der höheren Energieerträge wünschenswert. Eine Erweiterung des Kompostwerks für die Bioabfälle durch eine vorgeschaltete anaerobe Vergärungsanlage (die entweder kontinuierlich oder diskontinuierlich mit einer Trockenfermentation läuft) wäre mit mehr Investitionen verbunden, wird allerdings von vielen Fachleuten als Zukunftstechnologie angesehen. Allerdings würden solche Maßnahmen nur im Verbund mit dem Landkreis und damit erhöhtem Bioabfall- und Grünschnittaufkommen zu realisieren sein.

4.5 Geothermie

In der unten angeführten Abbildung sieht man, dass Sachsen-Anhalt im Süden von dem Mittelgebirgszug bis nach Norden in das Norddeutsche Becken reicht.

Das Norddeutsche Becken ist eines der drei deutschen Gebiete, die ein grundlegendes hohes geothermisches Potenzial aufweisen und sich somit als Standort für ein Geothermiekraftwerk anbieten (Geotis, 2011). Allerdings liegt die Stadt Oranienbaum-Wörlitz

im süd-östlichen Teil, so dass das tiefengeothermische Potential in 2000m Tiefe nur bei etwa 65°C liegt.

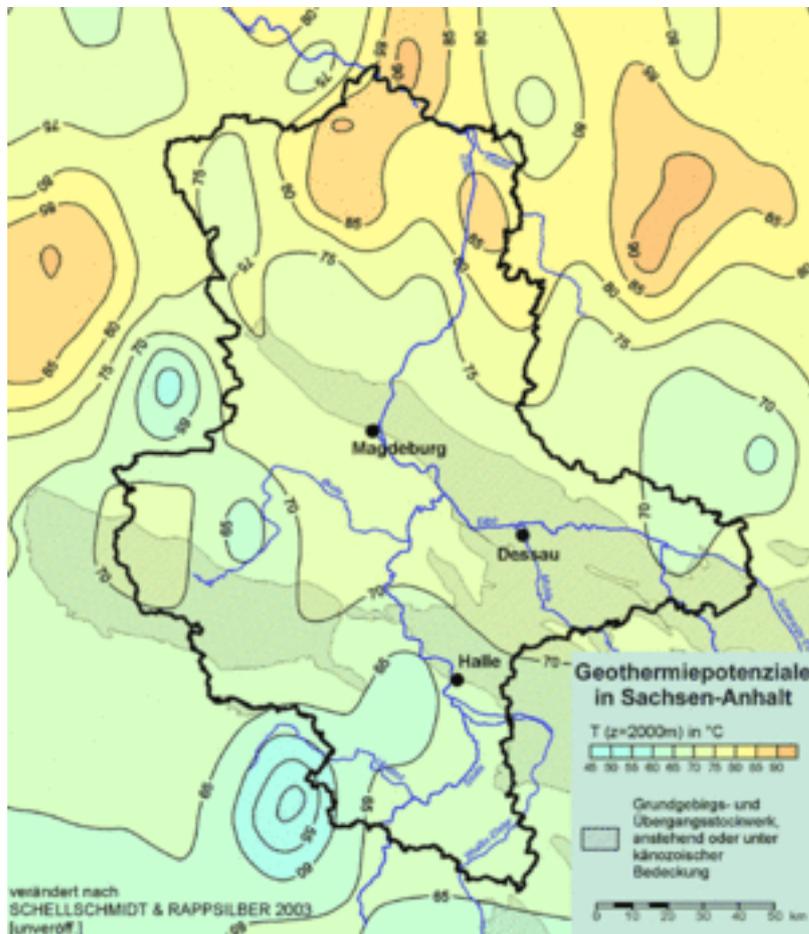


Abbildung 19 - Geologische Übersicht von Sachsen-Anhalt

Quelle: <https://lagb.sachsen-anhalt.de/geologie/geothermie/tiefe-geothermie/geothermie-karten/>

Für eine wirtschaftliche Nutzung der Erdwärme ist nicht nur die Beschaffenheit des Untergrundes, sondern auch die Temperaturverteilung im tiefen Untergrund essentiell.

Allerdings sind die Kosten, auch bei genügend theoretischem Potential für eine tiefengeothermische Anlage lediglich mit Hilfe dem Landkreis bzw. dem Landes Sachsen-Anhalt zu verwirklichen.

Das Potential der oberflächennahen Geothermie zur Wärmenutzung ist größer als der Bedarf der Stadt Oranienbaum-Wörlitz. Er ist vor allem für Ein- und Zweifamilienhäuser interessant und kann in beiden Formen, der Erdwärmesonde und Erdwärmeflächenkollektoren einfach in Kombination mit einer Wärmepumpe genutzt werden.

Folgende Tabelle zeigt eine Übersicht der bisherigen geothermischen Bohrungen in der Stadt Oranienbaum-Wörlitz:

Tabelle 3 Geothermische Bohrungen

Geothermie Bohrtiefen in der Stadt Oranienbaum-Wörlitz				
Tiefe	bis 20m	n bis 50m	bis 100m	über 100m
Oranienbaum	24	9	2	1
Wörlitz	20	10	6	0
Vockerode	41	15	6	1
Riesig/ Gohrau	2	9	2	1
Rehsen	7	3	1	0
Kakau	1	7	1	0
Goltewitz	1	2	1	0
Gesamt	96	55	19	3

Insgesamt werden somit schon 173 oberflächennahe geothermische Anlagen genutzt.

5 Strom

5.1 Methodik

In diesem Abschnitt wird das Vorgehen zur Identifizierung des Stromverbrauchs in der Stadt Oranienbaum - Wörlitz heute und in den Jahren 2030 und 2045 behandelt. Der methodischen Abgrenzung folgt zunächst die Beschreibung des Vorgehens zur Datenerhebung und Datensystematisierung der Sektoren private Haushalte, Gewerbe Handel und Dienstleistungen (GHD) sowie der Industrie im Untersuchungsraum. In einem ersten Ergebnis wird anschließend der Ist-Verbrauch ermittelt. Hier soll aufgezeigt werden, wie sich der Energieverbrauch sektoral in der Stadt Oranienbaum-Wörlitz darstellt. Zur Erreichung des Leitziels „100% Erneuerbaren-Energie-Region“ werden die Stromverbrauchsannahmen für die Jahre 2030 und 2045 in Szenarien entwickelt.

5.1.1 Abgrenzung

Das vorliegende Kapitel bezieht sich ausschließlich auf den Stromverbrauch des Verbrauchsjahres 2019 innerhalb der Grenzen der Stadt Oranienbaum-Wörlitz. Ein Verbrauchsjahr bildet den Lieferzeitraum ab. Dieser ist abhängig vom veranschlagten Abrechnungsturnus der EVU und entspricht in der Regel nicht exakt 365 Tagen. Für diese Untersuchung wurden die Stromverbräuche auf 365 Tage berechnet, um einen vergleichbaren Untersuchungsraum zu erhalten. Die Datengrundlage der Ist-Verbräuche eines Verbrauchsjahres beruht auf den Angaben des Energieversorgungsunternehmens, Bundesdurchschnittswerten und den Angaben der Stadt zu den Liegenschaftsverbräuchen.

Die Annahmen zum zukünftigen Stromverbrauch der jeweiligen Sektoren werden anhand von Referenzszenarien der Prognos AG und des Umweltbundesamtes (UBA) ermittelt. Dargestellt werden die zukünftigen Möglichkeitsräume für die Jahre 2030 und 2045 in drei Szenarien:

- Das GOOD CASE (GC) – Szenario, in dem die größtmöglichen Einsparpotentiale nach heutigem Stand der Technik den künftigen Stromverbrauch bestimmen.
- Das BUSINESS AS USUAL (BAU) – Szenario, in dem der Stromverbrauch sich gegenüber heute nicht wesentlich ändert.
- Das 100% 2045 – Szenario, in dem insbesondere auch die Anwendungen eMobilität und Wärmepumpen berücksichtigt werden.

5.1.2 Erfassung und Systematisierung der Datengrundlage

In diesem Abschnitt werden die Relevanz, die Systematisierung, die Art der Erhebung und die Annahmen zu künftigen Entwicklungen der Stromverbräuche einzelner Sektoren

beschrieben. Für die Entwicklung der Verbrauchsszenarien wurden verschiedene Berechnungsgrundlagen herangezogen. Dies gilt für die Entwicklung der Bevölkerung und der Strukturen der privaten Haushalte, die gesamtwirtschaftliche Entwicklung und den Verbrauch nach Sektoren.

Der Gesamtverbrauch des Referenzjahres 2019 bildet die Grundlage für die Annahmen zur Verbrauchsentwicklung im Untersuchungsraum.

5.1.2.1 Liegenschaftsverbräuche

Eine wichtige Funktion der Kommunen ist die des Multiplikators. Der energetische Umgang mit und das Wissen um die Leistungsfähigkeit bewirtschafteter Einrichtungen ist ein erster wichtiger Schritt im Prozess des regionalen Klimaschutzes. In dieser Arbeit werden insbesondere die Stromverbräuche der Liegenschaften der Stadt Oranienbaum-Wörlitz genauer untersucht. Das dient zum einen der Bestandsaufnahme der Gebäudeeffizienz, zum anderen dient die umfassende Analyse aber auch der Feststellung vom Zustand eines Energiemanagement der Stadt Oranienbaum-Wörlitz. Dazu wurden die Stromverbräuche für die jeweilige Liegenschaft für das Bezugsjahr 2019/2020 eingeholt. Zudem wurden die CO₂-Äquivalent-Emissionen anhand der Emissionen des deutschen Strommixes für den Bezugszeitraum ermittelt.

5.1.2.2 Private Haushaltsverbräuche

Die Datengrundlage der privaten Haushalte im Untersuchungsraum folgt den Verbrauchsangaben des Energieversorgungsunternehmens. Hinzu kommen die Berechnungen der bundesdurchschnittlichen Stromverbräuche nach Haushaltsgröße der BDEW (vgl. BDEW 2021).

5.1.2.3 Industrie- und GHD

Für die Erhebung von Stromverbrauchsdaten aus Industrie und dem GHD-Sektor wurden die Angaben des Energieversorgungsunternehmens als Datengrundlage benutzt.

5.2 Verbräuche

Die folgenden Verbrauchskennwerte werden aus den Daten des Energieversorgers Envia Mitteldeutsche Energie AG berechnet.

Für das Jahr 2019 wurden folgende Verbräuche je nach Konzession übermittelt:

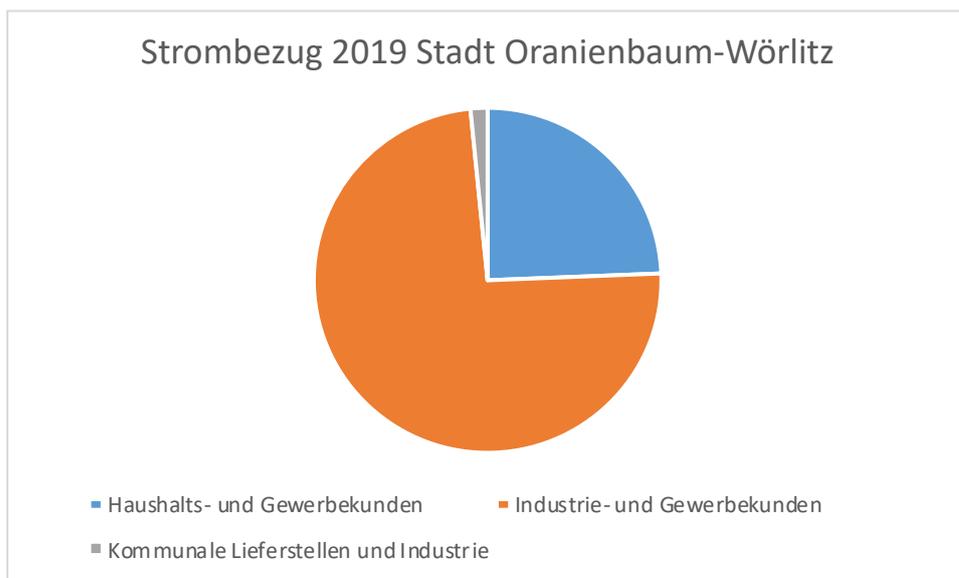


Abbildung 20: Strombezug 2019 Stadt Oranienbaum-Wörlitz Quelle: Envia M

Insgesamt wurden knapp 59 GWh Strom in der Stadt Oranienbaum-Wörlitz im Jahr 2019 verbraucht, diese emittierten ca. 24.029 t CO₂-Äq. Nur um die Größenordnung einmal vorstellbar zu machen, dies entspricht einem Quadrat mit einer Fläche von 209.828 m² und einer Höhe von 458,07 m.

5.2.1 Liegenschaften

Die Verbräuche der öffentlichen Liegenschaften werden aus dem erhobenen Datenbestand ermittelt.

Tabelle 4: Stromverbrauch Liegenschaften:

OT	Liegenschaft	Strom kWh	CO2-Äquivalente kg	CO2-Äq.-Emissionen kg	t CO2-Äquivalente	
Wörlitz	Amtsgasse 36 (Hort)	537	0,408	219,10	0,219096	
	Amtsgasse 37 Grundschule	11.303	0,408	4611,62	4,611624	
	Förstergasse 26	4.167	0,408	1700,14	1,700136	
	Förstergasse 26 (BIBO)	1.039	0,408	423,91	0,423912	
	Sportlerheim/vorm. Wehmann	38	0,408	15,50	0,015504	
	Sportlerheim/Festplatz	2.700	0,408	1101,60	1,1016	
	Sportlerheim/Kläranlage	15.253	0,408	6223,22	6,223224	
	Neue Reihe/Regenwasser	504	0,408	205,63	0,205632	
	Friedhof	3.814	0,408	1556,11	1,556112	
	Sportlerheim 900X	3.710	0,408	1513,68	1,51368	
	Seespitze/Straßenbeleuchtung	4.626	0,408	1887,41	1,887408	
	Hainichtengasse 901Q	6	0,408	2,45	0,002448	
	Bergstückenweg 900X/Werkstatt-FFw	1.375	0,408	561,00	0,561	
	Erdmannsdorffstraße 87/Rathaus	8.825	0,408	3600,60	3,6006	
	Bergstückenweg 900S	21.197	0,408	8648,38	8,648376	
	Erdmannsdorffstr. 900S	16.759	0,408	6837,67	6,837672	
	Bergstückenweg 900X/Feuerwehr	23.140	0,408	9441,12	9,44112	
	Amtsgasse 37 Grundschule	169	0,408	68,95	0,068952	
	Bergstückenweg (Oberfl.entw.)	6.773	0,408	2763,38	2,763384	
	Angergasse 901Q (Oberfl.entw.)	331	0,408	135,05	0,135048	
	Wörlitzer Markt 900F	2.300	0,408	938,40	0,9384	
	Bergstückenweg 900X/Kegelbahn	9.076	0,408	3703,01	3,703008	
	Hainichtengasse 137 C	21.485	0,408	8765,88	8,76588	
	Hainichtengasse 137 C	39.950	0,408	16299,60	16,2996	
			199.077		81223,42	81,223416
	Griesen	Hinterreihe 900X (Dorfplatz)	8	0,408	3,26	0,003264
KITA		3.567	0,408	1455,34	1,455336	
Hinterreihe 19 /FFw		335	0,408	136,68	0,13668	
Ringweg 999 X(Pumpwerk)		29	0,408	11,83	0,011832	
Wörlitzer Str. 900 Q(Pumpw.)		233	0,408	95,06	0,095064	
Zum Kirchsteig		23.762	0,408	9694,90	9,694896	
			27.934		11397,07	11,397072

Vockerrode	Schulstr. 900 S	2780,00	0,408	1134,24	1,13424
	Elbreihe 900X (FFw - Gem.arbeiter)	14814,00	0,408	6044,11	6,044112
	KITA	8113,00	0,408	3310,10	3,310104
	Baumschulenweg/Turnhalle	13206,00	0,408	5388,05	5,388048
	Walderseeer Str. (Sportplatz)	7000,00	0,408	2856,00	2,856
	Elbreihe 900X (Kanuheim)	937,00	0,408	382,30	0,382296
	Elbreihe 900X (Wochenmarkt)	216,00	0,408	88,13	0,088128
	Griesener Str. 32/Kegelbahn	2011,00	0,408	820,49	0,820488
	Baumschulenweg 8/Gemeindezentrum	4571,00	0,408	1864,97	1,864968
	Kapenweg 901 Q	858,00	0,408	350,06	0,350064
	Baumschulenweg 900S	1877,00	0,408	765,82	0,765816
		1718,00	0,408	700,94	0,700944
	Kapenweg 900S	5683,00	0,408	2318,66	2,318664
	Straße der Jugend 900S	2518,00	0,408	1027,34	1,027344
	Winkel 900S	10645,00	0,408	4343,16	4,34316
	Elbstraße 900S	7911,00	0,408	3227,69	3,227688
	Kapenweg 900S	9105,00	0,408	3714,84	3,71484
	Walderseeer Str. 901 S	11870,00	0,408	4842,96	4,84296
	Griesener Str. 900S	3668,00	0,408	1496,54	1,496544
	Baumschulenweg 900S	5642,00	0,408	2301,94	2,301936
	Am Wall 900S	11097,00	0,408	4527,58	4,527576
	August-Bebel-Platz 900 Q	692,00	0,408	282,34	0,282336
	Winkel 900 Q	488,00	0,408	199,10	0,199104
		127420,00		51987,36	51,98736

Oranienbaum	Försterstr. 900S	6.521	0,408	2660,57	2,660568
	Kirchstr. 30	360	0,408	146,88	0,14688
	Schloßstr. 8 / GS	32.716	0,408	13348,13	13,348128
	Am Waldhaus 3A	1.373	0,408	560,18	0,560184
	Leopoldstr. 10 A	4.202	0,408	1714,42	1,714416
	Leopoldstr. 10 B	4.784	0,408	1951,87	1,951872
	Schloßstr. 9 / Hort	6.424	0,408	2620,99	2,620992
	Friedrich-Graf-Str. 14	250	0,408	102,00	0,102
	Wittenberger Str. 40	8.876	0,408	3621,41	3,621408
	Friedhof(Kirchstr. 900K)	2.824	0,408	1152,19	1,152192
	Franzstraße 1	37.336	0,408	15233,09	15,233088
	Markt 900X	1.474	0,408	601,39	0,601392
	Markt 1 Z	5.466	0,408	2230,13	2,230128
	Marienstr. 900S	9.671	0,408	3945,77	3,945768
	Heinrich-Heine-Str.	10.058	0,408	4103,66	4,103664
	Schloßstr. 17/Str-B.	9.540	0,408	3892,32	3,89232
	Solln.Str.(Hutung)	606	0,408	247,25	0,247248
	Kirchstr. 900S	11.128	0,408	4540,22	4,540224
	Grüner Weg 999X	6.559	0,408	2676,07	2,676072
	Markt 900S	10.525	0,408	4294,20	4,2942
	Nordstr. 999X	14.371	0,408	5863,37	5,863368
		12.213	0,408	4982,90	4,982904
	Sollnitzer Str. 900S	25.727	0,408	10496,62	10,496616
	Dessauer Str. 21Z	10.521	0,408	4292,57	4,292568
	Weststr. 900S	17.706	0,408	7224,05	7,224048
	Einsteinstraße 900 Q	274	0,408	111,79	0,111792
	Försterstraße 48	4	0,408	1,63	0,001632
	Schloßstr.17/Info	476	0,408	194,21	0,194208
	Friedrich-Ebert-Str. 10 A	5.278	0,408	2153,42	2,153424
	Dessauer Straße 45	3.102	0,408	1265,62	1,265616
		260.365		106228,92	106,22892

Kakau	Kindergarten	5.320	0,408	2170,56	2,17056
	Horstdorfer Str. 900S	13910	0,408	5675,28	5,67528
	Am Friedhof 900 K Straßenbeleuchtung	3460	0,408	1411,68	1,41168
	Horstdorfer Str. 900S	15637	0,408	6379,90	6,379896
	Ahornweg 900 S	10.115	0,408	4126,92	4,12692
	Im Feldchen 900 S	1.403	0,408	572,42	0,572424
	Alte Schulstraße 23	1149	0,408	468,79	0,468792
	Am Friedhof 900 Z	676	0,408	275,81	0,275808
		51.670		21081,36	21,08136
Brandhorst	Tiefer Weg 32 S	1.308	0,408	533,66	0,533664
	Lange Reihe 20	4.654	0,408	1898,83	1,898832
		5.962		2432,50	2,432496
Horstdorf	Dorfstr. 900K/Friedhof	57	0,408	23,26	0,023256
	Dorfstr. 112 (KiTa)	850	0,408	346,80	0,3468
	Kindergarten	3.344	0,408	1364,35	1,364352
	Dorfstr. 900X(Mühle)	2434	0,408	993,07	0,993072
	Dorfstr. 900X(Teich)	3.600	0,408	1468,80	1,4688
		4.341	0,408	1771,13	1,771128
	Dorfstr. 18 (FFw)	2.053	0,408	837,62	0,837624
	Dorfstr. 900 S	12.145	0,408	4955,16	4,95516
		11.247	0,408	4588,78	4,588776
	Dorfstr. 112 (Gemeinde)	8	0,408	3,26	0,003264
		40079		16352,23	16,352232
Gesamt:		712507,00		290702,86	290,702856

Insgesamt verbrauchten die Liegenschaften im Bezugsjahr 712 MWh, was zu einem CO₂-Äq. Ausstoß von 291 t führte.

5.2.2 Private Haushalte

Die Verbräuche privater Haushalte werden aus Datenquellen der Stadt Oranienbaum-Wörlitz und der BDEW berechnet. Zunächst wird dazu die Anzahl der Haushalte nach Haushaltsgröße erfasst.

Der Stromverbrauch nach Haushaltsgröße ($E_{H,e.B.}$) ist das Produkt aus Anzahl der Haushalte je Haushaltsgröße (n_{Hg}) multipliziert mit dem bundesdurchschnittlichen Verbrauchswert nach Haushaltsgröße ($E_{Hg;\emptyset}$):

$$E_{H,e.B.} = n_{Hg} \cdot E_{Hg;\emptyset}$$

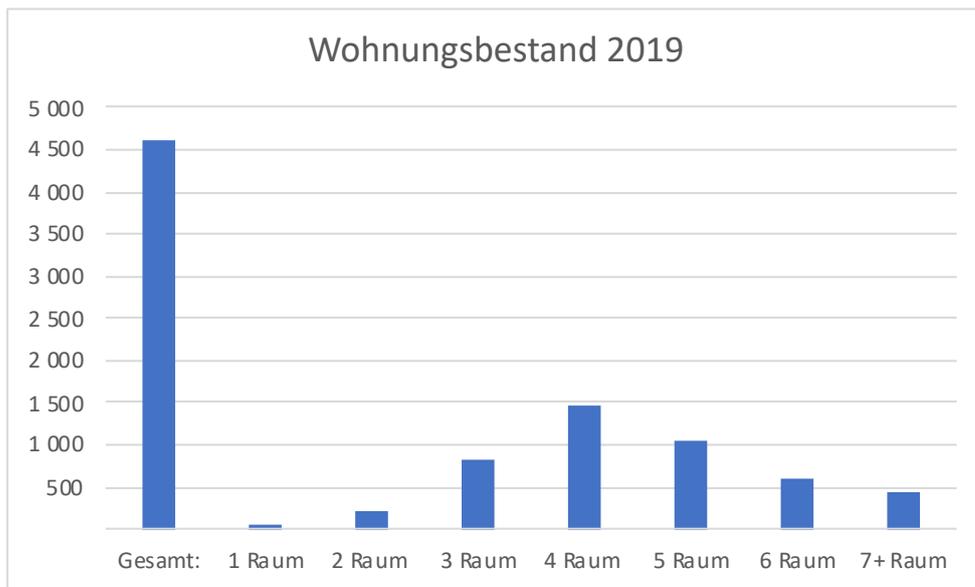


Abbildung 21 - Anzahl der Wohnungen 2019

Datengrundlage: Stadt Oranienbaum-Wörlitz

Die durchschnittliche Wohnungsgröße entspricht knapp 89 m^2 , pro Gebäude befinden sich statistisch gesehen ca. 1,5 Wohnungen. Daraus ergibt sich ein Mittel von 132 m^2 Wohnfläche pro Gebäude. Da die meisten Wohngebäude in der Stadt Oranienbaum-Wörlitz zwei Etagen besitzen, ergibt sich eine durchschnittliche Gebäudegrundfläche von 66 m^2 und damit eine bebaute Fläche von ca. 200.000 m^2 . Das heißt aber auch, dass pro Einwohner $49,13 \text{ m}^2$ Wohnfläche zur Verfügung stehen, und die durchschnittliche Haushaltsgröße bei 1,98, Personen liegt. Je größer ein Haushalt von der Personenzahl ist desto weniger Strom wird pro Kopf konsumiert. Dies zeigt folgende Graphik, in der die durchschnittlichen Stromverbräuche für verschiedene Haushaltsgrößen in 2019 enthalten sind.

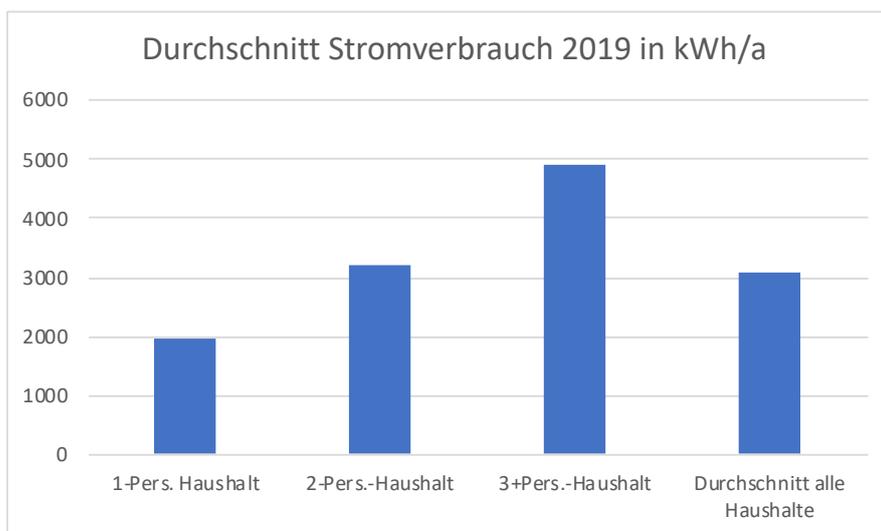


Abbildung 22: Durchschnitt Stromverbrauch nach Haushaltsgröße 2019

Quelle: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/private-haushalte/Tabellen/stromverbrauch-haushalte.html>

Umgerechnet auf den Stromverbrauch der Haushalte in der Stadt Oranienbaum-Wörlitz ergibt sich ein Pro Kopf Stromverbrauch von 1.569 kWh/a, das entspricht bei einer Einwohnerzahl von 8.287 einem Jahresstromverbrauch von knapp 13.000 MWh. Dementsprechend liegen die CO₂-Äquivalentemissionen bei 5.304 t.

5.2.3 Gewerbe, Handel und Dienstleistungen und Industrie

Die Angaben zu dem Ist-Stand des Stromverbrauchs aus GHD und Industrie stellen sich nach den gesetzten Kriterien anteilig wie folgt dar.

