

Bernd Hirschl, Astrid Aretz, Elisa Dunkelberg, Anna Neumann, Julika Weiß

Potenziale erneuerbarer Energien in Berlin 2020 und langfristig – Quantifizierung und Maßnahmengenerierung zur Erreichung ambitionierter Ausbauziele

Studie zum Berliner Energiekonzept (Anlage 6)

Schriftenreihe des IÖW 198/11



i | ö | w

INSTITUT FÜR
ÖKOLOGISCHE WIRTSCHAFTSFORSCHUNG

Bernd Hirschl, Astrid Aretz, Elisa Dunkelberg, Anna Neumann, Julika Weiß

Potenziale erneuerbarer Energien in Berlin 2020 und langfristig – Quantifizierung und Maßnahmengenerierung zur Erreichung ambitionierter Ausbauziele

Langfassung der Studie zum Berliner Energiekonzept (Anlage 6)

Im Auftrag der Berliner Energieagentur
Für den Senat von Berlin
(zuständig: Senatsverwaltung für Wirtschaft, Technologie und Frauen)

Schriftenreihe des IÖW 198/11
Berlin, Studienabschluss im März 2010, veröffentlicht im April 2011

ISBN 978-3-940920-01-0

Impressum

Herausgeber:

Institut für ökologische
Wirtschaftsforschung (IÖW)

Potsdamer Straße 105

D-10785 Berlin

Tel. +49 – 30 – 884 594-0

Fax +49 – 30 – 882 54 39

E-Mail: mailbox@ioew.de

www.ioew.de

Studie zum Berliner Energiekonzept**In Kooperation mit:**

Berliner Energieagentur GmbH

Französische Str. 23

10117 Berlin

<http://berliner-e-agentur.de/>

Beauftragt von:

Senat von Berlin,

unter Federführung der Senatsverwaltung für Wirtschaft, Technologie und Frauen,

im Unterauftrag für die Berliner Energieagentur

Zusammenfassung

Die vorliegende Studie zur Ermittlung der Potenziale erneuerbarer Energien (EE) in Berlin im Jahr 2020 ist ein **Bestandteil des Berliner Energiekonzepts 2020**, das am 5. April 2011 vom Berliner Senat „zustimmend zur Kenntnis genommen“ und veröffentlicht wurde. Bei der hier vorliegenden IÖW-Schriftenreihe handelt es sich um die ausführliche Studie, aus der die zentralen Daten, Zusammenhänge und Maßnahmenempfehlungen in komprimierter Form in die Langfassung des Energiekonzepts (unter Federführung der Berliner Energieagentur) übernommen wurden.

Um die Potenziale im Bereich der erneuerbaren Energien zu ermitteln, wurde zunächst ein im Vergleich zu den bis dato vorliegenden Zahlen genaueres und differenzierteres **Datenset für das Jahr 2008**, das Basisjahr für die Szenarien, erarbeitet. In der Folge wurden auf dieser Grundlage Potenziale für alle relevanten EE-Technologien ermittelt. Dazu gehören die verschiedenen Bioenergietechnologien (kleine und große Wärme und Strom produzierende Biomasseanlagen sowie Biogasanlagen), Solarthermie und Photovoltaik, Wind- und Wasserkraft sowie oberflächennahe Geothermie und Wärmepumpen. In einem ersten Schritt wurden langfristige technische Potenziale ermittelt, bevor schließlich methodisch differenziert erschließbare Potenziale für das Jahr 2020 bestimmt wurden.