76% des gewerblichen Stromverbrauchs deckt der Bereich Gewerbe, Handel, Industrie mit niedrigen, mittleren und hohen Konzessionsabgaben ab. Lediglich 218 MWh/a entfallen auf Konzessionsbefreite Industrie im Untersuchungsraum 2019 ab. Der Gesamtstromverbrauch der Sektoren GHD und Industrie beläuft sich im Bezugsjahr 2009 auf knapp 45.183 MWh/a MWh. Umgerechnet auf die Gesamtbevölkerung ergibt sich ein durchschnittlicher Verbrauch von 5,49 MWh pro Einwohner. Wegen der ungenauen Datengrundlage zu den einzelnen Branchen und deren Mitarbeiterzahlen können keine Vergleiche zu branchenspezifischen Durchschnittswerten vorgenommen werden.

5.3 Szenarien

5.3.1 Rahmendaten für die Szenarien

Die in dieser Arbeit entwickelten Szenarien beruhen im Wesentlichen auf den Annahmen des der Stadt Oranienbaum-Wörlitz und den Prognosen zur Bevölkerungsentwicklung des Land Sachsen-Anhalts sowie ökologischer und ökonomischer Rahmendaten zur Erreichung eines 100% erneuerbare Energiesystems des Umweltbundesamtes. Die gesellschaftlichen Rahmenbedingungen werden sich bis 2050 nicht grundlegend ändern, lediglich die Energiebezüge aus Russland werden in nächste Zeit wegfallen. Vielmehr setzen sich Lebensstil und die Konsum- und Verhaltensmuster wie bisher fort und Deutschland bleibt auf dem Niveau eines hochentwickelten Industrielandes.

5.3.2 Bevölkerungsentwicklung

Obwohl die Stadt Oranienbaum-Wörlitz mit seiner räumlichen Lage zwischen den Metropolen Berlin und Leipzig liegt, ergibt sich für die Sozioökonomie des Untersuchungsraumes eine negative Entwicklung. So wird von einer weiteren Abwanderung von Menschen und damit der Wirtschaftsleistung ausgegangen.

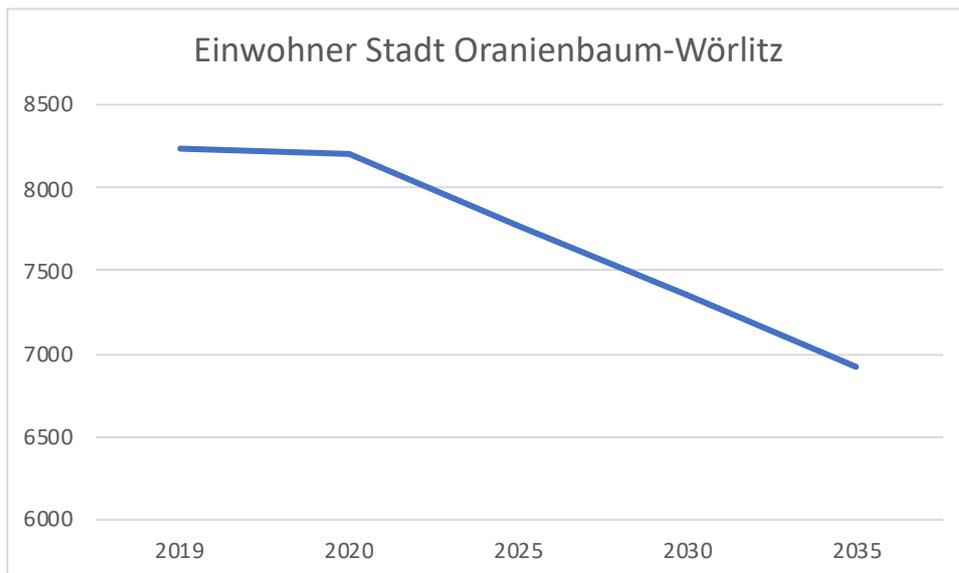


Abbildung 23: Prognose zur Bevölkerungsentwicklung in der Stadt Oranienbaum-Wörlitz

Für den weiteren Verlauf der demographischen Entwicklung im Untersuchungsraum nach 2035 lagen keine weiteren Daten vor, so dass auf Grundlage der Bevölkerungsstruktur in dieser Arbeit Annahmen für das Jahr 2045 den bundesdurchschnittlichen Berechnungen des Deutschen Statistischen Bundesamtes entnommen werden. Die Bevölkerungsfortschreibung für Deutschland identifiziert bis zum Jahr 2045 ein deutliches Überaltern der Gesellschaft. „Insgesamt wird die Zahl der 65-Jährigen und Älteren von 14,9 Millionen im Jahre 2003 auf 23,1 Millionen im Jahre 2050 steigen. Der Anteil dieser Altersgruppe an der Gesamtbevölkerung wird sich von 18 % (2003) auf etwa 30 % (2050) erhöhen“ (DIW, 2007:18).

Diese Entwicklung hat direkte Auswirkungen auf die Anzahl der Personenhaushalte im Untersuchungsraum. Mit einer Überalterung der Bevölkerung geht eine Reduktion der Anzahl Personen pro Haushalt einher, zudem steigt die Wohnfläche pro Haushalt an. Bei 1- und 2- Personenhaushalten wird bis zum Jahr 2035 die Haushaltszahl deutlich ansteigen.

5.3.2.1 BUSINESS AS USUAL-Szenario

Die folgenden Jahre werden keine größeren Technologiesprünge hervorbringen und folgen im Wesentlichen einer angepassten Effizienzsteigerung im Strom- und Wärmeverbrauch. Auch energiepolitisch wird sich der bisherige Trend fortsetzen. Die politische Ausrichtung folgt dabei den landes- und bundespolitischen Entwicklungen in der energetischen Neuausrichtung. Dieser Prozess wird kontinuierlich durch das Intervenieren wirtschaftlicher Interessenvertreter behindert, die sowohl steigende Energiepreise als auch die Vorgaben von Energieeinsparzielen kritisieren und zu verhindern versuchen. Einzelne Maßnahmen, wie diese Teilarbeit zum Energiekonzept, werden in den zuständigen Gremien zur Kenntnis genommen. Einzelmaßnahmen zur Gebäudesanierung öffentlicher

Liegenschaften werden im Untersuchungsraum sukzessive umgesetzt und bis zum Jahr 2045 entspricht der Gebäudestandard der dann gültigen Gebäudeenergieverordnung.

5.3.2.2 GOOD CASE-Szenario

Auch im GOOD CASE-Szenario gelten die Kernaussagen zur sozioökonomischen Entwicklung im Untersuchungsraum. Die politischen und technologischen Rahmenbedingungen hingegen weisen einen gänzlich anderen und neuen Weg. Anzumerken ist hier, dass die derzeitige politische Situation einen Ausstieg aus fossilen Energieträgern forciert und die Tendenz generell zum GOOD CASE hingeht.

Die Weltgesellschaft ändert sich in den Belangen des Klimaschutzes und der energiesystemischen Steuerung massiv. Ein globales verbindliches Abkommen zum Schutz des Klimas wird geschlossen werden. Daraus ergeben sich, im Völkerrecht klar geregelt, Verpflichtungen zur CO₂-Reduktion. Es entstehen internationale Konsortien, die zur Technologieentwicklung beitragen und Deutschland wird aufgrund seines hohen Wissensstandes davon profitieren. Für den Landkreis Wittenberg und die Stadt Oranienbaum-Wörlitz ergeben sich daraus neue Handlungsperspektiven. Der Regionalverwaltung kommt aufgrund des Rechts auf Selbstverwaltung, sowohl in der Planung als auch beim Betrieb von Energieerzeugungsanlagen und der Verteilung der erzeugten Energie eine zentrale Aufgabe zur Sicherung des Energiebedarfs in der Region und darüber hinaus zu.

Das europäische Verteilnetz für Strom wird auf ein dezentrales intelligentes Versorgungssystem für regenerative Energieerzeugungsanlagen ausgerichtet. Der effiziente und kontinuierliche Betrieb wird auf der Gemeindeebene sichergestellt. Die Lastenverteilung erfolgt im Regionenverbund, der wiederum die nationale Netzstabilität usw. reguliert. Gleiches gilt auch für die Wärmeversorgung. Flächendeckende Niederenergiestandards im Wohnbestand und Neubau werden massiv gefördert und Wärmespeichertechnologien erobern den Markt. Die Wertschöpfung bleibt in diesem System innerhalb der Regionen, so dass der zunächst höchst kostenintensive Umbau des alten Systems schon bis 2045 mit steigenden Einnahmen und zumindest stabilen Energiepreisen gerechnet werden kann. Diese Entwicklung fordert einen hohen Grad an öffentlicher Akzeptanz, da die Bevölkerung als Verbraucher und Steuerzahler an der Realisierung dieses Systems beteiligt wird. Trotzdem werden die energiepolitischen Entscheidungen aufgrund des hohen Problembewusstseins der Menschen, besonders in Deutschland, getragen. Die Glaubwürdigkeit in die politischen Entscheidungsträger steigt und fördert das Demokratieverständnis. Insgesamt wirkt sich das breite Bündnis zum Schutz des Weltklimas stabilisierend auf ehemalige und akute Krisenherde der Erde aus.

5.3.2.3 2050 100%-Szenario

In der Studie des UBA 2010 wird untersucht, [...] „wie eine Stromerzeugung im Jahr 2050 aussehen kann, die vollständig auf erneuerbaren Energiequellen beruht“ (UBA

2010: 11). Hierzu wurden aus der technischen Perspektive drei archetypischen Szenarien (Abschnitt 3.6.1) einer erneuerbaren Stromversorgung identifiziert. Die Ergebnisse der Studie basieren auf der Modellierung des Szenarios „Regionenverbund“, welches mit Hilfe des SimEE-Modell vom Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (vgl. Fraunhofer IWES 2009) berechnet wurde. Im Ergebnis kam die Studie zu dem Schluss, dass die die Stromversorgung zu 100 Prozent aus erneuerbaren Energien technisch und ökologisch vertretbar zu realisieren ist (UBA 2010). Dieses Szenario wurde unter Berücksichtigung der RESCUE-Studie des Umweltbundesamtes, der Ziele der Bundesregierung und der Europäischen Union auf das Jahr 2045 vorgezogen.

Die Berechnungen der Sektoren GHD und Industrie basieren auf den Rahmendaten des Referenzszenarios der WWF-Studie (UBA:2010). Für die Ermittlung des Energieverbrauchs privater Haushalte, der Kälte- und Klimatisierungsbedarf im GHD-Sektor und der Elektromobilität folgt das UBA eigenen Annahmen.

5.3.3 Private Haushalte

5.3.3.1 BAU-Szenario

Mit dem Trend zu mehr 1- und 2-Personenhaushalten ändern sich die Ansprüche der Haushaltsnutzung. Der klassische Herd wird zunehmend durch Elektrogeräte wie Mikrowelle und Kleingrill ersetzt. Auch der Außerhausverzehr der Kleinhaushalte und die Belieferung der zunehmenden Zahl älterer Menschen mit warmen Mahlzeiten werden die klassischen Strukturen mit Kühltruhe, Backofen und Herd den Rang ablaufen.

Weiterhin werden die Haushaltsgeräte wie Kühlschränke, Waschmaschinen, Wäschetrockner, Geschirrspüler (Weiße Ware), Unterhaltungs-, Informations- und Kommunikationsgeräte (IKT), Beleuchtung, Klimageräte und Kleingeräte den Haushalt bestimmen. Die Steigerung der Energieeffizienz dieser Geräte wird bis zum Jahr 2050 vorangetrieben. Allerdings wird die zunehmende Ausstattung mit elektronischen Geräten weiter zunehmen Insbesondere durch die Klimaerwärmung kommt auch der Gebäudekühlung eine immer wichtigere Rolle zu. Laut WWF-Studie nimmt der Verbrauch von Elektrogeräten trotz steigender Gerätezahl von 18 Prozent um 21 Prozent ab (vgl. WWF 2009:65ff.).

Der Stromverbrauch im Untersuchungsraum wird aufgrund der o. g. Faktoren bis zum Jahr 2030 um 16,5 Prozent zurückgehen. Bis zum Jahr 2045 werden insgesamt 28,3 Prozent Einsparung möglich sein. Allerdings werden durch den Ukraine-Konflikt Stein- und Braunkohlekraftwerke länger am Laufen gehalten, so dass die klimapolitischen Ziele nicht eingehalten werden können. Aufgrund von Ressourcenknappheit und Fachkräftemangel kommt der Ausbau erneuerbarer Energien in Verzug.

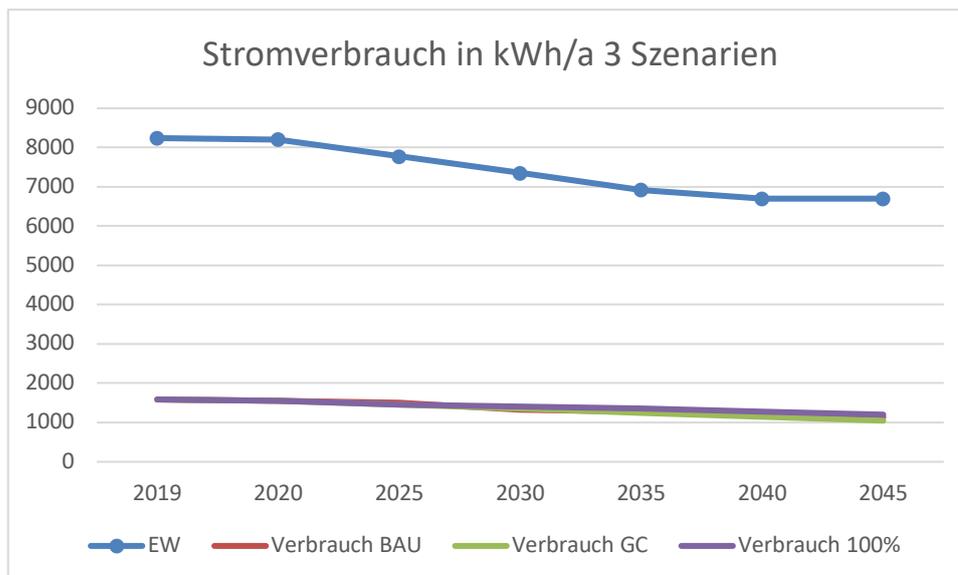


Abbildung 24 - Stromverbrauchsentwicklung privater Haushalte 2019-2045

5.3.3.2 GC-Szenario

Im Untersuchungsraum geht der Stromverbrauch bis zum Jahr 2045 um 44% (WWF 2009:188) zurück. Maßgeblich sei dies auf den flächendeckenden Einzug von Induktionsherden, und die Steigerung der technischen Energieeffizienz bei Elektrogeräten zurückzuführen. „Die höhere Effizienzsteigerung wird unter anderem durch eine starke Marktdurchdringung mit wasserfreien Waschmaschinen, die keinen Trockner mehr benötigen und mit Magnet- Stromkühlschränken erreicht“ (eb.da:184), auch die Umstellung von Geräten wie etwa dem Fernseher auf optische Visoren tragen zur Stromeinsparung bei. Daneben reduzieren die eingeführten Passivhausstandards, auch für den Altbaubestand, den Stromverbrauch von Klimaanlage erheblich (vgl. eb.da:188).

5.3.3.3 100% 2050-Szenario

Auch in der Studie des UBA erfährt der private Haushaltssektor einen Rückgang im Stromverbrauch. Zur Vereinfachung sind die Reduktionen im Stromverbrauch denen des Good Case Szenarios gleichgestellt. Das UBA geht davon aus, dass bis zum Jahr 2050 die Minderungspotentiale elektrischer Geräte und Anlagen vollständig erschlossen sind. Gleichzeitig wird in der Studie allerdings davon ausgegangen, dass durch einen verstärkten Einsatz von Wärmepumpen in Zukunft nur ein vermindertes Stromeinsparpotential erzielt werden kann. (UBA 2010: 20).

Der Stromverbrauch im Sektor „private Haushalte“ geht dem 100% 2050-Szenario nach um 25% zurück.

5.3.4 GHD

5.3.4.1 BAU-Szenario

Der GHD-Sektor erfährt bis zum Jahr 2045 insgesamt ein Branchenwachstum gegenüber dem Ausgangsjahr. Diese Entwicklung schlägt sich trotz effizienzsteigernden Maßnahmen in einem nahezu unveränderten Stromverbrauch nieder. Insbesondere der Verwendungszweck Kühlen und Lüften zur Klimatisierung der Räume erfährt laut WWF-Studie ein Anstieg des Energieverbrauchs um 300%. Zwar nimmt der Energieaufwand für Beleuchtung und durch den Einsatz Effizienter IKT deutlich ab und halbiert sich bis zum Jahr 2045. Allerdings fängt die Einsparung den erhöhten Klimatisierungsaufwand nicht auf (WWF 2009). Für den Untersuchungsraum ergibt sich daraus ein Rückgang des Stromverbrauchs um knapp 1%.

5.3.4.2 GC-Szenario

Hat der Stromverbrauch 2045 sich im BAU-Szenario gegenüber dem Ausgangsjahr kaum verändert, so erfährt dieser Sektor unter den gegebenen Bedingungen des GC-Szenarios eine Reduktion des Stromverbrauchs um 31 Prozent. Dieses Einsparpotential begründet sich durch eine zügig und vollständig angewandte Effizienzsteigerung der Gerätetechnologie und durch neue Technologien wie Tageslichtlenkungssysteme, neuartiger Kühltechniken und intelligente Prozessenergieanwendungen (WWF 2009).

5.3.4.3 100% 2050-Szenario

Im Wesentlichen bestätigt das Umweltbundesamt die Annahmen der WWF-Studie. Ausgenommen ist hier der immense Anstieg der Klimatisierungsanwendungen. Zwar steigt der Bedarf laut UBA-Studie aufgrund des Klimawandels. Allerdings wird das technische Minderungspotential beispielsweise durch wirksamen Sonnenschutz, energiesparende Kühl- und Lüftungstechniken und optimierte Betriebsweisen nicht berücksichtigt (UBA 2010). Für den Untersuchungsraum ergibt sich daraus ein Rückgang des Stromverbrauchs im GHD-Sektor bis 2045 um 27%.

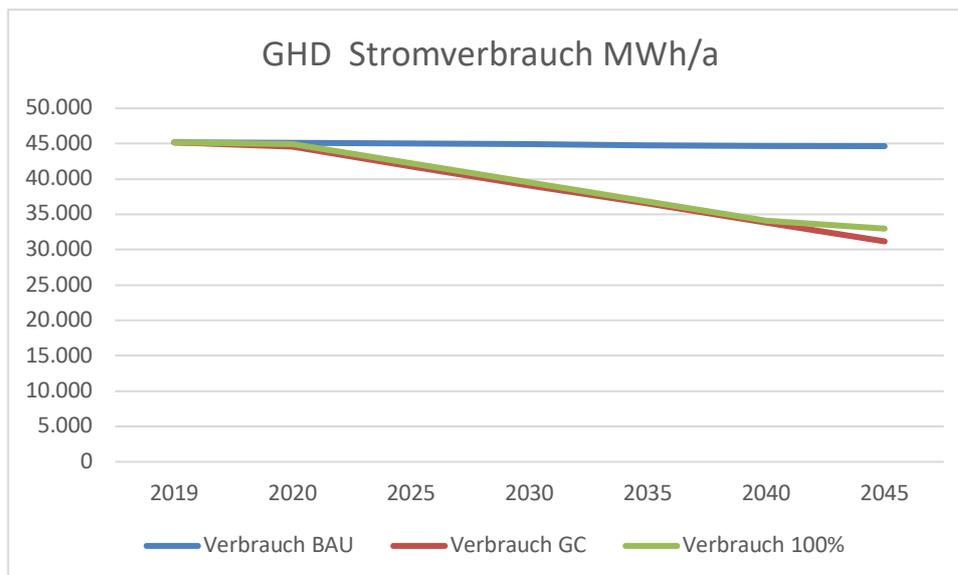


Abbildung 25 - Stromverbrauchsentwicklung GHD 2019-2045

5.3.5 Industrie

5.3.5.1 BAU-Szenario

Auch für die Entwicklungen im Sektor Industrie werden in einigen Branchen deutliche Wachstumsprozesse erwartet. Insbesondere hochwertige und wissensintensive Produkte mit steigender Wertdichte z. B. Werkstoffe gehören dazu (WWF 2009). Weiterhin nehmen der Maschinen-, Fahrzeugbau, die Metallverarbeitung und die Chemie eine zentrale Rolle mit hohen Wachstumsraten am Wirtschaftsstandort ein (eb.da). Hinsichtlich effizienzsteigernder Maßnahmen wird der Sektor bald an die Grenzen des Möglichen stoßen. Schon heute werden aufgrund von erwünschten Kosteneinsparungen vor allem in energieintensiven Branchen die Prozesse weitestgehend optimiert. Die Senkung des Strombedarfs verläuft also auch für den Industrie-Sektor eher moderat. Für den Zeitraum 2019-2045 sinkt im Untersuchungsraum der Stromverbrauch um 10%.

5.3.5.2 GC-Szenario

Gegenüber dem Referenz-Szenario der WWF-Studie kommt es branchenspezifisch aufgrund veränderter Nachfrage zu strukturellen Verschiebungen. Steigt der Bedarf an Gütern aus den Materialien Keramik, Hochleistungsgläsern, Dämmstoffen, Kunststoffen und neuen Werkstoffen so wird sich die sinkende Nachfrage nach herkömmlichen Baustoffen wie etwa Baustahl negativ auf das Wachstum der Metallerzeugung auswirken (WWF 2009). Im Wesentlichen folgt die Industrie in der Stromeinsparung den Annahmen des GHD-Sektors. Für den Untersuchungsraum ergibt sich daraus eine Verbrauchsmin- derung von 43 Prozent.

5.3.5.3 100% 2050-Szenario

Den Stromverbrauchsentwicklungen bis 2050 folgt die UBA-Studie im Wesentlichen den Annahmen des GC-Szenarios, was der hohen Deckungsgrad beider Szenarien bestätigt. Bis 2050 weist der Industrie-Sektor ein Einsparvolumen von 12% auf.

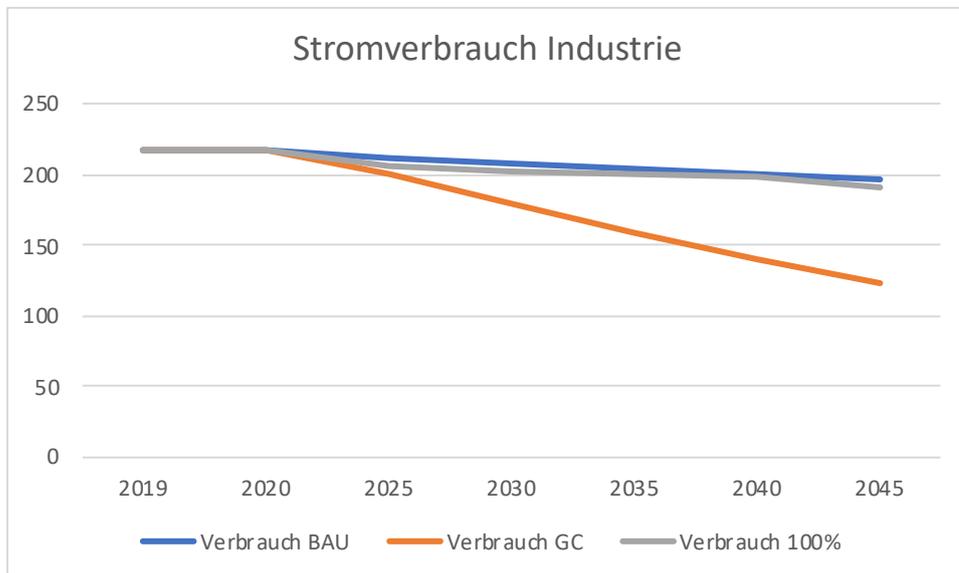


Abbildung 26 - Stromverbrauchsentwicklung Industrie in MWh/a 2019-2045

5.3.6 Gesamtstromverbrauch

Der Gesamtstromverbrauch im Untersuchungsraum beläuft sich im Jahr 2019 nach Angaben der EVU auf 58.895 MWh, das entspricht einem Verbrauch pro Kopf von 7.107 kWh. Die Entwicklung des Prokopfverbrauchs ist abhängig vom gewählten Szenario.

Es ist davon auszugehen, dass der Stromverbrauch pro Kopf 2045 gegenüber 2030 wieder ansteigt. Dies begründet sich durch die sektoriell übergreifende Umstellung von Brennstoff- auf Stromanwendungen. Durch den verstärkten Einsatz von Wärmepumpen kann der Stromverbrauch pro Kopf über den Ausgangswert des Jahres 2019 ansteigen.

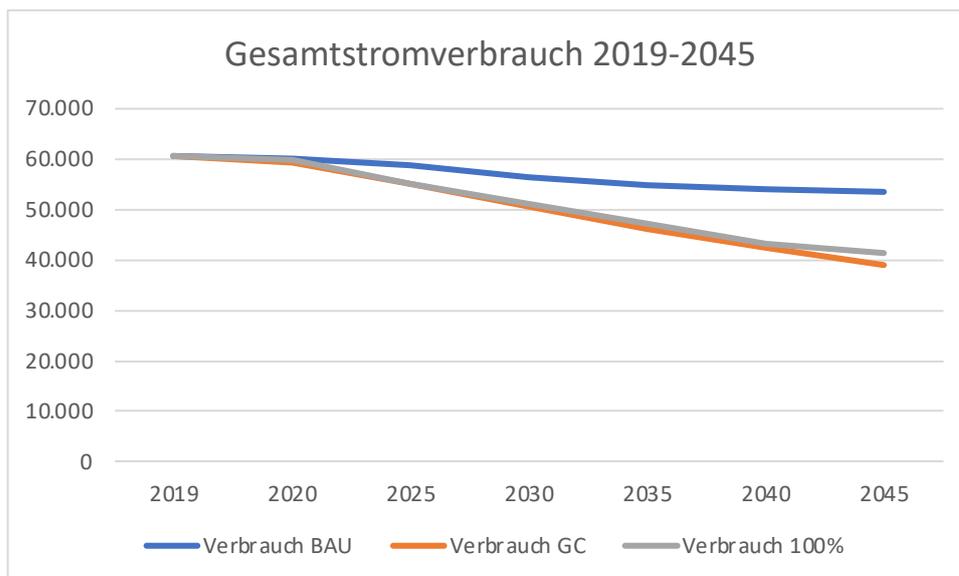


Abbildung 27: Stromverbrauchsentwicklung Gesamt 2019-2045

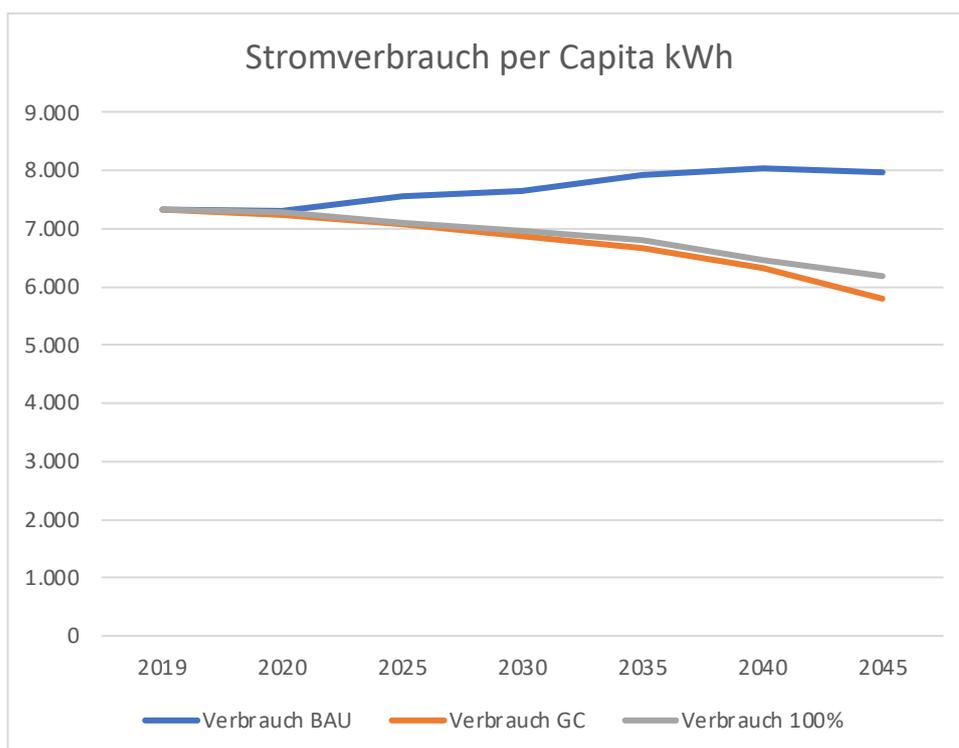


Abbildung 28: Stromverbrauchsentwicklung pro Kopf/a 2019-2045

6 Wärme

6.1 Methodik

Das Vorgehen zur Identifizierung des Wärmeverbrauchs in der Stadt Oranienbaum-Wörlitz heute und bis 2045 unterscheidet sich wesentlich zur Stromverbrauchsanalyse. Wie im vorangegangenen Kapitel 5 folgt der methodischen Abgrenzung zunächst die Beschreibung des Vorgehens zur Datenerhebung und Datensystematisierung der Sektoren. Es folgt die Ermittlung des Ist-Verbrauchs und anschließend die Entwicklung von Wärmeverbrauchsannahmen im Untersuchungsraum bis 2045.

6.1.1 Abgrenzung

Das vorliegende Kapitel bezieht sich ausschließlich auf den Wärmeverbrauch eines Verbrauchsjahres innerhalb der Stadt Oranienbaum-Wörlitz. Wie im vorangegangenen Kapitel 5 bildet ein Verbrauchsjahr den Lieferzeitraum ab und Abweichungen bzgl. der Abrechnungstage werden in den Berechnungen nicht berücksichtigt. Die Datengrundlage der Ist-Verbräuche eines Verbrauchsjahres beruht auf den Angaben der EV sowie Bundesdurchschnittswerten. Ferner werden auch die Annahmen der Szenarien zum zukünftigen Wärmeverbrauch bis 2045 auf Grundlage der im Stromverbrauchsszenario gewählten Referenzszenarien berechnet.

Der Genauigkeitsgrad erhobener Wärmedaten gegenüber den Stromdaten ist differenziert zu betrachten. Im Gegensatz zur Netzgebundenheit des Stroms setzt sich der Wärmemarkt aus uneinheitlichen Verteilnetzstrukturen mit verschiedenen Brennstoffarten und Feuerungssystemen zusammen. Erdgas beispielsweise kann sowohl durch das Erdgasnetz als auch kundennah in Erdgastanks bereitgestellt werden. Heizöl, Holz und Kohle werden ebenfalls beim Verbraucher gebunkert. Aus diesem Grund werden zur Wärmeverbrauchsanalyse Bundesdurchschnittswerte hinzugezogen, die den Ist-Stand im Untersuchungsraum annäherungsweise abbilden.

Die erhobenen Daten zu den Feuerungsanlagen durch die Schornsteinfeger können nur bedingt als Vergleichsparameter für Bundesdurchschnittswerte herangezogen werden. Auch Daten bzgl. des Sanierungsgrades des Wohnungsbestands liegen im Untersuchungsraum nicht vor. Die Grundlage zur Berechnung des Ist-Verbrauchs einzelner Sektoren bilden die Gasabgabedaten der EVU.

6.2 Erfassung und Systematisierung der Datengrundlage

6.2.1 Liegenschaftsverbräuche

Die Erfassung und Systematisierung der Liegenschaftsverbrauchsdaten folgt dem Vorgehen der Stromdatenerhebung. Der Ist-Verbrauch für das Jahr 2019 wird aus den Daten der Stadt Oranienbaum-Wörlitz errechnet.

6.2.2 Private Haushaltsverbräuche

Die Datengrundlage der privaten Haushalte auf den Feuerstätten und Bundesdurchschnittsverbräuchen sowie Daten des Landes Sachsen-Anhalt.

6.2.3 Industrie- und GHD

Für die Erhebung von Wärmeverbrauchsdaten aus Industrie und dem GHD-Sektor werden die Angaben der EVU und Bundesdurchschnittswerte herangezogen.

6.3 Wärmeverbrauch nach Sektoren

Die Ermittlung des sektoralen Ist-Stands von Wärmeverbräuchen bildet wie im vorangegangenen Kapitel die Grund- und Ausgangslage zur Entwicklung der Wärmeverbrauchsszenarien. Die Ist-Verbräuche werden von öffentlichen Liegenschaften, privaten Haushalten, Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen berechnet. Die Darstellung der Ist-Daten erfolgt zunächst getrennt, bevor am Ende dieses Abschnitts daraus der Gesamtwärmeverbrauch des Untersuchungsraumes ermittelt wird.

6.3.1 Liegenschaften

Die Verbräuche der öffentlichen Liegenschaften werden aus dem erhobenen Datenbestand ermittelt.

Tabelle 5: Liegenschaftsverbräuche Wärme/Warmwasser nach Energieträger

Oranienbaum Wörlitz				
Zusammenführung Verbräuche Liegenschaften Referenzjahr 2019				
OT	Liegenschaft	Energieträger	Verbrauch 2019	t CO2-Äquivalente
Wörlitz	Sportlerheim	Heizöl I	9.000	26,28
	Rathaus	Heizöl I	9.000	26,28
	Förstergasse 26	Gas kWh	2.295	0,5049
	Bergstückenweg	Gas kWh	96.144	21,15168
	Hort/Kita	Gas kWh	12.110	2,6642
	Grundschule	Gas kWh	8.925	1,9635
	Alte Grundschule	Gas kWh	136.375	30,0025
	Förstergasse 26 (Wärmepumpe)	Strom kWh	12.754	5,114354
				113,961134
Oranienbaun	Grundschule	Heizöl I	49.635	144,9342
	Rathaus	Gas kWh	94.241	20,73302
	Kindergarten	Gas kWh	86.051	18,93122
	Kinderkrippe	Gas kWh	180.895	39,7969
	Hort	Gas kWh	68.298	15,02556
	Karnevalsverein	Gas kWh	16.217	3,56774
	alte FFW	Gas kWh	17.046	3,75012
	FFW	Gas kWh	18.599	4,09178
	Stadtinfo	Gas kWh	23.794	5,23468
			256,06522	
Griesen	Dorfstraße	Gas kWh	32.641	7,18102
	Hinterreihe	Gas kWh	7.414	1,63108
			8,8121	
Vockerode	FFW	Fernwärme kWh	89.681	14,34896
	Jugendclub	Fernwärme kWh	28.716	4,59456
	Gemeindezentrum	Fernwärme kWh	94.308	15,08928
	Turnhalle	Fernwärme kWh	34.450	5,512
	Kegelbahn	Fernwärme kWh	61.165	9,7864
	Kita	Fernwärme kWh	195.251	31,24016
			80,57136	
Kakau	Kirchweg (FFw) Wärmepumpens	Strom kWh	3300	1,3233
Gesamt Wärme / Warmwasser				460,733114

Der Gesamtbedarf an Energie für die Bereitstellung von Wärme/Warmwasser betrug 2019 für die Liegenschaften 1.993 MWh. Der Anteil von Heizöl liegt bei knapp 34% mit

672 MWh, der Verbrauch von Erdgas beträgt 40%, entsprechend 801 MWh. Fernwärme hat einen Anteil von 25%, 504 MWh, und Wärmepumpenstrom 0,8%, 16 MWh.

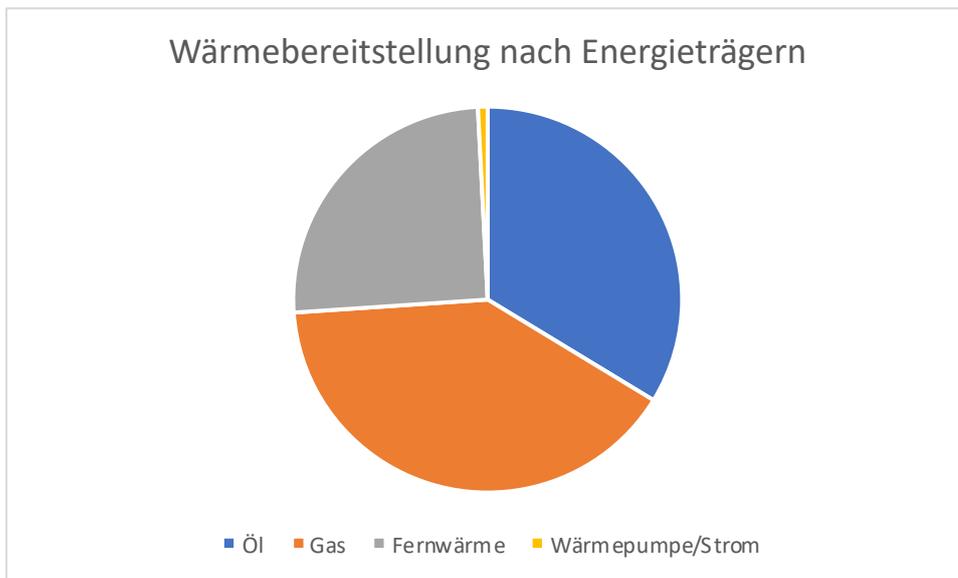


Abbildung 29: Wärme/Warmwasserverbrauch der Liegenschaften der Stadt Oranienbaum-Wörlitz in MWh nach Energieträgern

6.3.2 Private Haushalte

Die Verbräuche privater Haushalte werden aus und Bundesdurchschnittswerten und Werten des Landes Sachsen-Anhalt berechnet. Daneben erfolgt die Berechnung des Wärmeverbrauchs nach Baualtersklassen auf Grundlage von Daten des BDEW und des UBA. Im Untersuchungsraum ist der Wohnungsbestand mit 43,5% überwiegend von Gebäuden der Baualtersklasse vor 1948 geprägt. Hierzu zählt ein großer Teil historischer, denkmalgeschützter Bauwerke. Aus den Baujahren 1949 – 1978 stammen 26% der Gebäude. Zwischen 1979 – 1990 sind ca. 13% der bestehenden Gebäude errichtet worden. In den Jahren 1991 – 2010 sind ebenfalls knapp 13% gebaut worden, der Neubaubestand nach 2011 beträgt etwa 1% (https://www.dena.de/fileadmin/user_upload/8162_dena-Gebaeudereport.pdf). Im Land Sachsen-Anhalt, diese Annahme wird für die Stadt Oranienbaum Wörlitz übernommen, werden 72,4% der Wohnungen zentral beheizt und 27,6% durch dezentrale Heizungen versorgt.

Der durchschnittliche Bedarf an Energie für Raumwärme und Warmwasser beträgt in Deutschland derzeit ca. 130 kWh/m²/a. Damit ergibt sich ein Bedarf pro Kopf 6386 kWh/a. Der Gesamtwärmeverbrauch der privaten Haushalte im Untersuchungsraum beläuft sich demnach auf mindestens 52.924 MWh/a.

Die Wärme/Warmwasserversorgung der Privathaushalte setzt sich wie folgt zusammen. Oberflächennahe Geothermie nutzen ca. 173 Gebäude. Holz-/Pelletheizungen sind nur etwa 10 Anlagen in Betrieb. Der überwiegende Anteil der Gebäude wird mit Erdgas geheizt, das sind ca. 1380 Anlagen, dazu kommen noch 224 Flüssiggasheizungen. Öl wird

noch in 631 Heizanlagen verfeuert. Dazu gibt es noch 1.745 Feststoffverbrenner, diese sind nicht unbedingt eine alleinstehende Heizung, sondern dienen vor allem einer zusätzlichen Heizanlage wie Kaminen oder Holzöfen. Vockerode wird über ein Fernwärmesystem mit einer Hackschnitzelanlage von 1 MW und zwei 0,5 MW Ölheizkesseln versorgt wird. Damit entspricht die Aufteilung der Heizsysteme in Oranienbaum-Wörlitz in etwa der dem Land Sachsen-Anhalt, mit 57,20% Gas-, 14,70 % Ölheizungen, 6,9% Elektrowärmepumpen und 5,4% Fernwärmeanteil. Diese Zusammensetzung wird später für die Berechnung der Treibhausgasemissionen benutzt.

Für Industrie und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen lagen leider keine verwertbaren Informationen vor. Der Wärmeverbrauch kann nur in Relation des Bundesdurchschnitts zum Stromverbrauch geschätzt werden.

6.4 Szenarien

6.4.1 Rahmendaten und Annahmen für die Szenarien

Die in dieser Arbeit entwickelten Szenarien zum Wärmeverbrauch beruhen im Wesentlichen auf den Annahmen der Prognos AG und des Umweltbundesamtes. Die Modellierung erfolgt auf der Grundlage gemeinsamer Rahmendaten zur demographischen Entwicklung und wirtschaftlichen Entwicklung (WWF 2009). Die sozioökonomischen Rahmenbedingungen für Szenarien wurden bereits in Kapitel 5 erörtert.

Einen wesentlichen Anteil an Energieeinsparungen im Wärmeverbrauch haben Sanierungsmaßnahmen im Altbaubestand von Wohngebäuden. Eine vollständige Sanierung bis 2045 ist unter Einhaltung der Auflagen zum Denkmalschutz möglich, allerdings müsste dazu die Sanierungsrate von derzeit etwa 1% jährlich (Bundesdurchschnitt) deutlich übertraffen werden.

6.4.1.1 BUSINESS AS USUAL-Szenario

Das Szenario folgt den Annahmen aus Kapitel 5.

6.4.1.2 GOOD CASE-Szenario

Das Szenario folgt den Annahmen aus Kapitel 5.

6.4.1.3 2050 100%-Szenario

Das Szenario folgt den Annahmen aus Kapitel 5.

6.4.2 Private Haushalte

6.4.2.1 BAU-Szenario

In den privaten Haushalten setzt sich insgesamt der Trend weg von Öl- und Kohleheizungen (Reduktion um 23%) sowie den elektrischen Widerstandsheizungen (Reduktion um 66%) fort. Bis zum Jahr 2030 erfährt die gasbeheizte Wohnfläche einen geringen Zuwachs. Bis zum Jahr 2045 ist auch diese Anwendung rückläufig und insgesamt beträgt der Gaszuwachs gegenüber dem Ausgangsjahr 2019 5%. Stetigen Zuwachs erhalten vor allem Wärmepumpen, welche insbesondere im 1- und 2-Familienhaus installiert werden. Auch die fernwärme-, holz- und solarwärmebeheizte Wohnfläche wächst gegenüber dem Ausgangsjahr. Gas und Öl allerdings bleiben in diesem Szenario mit einem Anteil von 70 % weiterhin die wichtigsten Energieträger. Die Sanierungsrate liegt im Betrachtungszeitraum stabil bei 1,1% und erreicht im Mittel einen Wärmeleistungsreduktion von 30% gegenüber den Verbräuchen vor der Sanierung.

Neben der energetischen Qualität eines Gebäudes haben auch subjektive Einflussfaktoren (Lüftungsverhalten, individuelle Temperaturregulierung) Auswirkungen auf den Wärmeverbrauch. In diesem Szenario wird davon ausgegangen, dass das Nutzungsverhalten sich nicht gravierend ändert. Die Einsparungen an Wärmeenergie sind über den Untersuchungszeitraum ausschließlich auf demographische und effizienzsteigernde Effekte zurückzuführen.

Für den Untersuchungsraum ergibt sich daraus bis zum Jahr 2045 eine Minderung des Wärmebedarfs privater Haushalte um 45%.

6.4.2.2 GOOD CASE-Szenario

Dieses Szenario unterscheidet sich insbesondere in der Beheizungsstruktur zum BAU-Szenario. Ab dem Jahr 2020 werden in Neubauten keine Öl-, Kohle oder Stromdirektheizungen mehr eingebaut. Auch Gas verliert an Bedeutung.

Die Beheizungsstruktur im Wohnungsbestand erfährt insbesondere durch den Einsatz von Solarthermie und Umgebungswärme in Kombination mit Langzeitspeichern eine höhere Substitutionsrate. Beispielsweise weitet sich die solarthermische Anwendung deutlich aus. Insgesamt wird die Nachfrage nach Wärme infolge einer erhöhten Sanierungsrate (2%) und der Vorgabe von Passivhausstandards (15 kWh/m²a Heizwärme) bei Neubauten bis zum Jahr 2030 abnehmen. Der Trend zum Null-Energiehaus setzt sich fort und im Jahr 2045 wird ein spezifischer Bedarfswert von 5 kWh/m²a erreicht. Bei Altbauten wird von einem Bedarfswert von 55 kWh/m²a ausgegangen. In Folge dieser Maßnahmen reduziert sich der spezifische Raumwärmebedarf um über 70%.

6.4.2.3 100% 2050-Szenario

In den Annahmen zur künftigen Entwicklung des Gebäudebestandes geht das UBA davon aus, dass eine vollständige Sanierung bis zum Jahr 2045 möglich ist (UBA 2010:23). Der spezifische Wärmebedarf aller Altbauten sinkt bis 2050 auf 30 kWh/m²a. Darin sind beispielsweise Faktoren wie Denkmalschutz - eine vollständige Sanierung geschützter Gebäude ist nicht möglich – berücksichtigt. Bis zum Jahr 2025 wird der zulässige Nutzenergiebedarf für Wohnungsneubauten auf 10 kWh/m²a festgesetzt. Sowohl im Neubau als auch im Altbaubestand wird der Wärmeverlust durch Fensterlüften durch die Anwendung hocheffizienter Lüftungssysteme kompensiert. Somit reduziert sich der spezifische Wärmebedarf aller Gebäude von derzeit 130 kWh/m²a auf 26,4 kWh/m²a im Jahr 2050 (eb.da).

Wie im GC-Szenario wird hier davon ausgegangen, dass neben solar- die geothermische Anwendungen einen Großteil der Wärmeversorgung übernehmen. Dazu werden elektrische Wärmepumpen mit Pufferspeichern eingesetzt (eb.da:24). Für den Untersuchungsraum ergibt sich bis zum Jahr 2045 eine Minderung des Wärmebedarfs privater Haushalte um 90%.

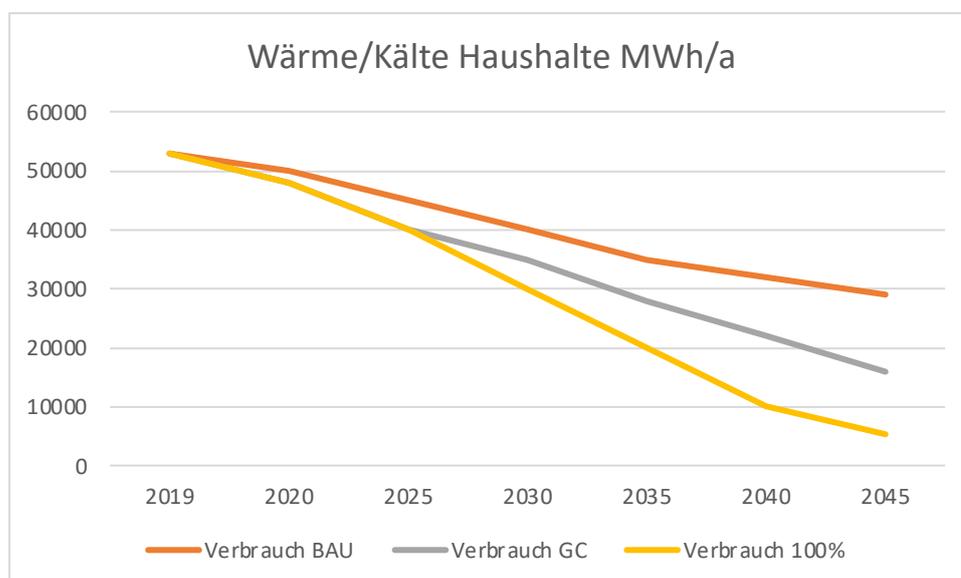


Abbildung 30 - Wärmeverbrauchsentwicklung privater Haushalte 2019-2045

6.4.3 Liegenschaften

Für die Liegenschaften werden ähnliche Annahmen wie für den Haushaltssektor angenommen:

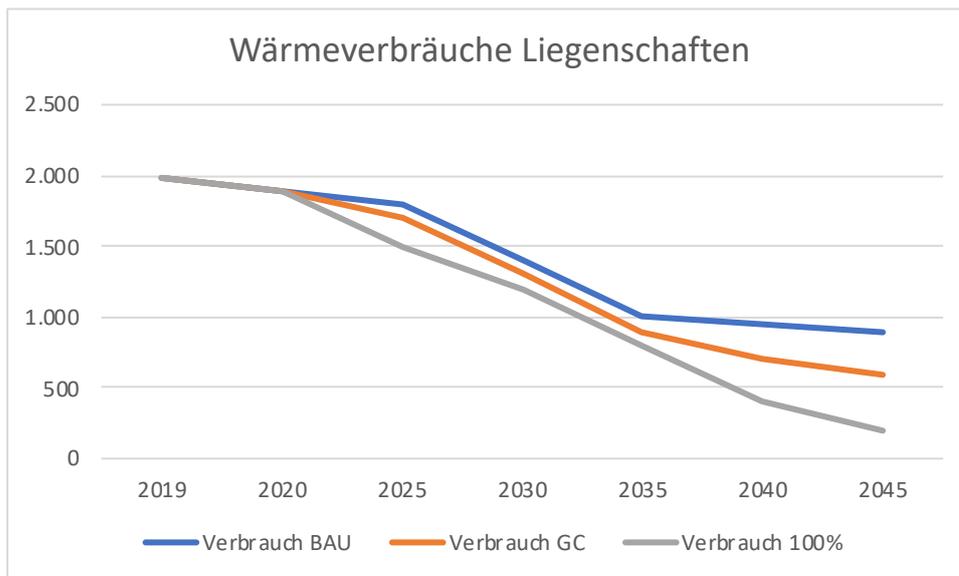


Abbildung 31: Wärmeverbräuche 2019-2045 Liegenschaften Stadt Oranienbaum-Wörlitz MWh/ta

6.4.4 GHD, Industrie

6.4.4.1 BAU-Szenario

Im Bundesdurchschnitt fallen in Gewerbe, Handel und Industrie rund 60% des Endenergieverbrauchs für Wärme an. Demnach hochgerechnet aus den Daten in Kapitel 4 verbrauchen diese Sektoren in der Stadt Oranienbaum-Wörlitz ca. 68.000 MWh/a an Energie für Kälte/Wärmebereitstellung. Der Wärmebedarf von Gebäuden des GHD-Sektors sinkt im Mittel stärker als bei Wohngebäuden, da in der Regel die Abriss- und Neubaurate dieses Sektors größer ist. Dabei wird davon ausgegangen, dass Entwicklung der Energiestandards sich an denen der privaten Haushalte orientieren. Nach Verwendungszwecken erfährt der Raumwärmebedarf einen Rückgang auf nahezu Null, während Prozesswärmeanwendungen im selben Betrachtungszeitraum erheblich zunehmen (WWF 2009:72ff.).

Für den starken Rückgang des Raumwärmebedarfs nimmt die WWF-Studie an, dass die Gebäudefläche sich insgesamt bis zum Jahr 2050 um 15% reduziert und sich der spezifische Energiebedarf durch Effizienzmaßnahmen und durch die Klimaerwärmung (kWh/m²/a) verringert. Prozesswärmeanwendungen werden kontinuierlich verbessert und die Abwärme wird verstärkt genutzt (eb.da). Für den Untersuchungsraum ergibt sich daraus bis zum Jahr 2050 eine Minderung des Wärmebedarfs im GHD-Sektor um 71%.

6.4.4.2 GC-Szenario

Das GC-Szenario folgt im Wesentlichen den Annahmen des Bau-Szenarios. Die Bereitstellung von Raumwärme wird nahezu gen Null zurückgehen und auch die Steigerung der Energieeffizienz von Prozesswärmeanwendungen folgt den Angaben des vorange-

gangenen Szenarios (WWF 2009:190ff.). Insgesamt werden die Einsparpotentiale schneller ausgeschöpft und für den Untersuchungsraum ergibt sich daraus bis zum Jahr 2050 eine Minderung des Wärmebedarfs im GHD-Sektor insgesamt um 75%.

6.4.4.3 100% 2050-Szenario

Die Anwendungen zur Wärmeverbrauchsentwicklung des Referenzszenarios der WWF-Studie werden vom UBA, wie schon im Stromverbrauchsszenario des GHD-Sektors angemerkt, als plausibel eingestuft. Strom wird 2050 anstelle von Brennstoffen für die Wärmerzeugung eingesetzt. Prozesswärmeanwendungen werden dahingehend optimiert, dass Effizienzsteigerungen den Verbrauch weiter reduzieren und die Abwärmenutzung zur Erreichung eines höheren Wirkungsgrades beitragen (UBA 2010:28). Für den Untersuchungsraum ergibt sich daraus bis zum Jahr 2050 eine Minderung des Wärmebedarfs im GHD-Sektor um 79%.

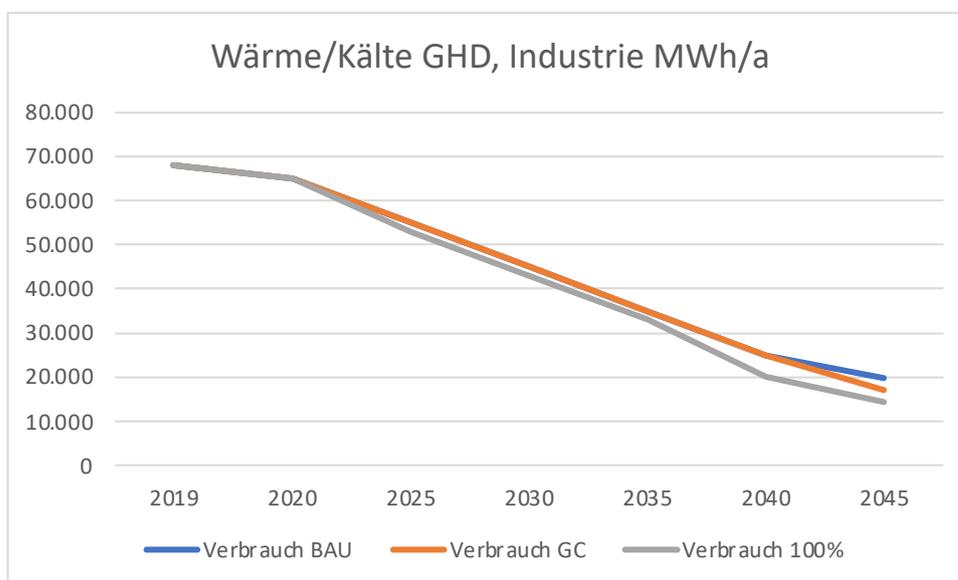


Abbildung 32: Wärme/Kälteverbrauch in MWh/a GHD, Industrie

6.5 Gesamtwärmeverbrauch

Bis zum Jahr 2045 erfährt der Untersuchungsraum in allen drei Szenarien eine stetige Abnahme des Wärmebedarfs.