Im Ergebnis zeigt sich, dass auch Berlin als mit Abstand größte deutsche Metropole im Vergleich zur heutigen Situation **langfristig** durchaus deutlich höhere Anteile erneuerbarer Energien erzielen kann. Insbesondere die Solartechnologien, aber auch Wärmepumpen könnten hohe Beiträge liefern, ergänzt durch das (jedoch begrenzte) endogene Biomassepotenzial. Insbesondere die Biomasse und Bioenergie wird auch perspektivisch darüber hinaus zu einem signifikanten Teil importiert werden müssen. **Bis 2020** lassen sich durch ein Bündel von Maßnahmen für alle EE-Technologien in der Summe Anteile von knapp 17 % im Strombereich und etwa 12 % an der Wärme erzielen. Unter Berücksichtigung einer Biogasquote im Erdgasnetz erhöht sich der Wärmeanteil auf über 15 %. Damit läge Berlin zwar weiterhin deutlich unterhalb der bundesweiten EE-Anteile, die Steigerungsraten wären allerdings angesichts des gegenwärtigen Gesamtanteils in Höhe von insgesamt ca. 2 % dennoch beachtlich. Die Biomasse wird angesichts der Pläne des lokalen Energieversorgers Vattenfall mehrere große Biomasse-Heizkraftwerke zu errichten und in bestehenden Anlagen Biomasse zuzufeuern, bis dahin den mit Abstand größten Beitrag zur Strom- und Wärmeerzeugung aus EE leisten. Aber auch die dezentrale Biomasse-KWK wird deutliche Steigerungen erfahren. Bei der Stromerzeugung folgen die Windkraft mit ca. 3 % und die Photovoltaik mit ca. 2 %. Bei der Wärmeerzeugung liefern Wärmepumpen in 2020 ca. 2 % und Solarthermieanlagen knapp 1 % des Energiebedarfs im Jahr 2020. Diese Anteile erhöhen sich aufgrund des niedrigen Ausgangsniveaus voraussichtlich erst nach 2020 in signifikantem Maße.

Der Katalog an **Vorschlägen für Maßnahmen zur Erreichung der Potenziale** umfasst überwiegend niedriginvestive Maßnahmen, welche insbesondere die Diffusion der jeweiligen Technologie erhöhen sollen. Dazu zählen Maßnahmen zur Steigerung des Wissens, Bildungs- und Ausbildungsmaßnahmen, Vernetzung und Demonstration, sowie die Koordinierung und Erfolgskontrolle der Maßnahmen. Auch die gezielte Erschließung von endogenen Biomassepotenzialen, die Unterstützung von privaten Investments im EE-Bereich sowie wie die Erwägung des öffentlichen Eigenbetriebs von EE-Anlagen werden durch das Maßnahmenportfolio adressiert. Da Berlin voraussichtlich auch langfristig Endenergie und Energierohstoffe aus dem Umland beziehen muss, wird schließlich auch die gezielte Erschließung der Biomasse-, Wind- und Solarpotenziale der Berliner Stadtgüter empfohlen.

Abstract

The present study determines the potential of renewable energy (RE) in Berlin in 2020. It is **part of the Berlin Energy Concept 2020**, which was "noted with approval" and published on 5 April 2011 by the Berlin Senate. This detailed study was the basis for central data, context and policy recommendations which have in a concise manner been incorporated into the long version of the energy concept (lead-managed by the Berlin Energy Agency).

To determine the potential for renewable energy in Berlin, a – in comparison to the existing database – more accurate and differentiated **data set was generated for the year 2008**, the base year for the scenarios. On this basis, potentials were determined for all relevant RE technologies. These include the various bioenergy technologies (small and large heat and power plants, biogas plants), solar heat and photovoltaic systems, wind, hydro and geothermal energy as well as heat pumps. In a first step, long-term technical potentials were determined before methodically differentiated exploitable potentials for the year 2020 were finally identified.

The results show that even Berlin – by far the largest German city – can achieve much higher shares of renewable energy in the **long term** in comparison to the current situation. Solar technologies in particular, but also heat pumps could make high contributions, supplemented by the (however limited) endogenous biomass potential. In particular, significant amounts of biomass and bioenergy will have to be imported. **In 2020**, accompanied by a set of suitable measures, Berlin could reach a total RE share of nearly 17% in the electricity sector and about 12% of the heat demand. Considering the possible biogas ratio in the natural gas network, the share of renewable energy in the heat sector would increase to over 15%. Although Berlin's RE share would remain well below the national RE share, the growth rates would, however, still be considerable compared to the actual share of about 2%. The large-scale use of biomass, which is the main component of plans of the local energy provider Vattenfall, will make by far the largest contribution to electricity and heat generation from RE. But also decentralized biomass cogeneration will increase significantly. Concerning electricity generation, wind power follows with a share of about 3% and photovoltaics with a share of about 2%. Heat pumps could deliver approximately 2% of the heat demand in 2020 and solar thermal systems almost 1%. These shares, due to the low starting level, are not expected to rise significantly until after 2020.

The catalog of **recommendations for measures to achieve those potentials** predominantly comprises low investment measures, which should in particular enhance the diffusion of the respective technologies. It includes measures to increase knowledge, education and training, networking and demonstration activities, as well as the coordination and monitoring of the actions. The selective development of endogenous biomass potential, the support of private investment in the RE sector as well as the public operation of RE systems by the city of Berlin itself are addressed by the portfolio of recommendations. As Berlin is expected to import energy and energy resources from the urban hinterland, the development of biomass, wind and solar potentials in areas situated in Brandenburg but owned by the city of Berlin is recommended in conclusion.

Die Autorinnen und Autoren

sind MitarbeiterInnen am Forschungsfeld „Nachhaltige Energiewirtschaft und Klimaschutz“ am IÖW.

Dr. Astrid Aretz arbeitet seit vielen Jahren als wissenschaftliche Mitarbeiterin im Bereich erneuerbarer Energien. Ihre Arbeitsschwerpunkte sind die Bewertung erneuerbarer Energien und insbesondere der Biomassennutzung, nachhaltige Energiewirtschaft und Klimaschutz.

Kontakt: Astrid.Aretz@ioew.de

Tel. +49 – 30 – 884 594-17

Elisa Dunkelberg ist Umweltingenieurin und beschäftigt sich hauptsächlich mit den Themenkomplexen Ökobilanzierung, ökologische Bewertung und energetische Gebäudesanierung.

Kontakt: Elisa.Dunkelberg@ioew.de

Tel. +49 – 30 – 884 594-36

Dr. Bernd Hirschl (Projektleitung) leitet das Forschungsfeld „Nachhaltige Energiewirtschaft und Klimaschutz“ am IÖW. Er beschäftigt sich seit vielen Jahren mit der Entwicklung, Analyse und Bewertung von Politikmaßnahmen sowie Märkten und Produkten im Energie- und Klimabereich, mit einem besonderen Schwerpunkt auf den erneuerbaren Energien.

Kontakt: Bernd.Hirschl@ioew.de

Tel. +49 – 30 – 884 594-26

Anna Neumann bearbeitet als Umweltingenieurin schwerpunktmäßig die Themenbereiche Biokraftstoffe, Bewertung erneuerbarer Energien, Energiewirtschaft und Umweltzeichen.

Kontakt: Anna.Neumann@ioew.de

Tel. +49 – 30 – 884 594-44

Die inhaltlichen Schwerpunkte von **Dr. Julika Weiß** liegen in der Analyse unterschiedlicher erneuerbarer Energien-Märkte, im Bereich Energieeffizienz und Gebäudesanierung, sowie der ökologischen Bewertung.

Kontakt: Julika.Weiss@ioew.de

Tel. +49 – 30 – 884 594-25

Inhaltsverzeichnis

1	Hintergrund und Aufgabe	13
2	EE-Ausbaustand in Berlin – Analyse des Status Quo bis 2008	15
2.1	Zur Methode	15
2.2	Verfügbare statistische Datengrundlage	15
2.3	Solarenergie	17
2.3.1	Solarthermie	18
2.3.1.1	Stand in Deutschland und Anwendungsgebiete	18
2.3.1.2	Stand in Berlin	20
2.3.2	Photovoltaik	22
2.4	Biomasse / biogene Reststoffe	24
2.4.1	Kleinanlagen zur Wärmeerzeugung aus Biomasse	24
2.4.2	EEG-vergütete Anlagen, ausschließliche Nutzung von Biomasse	26
2.4.2.1	Großanlagen	26
2.4.2.2	Kleine und mittelgroße Anlagen	27
2.4.3	Nicht EEG-vergütete, nicht netzgebundene Biomasseanlagen	28
2.4.4	Zufeuerung von Biomasse in konventionellen Kraftwerken	29
2.4.5	Erzeugung und Nutzung von Biogas	29
2.4.6	Deponiegas- und Klärschlammnutzung	29
2.4.7	Energetische Verwertung von Siedlungsabfällen	30
2.4.8	Biokraftstoffe im Verkehrssektor	31
2.4.9	Gesamtschau Biomasse	31
2.5	Geothermie und Wärmepumpen	32
2.5.1	Technische Konzepte und bundesweite Entwicklung	32
2.5.2	Wärmepumpen in Berlin	35
2.5.3	Tiefe Geothermie in Berlin	38
2.6	Wind- und Wasserkraft sowie sonstige EE	39
2.6.1	Windenergie	39
2.6.2	Wasserkraft	40
2.6.3	Sonstige erneuerbare Energien	40
2.7	Gesamtschau der verfügbaren Daten und Vergleich mit Energiebilanzen	41
3	Screening von Methoden für die Potenzialermittlung	47
3.1	Potenzialbegriff	47
3.2	Methodenvielfalt – Übersicht ausgewerteter Studien	48
4	Langfristige, technische Potenziale in Berlin	51
4.1	Solarenergie	51
4.1.1	Stadtgebiet Berlin	51
4.1.1.1	Potenziale für Solarthermie	57
4.1.1.2	Potenziale für Photovoltaik	59
4.1.2	PV-Potenziale auf Flächen der Berliner Stadtgüter GmbH	59