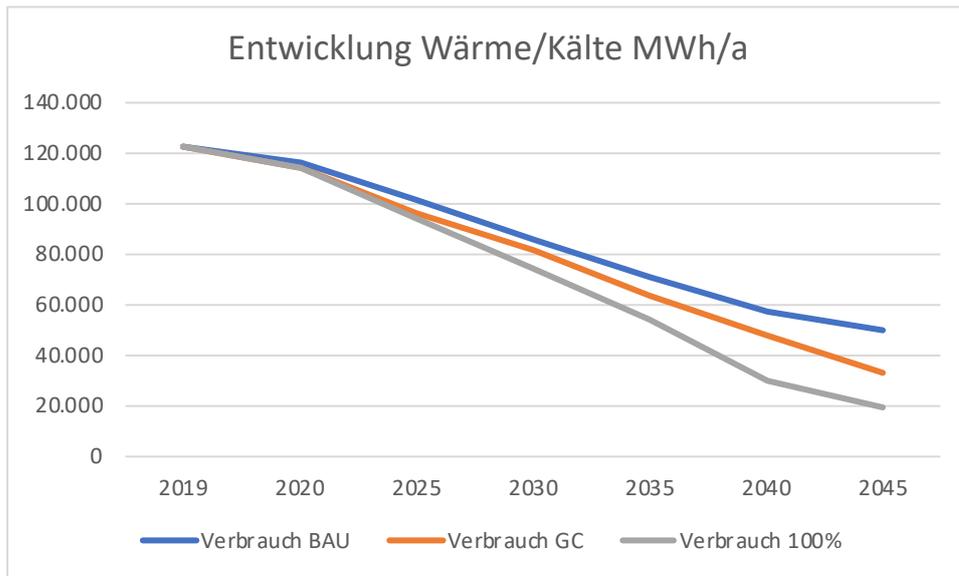


Abbildung 33: Wärmeverbrauchsentwicklung (gesamt) 2019-2045

Die Reduktion des Gesamtwärmeverbrauchs im Untersuchungsraum bis zum Jahr 2050 stellt sich in den einzelnen Szenarien wie folgt dar:

- BAU-Szenario: -59,6%
- GC-Szenario: -72,8%
- 100% 2050-Szenario: -84,0%

Auf die Zahl der Einwohner bezogen fallen die Einsparungen geringer aus:

- BAU-Szenario: -50,3%
- GC-Szenario: -66,5%
- 100% 2050-Szenario: -80,1%

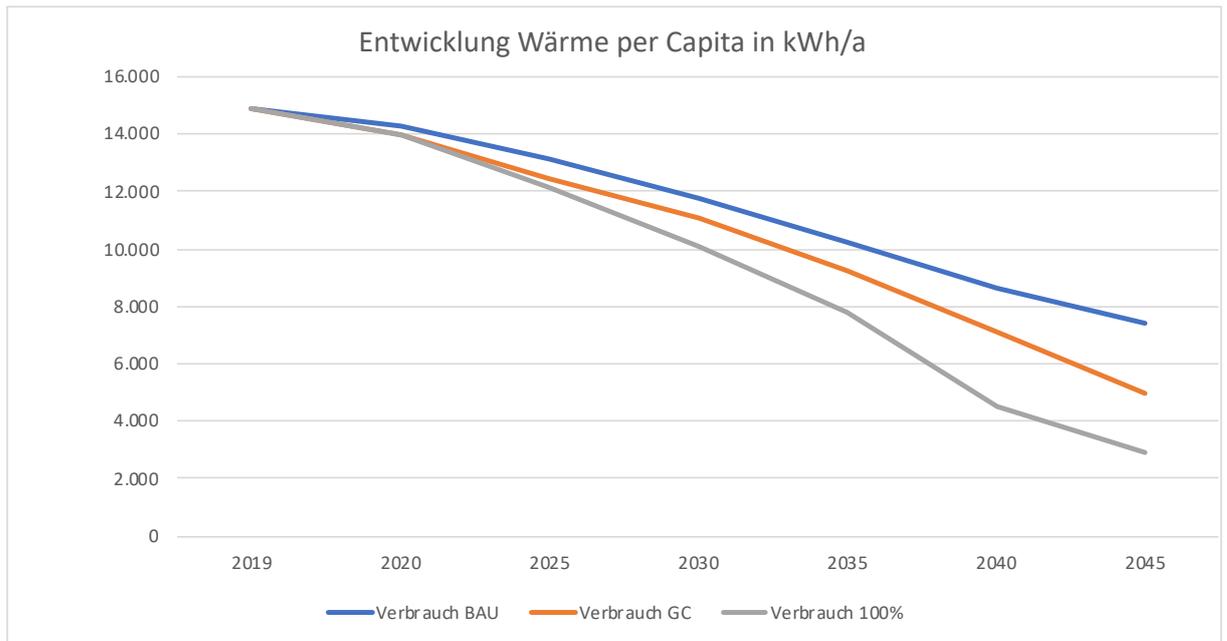


Abbildung 34: pro Kopf-Verbrauchsentwicklung (Wärme) 2019-2045

7 Mobilität

In diesem Kapitel wird die Entwicklung der Mobilität, vor allem des Individualverkehrs mit dem PKW beschrieben. Für die Berechnung wurden zum einen Daten aus den Kraftfahrzeugzulassungen genutzt, sowie der Modal Split Sachsen-Anhalt 2017 zugrunde gelegt.

7.1 Persönliche Mobilität PKW

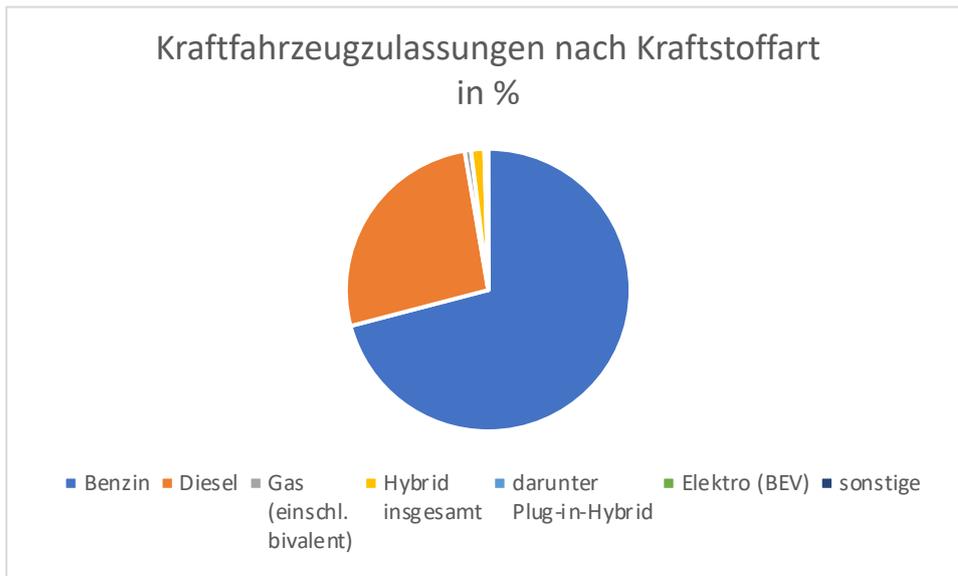


Abbildung 35: Kraftfahrzeugzulassungen nach Kraftstoffart in Oranienbaum-Wörlitz

In der Stadt Oranienbaum-Wörlitz sind insgesamt 4.825 Kraftfahrzeuge zugelassen. Das entspricht 0,58 Autos pro Einwohner. Nicht erfasst werden Dienst- und Firmenfahrzeuge, die in anderen Landkreisen zugelassen sind. Ca. 3.427 Fahrzeuge sind Benziner, 1.278 fahren mit Dieselmotoren, ungefähr 35 sind mit einem Gasantrieb ausgestattet. Hybridfahrzeuge sind insgesamt 73 zugelassen, davon sind 9 Plug-In-Hybride, rein elektrisch fahren ungefähr 10. Diese Daten wurden aus den Durchschnittswerten der Zulassungsstelle Landkreis Wittenberge abgeleitet. Die durchschnittliche Fahrleistung im Landkreis beträgt 12.720 km/a/PKW.

Daraus ergeben sich folgende Kilometerleistungen nach Kraftstoffart:

Benzin: 43.595.507 km/a

Diesel: 16.255.457 km/a

Gas: 445.238 km/a

Hybrid: 922.905 km/a

Elektro: 125.703 km/a

Sonstige Fahrzeuge werden hier nicht berücksichtigt. Insgesamt entspricht die Kilometerleistung der zugelassenen Fahrzeuge in der Stadt Oranienbaum-Wörlitz demnach 61.344.804 km /a.

Interessant ist weiter die Zusammensetzung der Fahrzeuge nach Emissionsgruppen.

Tabelle 6: Zulassungen nach Emissionsgruppen

Nach Emissionsgruppen									
Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5	Euro 6	darunter Euro 6d	darunter Euro 6d-temp	sonstige	schadstoff-reduzierte insgesamt
51,2606041	266,312865	332,4926	1234,01616	1247,40512	1609,67223	54,3846957	410,658646	34,7475488	4775,90713

Knapp 60% der Fahrzeuge entsprechen den Emissionsklassen 5-6d. 26% gehören noch der Euro 4-Gruppe an, Fahrzeuge der Emissionsgruppen 1-3 stellen 14% der zugelassenen Fahrzeuge. Von den Emissionsgruppen lässt sich ungefähr das Alter der Fahrzeuge bestimmen:

Zulassungszeiträume nach Euroklassen

Euro 1:01.07.1992 - 31.12.1996

Euro 2:01.01.1997 - 31.12.2000

Euro 3:01.01.2000 - 31.12.2005

Euro 4:01.01.2005 – 31.12.2010

Euro 5:01.09.2009 – 31.08.2015

Euro 6:ab 01.09.2014

Das bedeutet, 14% der zugelassenen Fahrzeuge sind mindestens 17 Jahre alt, 26% mindestens 12 Jahre alt, 26% der Fahrzeuge sind maximal 13 Jahre alt und 33% jünger als 8 Jahre. Diese Informationen sind für die Entwicklung von Szenarien zur Entwicklung der Umstellung auf Hybrid- und Elektrofahrzeuge wichtig.

Folgende Durchschnittsverbräuche wurden zugrunde gelegt. Benzin 7,8 l/100km, Diesel 7,0 l/100 km, Hybrid 2,0 l/100km und 20 kWh/100km, Elektroautos 20 kWh/100 km (<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/elektromobilitaet/stromverbrauch-elektroautos-adac-test/>). Bei Elektro- und Hybridautos werden Ladeverluste, die je nach Hersteller bis zu 10% betragen können, nicht berücksichtigt.

Damit ergeben sich folgende Energieverbräuche aus der persönlichen Mobilität in der Stadt Oranienbaum-Wörlitz:

Benzin: 3.418.908 l

Diesel: 1.137.882 l

Strom: 209.723 kWh

7.2 ÖPNV

In der Stadt Oranienbaum-Wörlitz fahren derzeit drei Buslinien.

Linie 304 Wittenberge – Wörlitz - Oranienbaum

Linie 307 Gräfenhainichen - Oranienbaum – Wörlitz

Linie 310 Gräfenhainichen – Oranienbaum – Dessau.

Die Gesamtanzahl der Fahrgäste auf diesen drei Linien wird auf 46.605 pro Jahr geschätzt. Eine Bewertung der Treibhausgasemissionen ist schwierig, da alle Linien auch außerhalb der Stadt-Oranienbaum – Wörlitz verlaufen. Auf eine etwaige anteilige Wegeberechnung wird an dieser Stelle verzichtet.

7.3 Individualverkehr

Sonstiger Individualverkehr zu Fuß, mit Hilfe von Fahrrädern, E-Bikes u.a. bleibt in dieser Studie unberücksichtigt.

7.4 Sonstiger Verkehr:

Der durchfließende Verkehr, Lieferverkehr und Verkehr aus Gewerbe, Handel und Dienstleistung kann für das Gemeindegebiet der Stadt Oranienbaum – Wörlitz nicht erfasst werden. Somit werden sie auch nicht weiter berücksichtigt.

7.5 Szenarien:

Für die Entwicklung des Individualverkehrs PKW werden folgende Annahmen getroffen:

Alte Fahrzeuge werden nach einer durchschnittlichen von 10 Jahren Nutzung ersetzt. Dazu wird der Bundesdurchschnitt der Neuzulassungen als unterlegt. Demnach gehen die Neuzulassungen von Dieselfahrzeugen um 8% zurück, Euro 6 – Fahrzeuge bestimmen mittlerweile mit über 86%.

Bis 2030 sollen nach dem Willen der Bundesregierung 15 Millionen Elektroautos zugelassen sein. Das entspricht auf den Fahrzeugbestand von heute bezogen etwa 23%.

(https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/bestand_node.html)

Das heißt, das alte Wagen vermehrt durch Elektroautos ersetzt werden. Insgesamt sinkt der Fahrzeugbestand durch den Bevölkerungsrückgang. Es wird durchgehen mit einer Anzahl von 0,58 Fahrzeugen pro Kopf gerechnet.

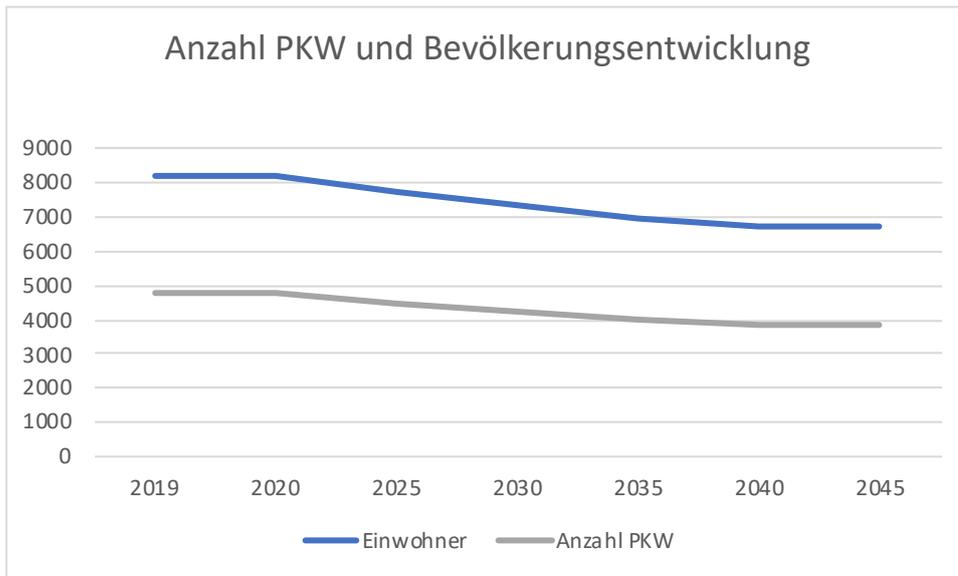


Abbildung 36: Rückgang der Kfz- Zulassungen in Relation zur Bevölkerungsentwicklung

Die Zusammensetzung der Antriebe verändert sich, Neuwagen werden vermehrt mit Hybrid, Plug-In-Hybrid und elektrischen Antrieb gekauft.

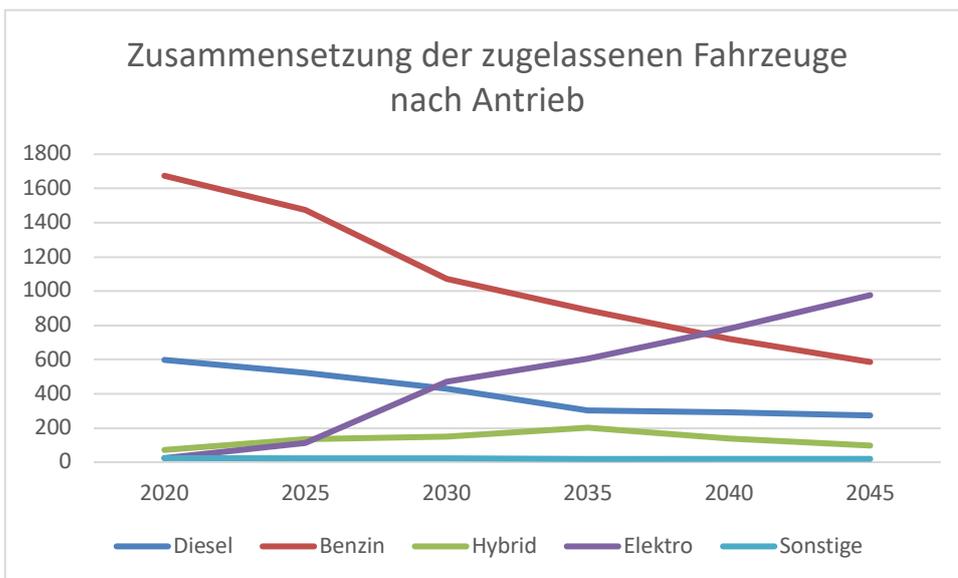


Abbildung 37: Zusammensetzung der zugelassenen Fahrzeuge nach Antrieb

Die Verbräuche der Verbrennermotoren sinken langsam bis 2045 auf 6,5 l/100km bei Benzinern und 5,5 l bei Dieselfahrzeugen. Die Elektroautos pendeln sich bei einem Stromverbrauch von 22 kWh/100 km ein. Gleichzeitig sinkt die jährliche Fahrleistung pro Auto. Der Ausbau des öffentlichen Personennahverkehrs führt dazu, andere Angebote wie Carsharing setzen sich im ländlichen Raum durch. Die veränderte Demographie hin zu einer älter werdenden Gesellschaft trägt ebenfalls zu einer Reduktion der Jahreskilometerleistung bei, so dass diese bis 2045 auf 7.000 km/a und Fahrzeug sinkt.

Daraus ergeben sich folgende Entwicklung zu den Verbräuchen nach Energieträgern:

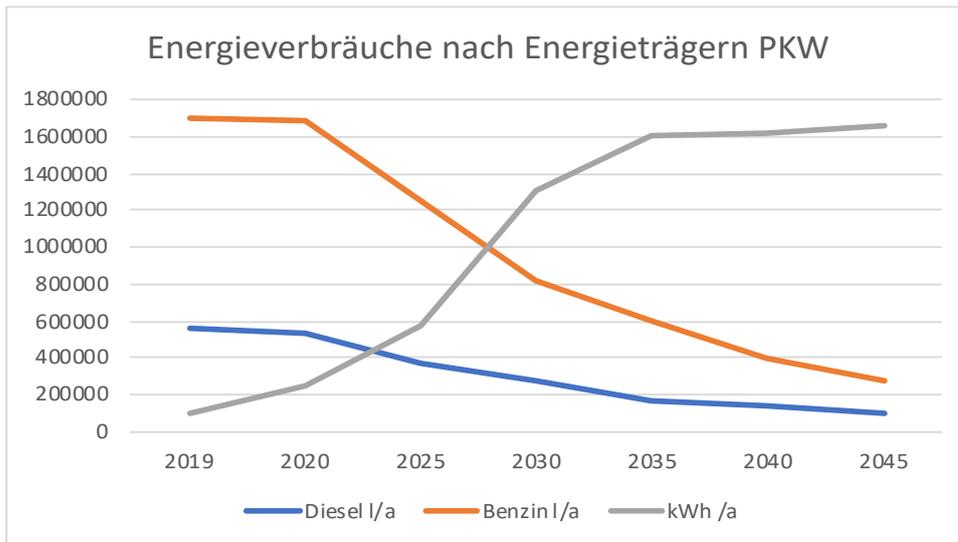


Abbildung 38: Stadt Oranienbaum-Wörlitz Energieverbräuche gesamter PKW Verkehr

Würden alle Fahrzeuge innerhalb kürzester Zeit durch rein elektrische Antriebe ersetzt, würde sich folgender Strombedarf pro Jahr ergeben:

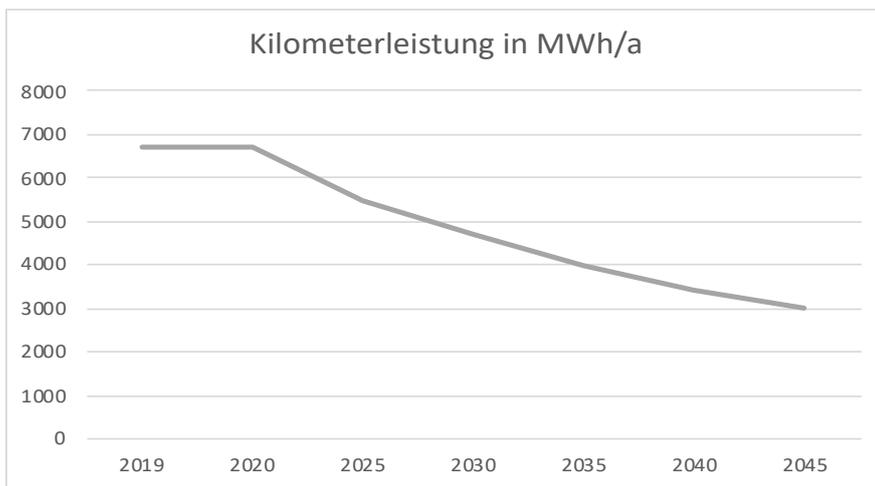


Abbildung 39: Kilometerleistung / a in MWh

8 Zusammenführung der Ergebnisse

In den vorhergehenden Kapiteln wurden die Potentiale der erneuerbaren Energien im Bereich Strom und Wärme ausführlich beschrieben.

Da keine Daten über die Leistung von erneuerbare-Energieanlagen in der Stadt Oranienbaum-Wörlitz verfügbar waren, wird zur Berechnung der CO₂-Emissionen der Strommix des Landes Sachsen-Anhalt zugrunde gelegt.

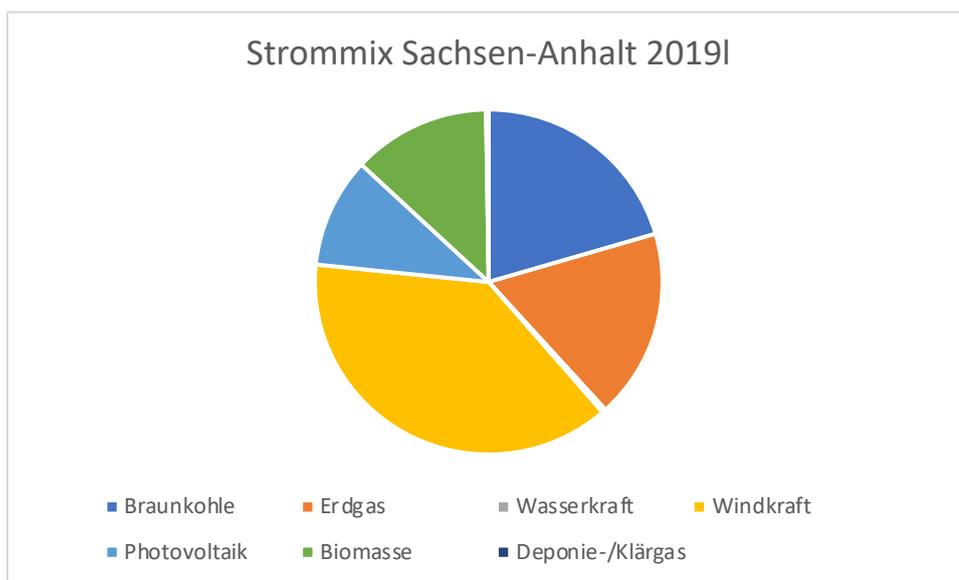


Abbildung 40: Strommix Sachsen-Anhalt 2019

Sachsen-Anhalts Strommix enthält im Vergleich zum bundesdeutschen Strommix deutlich höhere Anteile an erneuerbaren Energien, so dass die CO₂-Emissionen in Sachsen-Anhalt für 2019 nur 281,88 g/kWh betragen, im Vergleich zu 409 g/kWh im deutschen Strommix.

Im Folgenden sollen an dieser Stelle die in Kapitel 4 ermittelten Potentiale nochmals kurz dargestellt werden.

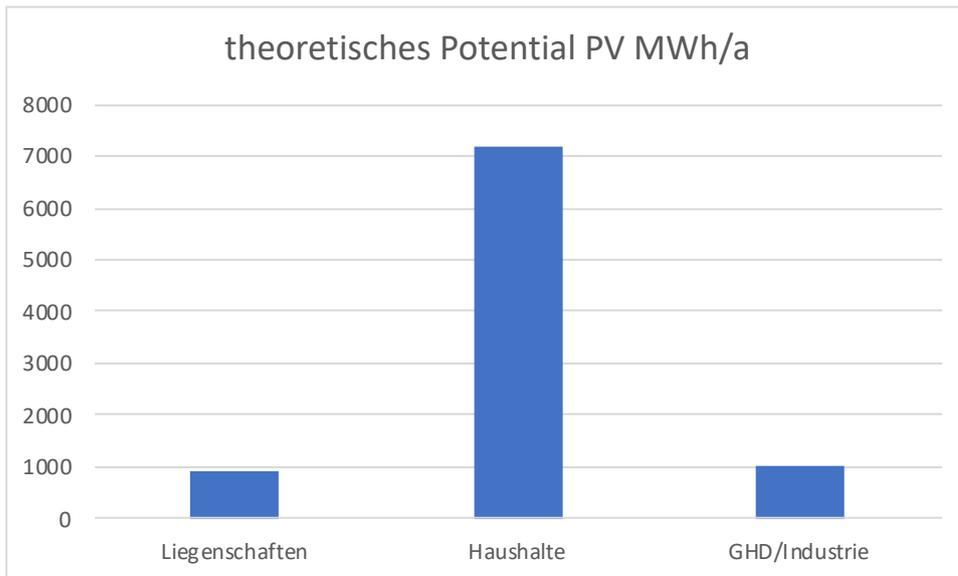


Abbildung 41: theoretisches Potential Photovoltaik in MWh/a

Wie erwartet liegen bei der PV die größten Potentiale in den Dachflächen des Privatsektors, ebenso bei der Warmwasser/Wärmeerzeugung mit Solarthermie.