4.2	Biomasse und Bioenergie	60
4.3	Geothermie und Wärmepumpen.....	62
4.3.1	Oberflächennahe Geothermie und Wärmepumpen	62
4.3.2	Tiefe Geothermie	66
4.3.3	Fazit	66
4.4	Windenergie	67
4.4.1	Stadtgebiet Berlin	67
4.4.1.1	Große Windenergieanlagen	67
4.4.1.2	Kleinwindanlagen.....	68
4.4.2	Berliner Stadtgüter.....	71
4.5	Wasserkraft	72
4.6	Gesamtschau und Diskussion der Ergebnisse	74
5	Erschließbare EE-Potenziale und Szenarien bis 2020	77
5.1	Stromerzeugung.....	77
5.1.1	Photovoltaik	77
5.1.1.1	Stadtgebiet Berlin	77
5.1.1.2	PV Stadtgüter	80
5.1.1.3	Gesamtpotenzial Berlin inkl. Stadtgüter	81
5.1.2	Windenergie.....	82
5.1.2.1	Stadtgebiet Berlin	82
5.1.2.2	Berliner Stadtgüter.....	83
5.1.2.3	Gesamtpotenzial Berlin inkl. Stadtgüter	84
5.1.3	Wasserkraft.....	84
5.1.4	Anteil Erneuerbarer Energien im deutschen Strommix – EE-Stromimporte	85
5.2	Gebäudebezogene Heizungssysteme	86
5.2.1	Übergreifende Methodik und Annahmen.....	86
5.2.2	Biomasse	91
5.2.2.1	Referenzentwicklung	92
5.2.2.2	Ausbauszenario	96
5.2.3	Solarthermie	99
5.2.3.1	Referenzentwicklung	99
5.2.3.2	Ausbauszenario	104
5.2.4	Geothermie und Wärmepumpen	105
5.2.4.1	Referenzentwicklung	107
5.2.4.2	Ausbauszenario	109
5.2.5	Beitrag der erneuerbaren Energien zur Wärmebereitstellung.....	112
5.3	Größere Biomasse-Anlagen	114
5.3.1	Biogasimporte.....	118
5.3.2	Biokraftstoffe (<i>im Rahmen der Studie nicht behandelt</i>).....	118
5.4	Gesamtschau 2020	119
6	Maßnahmen zur Erschließung der Potenziale bis 2020.....	123
6.1	Solarenergie allgemein	124
6.2	Photovoltaik.....	126
6.3	Solarthermie.....	128
6.4	Windenergie	130
6.5	Wasserkraft	131