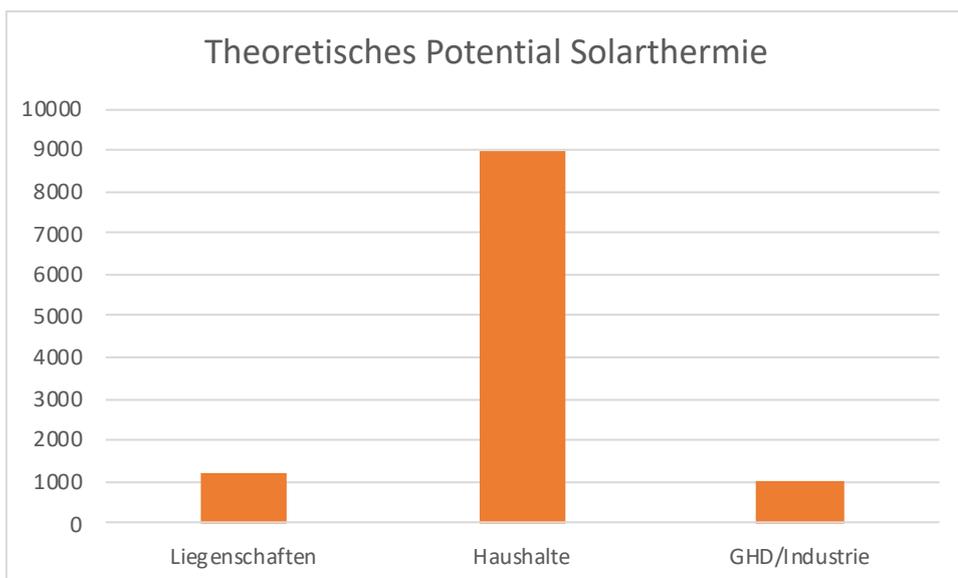


Abbildung 42: Theoretisches Potential Solarthermie MWh/a

Die Ermittlung der Anteile der erneuerbaren Energien im Bereich Wärme gestaltet sich als schwierig, weil nur begrenzt aussagefähige Daten über Heizanlagen, Betriebsstunden und Einsatzstoffe zur Verfügung stehen. Die Ist-Analyse wurde demnach über Bundesdurchschnittsdaten extrapoliert.

Im Bereich Wärme ist der Anteil der erneuerbaren Energieträger deutlich geringer als im Strombereich. Derzeit liegt er errechnet bei ca. 10%. Unten aufgeführte Graphik zeigt die ermittelten Potentiale aus der Biogasnutzung und den festen Biomassen. Nicht einberechnet sind die für die Biogasnutzung ebenfalls geeigneten landwirtschaftlichen Stoffe wie

beispielsweise Gülle, die schon in Biogasanlagen verwertet wird. Ebenso kann die Nutzung von Straßenbegleitgrün eine Option sein. Die Nutzung von Pflegeschnitten innerhalb des Elbdeichs wurde hier ebenfalls nicht einkalkuliert. Die Autorin hatte dazu 2012 eine Potentialstudie geschrieben, daher sind die Gegebenheiten bekannt. Hier ist vor allem die Belastung des Schnittgutes mit Dioxinen, PCBs und Schwermetallen entscheidend. Die Geothermie wird nicht mit dargestellt, da das geothermische Potential den Wärmebedarf der Stadt Oranienbaum-Wörlitz mehrfach vollständig decken könnte.

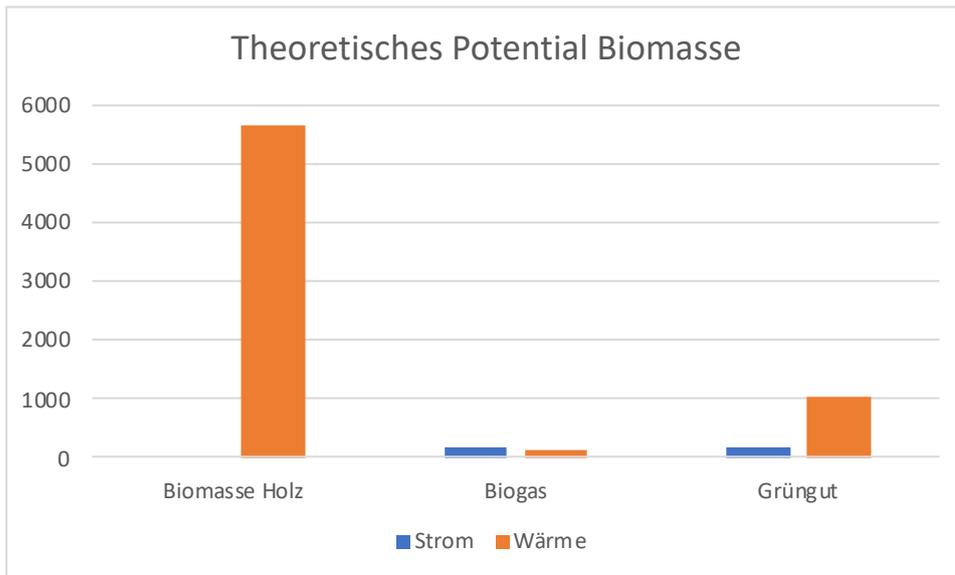


Abbildung 43: Theoretische Potentiale Biomasse Strom und Wärme in MWh/a

In den Verbrauchsszenarien wurden die Zeiträume bis 2045 untersucht. Folgende Graphik zeigt den zu erwartenden Mehrverbrauch an Strom aus erneuerbarer Energie bis 2030 und bis 2045 in Jahressumme, Abbildung xx sowie einen Ausbau mit einer Überkapazität von 50%, die eine lastgeregelte Vollversorgung der Stadt Oranienbaum-Wörlitz theoretisch in Zusammenhang mit Speichertechnologien ermöglichen würde.

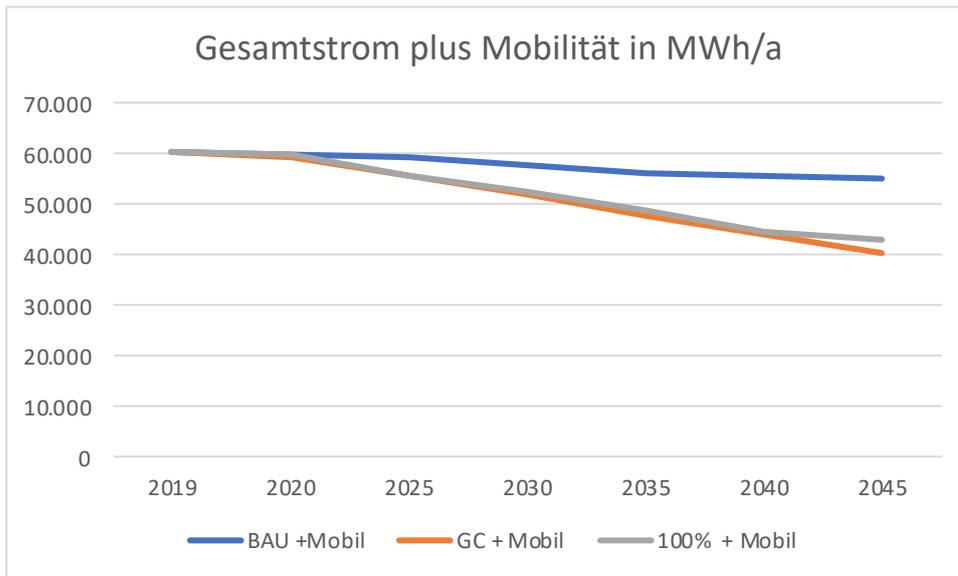


Abbildung 44: Zusammenführung Strom und Mobilität

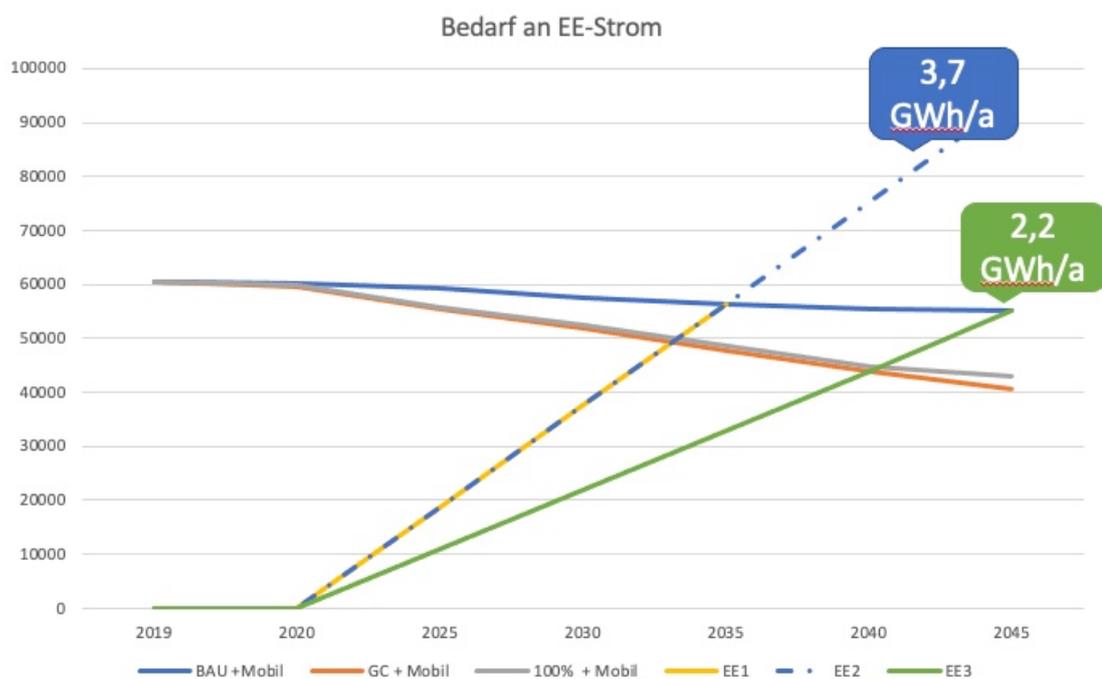


Abbildung 45 Szenarien Strom plus EE Ausbau

Der in der Graphik dargestellte Mehrbedarf an jährlichen GWh in EE1 würde ungefähr einem Zubau von einer installierten Leistung von 3,7 MWp Photovoltaik pro Jahr entsprechen, insgesamt bis 2035 56.000 kWp oder einer Fläche von ca. 560.000 m².

In EE2 würde sich dieser Wert bis 2045 verdoppeln.

In EE3 bedeutet das einen Zubau von 2,2 MWp installierter Leistung Photovoltaik pro Jahr.

Eine Vollversorgung aus 100% erneuerbaren Energien verlangt eine installierte Überkapazität, da auch in windstillen Nächten bzw. Wetterphasen eine ausreichende Stromproduktion gewährleistet werden muss, ohne auf Importe von Graustrom zurück zu greifen. Allerdings werden sich in einem Regionenverbund Über- und Unterkapazitäten durch Regionen übergreifende Im- und Exporte von Strom ausgleichen.

Über- und Unterkapazitäten können langfristig durch den Ausbau von Smart Grids und wichtiger entsprechender Speichertechnologien ausgeglichen werden.

Mit der Nutzung aller Potentiale an Photovoltaikflächen und Strom aus Biomassennutzung können je nach Szenario zwischen 17 und 23% des Strombedarfs innerhalb der Stadt Oranienbaum – Wörlitz in 2045 produziert werden. Zu beachten ist, dass hier nur in Jahresbilanzen gerechnet wird.

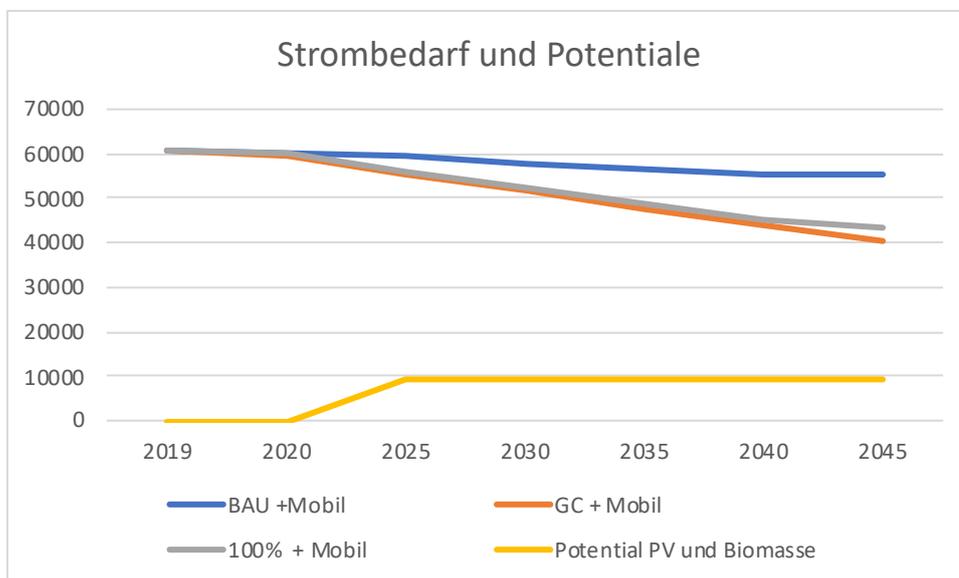


Abbildung 46: Zusammenführung Stromverbrauch und Potentiale zur Stromproduktion aus erneuerbaren Energien der Stadt Oranienbaum-Wörlitz.

Die Entwicklung im Wärmebedarf unterscheidet sich deutlich von den Stromszenarien. Vor allem die Geschwindigkeit der Gebäudesanierung beeinflusst den Wärmebedarf erheblich.

Das EE1 Szenario, erneuerbare Energie Szenario beschreibt einen Ausbau bis 2035, mit dem Ziel, die Verbräuche komplett zu decken. Das EE2 beschreibt das gleiche Ziel, allerdings erst in 2045.

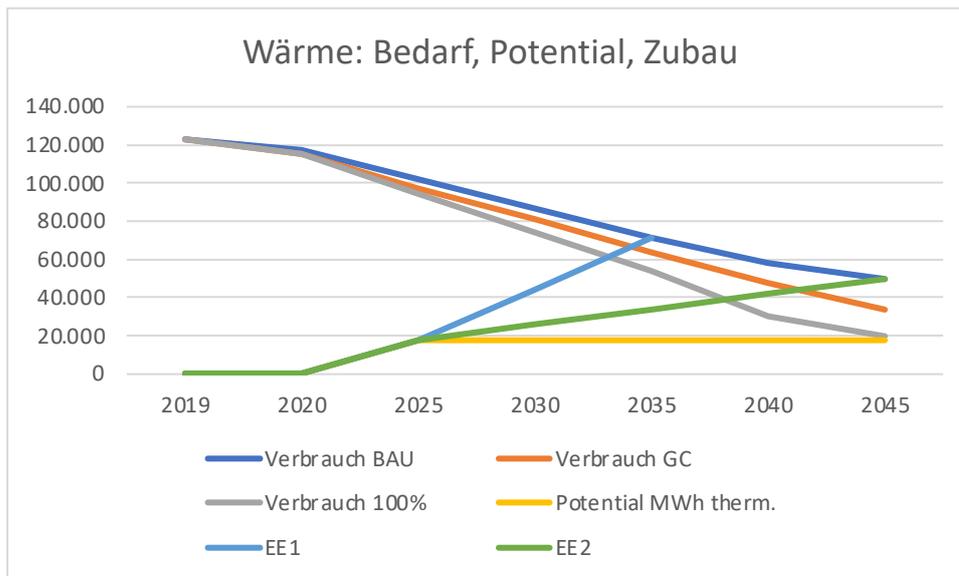


Abbildung 47: Gesamtbilanz Wärme/Kälte: Verbrauch, Potentiale und nötiger Zubau

Wie in den Szenarien vorab beschrieben, ist vor allem die Geschwindigkeit der Sanierung im Gebäudebestand für die Wärmeverbräuche entscheidend. In dieser Abbildung zeigt sich, dass mit den bestehenden Potentialen unter optimalen Bedingungen fast die gesamte Wärme/Kälte gedeckt werden kann. Das funktioniert nur, wenn der gesamte Gebäudebestand im Grunde bis 2045 saniert worden ist. Zudem wurde schon ein großer Teil der benötigten Wärme mit Hilfe von Wärmepumpen in den Energieträger Strom verschoben.

Wenn auch der Einsatz der Solarthermie nur einen relativ kleinen Beitrag leistet, zeigt sich, dass vor allem die Geothermie, sowohl als tiefegeothermisches Verfahren eingesetzt, als auch die oberflächennahe Geothermie große Potentiale besitzen. Da in Fachkreisen aber generell diskutiert wird, ob die zukünftige Wärmeversorgung nicht auch stromgeführt erfolgen kann, da die Stromproduktion günstiger sein wird als die Wärmeversorgung, kann sich der Wärmebedarf auch noch erheblich verringern, respektive über einen erhöhten Strombedarf gedeckt werden.

In dieser Studie konnte gezeigt werden, dass der zu betrachtende Untersuchungsraum nicht in der Lage ist, sich vollständig sowohl mit Strom- als auch mit Wärme aus erneuerbaren Energien der Region zu versorgen. Das ist aufgrund der Größe der Stadt Oranienbaum - Wörlitz erwartbar gewesen. Vor allem nachdem aufgrund der Lage der Stadt Oranienbaum - Wörlitz im Biosphärenreservat, aber auch durch die kulturhistorische Bedeutung Windenergie praktisch ausgeschlossen werden kann. Das geothermische Potential wurde in dieser Studie nicht berücksichtigt.

Der Bereich Wärme, sowohl Raumwärme als auch Warmwasserbereitstellung und zukünftig wohl auch vermehrt Kälte zur Raumklimatisierung verlangt größere Anstrengung. Hier ist vor allem der Bereich der Privathaushalte mit Umstellung von Heizungsanlagen im Zuge von Modernisierungen bestimmend, ebenso wie der Durchschnittszustand des

Gebäudebestandes im Hinblick auf energieeffiziente Sanierung. Für den Bereich Industrie und GHD sind mittel- und langfristig der Einsatz und die Entwicklung von wärme- und energieeffizienten Produktions- bzw. Prozesstechnologien entscheidend.

9 Klimabilanz Stadt Oranienbaum – Wörlitz

In diesem Kapitel werden näherungsweise die Klimagasemissionen im Startjahr 2019 ermittelt. Diese werden mit verschiedenen Szenarien bis 2045 unterlegt. Diese Szenarien basieren wiederum auf denen aus Kapitel 5, Storm und Kapitel 6, Wärme.

9.1 Strom

Als erstes wird hier der Stromverbrauch und die daraus resultierenden Emissionen betrachtet. Dabei wird, entsprechend den Szenarien der Agora-Energiewende (https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_04_KNDE45/A-EW_209_KNDE2045_Zusammenfassung_DE_WEB.pdf) von einem linearen Zuwachs der erneuerbaren Energien am Strommix ausgegangen und auf den Anfangswert von 282 g/kWh für den Strommix von Sachsen-Anhalt bezogen.

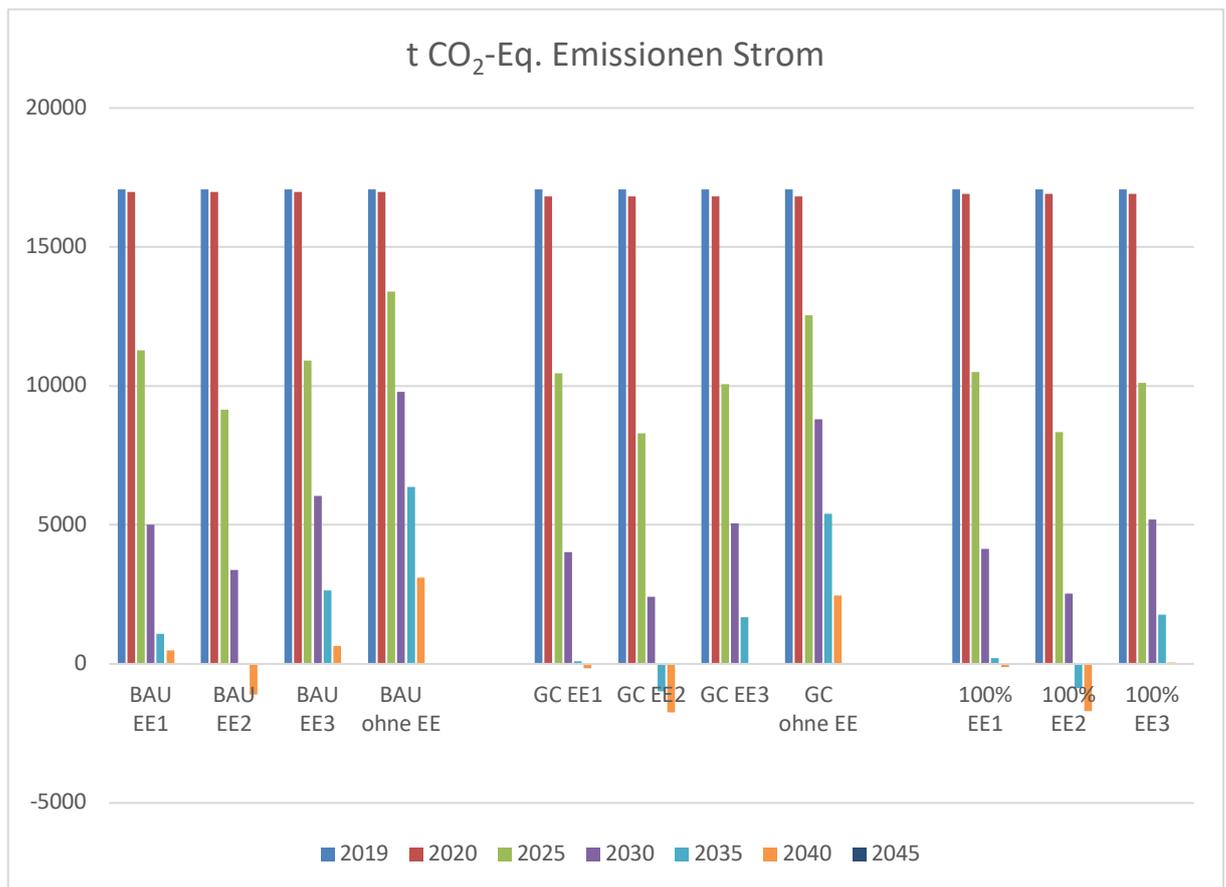


Abbildung 48: Klimagasemissionen in t der verschiedenen Strom-Szenarien

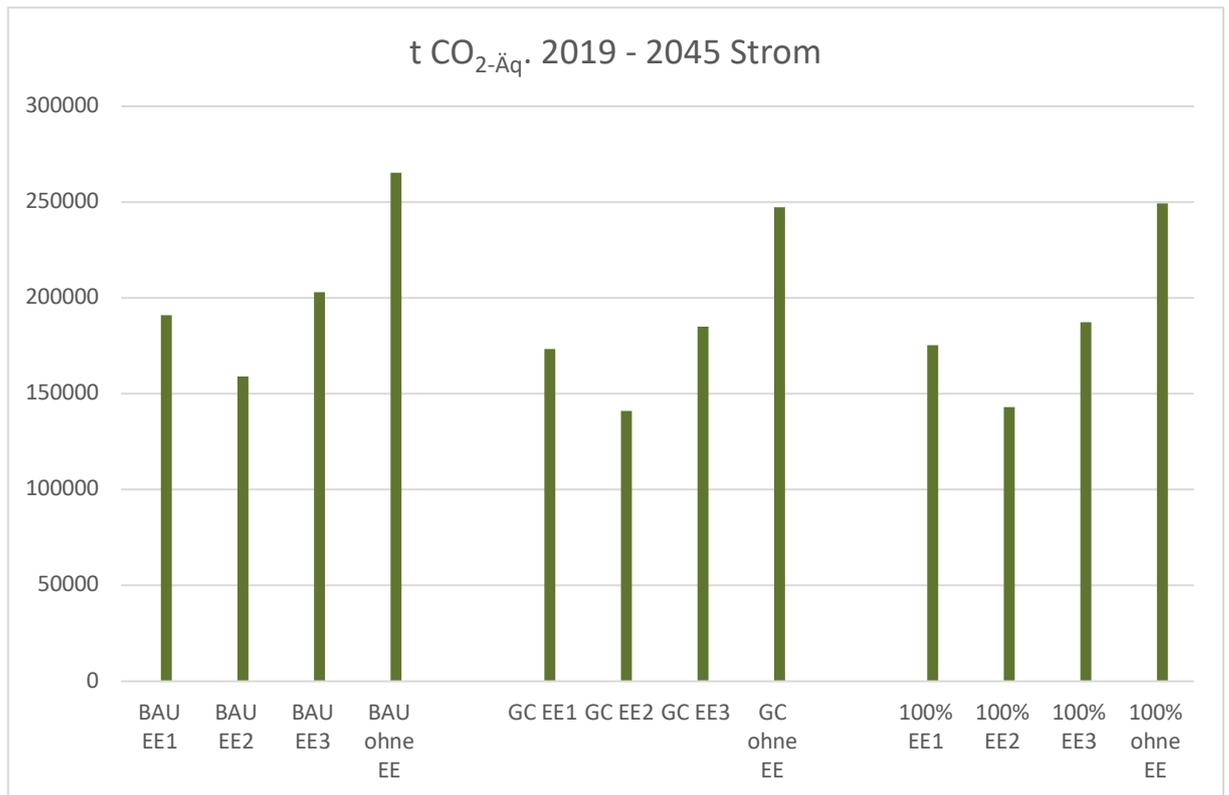


Abbildung 49: CO₂Äq. -Emissionen in t in Summen der verschiedenen Strom- Szenarien

Im schlechtesten Szenario, BAU ohne weitere erneuerbare Energien für die Stromproduktion beträgt der Ausstoß an Treibhausgasen 265.234 t, im besten GC-Szenario EE2 beträgt der Ausstoß nur 141.110 t.

Die Differenz in Bezug auf die Klimagasemissionen zwischen Nichthandeln und Zubau erneuerbarer Energien für die Stromproduktion beträgt demnach etwas mehr als 124.000 t.

9.1.1 Wärme/Kälte

Für die Bestimmung der Klimagasemissionen welche durch Kälte/Wärme und Warmwasser verursacht werden, ist nur eine Annäherung möglich, da genaue Verbrauchsdaten der verschiedenen Energieträger sowohl für die Haushalte, als auch für den Bereich Gewerbe, Handel, Dienstleistung und Industrie hier nur über Bundesdurchschnittswerte ermittelt werden können.

Das in Kapitel 6 beschriebene BAU-Szenario wurde für die Berechnung der Klimagasemissionen zugrunde gelegt.

Des Weiteren wurden folgende Annahmen getroffen:

Ausgangslage: 2019 wurden 57,2% der thermischen Energie aus Erdgas, 14,7% aus Heizöl, 6,9 aus strombetriebenen Wärmepumpen, 5,4% aus Fernwärme (mit 50% Heizöl

und 50% Hackschnitzel), sonstigen Heizanlagen wie Gasthermen, Ölthermen, Kamine, Holzöfen etc. betrieben.