6.6	Geothermie und Wärmepumpen	132
6.7	Bioenergie	134
6.8	Bereich Wärmebereitstellung / gebäudebezogene Heizungssysteme.....	135
6.9	Weitere übergreifende Maßnahmen zur Förderung erneuerbarer Energien	137
6.10	Übersicht Maßnahmen erster und zweiter Priorität.....	139
7	Literaturverzeichnis	141
8	Anhang.....	149
8.1	Potenzialermittlungsmethoden – Eine Literaturlauswertung.....	149
8.1.1	Potenzialermittlungsmethoden im Bereich Solarenergie.....	149
8.1.2	Potenzialermittlungsmethoden im Bereich Biomasse / biogene Reststoffe	150
8.1.3	Potenzialermittlungsmethoden im Bereich Windenergie	153
8.1.4	Potenzialermittlungsmethoden im Bereich Wasserkraft.....	154
8.1.5	Potenzialermittlungsmethoden im Bereich Geothermie (Wärmepumpen, tiefe Geothermie).....	154
8.1.6	Potenzialermittlungsmethoden im Bereich sonstige erneuerbare Energien.....	156
8.2	Berechnungsverfahren	157
8.2.1	Berechnung langfristiges Potenzial Geothermie:.....	157
8.2.2	Berechnung theoretischer Potenziale im Bereich Wasserkraft	158
8.3	Berechnung der Wirtschaftlichkeit von EE-Heizungsanlagen – Methoden, Annahmen und Ergebnisse.....	160
8.3.1	Berechnungsmethodik und Annahmen.....	160
8.3.1.1	Referenzgebäude	160
8.3.1.2	Betrachtete Maßnahmen	161
8.3.1.3	Variable Kosten: Energiepreisentwicklung und Kostendegressionen	163
8.3.1.4	Ergebnisse des Kostenvergleichs.....	165
8.3.1.5	Wirtschaftlichkeit von größeren EE-Anlagen zur Wärmeerzeugung	169
8.3.2	Anhänge zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit.....	172
8.3.2.1	Anhang I: Berechnungsmethode	172
8.3.2.2	Anhang II: Aufwandzahlen	175
8.3.2.3	Anhang III: Förderung.....	177
8.3.2.4	Anhang IV: Investitionskosten der Versorgungssysteme	179
8.3.2.5	Anhang V: Betriebsgebundene Kosten.....	182
8.3.2.6	Anhang VI: Nutzungsdauer und Instandsetzungsfaktor	184

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1:	Entwicklung der installierten Flächen (m ²) bei solarthermischen Anlagen 1990 bis 2008.....	21
Abb. 2.2:	Entwicklung von kumulierter installierter Leistung und jährlichem Zubau von PV-Anlagen in Berlin	23
Abb. 2.3:	Anzahl der in Deutschland verkauften Heizwärmepumpen (1998-2008).....	35
Abb. 2.4:	Entwicklung der in Neubauten genehmigten Wärmepumpen bis 2009	36
Abb. 2.5:	Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien 2005-2008 Quelle: Eigene Darstellung.....	44
Abb. 2.6:	Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien 2005-2008 Quelle: Eigene Darstellung.....	44
Abb. 5.1:	Entwicklung der Stromerzeugung [MWh] durch Photovoltaik in den verschiedenen Trendszenarien für Berlin bis 2020	79
Abb. 5.2:	Entwicklung der installierten Solarkollektoren bis 2008 und Trendfortschreibung bis 2020	101
Abb. 5.3:	Entwicklung der Wärmebereitstellung aus Solarthermie in Berlin (nur Wohngebäude) Quelle: eigene Darstellung	102
Abb. 5.4:	Entwicklung der Wärmebereitstellung aus Solarthermie in Berlin (Wohn- und Nichtwohngebäude) Quelle: eigene Darstellung	104
Abb. 5.5:	Entwicklung der Baugenehmigungen für EFH und MFH sowie Wärmepumpen in EFH im Zeitraum 2006-2009	106
Abb. 5.6:	Wärmebereitstellung mit Wärmepumpen in Wohngebäuden für den Zeitraum 2005-2009 und Weiterentwicklung bis 2020 bei Trendfortschreibung, Trend mit Berücksichtigung des EE-Wärmegesetzes, Referenzszenario (EE-Wärmegesetz, Wirtschaftlichkeit) und Ausbauszenario	111
Abb. 5.7:	Wärmebereitstellung mit Wärmepumpen in Wohn- und Nicht-Wohngebäuden für den Zeitraum 2005-2009 und Weiterentwicklung bis 2020	112
Abb. 5.8:	Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Referenz- und Ausbau-Plus-Szenarien (mit und ohne Biomasse-HKW Klingenberg)	121
Abb. 5.9:	Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien in Referenz- und Ausbau-Plus-Szenarien (mit und ohne Biomasse-HKW Klingenberg)	122
Abb. 8.1:	Entwicklung der Annuitäten für Heizungssysteme in neugebauten Einfamilienhäusern	165
Abb. 8.2:	Entwicklung der Annuitäten für Heizungssysteme in bestehenden Einfamilienhäusern	166
Abb. 8.3:	Entwicklung der Annuitäten für Heizungssysteme in neugebauten Mehrfamilienhäusern	167
Abb. 8.4:	Entwicklung der Annuitäten für Heizungssysteme in bestehenden Mehrfamilienhäusern	168