Bis 2045 verändert sich die Bereitstellung nach Energieträgern aufgrund von Modernisierungen, Ausbau von erneuerbarer Energie etc. wie folgend dargestellt:

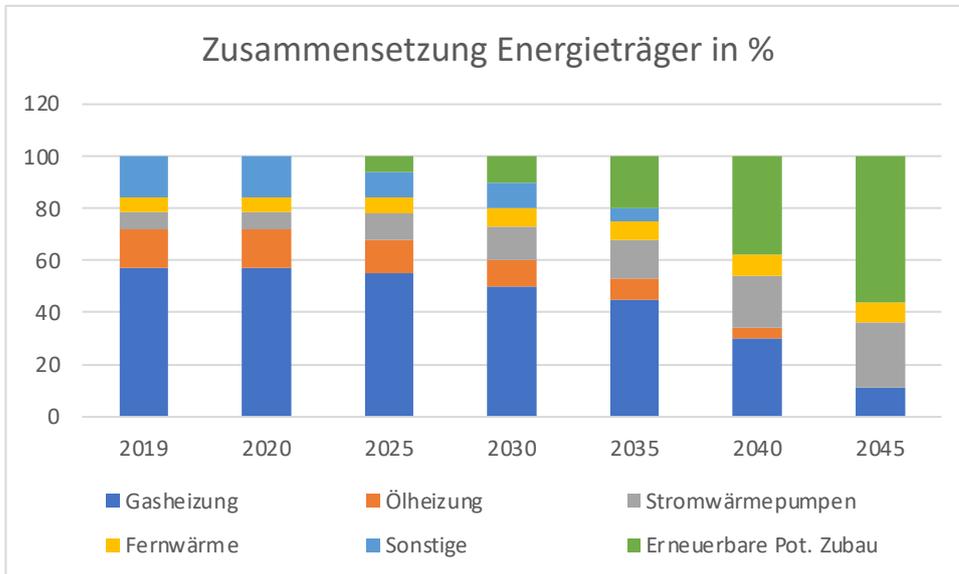


Abbildung 50: Veränderung der Zusammensetzung der Energieträger für thermische Energie in % BAU plus Erneuerbare

Daraus ergeben sich, inklusive der Senkung der Verbräuche wie in Kap. 6 beschrieben folgende Verbräuche in MWh th/a:

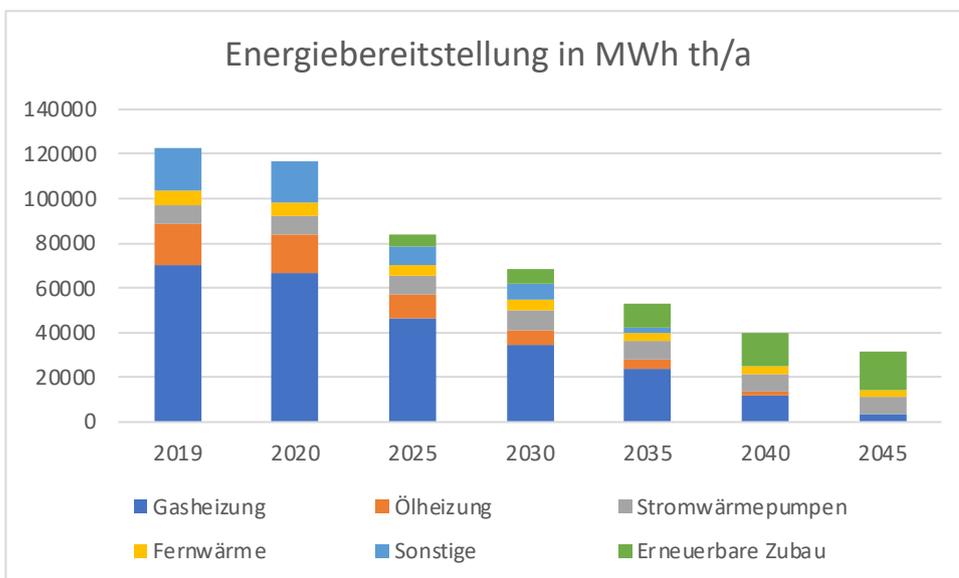


Abbildung 51: Energiebereitstellung pro Jahr und Energieträger in MWh th/a

Ohne Nutzung erneuerbarer Wärme und bei gleichbleibender Zusammensetzung der Energiebereitstellung ergibt sich folgendes Bild:

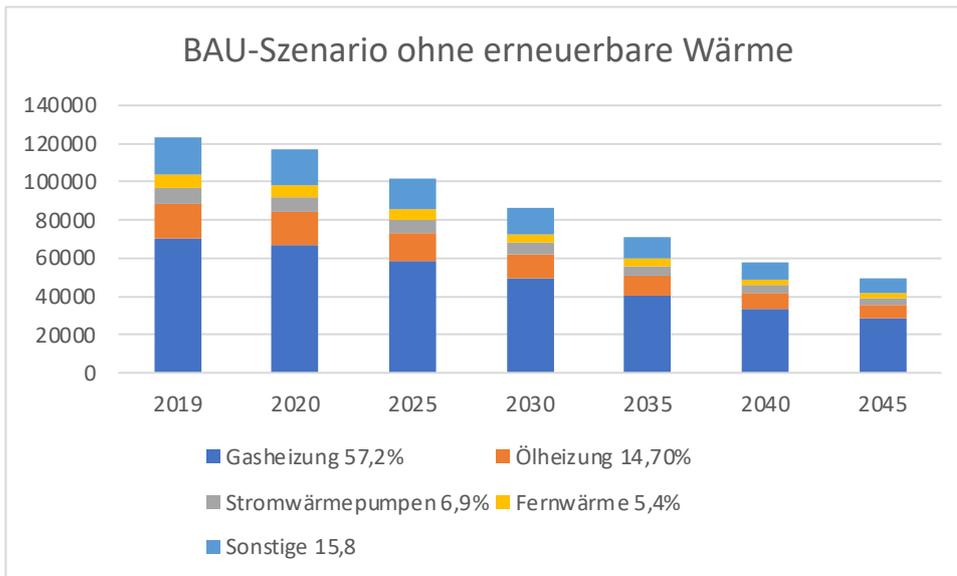


Abbildung 52: BAU Szenario ohne erneuerbare Wärme in MWh/a

In diesem Szenario würden folgende CO₂-Emissionen in t CO₂-Äq. ausgestoßen:

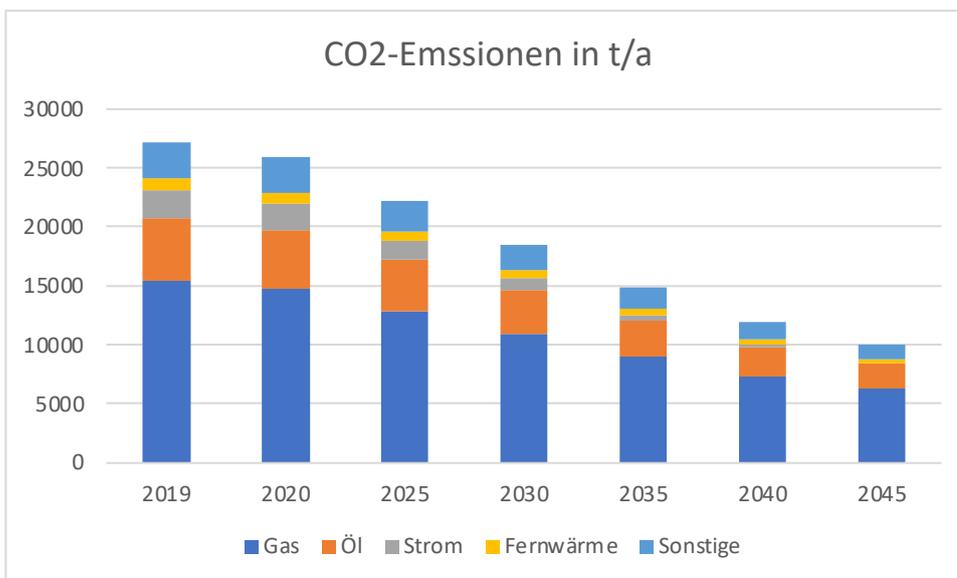


Abbildung 53: CO₂ Äq. Emissionen in t/a BAU-Szenario ohne erneuerbare Wärme/Kälte

Demgegenüber steht das BAU-Szenario mit der Nutzung der in Kapitel 4 ermittelten Potentiale aus erneuerbarer Wärme:

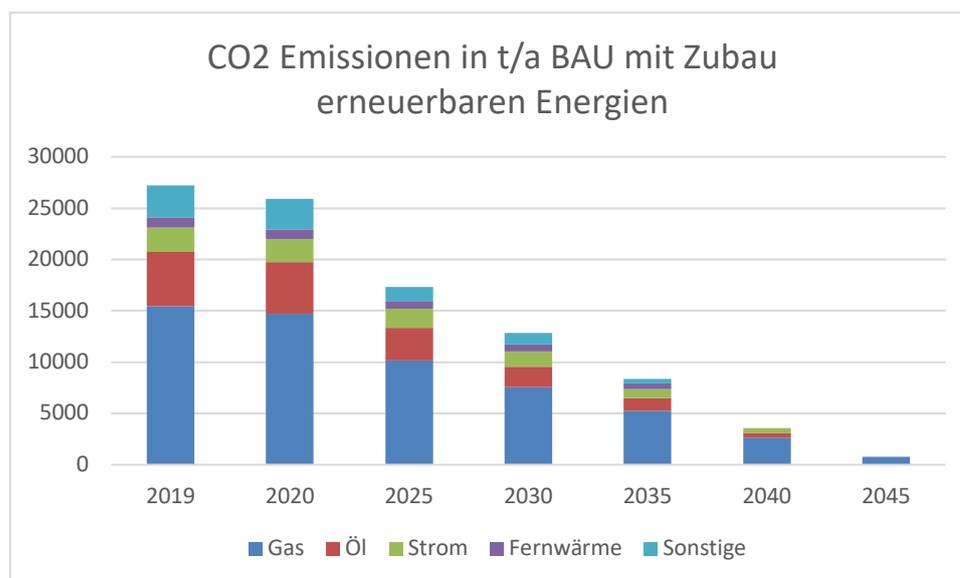


Abbildung 54: CO₂ Äq. Emissionen in t/a BAU-Szenario mit erneuerbarer Wärme/Kälte

Insgesamt können durch Sanierungen, Modernisierungen des Gebäudebestandes und der Ausnutzung des solarthermischen Potentials und beispielsweise Biomasse in den dargestellten Szenarien bis einschließlich 2045 109.230 t CO₂-Emissionen eingespart werden. (BAU ohne EE emittiert 447.632 t CO₂-Äquivalente, BAU mit erneuerbaren nur 338.402 t CO₂-Äquivalente).

9.1.2 Mobilität

Die Klimagasemissionen, die durch die zugelassenen Kraftfahrzeuge ausgestoßen werden, lassen sich über Antrieb, Kraftstoff, durchschnittliche Jahreskilometerleistung und Durchschnittsverbräuche hochrechnen. Für die Elektromobilität wurden die Emissionen des Strommix Sachsen-Anhalt zugrunde gelegt, der wie in der Berechnung der Emissionen des Stroms dynamisiert und 2045 mit 0 g/kWh berechnet wurde.

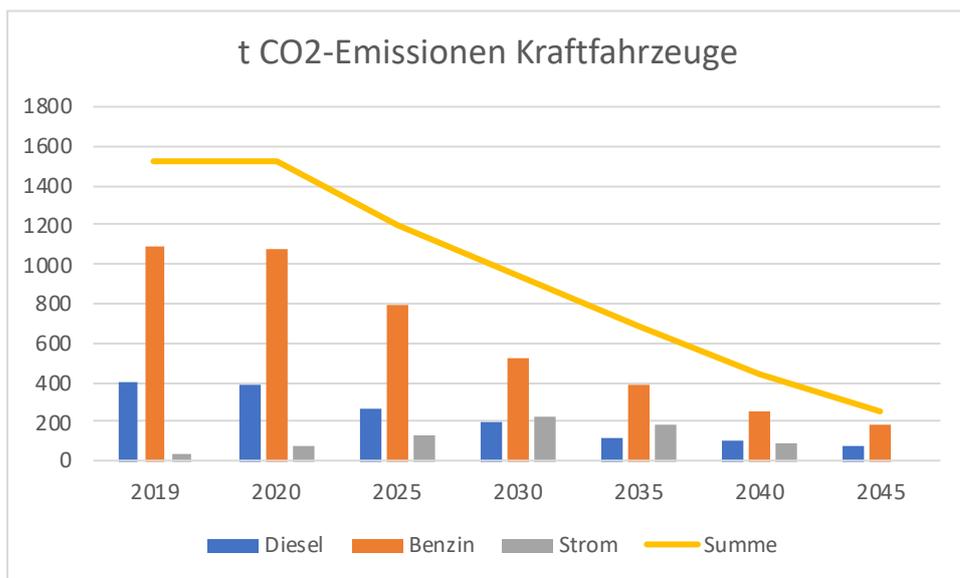


Abbildung 55: CO2-Emissionen in t durch Kraftfahrzeuge

Im Jahr 2019 betragen die CO₂-Äq. Emissionen der zugelassenen Fahrzeuge ca. 1.520 t.

9.1.3 Gesamtbilanz

Die Stadt Oranienbaum-Wörlitz emittierte 2019 mindestens **45.812 t** CO₂-Äquivalente.

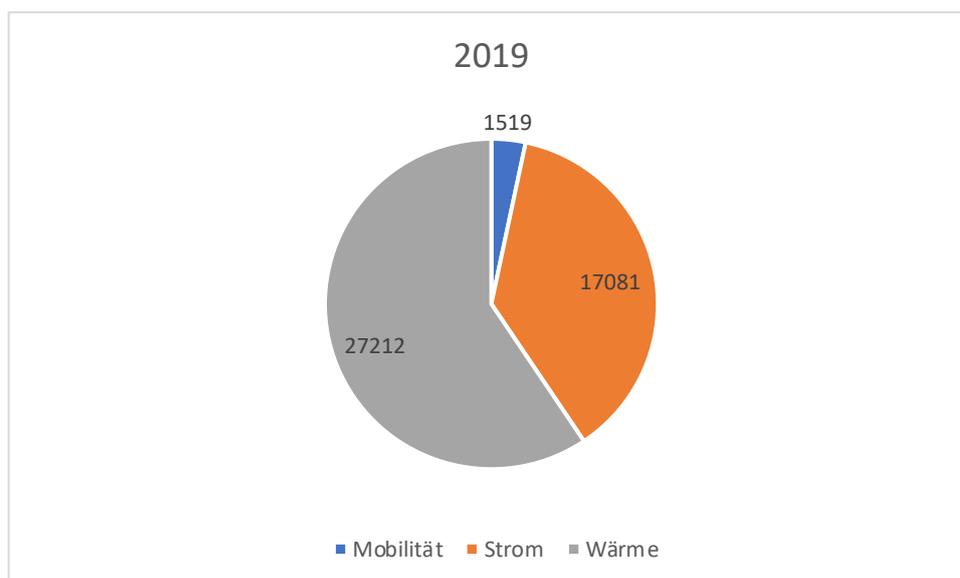


Abbildung 56: Zusammensetzung Treibhausgasemissionen 2019 Stadt Oranienbaum-Wörlitz

10 Politik

10.1 Ausblick Energiekonzept Land Sachsen-Anhalt:

„Für das Jahr 2050 streben Europäische Union und Bundesregierung Treibhausgasneutralität

an. Konkrete Minderungsschritte für Deutschland sind im Bundesklimaschutzgesetz festgehalten. Mit der bevorstehenden Novellierung wird Treibhausgasneutralität auf Bundesebene voraussichtlich bereits bis zum Jahr 2045 angestrebt. Bis zum Jahr 2040 sollen Treibhausgasemissionen um 88 % gegenüber dem Jahr 1990 gemindert werden. Ausgehend von dieser Perspektive ergibt sich für Sachsen-Anhalt die Anforderung, jedes Jahr das Niveau der Emissionen um über 1,13 Mio. t CO₂e zu senken. In den vergangenen 15 Jahren lag die Minderung bei durchschnittlich 0,47 Mio. t CO₂e/ Jahr, in den vergangenen 10 Jahren bei 0,60 Mio. t CO₂e/ Jahr. Das bisherige Minderungstempo reicht also nicht aus, um die Ziele zu erreichen oder gar eine Vorreiterrolle einzunehmen. Für diese anspruchsvolle Aufgabe ist daher eine Mitwirkung aller politischen und gesellschaftlichen Ebenen relevant. Am 19. Februar 2019 hat das Kabinett des Landes Sachsen-Anhalt ein Klima- und Energiekonzept für Sachsen-Anhalt beschlossen, in dem Maßnahmen aufgezeigt werden, deren Umsetzung zur Erreichung der Klimaschutzziele beitragen sollen. Die vorliegenden Ergebnisse unterstreichen die Notwendigkeit, die Maßnahmen zeitnah umzusetzen, um einen Beitrag zu dieser langfristigen Aufgabe, die alle wirtschaftlichen Sektoren und alle gesellschaftlich-politischen Ebenen betrifft, zu leisten. Besonders relevant sind die fortzusetzenden Umwälzungen im Energiesektor. Dazu gehört die weitere Leistungssteigerung der erneuerbaren Energien in Sachsen-Anhalt“

(https://lau.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LAU/Wir_ueber_uns/Publikationen/Fachberichte/Dateien/THG_Bericht_2018.pdf letzter Aufruf 03.04.2022)

10.2 Umsetzungsmaßnahmen:

Welche Formen von Möglichkeiten bleibt nun den Kommunen, um die Klimapolitischen Ziele umzusetzen?

Zum einen gibt es monetäre und nichtmonetäre Anreizprogramme zur verwaltungsinternen Anwendung wie folgende Tabelle zeigt:

Tabelle 7: Anreizprogrammen zur Anwendung in Kommunen

	Ansatz	Wirkung
Monetär	Erfolgsbeteiligung für die Nutzer	Mit einer Erfolgsbeteiligung wird den Nutzern kommunaler Liegenschaften ein Teil der Verbrauchskosten erstattet, die sie durch umweltbewusstes Verhalten einsparen.
	Erfolgsbeteiligung für die Zuständigen	Die für Energieeinsparung zuständigen Stellen oder Personen, wie die Abteilung für Energiemanagement, Energiebeauftragte, Hausmeister u.ä. erhalten eine Erfolgsbeteiligung, wenn sie durch ihre Maßnahmen für Energieeinsparung die Gesamtkosten für Energie reduzieren.
	Verleihung von Prämien und Preisen	Einrichtung eines neuen bzw. Erweiterung des bestehenden Vorschlagswesens, welches Vorschläge zum effektiven Energie sparen belohnt. Als Ergänzung des normalen Vorschlagswesens können spezielle Wettbewerbe für Vorschläge zur Einsparung von Energie ausgeschrieben werden, welche die Mitarbeiter und Nutzer kommunaler Liegenschaften einlädt, ihre genauen Kenntnisse zu nutzen, um klimafreundliche Verbesserungen vorzuschlagen und „in Wert“ zu setzen. Wettbewerbe können auch für die Nutzung klimafreundlicher Verkehrsmittel veranstaltet werden, z.B. für die Abteilung/Person mit den meisten Radkilometern zur Arbeit pro Jahr.
Nicht-monetär	Verknüpfung von beruflichem und privatem Nutzen	Die Mitarbeiter der Verwaltung sowie aller öffentlichen Beteiligungen erhalten neben dem Grundgehalt zusätzliche Sachleistungen, deren Verwendung ein energiesparendes bzw. klimafreundliches Arbeits- und Privatleben fördert. Beispiele: Monatskarten für den ÖPNV, Bahncards, Schulungen für verbrauchsarmes Fahren oder zu Energie- und Wassereinsparung.
	Wettbewerbe	Interkommunale Wettbewerbe und Selbstverpflichtungen erhöhen die Verbindlichkeit der energiepolitischen Zielsetzungen und schaffen daher wichtige Anreize, das Energiekonzept und entsprechende Maßnahmen umzusetzen. Zudem können die teilnehmenden Kommunen Strategien anderer Kommunen kennenlernen und diese eventuell adaptieren. Beispiele für interkommunale Wettbewerbe: Solarbundesliga, Wettbewerbe der Deutschen Umwelthilfe (Bundeshauptstadt im Klimaschutz, Klimaschutzkommune), Climate Star des Klima-Bündnisses, Wettbewerbe von InWent.

Quelle: DIFU 2011, S. 329, 349, 368

Quelle: Helm 2013

10.3 Kooperationspartner:

Zum anderen können Kooperationspartner für energetische Beratungen gewonnen werden, die bei der Beratung und Bewusstseins-Förderung für Energieeffizienz der Bürger der Stadt Oranienbaum-Wörlitz unterstützend agieren können. Unten nachstehende Tabelle zeigt mögliche Kooperationspartner und ihre Wirkräume:

Tabelle 8: Kooperationspartner und mögliche Beiträge zur Förderung des energetischen Bewusstseins

Kooperationspartner	Möglicher Beitrag
Energieversorgungsunternehmen	<ul style="list-style-type: none"> • (Unabhängige) Energieberatungen • Förderprogrammen • Informationsmaterialien • Verbrauchsdaten • Möglichkeit der direkten (anlassbezogenen) Kundenansprache • Möglichkeit der Preispolitik (Tarifgestaltung, Bonussysteme) • Darstellung von Leuchtturmprojekten
Verbraucherzentralen	<ul style="list-style-type: none"> • Unabhängige Energieberatungen • Informationsmaterialien • Medienwirksame Beiträge
Energieagenturen	<ul style="list-style-type: none"> • Unabhängige Energieberatungen • Informationsmaterialien • Schulungen • Bildungsprojekte • Ausstellungen, Messen
Handwerksbetriebe, Fachhandel und deren Verbände	<ul style="list-style-type: none"> • Initialberatungen • Darstellung von Leuchtturmprojekten • Möglichkeit der direkten (anlassbezogenen) Kundenansprache
Schornsteinfeger	<ul style="list-style-type: none"> • Initialberatungen • Verbrauchsdaten (Heizöl und Festbrennstoffe) • Möglichkeit der direkten (anlassbezogenen) Kundenansprache
Ingenieur- und Architekturbüros	<ul style="list-style-type: none"> • (Unabhängige) Energieberatungen • Möglichkeit der direkten (anlassbezogenen) Kundenansprache
Wohnungsbaugenossenschaften	<ul style="list-style-type: none"> • Darstellung von Leuchtturmprojekten • Möglichkeit der direkten (anlassbezogenen) Kundenansprache
Sparkassen und Kreditinstitute	<ul style="list-style-type: none"> • Sonderfinanzierungsprogramme • Finanzierungsvermittlung (z.B. KfW) • Möglichkeit der direkten (anlassbezogenen) Kundenansprache

Quelle: Helm 2013

10.4 Öffentlichkeitsarbeit

Öffentlichkeitsarbeit wird definiert als die öffentliche Ansprache der Kommune gegenüber externen Anspruchsgruppen mit dem Ziel das Bewusstsein über erneuerbare Energien und Energieeffizienz zu erhöhen. Zur Veränderung der Verhaltensroutinen stehen Kommunen vielseitige Medien zur Verfügung. Möglich sind u.a. Informationsmaterialien in gedruckter und digitaler Form (Faltblätter, Broschüren, Medienbeiträge, Energieberichte, Internet- auftritt), öffentlichkeitswirksame Aktionen (Veranstaltungen, Messen, Wettbewerbe), Labels sowie Feedbacksysteme. Die tatsächliche Wirksamkeit solcher Maßnahmen ist bislang jedoch umstritten und diffus. Die folgende Erläuterung der oben genannten Medien stellt insofern eine Vermengung praktischer und empirischer Erkenntnisse dar (Helm 2013).

10.5 Informationsmaterialien

Broschüren, Medienbeiträge und Internetauftritt dienen der massenhaften Informationsverbreitung und sind insofern wenig zielgruppenspezifisch ausgelegt. Im Vergleich zu individualisierten Maßnahmen wird der Einfluss auf das Verhalten eher als gering eingeschätzt. Nichtsdestotrotz sind massenhafte Informationsmaterialien ein unverzichtbarer Bestandteil der Öffentlichkeitsarbeit, mit dem Ziel, allgemeine Informationen zu verbreiten oder spezifische andere Maßnahmen und Angebote publik zu machen. Zur breiten Vermittlung eignen sich vor allem anschauliche, leicht verständliche Informationsmaterialien in gedruckter Form. Um die Identifikation mit den Informationen zu erleichtern, empfiehlt es sich die Inhalte auf die lokalen Gegebenheiten und Traditionen abzustellen. Die wissenschaftliche Detaillierung ist hier eher nebensächlich. Einfache Grafiken, Zeichnungen und Comics können ganze Textpassagen ersetzen. Um eine gewisse Qualität der Veröffentlichung zu gewährleisten, sollte auf eine professionell gestaltete Layout-Vorlage („Rohlinge“) zurückgegriffen werden, die dem eigenen Bedarf angepasst wird. Abgesehen von der Mitteleinsparung kann dadurch ein Wiedererkennungseffekt bei der Leserschaft erzielt werden. Bei weniger spezifischen Informationen kann angesichts der knappen finanziellen und personellen Mittel auch komplett auf die Materialien anderer Anbieter zurückgegriffen werden. Daneben stellen das BMU sowie Landesministerien kostenlose Broschüren und Flyer für die Öffentlichkeitsarbeit zur Verfügung. Um auch Bevölkerungsschichten zu erreichen, die typischerweise nicht aktiv vorgenannte Broschüren nachfragen, sollten flankierend regelmäßig Medienbeiträge (Sonderseiten, Anzeigenserien, Kolumnen) platziert werden. Neben Beiträgen zum zivilgesellschaftlichen Engagement für einen nachhaltigen Umgang (z.B. Porträts von kooperierenden Organisationen, Darstellung beispielhafter Projekte), ist vor allem eine regelmäßige Vorstellung der kommunalen Aktivitäten wichtig, um der Vorbildrolle gerecht zu werden (Helm 2013).

Eine Sonderrolle nimmt der Internetauftritt einer Kommune ein, da Internetseiten grundsätzlich zunehmend den Charakter einer einseitigen Informationsquelle verlieren und stattdessen eine interaktive Plattform des Austausches darstellen. Solche Plattformen stellen eine verhältnismäßig günstige Möglichkeit dar individualisierte Informationen zur Verfügung zu stellen, da die Individualisierung des Informationsangebots von den Nutzern ausgeht. Kommunen sollten diesen Wandel nicht verfehlen, da sich in diesem Feld ganz neue Möglichkeiten Wissensvermittlung und Verhaltensdetermination auf tun. Positivbeispiele sind internetbasierte Energie-Erstberatungen, Solardachbörsen, Solardachkataster, CO₂-Rechner, Diskussionsforen, Praxisdatenbanken, Händler- und Handwerksdatenbanken, etc. (Helm 2013)

10.6 Öffentlichkeitswirksame Veranstaltungen

Ein weiterer Baustein der Öffentlichkeitsarbeit ist die Durchführung von zielgruppenspezifischen Aktionen mit oder ohne Wettbewerbscharakter. Zumindest für die Dauer der Aktion kann auf diese Weise eine erhöhte Auseinandersetzung mit energierelevanten Themen bei den Teilnehmenden erreicht werden. Von Vorteil ist dabei, dass Aktionen eine aktive Mitwirkung voraussetzen, was aus lerntheoretischer Sicht deutlich effektiver ist als eine bloße Kenntnisnahme von Informationen. Bei der Erarbeitung von Aktionen sollten folgende Grundsätze beachtet werden:

- **Abstraktes begreifbar machen:** Die Zusammenhänge zwischen dem alltäglichen Lebensstil und den energiebedingten Umweltauswirkungen (CO₂-Emissionen, Klimawandel, Ressourcenverbrauch, Umweltkatastrophen, externe Kosten, radioaktiver Abfall, u.ä.) sind mitunter abstrakt und sollten deshalb verständlich aufbereitet werden.
- **Positiv motivieren:** Energiepolitische Aktivitäten benötigen eine attraktive, positive Ausstrahlung. Die Transformation des Energiesystems und die Reduzierung des Energieverbrauchs bedeutet nicht (nur) Verzicht, sondern (auch) einen Gewinn an Lebensqualität.
- **Alternative Handlungsangebote machen:** Aktionen sollten unbedingt Verhaltensalternativen vermitteln und Handlungsanreize bieten, diese auszuprobieren. Bestenfalls lohnt sich ein nachhaltiger Umgang mit Energie auch individuell.
- **Zusammenhalt vermitteln:** Während die Kritik an den Verhaltensweisen von Dritten (d.h. Wirtschaft, Verbände oder Stadtverwaltung) ausgeprägt ist, ist die Einsicht in die eigene Verantwortlichkeit oftmals eher gering. Aktionen sollten deshalb vermittelnd wirken.
- **Tue Gutes und rede darüber:** Erfolgreich realisierte Projekte sollten durch intensive Öffentlichkeitsarbeit breit kommuniziert werden, um das eigene Handeln zu legitimieren und zukünftig neue Akteure gewinnen zu können.

Mögliche Formen von Aktionen dieser Art sind öffentliche Veranstaltungen und Aktionen wie Umweltmärkte, „Tage der erneuerbaren Energien“, Ausstellungen, Vortragsveranstaltungen, Wettbewerbe, Umwelt- und Klimaschutzpreise, Exkursionen und Besichtigungen, Infomobile. Beispiele für Wettbewerbe sind Energiesparlampenaktionen (Eintausch alter Glühbirnen gegen Energiesparlampen), Thermografie-Aktionen zur Energieeinsparung oder Preisausschreiben. Um eine gewisse Glaubwürdigkeit entsprechender Aktionen zu gewährleisten, ist es ratsam, dass sich die Kommune bei der Organisation und Durchführung an gewisse Maßstäbe der umweltgerechten Durchführung von Veranstaltungen orientiert. In diesem Zusammenhang ist der entsprechende Leitfadens des BMU zu empfehlen. (Helm 2013)

10.7 Beratung

Energieberatungen sind individualisierte Informations- und Handlungsangebote mit dem Ziel die energiebezogenen ökologischen und ökonomischen Aufwendungen zu reduzieren. Aufgabe der Beratung ist es, Wissensdefizite bei Bürgern und Unternehmen auszugleichen sowie sachgerecht Hersteller-unabhängig und neutral alternative Handlungsangebote zu unterbreiten. Ansatzpunkt sind je nach Zielgruppe insbesondere die Reduzierung und Deckung des Gebäude- und prozessbezogenen Energiebedarfs. (Helm 2013)

Tabelle 9: Beratungsangebote

Private Haushalte	<ul style="list-style-type: none"> • Heizkostenabrechnung, Tarifgestaltung • Energiesparende Haushaltsgeräte • Energiesparende Warmwasserbereitung • Energieeinsparung bei Heizungsanlagen • Wärmeschutz von Gebäuden durch Fenster, Bau- und Dämmstoffe • Einsatz erneuerbarer Energien • Energieeinsparverordnung (GEG) • Energiepass • Fördermöglichkeiten für einzelne Maßnahmen
Industrie/ Gewerbe	<ul style="list-style-type: none"> • Energiemanagement • Prozessoptimierung • Abwärmenutzung • Kombinierte Wärme- und Stromerzeugung • Fremdfinanzierung energiesparender Maßnahmen
Wohnungsunternehmen	<ul style="list-style-type: none"> • Investitionsminimierung durch Synergieeffekte (Modernisierung in Verbindung mit Sanierungen) • Energieeffiziente Heizungs- und Warmwasserbereitungsanlagen • Fördermöglichkeiten

Unabhängige Energieberatungen stellen die intensivste und individualisierteste Form der informativen Steuerung dar, da die persönlichen Umstände und Ziele des Kunden unmittelbar in den Prozess einfließen und berücksichtigt werden können. Insbesondere durch

die Vermittlung der kurz- und mittelfristigen ökonomischen Vorteilhaftigkeit von Maßnahmen können Energieberatungen die Handlungsbereitschaft zu einem nachhaltigeren Umgang mit Energie deutlich steigern, wie zahlreiche empirische Befunde belegen. Die Wahrnehmung von Energieberatungen setzt jedoch voraus, dass Verbraucher überhaupt von dem Angebot wissen und, angesichts etwaiger Beratungskosten, im Vorfeld bereits eine gewisse Handlungsmotivation zeigen. Beratungsangebote sollten daher idealerweise in eine übergeordnete Aufklärungskampagne eingebettet sein. Auf Basis dieser Erkenntnisse lassen sich für die kommunale Energieberatung vier wesentliche Erfolgskriterien ableiten:

- Angesichts der verschiedenen Anspruchsgruppen und deren individueller Bedürfnisse sollte das Beratungsangebot zielgruppenspezifisch ausgestaltet werden, um den größtmöglichen Mehrwert für den Ratsuchenden zu gewährleisten. Auch innerhalb der jeweiligen Zielgruppen sind spezifische Herangehensweisen, bspw. für einkommensschwache Haushalte, empfehlenswert.
- Der Mehrwert einer Energieberatung gegenüber einer Verkaufsberatung besteht insbesondere in der Verfahrens- und Produktneutralität. Das Beratungsangebot sollte daher von unabhängigen Institutionen angeboten werden.
- Um eine hohe Handlungsbereitschaft zu erzeugen, sollten Energieberatungen umsetzungsorientiert sein, d.h. konkrete Problemstellungen und Hemmnisse des Ratsuchenden aufgreifen und darauf abgestimmte Handlungsangebote nennen. Dabei ist insbesondere die ökonomische Vorteilhaftigkeit von Maßnahmen eindeutig sichtbar zu machen.
- Die Beratungsangebote sollten so gestaltet sein, dass die Hemmschwelle für die Inanspruchnahme dieser Leistungen niedrig ist. Wie zahlreiche Studien belegen, sinkt die Bereitschaft zur Wahrnehmung einer Energieberatung enorm, sobald Verbraucher die Kosten (allein) tragen müssen. Energieberatungen sollten daher kostenlos oder subventioniert angeboten werden. Alternativ könnte zwischen kostenlosen Initialberatungen und kostenpflichtigen Vor-Ort-Beratungen unterschieden werden.

Im Vergleich zu den anderen informativen Instrumenten sind Energieberatungen die teuerste Maßnahme zur Bewusstseinsförderung und Verhaltensänderung. Dies gilt umso mehr, wenn diese für den Verbraucher kostenfrei angeboten werden sollen, um eine breite Inanspruchnahme zu fördern. Auch wenn Kommunen als unabhängige Institutionen ideale Anlaufstellen für eine Energieberatung wären, so ist die Wahrnehmung dieser Aufgabe in der Praxis aufgrund des Fehlens personeller und finanzieller Kapazitäten kaum der Fall. Nur wenige Kommunen können ein eigenständiges Beratungsangebot bereitstellen. Der Großteil ist daher auf die Kooperation mit externen Akteuren angewiesen. Als

Kooperationspartner eignen sich vor allem Verbraucherzentralen, regionale Energieagenturen und das örtliche Energieversorgungsunternehmen. Möglich ist auch die Initiierung eines Netzwerks von freiberuflichen Energieberatern, wobei hier zur Vorsicht geraten ist, da die Bezeichnung „Energieberater“ nicht gesetzlich geschützt ist und deshalb nicht von einem einheitlichen Qualitätsniveau der Beratung ausgegangen werden kann. Um die Qualität der Beratungen sicherzustellen, sollten Kommunen daher bestimmte Aufnahmekriterien für das Netzwerk festlegen (Helm 2013).

10.8 Maßnahmen im öffentlichen Raum

Das Integrierte Klimaschutzkonzept der Stadt Oranienbaum-Wörlitz möchte als beispielhafte Kommune voran gehen und einen fortschrittlichen Aktionsplan vorstellen.

Dieser ist in 5 Handlungsfelder untergliedert und bedarf mehrerer Aufteilungen:

Aufteilung der Maßnahmen

- Energie
- Gebäude
- Mobilität
- Wirtschaft
- Klima – Alltag
- Klimaschutz

Gliederung der Maßnahmen nach dem Umsetzungsbeginn auf (Kurz-, Mittel- oder Langfristig):

Kurzfristige Maßnahmen

- Ein-, Mehrfamilienhäuser/ Umrüstung auf BHKW (Blockheizkraftwerk) Quartierslösung
- Nach Absprache mit Denkmalschutz/ Einigung zum klimaneutralen Weg
- Förderung von Solarenergieerzeugung Strom/ Wärme
- Effiziente Strom- und Wärmeerzeugung

Mittelfristig Maßnahmen

- KWKK – Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung
- Einsatz von Wärmepumpen und Umsetzung
- Netzausbau und Netzintegration/ WittenbergNet (teilweise ausgebaut)
- Projekt: Energetische Nutzung von Abwasser und Klärschlamm

- Biogasanlagen (Energie aus Biogas)
- Nachhaltige Bauweise für kommende kommunale Gebäude
- Oberflächennahe Geothermie

Langfristige Maßnahmen

- Abwärmernutzung/ Abnahme von bestehenden Unternehmen (Bäckerei Ditsch GmbH, Füngers Feinkost GmbH & Co.KG)
- Ausbau von Fernwärme, Gegebenheiten prüfen
- Projekte für Energie- Dienstleistungen



Abbildung 57: Energie- und Klimaschutzmanagement (Quelle: DENA GmbH)

Einzelne Maßnahmen in Steckbriefen, dabei werden folgende Aspekte berücksichtigt:

- Handlungsfelder: in übergeordnete Kategorien/ öffentlicher Raum
- Maßnahmennummer: Nummer der Maßnahme / Id.nr./ wenn Förderung Id.nr
- Typ: Anwendungsbereich der Maßnahmen, z. B. Förderung, Öffentlichkeitsarbeit, Ordnungsrecht, Technische Maßnahme, Vernetzung
- Einführung: **kurzfristig** 2022-2024, **mittelfristig** 2024 – 2029 oder **langfristig** ab 2026
- Dauer: fortlaufend (bereits in Anwendung und kontinuierlich weiterlaufend) oder konkreter Zeitraum der Dauer

- Ziel und Strategie: Beschreibung des Ziels der Maßnahme und darauf aufbauende mögliche Strategien, die die Klimaschutzszenarien stützen
- Ausgangslage: Beschreibung der Ausgangssituation innerhalb des Handlungsfelder in der Stadt Oranienbaum-Wörlitz
- Beschreibung: Erläuterung der Maßnahme
- Nennung der Hauptakteure wie Initiatoren, Träger
- Nennung der Akteure, Partnerinnen und Partner, wenn diese an der Umsetzung beteiligt, sind
- Zielgruppenidentifikation
- Handlungsschritte und Zeitplan: Darstellung von Handlungsschritten in zeitlicher Reihenfolge
- Erfolgsindikatoren/Meilensteine: Nennung von Indikatoren, an denen die Wirkung der Maßnahme überprüft werden
- Gesamtaufwand/ Kosten (wenn bekannt): Darlegung der Kosten im Personal- und Sachbereich
- Finanzierungsansatz: Beschreibung der Finanzierungsmöglichkeiten für die Aufwendungen, Möglichkeiten der Förderung
- Beispielprojekte, Empfehlungen, Hemmnisse, soziale und ökologische Aspekte.

Kurzfristige Maßnahmen:

- Beratung zu Sanierung von Heizungsanlagen im privaten Eigentum.
- Prüfung und Planung von Quartierslösung, z.B. BHKW (Blockheizkraftwerk)
- Prüfen und Planung Sanierung der kommunalen Liegenschaften
- Gründung von eEnergiegenossenschaften mit Bürgerbeteiligung (Dachflächenvermietung Industrie und Gewerbebauten)

10.8.1 Beispiel Quartierslösung mit BHKW:

Förderung

Prinzipiell gibt es mehrere Anlaufstellen für die passende Förderung. Die bekanntesten Institutionen sind die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) und das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA). Daneben gibt es speziell für Blockheizkraftwerke Förderprogramme auf Landesebene. Hier empfiehlt es sich, vorab zu schauen, ob für die Stadt Oranienbaum- Wörlitz noch verfügbare finanzielle Mittel abrufbar sind.

Kommunale Vergütung

Verbraucher bekommen dabei eine Vergütung von vier Cent pro Kilowattstunde und maximal 4.800 Euro (2 Kilowatt x 4 Cent/Kilowattstunde x 60.000 Stunden).

Ziel:

Ziel ist der vermehrte Einsatz dezentraler Blockheizkraftwerke (BHKW) zur gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung auf Basis von grünem Wasserstoff und/oder Erneuerbaren Energien, auch die Errichtung von kleinen Nahwärmenetzen ist eine Lösung. Quartierslösungen, gerade bei Neubaugebieten sollten bei jeglichen Ausschreibungen der öffentlichen Hand umgesetzt werden

Strategie:

Die Strategie sollte der vermehrte Ausbau der BHKW in Verbindung mit Nahwärmenetzen sein, wo keine Fernwärme oder autarkes System verfügbar ist. Zusätzlich ist in unserer Stadt langfristig der Ausbau von Kältenetzen zu überlegen, da der Anstieg der Temperaturen in den letzten Jahren weiter zunimmt. Bei der Sanierung von Eigenheimen und im Neubau sollte durch eine Beratung zur Wärme auch die Kälteversorgung nicht außeracht gelassen werden.

Beschreibung:

Auf Basis des Klimamaßnahmenplans werden Gebiete identifiziert, deren Wärmebedarf/Wärmedichte hoch genug ist, um einen wirtschaftlich sinnvollen Einsatz von Blockheizkraftwerken (in Verbindung mit Nahwärme) zu gewährleisten.

Zielgruppe:

Gewerbebetriebe im Stadtgebiet, Eigenheimbesitzer, Private Vermieterinnen und Vermieter, Öffentlichen Liegenschaften

10.8.2 Gebäudesanierung

Der Beitrag, den unsere historischen Kulturlandschaften im Rahmen der Erzeugung regenerativer Energien leistet, verlangt auf allen Seiten ein Verständnis.

Der Anteil an Einzelbaudenkmälern der Stadt Oranienbaum-Wörlitz, die zu einer Installation von Solaranlagen technisch in unserer Stadt geeignet wären, liegt bei weniger als 2 Prozent. Da es sich in unserer Stadt um ein Flächendenkmal handelt, sollten dennoch Möglichkeiten für eine integrierte Nutzung von klimafreundlicher Energie bestehen. Eine starke Veränderung soll nicht erfolgen. Die Nutzung erneuerbarer Energien muss sich harmonisch in die Optik des Bestandes einfügen.

Mit einem gezielten Denkmal + NewEnergy-Maßnahmenkatalog werden gezielte Möglichkeiten und Alternativen für den Bürger mit Eigentum im Denkmalschutz entwickelt. Möglichkeiten auch für den Einbau neuer energetischer Lösungen sollten je nach Art und Lage intensiv beraten werden.

Fazit: Entscheidend sind die Umstände des jeweiligen Einzelfalls. Wichtige Bausteine für eine Denkmal schützenswerte Stadt ist die Identität der regionalen Baukultur, die prägend für die Region ist und architektonisch für die Kultur des Gebietes steht. Eine gut ausgeführte Gebäudesanierung dient dem Erhalt der Gebäude und ist auch nach dem Jahr 2050 ein wichtiger schützenswerter Aspekt unserer Kultur. Der ursprüngliche Ausdruck eines historischen Gebäudes darf in seiner äußerlichen Struktur nicht zerstört oder verändert werden.

Einsparpotenziale in der Sanierung in kWh/ m² im Denkmalschutz:

- bis zu 50 kWh/m² durch Erneuerung des Heizkessels, bessere Regelung, Dämmung von Rohrleitungen
- bis zu 40 kWh/m² durch Erneuerung und Dämmung des Daches
- bis zu 10 kWh/m² durch Dämmung der Kellerdecke von unten
- bis zu 60 kWh/m² durch Dämmung aller Außenwände von außen/ innen
- bis zu 25 kWh/m² durch neue Fenster mit Dreifachverglasung
- bis zu 18- 25 kWh/m² durch eine thermische Solaranlage ohne oder mit Heizungsunterstützung



Abbildung 58: Energiekosteneinsparung durch Dämmung (Quelle: Bausparkasse <http://...>)

Strategie:

Maßnahmen erkennen. Gebietsentlastungen für nicht relevante Straßenzüge erreichen.

Beschreibung:

Mögliche Unterstützung durch Fördermittel des Denkmalschutzes und Kostenumlegung durch energetische Sanierung im Denkmalschutz. Unterstützung bei der Planung und Umsetzung von neuem Denkmal freundlichen Technologien und Anwendungsbereichen.

10.8.3 Förderung von Solarenergieerzeugung Strom/ Wärme

Strategie:

Reduzierung der Energiekosten und Reduktion der Treibhausgasemissionen

Beschreibung:

Mögliche Unterstützung durch Fördermittel im Bereich erneuerbare Energien sowie Vorplanungen, für eine gewollte Umsetzung von neuen Technologien und Anwendungsbereichen im Bereich der Städteplanung.

Zielgruppe:

Gewerbebetriebe im Stadtgebiet, Öffentlichen Liegenschaften, städtisch gebundene kommunale Unternehmen (Genossenschaften)

10.8.4 Nutzung industrieller Abwärme

Ziel:

Bei industriellen Prozessen wird in fast allen Branchen zur Herstellung von Produkten Prozesswärme benötigt. Infolgedessen müssen die erhaltenen Produkte danach wieder mittels Kühlwassers abgekühlt werden. Manchmal wird auch bei chemischen Prozessen - insbesondere bei stark exothermen Reaktionen - Wärme erzeugt, die abgeführt werden muss. Die energetische Nutzung der Wärme für eigene Prozesse ermöglicht eine Einsparung von Energie (z. B. Erdgas zur Prozesswärme, -erzeugung) und damit einhergehend eine Reduzierung von CO₂-Emissionen.

Strategie:

Energetisch sinnvoll ist es, diese Wärme nicht einfach nur an die Atmosphäre abzugeben, sondern diese wieder für Prozesse nutzbar zu machen. Wird Prozesswärme mit einem niedrigeren Temperaturniveau benötigt, so können auch andere Energiequellen mit genutzt werden.

In der Industrie wird je nach Anwendung Prozesswärme zwischen 40 °C und 1000 °C benötigt. Besonders die folgenden Bereiche der Industrie sind auf Prozesswärme angewiesen:

- Lebensmittelindustrie (Dessora) Dachfläche ca. 45180 m² mögliche Sonnenkraft
- Metallverarbeitung
- Chemische Prozesse
- Keramik-, Glas- und Papierindustrie

Außerdem ist es möglich, Prozesswärme aus erneuerbaren Energien bereitzustellen. Ist keine sonderlich hohe Temperatur erforderlich, so können Sonnenkollektoren zur Erzeugung von Prozesswärme eingesetzt werden.

Zur Versorgung können beitragen:

Eine typische Abwärmenutzung würde im Dessora-Industriepark geplant. Anfallende Wärme kann von den anliegenden Unternehmen gezielt über das Fernwärmenetz genutzt werden. ausgekoppelt werden Die vorhandenen und bisher nicht genutzten Abwärmequellen in der Stadt Oranienbaum-Wörlitz werden sukzessive als Ergänzungsenergie in den Wärmesektor eingebunden.

Zielgruppe:

Industrie, Privatpersonen, Städtische Verwaltung mit seinen Gemeinden (wenn der Kostenaufwand nicht höher als der Nutzen liegt)

10.8.5 Energetische Nutzung von Abwasser und Klärschlamm

Ziel:

Klärschlamm, der bei der Wiederaufbereitung von Abwasser in Kläranlagen anfällt, lässt sich unter anderem der energetischen Verwertung zuführen. Das macht ihn zur idealen Brennstoffalternative und liefert einen wichtigen Beitrag zur Schonung natürlicher Ressourcen und einer klimafreundlichen Resteverwertung. Die bei der Abwasserbehandlung anfallende Wärme sollte zusätzlich für Niedrigtemperaturprozesse genutzt werden, sowie das anfallende Faulgas und den Klärrückstand in Form von Klärschlamm muss für die eigenen Prozesse intern energetisch genutzt werden.

Strategie:

Möglichkeiten der innerstädtischen Prozesse und die mögliche entstehende Energie für unsere Stadt gewinnen, sowie Nutzbarmachung der gespeicherten Wärmeenergie, um fossile Brennstoffe einzusparen.

Zur Versorgung können beitragen:

Die Abwasserbehandlung der Verwaltung erfolgt im Klärwerk Oranienbaum, Am Prinzenstein. Dort werden mechanisch absetzbare und aufschwimmende Schmutzstoffe ab-

getrennt sowie gelöste Abwasserbestandteile biologisch abgebaut (wird z.Z. extern entsorgt). Das bei der Schlammbehandlung anfallende Klärgas wird später in Blockheizkraftwerken energetisch verwertet und somit 100 % des Wärme- und % Prozent des Strombedarfs des Klärwerks gedeckt.

Zielgruppe:

Kläranlagenbetreiber (Eigenbedarf); Städtische Verwaltung mit seinen Gemeinden

10.8.6 Biogasanlagen

Ziel:

Ziel ist die energetische Nutzung bei der Kompostierung von Bioabfall in freigesetzte Energie. Anstatt diese - wie üblich - für die mechanische Belüftung des Kompostierungsprozesses zu nutzen, sollen die organischen Bestandteile des Bioabfalls (Biotonne) abgetrennt und zur eigenen Biogaserzeugung für die Stadt genutzt werden.

Strategie:

Biologische Abfälle werden für eine energetische Nutzung verwendet und tragen somit zu einer nachhaltigen Strom- und Wärmeerzeugung bei.

Zur Versorgung können beitragen die:

Der Abfallwirtschaftsbetrieb Remondis (z.B. Annahmestelle Gräfenhainichen) sammelt und transportiert Restabfall, Bioabfall und schadstoffhaltige Abfälle bzw. nach Maßgabe der Abfallwirtschaftssatzung die in der Verwaltung Oranienbaum-Wörlitz angefallenen und überlassenen Abfälle. Insgesamt werden drei Wertstoffhöfe Remondis Annahmestelle Gräfenhainichen, KER Kaiser Entsorgung & Recycling GmbH und Vockerode Humus & Recycling GmbH im Umkreis der Verwaltung betrieben.

Zielgruppe:

Gewerbe, Hauseigentümer*innen, Privatpersonen, kommunale Betriebe

10.8.7 Klimaschonendes Bauen und Sanieren für kommunale und private Gebäude

Ziel:

Mittlerweile verbrauchen Gebäude in der Phase ihrer Erstellung mehr graue Energie und verursachen mehr Treibhausgasemissionen als in ihrer Nutzungsphase. Klimaschonendes und Ressourceneffizientes Bauen kann die Gesamtemissionen eines Gebäudes um mehr als 50% reduzieren. Auch in der Sanierung lassen sich durch den Einsatz entsprechender Materialien die Treibhausgasemissionen massiv reduzieren.

Strategie:

Gestaltung der öffentlichen Ausschreibung zu ressourceneffizienten und klimafreundlichen Bauen.

Beratungsleistung dementsprechender Unternehmen, beispielsweise ResScore GmbH.

10.8.8 Ausbau von Fernwärme

Ziel:

Die Anzahl der Anschlussnehmer im Fernwärmegebiet zu erhöhen (nach Prüfung der örtlichen Gegebenheiten und Absprache mit den jeweiligen Stadtwerken oder Eigenversorgung), um so die Wärmedichte zu erhöhen, ein vorhandenes Fernwärmenetz auszulasten und somit die energetische Effizienz und Wirtschaftlichkeit des gesamten Fernwärmesystems - einschließlich Wärmeerzeugung und Betrieb des Leitungsnetzes zu erhöhen.

Strategie:

Strategien können ein - sinnvoll begründeter und für potenzielle Kundinnen und Kunden finanziell erschwinglicher - Anschluss- und Benutzungsvorteil sowie ein Verbot alter Gas- und Heizölkessel im Innenstadtgebiet sein.

Zur Fernwärmeversorgung können beitragen die

Dessauer Versorgungs- und Verkehrsgesellschaft mbH - DVV - Stadtwerke

und/ oder

Stadtwerke Lutherstadt Wittenberg GmbH

10.8.9 Bebauungsplan Quartierslösung nach Denkmalrichtlinien

Ziel:

Quartierskonzepte stellen hier den wichtigsten Punkt dar und die Versorgung der Anwohner an vorderster Stelle. Die Dienstbarkeit der zentralen Wärme- und Kältesteuernungen

darf nicht in seiner Funktion und seiner Aufgabe eingeschränkt sein. Angelehnt an die Stadtbesiedlungen im 19. Jahrhundert bestehen sehr viele Möglichkeiten die Versorgung als zentralen Punkt auszulegen. Eine zukünftige Erweiterung sollte immer als wichtige Einheit angesehen werden und eine Nachrüstung vereinfachen.

Strategie:

Förderungen im Bereich Wärmenetzsysteme sind ansprechend für jeden Investor oder privaten Hausherrn. Der Vorteil liegt im Vergleich zu Einzelobjekten bei der Kostensenkung gegenüber Einzelanlagen.

Zielgruppen:

Stadtverwaltung, Gebäudeinvestoren und -eigentümer, Wohnungsgenossenschaft, Industrie, Privatpersonen

10.8.10 Aufgaben des Klimaschutzes in unserer Stadt

Der städtische Klimaschutz ist gemeinnützig, er verfolgt seine Ziele insbesondere durch:

- Den Dialog mit allen gesellschaftlichen Gruppen und möglichen Akteuren
- Die Beseitigung von Informationsdefiziten und Verankerung des Klimagedankens in der Verwaltung, Bevölkerung und Unternehmen
- Die Förderung des Informations- und Erfahrungsaustausches
- Die Beratung und Hilfestellungen für interessierte Personen und Institutionen
- Die Förderung wissenschaftlicher und technischer Innovationen
- Die Durchführung von Infotagen und Workshops sowie die Organisation von Arbeitskreisen nach dem Maßnahmenplan
- Die Zusammenarbeit und der Dialog mit Organisationen und Ministerien für eine gesunde, saubere und energetische Umwelt
- energetische Sanierungen, für eine bessere Wohnlandschaft der Bürger
- Reduzierung der Umweltschädigung
- Angestrebte Ziele und Maßnahmen in den Städtehaushalt übernehmen

Darunter fallen weitere Projekte, die messbare Auswirkungen auf Biodiversität, Arten- und Klimaschutz fördern:

Anlage mehrerer Blühwiesen

Die fünf Biosphärenreservate wurden ins Leben gerufen, um die jeweils historisch dort gewachsenen wertvollen Kulturlandschaften sowie deren Arten- und Biotopvielfalt zu schützen und weiterzuentwickeln. Alle Biosphärenreservate zeichnet aus, dass dort eine große, teils einzigartige Zusammensetzung von Fauna und Flora herrscht.