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1:	Anteil erneuerbarer Energien (EE) am Primär- und Endenergieverbrauch in Berlin 2003-2006 nach Energie- und CO ₂ -Bilanzen.....	17
Tab. 2.2:	Solarthermische Anlagen in Berlin bis Ende 2008.....	20
Tab. 2.3:	Photovoltaikanlagen in Berlin nach Solaranlagenkataster Mitte 2009	22
Tab. 2.4:	kumulierte Anzahl, Leistung und Stromerzeugung von EEG-Photovoltaikanlagen 2006 bis 2008	23
Tab. 2.5:	BAFA-geförderte Anlagen zur Biomassenutzung 2000-2008 in Berlin (kumuliert)	25
Tab. 2.6:	Volllaststundenzahlen für MAP-geförderte Kleinanlagen zur Wärmeerzeugung aus Biomasse	25
Tab. 2.7:	Anzahl, Leistung und Stromerzeugung aus EE-vergüteten Biomasseanlagen 2006 bis 2008 nach Angaben von Vattenfall Europe	26
Tab. 2.8:	Strom- und Wärmeerzeugung 2006 bis 2008 in der Biomasse-Großanlage Rudow ..	27
Tab. 2.9:	Strom- und Wärmeerzeugung 2006 bis 2008 in kleinen und mittelgroßen Anlagen zur Nutzung von Biomasse in Berlin.....	28
Tab. 2.10:	Nutzung von Biomasse / biogenen Reststoffen aus und in Berlin.....	32
Tab. 2.11:	Gesamtschau Nutzung erneuerbarer Energien in Berlin	42
Tab. 2.12:	Gesamtschau erneuerbare Energien in Berlin 2005-2008	43
Tab. 2.13:	Vergleich ermittelter Werte mit Primärenergieverbrauch in Energiebilanzen	45
Tab. 3.1:	Bezüglich der verwendeten EE-Potenzialermittlungsmethoden ausgewertete Energie- und Klimaschutzkonzepte	48
Tab. 4.1:	Flächenanteile, entsprechende ISU-Flächentypen und andere wichtige Charakteristika der Stadtraumtypen in Berlin gemäß solarem Rahmenplan	52
Tab. 4.2:	Kennzahlen der energetischen Lösungsmodelle gemäß solarem Rahmenplan	54
Tab. 4.3:	Technische und solarurbane Gütezahlen und entsprechende Flächenpotenziale für Berlin gemäß solarem Rahmenplan	56
Tab. 4.4:	Übersicht über in Berlin anfallende biogene Reststoffe und deren derzeitige Verwertung.....	61
Tab. 4.5:	Endenergiebereitstellung aus biogenen Reststoffen in Berlin in GWh.....	62
Tab. 4.6:	Berechnung von maximaler Anzahl an Erdwärmesonden, Wärmepumpen und deren Heizwärmebereitstellung sowie Stromverbrauch basierend auf den Stadtraumtypen für Berlin gemäß solarem Rahmenplan	64
Tab. 4.7:	Charakteristika und nutzbare Wasserkraftpotenziale der einzelnen Berliner Gewässer	73
Tab. 4.8:	Gesamtschau langfristiger Potenziale erneuerbarer Energien in Berlin bis 2050 (ohne Biomasse-Importe)	75
Tab. 5.1:	Ergebnisse der PV-Szenarien 2020 im Überblick.....	80
Tab. 5.2:	Stromerzeugung durch Photovoltaikanlagen im Jahr 2020 im Stadtgebiet und auf Flächen der Berliner Stadtgüter GmbH	82
Tab. 5.3:	Stromerzeugung durch Windenergieanlagen im Jahr 2020 im Stadtgebiet und auf Flächen der Berliner Stadtgüter GmbH	84
Tab. 5.4:	EE-Stromerzeugung in Deutschland laut BMU-Leitszenario 2009 unter Berücksichtigung von Importen aus dem EU-Stromverbund	85
Tab. 5.5:	Annahmen zu Maßnahmen zur Umsetzung des EE-Wärme-Gesetzes bei Neubauten in Berlin bis 2020.....	89
Tab. 5.6:	Ausbauszenario: Annahmen zu den Anteilen der EE-Anlagen an den neu installierten Anlagen im Wohngebäudebestand 2020	90