Vorteile von Blühwiesen auf einen Blick

- reduzieren CO₂-Emissionen (nicht anrechenbar auf die Klimabilanz)
- Förderung
- Bereicherung des Insektenhabitats
- Artenvielfalt
- eher geringer Aufwand zur Senkung des CO₂ Ausstoßes
- Natürlich
- Regenerierung von bedrohten Insekten

Bundesamt für Naturschutz, WWF Förderprogramm

Stadt Begrünung:

Bäume sind wahre Kraftwerke, wenn es um die Veränderung des Stadtklimas geht, diese regulieren nicht nur das städtische Mikroklima: sie filtern die Luft und absorbieren CO₂, sie spenden Schatten und saugen über ihr starkes Wurzelwerk viel Wasser auf, was sie durch Verdunstung wieder abgeben und somit die Luft reinigen. Vor allem aber wirken sie abkühlend und mildern in den städtischen Hitze-Insel-Effekt. Steine und Beton heizen sich besonders stark auf und speichern die Wärme gerade in der Nacht. Gebäude werden durch Bäume beschattet und wirken als natürliche Filter. Die Abgabe des Wasserdampfes an die Umwelt bindet Pollen und reduziert bei Allergikern die körperliche Belastung. Senkung der Temperaturen in den Innenräumen und im Außenbereich (Schattenspende). Wichtiges Gut in Städten und Orten, oftmals dienen Bäume als kultureller Treffpunkt von Bürgern. Bepflanzte Straßen wirken hochwertiger und gepflegter in den jeweiligen Städten und Gemeinden.

Vorteile

- Stadtbäume sind Lebensraum für Tiere und Pflanzen
- Bäume bringen die Natur zurück in die Stadt
- Lebensraum für Insekten und Vögel (z. B. Grünspecht), Eichhörnchen und Fledermäuse (z. B. Mopsfledermaus) Artenschutz
- weniger Feinstaubbelastungen spenden Schatten
- halten Wärme von den Gebäuden ab

- je älter ein Baum ist, umso größer ist seine ökologische Bedeutung
- für Generationen gepflanzt

Nachteile

- Bäume in der Stadt haben mit verdichteten Böden, Nährstoffarmut, Wassermangel und Salzen zu kämpfen
- stärkerer Wind, erhöht die Unfallgefahr
- Medien im Erdbereich werden oft durch Wurzeln beeinflusst
- Mehraufwand, höhere Kosten

Ziel:

Überalterung und Lücken in den Straßenbaumbeständen bestimmen immer mehr die Ansicht für das Orts- und Stadtbild. Die Nachpflanzung ist mancherorts schwierig und wurde gerade in den jungen 1990er Jahren nicht in die Planung mit einbezogen oder schlichtweg vergessen. Ein Straßenbaumentwicklungskonzept soll weiteren Anstoß geben und langfristig absichern die Möglichkeit zu nutzen, dass Stadtgrün wieder Einzug halten zu lassen. Gerade in der Zeit, wo die wirtschaftliche Lage der Kommune diese Möglichkeit nicht voll ausschöpfen kann, und notwendige Mittel fehlen, ist es wichtig Planungen vorzubereiten und die Straßenbegrünung mit einzubeziehen. Das bestehende Baumkataster, gibt einen transparenten Einblick für die Bürger und ist bei Baumaßnahmen auch nachvollziehbar. Planungen sollten an konkreten Pflegekonzepten abgeleitet werden und die optimale Pflanzlage von Straßenbäumen vorher geklärt werden, denn so ist die Lebensbedingung optimal geregelt und erleichtert dem Baum mehr Wachstumsfreiheit.

Strategie:

Arbeitsgruppe aus Verwaltung, Straßenbau, wissenschaftlichen ökologischen Einrichtungen, Architekturbüros und Bürgern.

Zielgruppe:

Stadtgebiet, Eigenheimbesitzer, Private Vermieterinnen und Vermieter, städtischen Liegenschaften, ansässige Industrie und Landkreis

11 Literaturverzeichnis:

- AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN (AEE) (2011): Funktion einer Windkraftanlage. <http://www.unendlich-viel-energie.de/de/windenergie/detailansicht/article/48/wie-funktioniert-eine-windkraftanlage.html> (Zuletzt abgerufen am 29.9.2011).
- AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN (AEE) (o.J.): Strom aus Biomasse. <http://www.unendlich-viel-energie.de/de/bioenergie/detailansicht/article/9/strom-aus-biomasse.html>. (Zuletzt abgerufen am 25.08.2012).
- AGEB (2011): Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren in Deutschland im Jahr 2008. <http://www.ag-energiebilanzen.de/viewpage.php?idpage=255> (Zuletzt abgerufen am 25.02.2012).
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (LWF) (Hrsg.) (2011): Der Energieinhalt von Holz. Freising.
- BDEW (2010a), Haushaltsgröße beeinflusst Strombedarf (Presseinformation vom 25.10.2010). http://www.bdew.de/internet.nsf/id/DE_20100225_PM_Haushaltsgroesze_beeinflusst_Energiebedarf (Zuletzt abgerufen am 25.02.2010).
- BDEW (2010b), Wie viel Strom verbraucht ein Haushalt? (Anhang der BDEW). [http://bdew.de/internet.nsf/id/459D6DBD39199E8CC1257826003B107B/\\$file/Stromverbrauch_nach_Haushaltsgr%C3%B6%C3%9Fen.pdf](http://bdew.de/internet.nsf/id/459D6DBD39199E8CC1257826003B107B/$file/Stromverbrauch_nach_Haushaltsgr%C3%B6%C3%9Fen.pdf) (Zuletzt abgerufen am 25.02.2012).
- BECHER, S.; KALTSCHMITT, M. (1997): Feste Bioenergieträger. In: Kaltschmitt, M; Reinhardt, G. A. (Hrsg.) (1997): Nachwachsende Energieträger. Grundlagen, Verfahren, ökologische Bilanzierung. Braunschweig/Wiesbaden. S.20-44.
- BECKER, V. (2004): Chance Energie- und Umweltmarkt. Geothermie. Herausgegeben von Handwerkskammer Düsseldorf. Zentrum für Umwelt und Energie. Oberhausen. S. 3.
- BISCHOFBERGER, W., DICHTL, N., ROSENWINKEL, K.-H., SEYFRIED, C. F., BÖHNKE, B. (Hrsg.) (2005): Anaerobtechnik. Berlin, Heidelberg. S. 618, 638ff.
- BÖHNKE, B., BISCHOFBERGER, W., SEYFRIED, C. F. (1993): Anaerobtechnik. Berlin.
- BOLL, J.-P. (2008): Stromspeicherung. Die Gestaltung einer umweltfreundlichen und sicheren Energieversorgung als Herausforderung für Recht und Politik. Diplomarbeit. Leuphana Universität Lüneburg, Lüneburg. S.25.
- BRÜCK, J. (2008): Photovoltaikanlagen professionell planen und installieren. Poing. S. 107.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das_gesamt_bf.pdf (Zuletzt abgerufen am 12.06.2012). S.11, 19, 21, 38.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (2010): Magnetisch gelagerter Ringgenerator für Windenergieanlagen; erschienen unter BMU-Newsletter zur Forschung im Bereich erneuerbarer Energien; Ausgabe 01/2010, http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/bmu_ee_newsletter_1001_bf.pdf. S. 6. (Zuletzt abgerufen am 29.9.2011).
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (2011): Erneuerbare Energien. Innovationen für eine nachhaltige Energiezukunft.

- http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee_innovationen_energiezukunft_bf.pdf. (Zuletzt abgerufen am 23.08.2012).
- BUNDESVERBAND WINDENERGIE E.V. (BWE) (2009): Repowering – Auswirkung restriktiver Regelungen; erschienen unter: Potential und Chancen des Repowering. http://www.umweltaktion.de/pics/medien/1_1245668154/Praesentation_Albers.pdf. 2009. S. 17 ff. (Zuletzt abgerufen am 30.9.2011).
- DBU - DEUTSCHE BUNDESSTIFTUNG UMWELT (2003): Kirchengemeinden für Sonnenenergie. Osnabrück. <http://www.dbu.de/phpTemplates/spunkte/downloads/KirchendaecherGesamt.pdf> (Zuletzt abgerufen am: 28.06.11).
- DESTATIS (August 2007): Gliederung der Klassifikation der Wirtschaftszweige 2008. http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Klassifikationen/GueterWirtschaftsklassifikationen/klassifikationenwz2008_property=file.pdf (Zuletzt abgerufen am 25.02.2012).
- DIW (2007): Auswirkungen des demographischen Wandels auf die private Nachfrage nach Gütern und Dienstleistungen in Deutschland bis 2050. http://www.diw.de/documents/publikationen/73/55742/diwkompakt_2007-026.pdf (Zuletzt abgerufen am 02.03.2012). S.36.
- DÖRING, S. (2011): Pellets als Energieträger. Technologie und Anwendung. Berlin/ Heidelberg.
- EDER, B., SCHULZ, H. (2006): Biogas – Praxis. 3. Auflage. Staufen bei Freiburg. S. 19-26.
- EICKER, U. (2012): Solare Technologien für Gebäude. Grundlagen und Praxisbeispiele. 2. Auflage. Wiesbaden. S. 59ff.
- ENGLERT, H. (2009): Forstwirtschaftlich produzierte Lingnocellulosepflanzen. In: Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.; Hofbauer, H. (Hrsg.) (2009): Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. 2.Auflage. Hamburg et al., S.75-87.
- EPA Achen: Projektinternes Papier.
- EVBD AG (2011) Gemeinsam den Herausforderungen der Zukunft stellen. http://www.evdbag.de/content/evdb/64_nachfusion.php (Zuletzt abgerufen am: 05.01.2012).
- EWEA EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION (2011): Technische Entwicklung der Rotor-durchmesser. In: UpWind. Design limits and solutions for very large wind turbines. A 20 MW turbine is feasible. S. 17.
- FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V. (FNR) (Hrsg.) (2007): Leitfaden Bioenergie. Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. Gülzow. S. 95.
- FEHRENBACH H., GIEGRICH J., MÖHLER S., UBA (Hrsg.) (2007): Behandlungsalternativen für klimarelevante Stoffströme. Texte 39/07. Dessau-Roßlau. S. 19.
- FLAIG, H. (1998): Potentiale der Reststoffe Holz, Stroh und Biogas. In: Bartz, J. W. (Hrsg.) (1998): Biomasse - nachwachsende Energie. Potentiale, Technik, Kosten; 25 Tabellen. Renningen-Malmsheim, S. 3-6.
- FÖRDERGESELLSCHAFT WINDENERGIE E.V. (2007): Technische Richtlinien für Windenergieanlagen. Teil 6: Bestimmung von Windpotential und Energieerträgen. Revision 7. Kiel. S. 8.
- FÖRSTNER, U. (2012): Umweltschutztechnik. Berlin, Heidelberg. S. 410ff., 426, 283ff.
- FRAUNHOFER INSTITUT FÜR WINDENERGIE UND ENERGIESYSTEMTECHNIK (IWES) et al.(2011): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in

- Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. In: „Leitstudie 2010“.
http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/leitstudie2010_bf.pdf. S. 6, 20, 23 der Zusammenfassung, S. 6, 25, 37, 40, 185 der Langfassung (Zuletzt abgerufen am: 29.9.2011).
- FREIE UNIVERSITÄT BERLIN, INSTITUT FÜR METEOROLOGIE, DR. ANDREAS KERSCHBAUMER: Die atmosphärische Grenzschicht; Modul Luftchemie, Vorlesung WS 2009/2010; als Präsentation erhältlich unter: http://www.geo.fu-berlin.de/met/ag/trumpf/Lehre/Lehrveranstaltungen/modul_luftchemie_ws0910/vorlesung_ws0910_grenzschicht_13nov2009.ppt (Zuletzt abgerufen am 12.9.2011).
- FUNDA, K., KERN, M., RAUSSEN, T., BERGS, C.-G., HERMANN, T., LIEBING, A., BMU (Hrsg.), UBA (Hrsg.) (2009): Ökologisch sinnvolle Verwertung von Bioabfällen - Anregungen für kommunale Entscheidungsträger. S. 20f., 38.
- GEITMANN, S. (2010): Erneuerbare Energien: mit neuer Energie in die Zukunft, 3. Auflage S. 105-109, 307.
- GEOTHERMISCHES INFORMATIONSSYSTEM FÜR DEUTSCHLAND (Geotis) (04.03.2011): Geothermische Potenziale. <http://www.geotis.de/> (Zuletzt abgerufen am 23.04.2011).
- GFZ POTSDAM: Projektinternes Papier.
- GRAF, W. (2002): Der Biogasreport. Books on Demand, 2002. S. 15-17.
- GROTHUSMANN, M. (2012): Mitarbeiterin der GfA, E-Mail-Verkehr.
- GTN Neubrandenburg: Projektinternes Papier.
- HANDSTANGER, R.; SCHANTL, J.; SCHWARZ, R.; KRONDORFER, M. (2004): Zeitgemäße Waldwirtschaft. 6. Auflage. Graz.
- HÄNEL, R.; KLEEFELDT, M.; KOPPE, I. (1984): Geothermisches Energiepotenzial. Pilotstudie: Abschätzung der geothermischen Energievorräte an ausgewählten Beispielen in der Bundesrepublik Deutschland. Luxemburg: Amt für amtliche Veröffentlichungen der europäischen Gemeinschaften. S. 44.
- HARTMANN, H. (2002): Techniken und Verfahren. In: Hartmann, H.; Kaltschmitt, M. (Hrsg.) (2002): Biomasse als erneuerbarer Energieträger. Eine technische, ökologische und ökonomische Analyse im Kontext der übrigen erneuerbaren Energien. 2. Auflage. Münster. S.74-254.
- HARTMANN, H. (2007): Biogene Brennstoffe im Energiesystem. In: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. Hartmann, H. (Hrsg.) (2007): Handbuch. Bioenergie-Kleinanlagen. 2. Auflage. Gülzow, S.13-17.
- HARTMANN, H.; HÖLDRICH, A. (2007): Bereitstellung von Festbrennstoffen. In: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.; Hartmann, H. (Hrsg.) (2007): Handbuch. Bioenergie- Kleinanlagen. 2. Auflage. Gülzow. S.18-55.
- HARTMANN, H.; REISINGER, K. (2007): Brennstoffeigenschaften und Mengenplanung. In: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.; Hartmann, H. (Hrsg.) (2007): Handbuch. Bioenergie- Kleinanlagen. 2. Auflage. Gülzow. S.56-67.
- HASELHUHN, R. (2005): Photovoltaik. Gebäude liefern Strom. BINE-Informationspaket. 5., völlig überarbeitete Auflage. Köln. S. 12f., 19, 21, 22, 39, 52ff.

- HEA FACHGEMEINSCHAFT FÜR EFFIZIENTE ENERGIEANWENDUNG (2011): Energietipps. Berlin. http://www.bdew.de/flip-books/4B96B001D88A12C5C125787E00518A98_1/web/flipviewerxpress.html (Zuletzt abgerufen am: 15.08.11).
- HEIER, S.; Windkraftanlagen (2009): Systemauslegung, Netzintegration und Regelung; 5. Aufl. S. 397.
- HELM, H.: Kommunale Handlungsmöglichkeiten für eine nachhaltige Energiepolitik. Masterarbeit Lüneburg 2013
- HENNICKE, P.; FISCHEDICK, M. (2007): Erneuerbare Energien: Mit Energieeffizienz zur Energiewende. München. S. 33f.
- HEPPERLE, F. (2010): Prognosemodell zur Abschätzung des regionalen Waldenergieholzpotentials. Auf der Grundlage forstlicher Inventur- und Planungsdaten unter Berücksichtigung ökologischer, technischer und wirtschaftlicher Nutzungseinschränkungen. Freiburg. S.3.
- HOTH, PEER/ROCKEL, WILFRIED/SEIBT, P. (1997): Charakteristik und Aufschluss hydro-geothermaler Speicher. In: Geowissenschaften 15 (Heft 8). Potsdam. S.244-252.
- HUFNAGEL, S. (2010): Photovoltaik in der Stadt- und Regionalplanung. Potenziale, Priorisierungen, Instrumente und Methoden. Hamburg. S. 23, 25.
- INTECUS DRESDEN GMBH (o.A.): Informationssammlung best practice municipal waste management. http://www.umweltbundesamt.de/abfallwirtschaft-e/best-practice-mwm/html/index_de.html#. (Zuletzt abgerufen am 16.04.2012).
- INSTITUT FÜR WÄRME UND OELTECHNIK (IWO) (o.A.): Brennstoff Heizöl. <http://www.iwo.de/fachwissen/brennstoff/> (Zuletzt abgerufen am 17.04.2012).
- JESSEL, B., TOBIAS, K. (2002): Ökologisch orientierte Planung. Stuttgart. S.35f.
- KALTSCHMITT, M. (2009): Biomasse als nachwachsender Energieträger. In: Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.; Hofbauer, H. (Hrsg.) (2009): Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. 2.Auflage. Hamburg et al. S.1-6.
- KALTSCHMITT, M., HARTMANN, H., HOFBAUER, H. (Hrsg.) (2009): Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken, Verfahren. Berlin, Heidelberg. S.582.
- KALTSCHMITT, M.; LEWANDOWSKI, I. (2002): Grundlagen des erneuerbaren Energieangebots. In: Hartmann, H.; Kaltschmitt, M. (Hrsg.) (2002): Biomasse als erneuerbarer Energieträger. Eine technische, ökologische und ökonomische Analyse im Kontext der übrigen erneuerbaren Energien. 2. Auflage. Münster. S.32-73.
- KALTSCHMITT, M.; RADTKE, J.(1997): Biomasse als Energieträger. In: Kaltschmitt, M.; Reinhardt, G. A. (Hrsg.) (1997): Nachwachsende Energieträger. Grundlagen, Verfahren, ökologische Bilanzierung. Braunschweig/Wiesbaden. S.6-19.
- KALTSCHMITT, M. STREICHER, W., WIESE, A. (2006): Erneuerbare Energien: Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. 4. Aufl. S. 67, 137ff., 281, 283, 289f., 292, 296, 298, 313, 315.
- KALTSCHMITT, M.; WIESE, A. (2003): Erneuerbare Energien. Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. 3., vollst. neu bearb. und erw. Aufl. Herausgegeben von Wolfgang Streicher. Berlin. S. 476, 517.
- KEPPLER, E. (2008): Weg vom Öl, aber wie? Energieversorgung, Nachhaltigkeit, Klimawandel, Ressourcenknappheit: Wie ist das zu schaffen?. Halle. S. 57, 59, 62.

- KERN, M., RAUSSEN, T., LOOTSMA, A., FUNDA, K. (2008): Vergleichende Bewertung der stofflichen und energetischen Verwertung von Bio- und Grünabfall. In: Kern, M., Raussen, T., Wagner, K. (Hrsg.) (2008): Weiterentwicklung der biologischen Abfallbehandlung II. Witzenhausen 2008, HeRo-Schriftenreihe Band 3. (erschienen zum 2. Biomasse-Forum 2008), S. 35-51.
- KERN, M., RAUSSEN, T., FUNDA, K., LOOTSMA, A., HOFMANN, H., UBA (Hrsg.) (2010): Aufwand und Nutzen einer optimierten Bioabfallverwertung hinsichtlich Energieeffizienz, Klima- und Ressourcenschutz. <http://www.uba.de/uba-info-medien/4010.html> (Zuletzt abgerufen am 06.04.2012). S. 88, 132ff., 137.
- KRANERT, M., CORD-LANDWEHR, K. (Hrsg.) (2010): Einführung in die Abfallwirtschaft. Wiesbaden. S. 232, 273.
- Kranz, S., Bartels, J. (2009): Simulation and data based identification of parameters affecting seasonal ATES efficiency. 11th International Conference on Thermal Energy Storage - Effstock 2009 (Stockholm, Sweden 2009).
- LÖDL, Martin; KERBER, Georg; PROF. DR. WITZMANN, Rolf; DR. HOFFMANN, Clemens; DR. METZGER, Michael (2010): Abschätzung des Photovoltaik-Potenzials auf Dachflächen in Deutschland. Graz. http://www.hsa.ei.tum.de/Publikationen/2010/2010_Loedl_Kerber_Wi_Graz.pdf (Zuletzt abgerufen am: 28.06.11).
- LÜKING, R.M. (2011): Die Effizienz von Kraft-Wärme-Kopplung: ein Vorschlag zu einem neuen Bewertungsansatz. Bauphysik 33/6, 329-337.
- MÜLLER-LANGER, F., SCHNEIDER, S., WITT, J., THRÄN, D. (2006): Monitoring zur Wirkung der Biomassenverordnung – Zwischenbericht. <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3042.pdf> (Zuletzt abgerufen am 18.04.2012). S. 22, 41
- NEUPERT, U.; EUTING, T.; KRETSCHMER, T.; NOTTHOFF, C.; RUHLIG, K.; WEIMERT, B. (2009): Energiespeicher. Technische Grundlagen und energiewirtschaftliches Potenzial. S. 3-8; 21ff.
- POPP, M. (2010): Speicherbedarf bei einer Stromversorgung mit erneuerbaren Energien. Berlin. S. 130–131.
- QUASCHNING, V. (2007): Regenerative Energiesysteme; Technologie – Berechnung – Simulation; 5. Auflage. S. 214, 219, 221ff., S. 233f., 236, 289f.
- QUASCHNING, V. (2008): Erneuerbare Energien und Klimaschutz. Hintergründe - Techniken - Anlagenplanung - Wirtschaftlichkeit. München: Hanser. S. 245.
- QUASCHNING, V. (2009): Regenerative Energiesysteme. München. S. 299.
- QUASCHNING, V. (2010): Erneuerbare Energien und Klimaschutz. Hintergründe - Techniken - Anlagenplanung - Wirtschaftlichkeit. 2., aktualisierte Auflage. S. 134ff., 260-280.
- RADKAU, J. (2007): Holz. Wie ein Naturstoff Geschichte schreibt. München. S. 273.
- SCHEER, H. (1999): Solare Weltwirtschaft. Strategie für die ökologische Moderne. München.
- SCHULZ, R. et al. (1992): Geothermische Energie. Forschung und Anwendung in Deutschland. 1. Aufl. Herausgegeben von Schulz, Werner, Ruhland und Bußmann. Karlsruhe: C.F. Müller. S. 64.
- SCHWISTER, K. (2003): Taschenbuch der Umwelttechnik. Wien/München. S. 470.
- SELTMANN, T. (2009): PHOTOVOLTAIK. Strom ohne Ende. Netzgekoppelte Solarstromanlagen optimal nutzen und bauen. 4., vollständig überarbeitete Auflage. Berlin.

- SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN (2008): Umweltgutachten 2008 – Umweltschutz im Zeichen des Klimawandels. Berlin. S.681ff., 693
- SACHVERSTÄNDIGEN RAT FÜR UMWELTFRAGEN (2011): Wege zur 100% erneuerbaren Energieversorgung. Sondergutachten. Berlin. S. 215.
- STATISTISCHE ÄMTER DES BUNDES UND DER LÄNDER (2022): Gebiet und Bevölkerung – Fläche und Bevölkerung. http://www.statistik-portal.de/Statistik-Portal/de_jb01_jahrtabl.asp. (Zuletzt abgerufen am: 04.05.2022).
- STEMPEL, U. (2007): Grundlagen der Solarenergie. Schaltungen und Experimente rund um die Photovoltaik. Poing. S. 32f.
- STERNER, M.; GERHARDT, N.; SAINT-DERNAN, Y.-M.; OEHSEN, A. VON ; HOCHLOFF, P.; KOCMAJEWSKI, M. ET AL. (2010): Energiewirtschaftliche Bewertung von Pumpspeicherwerken und anderen Speichern im zukünftigen Stromversorgungssystem. Endbericht. Hrsg. von Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) Kassel. S. 89.
- STOBER, I.; FRITZER, T.; OBST, K.; SCHULZ, R. (2009): Nutzungsmöglichkeiten der Tiefengeothermie in Deutschland. Herausgegeben vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Berlin. S. 9, 16, 18, 22ff.
- TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN; HERMANN-FÖTTINGER-INSTITUT FÜR STRÖMUNGSMECHANIK (2005): Einschränkungen für das Repowering unter Berücksichtigung der genehmigungsrechtlichen Rahmenbedingungen. S. 19 -31.
- TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN (o.J.): Die Farbstoffsolarzelle. <http://samstag.physik.tu-dresden.de/2007/bauanleitung-farbstoffsolarzelle.pdf> (Zuletzt abgerufen am: 10.08.11).
- THOMAS B., WYNDORPS A., OECHSNER H., BEKKER M., KELM T. (2009): Gekoppelte Produktion von Kraft und Wärme aus Bio-, Klär- und Deponiegas in kleinen, dezentralen, Stirling-Motor-Blockheizkraftwerken. <http://www.fachdokumen-te.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/94275/?COMMAND=DisplayBericht-&FIS=203&OBJECT=94275&MODE=METADATA> (Zuletzt abgerufen am 12.04.2012). S.9, 17f.
- UMWELTBUNDESAMT (2010): 2050: 100%, S. 34.
- UMWELTBUNDESAMT (2011): Indikator: Anteil der erneuerbaren Energien am Gesamtstromverbrauch. <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeIdent=2850> (Zuletzt abgerufen am:15.02.2012). S. 21.
- Umweltbundesamt (2011b): Daten zur Umwelt – Ablagerung von Abfällen auf Deponien. <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeIdent=2305>. (Zuletzt abgerufen am 16.04.2012).
- UMWELTBUNDESAMT (2012a): Kraft-Wärme-Kopplung (KWK). <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeIdent=2323>. (Zuletzt abgerufen am: 20.08.2012).
- UMWELTBUNDESAMT (2012b): Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix 1990-2010 und erste Schätzungen 2011. Dessau-Roßlau. <http://www.umweltbundesamt.de/energie/archiv/co2-strommix.pdf> (Zuletzt abgerufen am: 12.06.2012).
- UBA 2010: UBA (2010), Energieziel 2050: 100% Strom aus erneuerbaren Quellen. Dessau-Roßlau. S. 16.
- VERHOFF, S., DEHNING, J., SAUTER, U.-H. (2009): Rahmenvereinbarung für den Rohholzhandel in Deutschland (RVR) – wann kommt die Nachfolgeregelung für die Forst-HKS? In: FVA Einblick 2/3/09: 30-33.

- VOGT, R., FRISCH, S., PEHNT, M. (2010): Klimaschutz- und Energieeffizienzpotenziale im Bereich Abfall und Abwasserwirtschaft - Bericht im Rahmen des Vorhabens „Wissenschaftliche Begleitforschung zu übergreifenden technischen, ökologischen, ökonomischen und strategischen Aspekten des nationalen Teils der Klimaschutzinitiative“. Heidelberg. S.18, 33.
- VON WITZKE; H., NOLEPPA, S. (2007): Methan und Lachgas – Die vergessenen Klimakiller. WWF, 2007. S. 9, 12.
- WATTER, H. (2011): Regenerative Energiesysteme; Grundlagen, Systemtechnik und Anwendungsbeispiele aus der Praxis; 2. Auflage. S. 54, 61f., 67.
- WIRTSCHAFTSMINISTERIUM BADEN- WÜRTTEMBERG (Hrsg.) (2008): Holzenergie-fibel. Holzenergienutzung. Technik- Planung- Genehmigung. 4. Auflage. Stuttgart.
- WWF (2009), Modell Deutschland: Klimaschutz bis 2050. http://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publicationen-PDF/WWF_Modell_Deutschland_Endbericht.pdf (Zuletzt abgerufen am: 15.01.2012). S. 38ff 135 67 64
- ZVEI (September 2008): Weißbuch Energie-Intelligenz: Energie intelligent erzeugen, verteilen und nutzen. http://en-q.de/media/Weissbuch_Energie-Intelligenz.pdf (Zuletzt abgerufen am: 25.02.2012). S. 22f.