Tab. 5.7:	Installierte Biomasseheizanlagen im Neubau 2006-2020 in Berlin, Referenzszenario	92
Tab. 5.8:	Installierte Biomasseheizanlagen im Gebäudebestand 2006-2020, Referenzszenario	93
Tab. 5.9:	Wärmebereitstellung aus Biomasse im Wohnbereich im Neubau und Gebäudebestand 2006-2020 und Anteil an Gesamtwärmebedarf WG/WG und NWG, Referenzszenario.....	94
Tab. 5.10:	Wärmebereitstellung aus Biomasse in NWG 2007-2020 und Anteil am Gesamtwärmebedarf NWG/ WG und NWG, Referenzszenario.....	95
Tab. 5.11:	Aufteilung der Wärmebereitstellung aus Biomasse in NWG auf die Teilverbrauchssektoren im Referenzszenario im Jahr 2020	95
Tab. 5.12:	Installierte Biomasseheizanlagen im Wohnbereich im Gebäudebestand 2006-2020 im Ausbauszenario	96
Tab. 5.13:	Wärmebereitstellung im Wohnbereich aus Biomasse im Neubau und Gebäudebestand 2006-2020 und Anteil an Gesamtwärmebedarf WG/ WG und NWG, Ausbauszenario	97
Tab. 5.14:	Wärmebereitstellung aus Biomasse in NWG 2007-2020 und Anteil an Gesamtwärmebedarf NWG/ WG und NWG, Ausbauszenario	98
Tab. 5.15:	Aufteilung der Wärmebereitstellung aus Biomasse in NWG auf die Teilverbrauchssektoren im Ausbauszenario im Jahr 2020	98
Tab. 5.16:	Entwicklung Solarthermieanlagen in Berlin; ab 2009: Trendfortschreibung.....	100
Tab. 5.17:	Entwicklung der oberflächennahen Geothermie (Wärmepumpen) in Berlin; ab 2009 Trendfortschreibung	106
Tab. 5.18:	Aufteilung der Wärmebereitstellung mittels Wärmepumpen in NWG auf die Teilverbrauchssektoren im Referenzszenario im Jahr 2020	108
Tab. 5.19:	Aufteilung der Wärmebereitstellung mittels Wärmepumpen in NWG auf die Teilverbrauchssektoren im Ausbauszenario im Jahr 2020	109
Tab. 5.20:	Referenzszenario: Wärmebereitstellung (Nutzenergie) durch erneuerbare Energien (GWh/a).....	113
Tab. 5.21:	Ausbauszenario: Wärmebereitstellung (Nutzenergie) durch erneuerbare Energien (GWh/a)	113
Tab. 5.22:	Endenergiebereitstellung aus Biomasse im Referenzszenario 2020, mit und ohne HKW am Standort Klingenberg	116
Tab. 5.23:	Endenergiebereitstellung aus Biomasse im Ausbauszenario 2020, mit und ohne HKW am Standort Klingenberg	117
Tab. 5.24:	Aufteilung der Wärmebereitstellung aus Biomasse für Nahwärmenutzung auf die Teilverbrauchssektoren im Referenz- und Ausbauszenario im Jahr 2020	118
Tab. 5.25:	Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien 2020 in Berlin - Referenzszenario mit Biomasse-HKW Klingenberg	119
Tab. 5.26:	Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien 2020 in Berlin - Referenzszenario ohne Biomasse-HKW Klingenberg	120
Tab. 5.27:	Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien 2020 in Berlin - Ausbau-Plus-Szenario mit Biomasse-HKW Klingenberg	120
Tab. 5.28:	Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien 2020 in Berlin - Ausbau-Plus-Szenario ohne Biomasse-HKW Klingenberg.....	121
Tab. 6.1	Prioritäre Maßnahmen zur Förderung erneuerbarer Energien in Berlin.....	139
Tab. 6.2:	Maßnahmen zur EE-Förderung in Berlin mit geringerer Priorität/ Dringlichkeit	140
Tab. 8.1:	Berechnungsformeln für Ausbaudurchfluss, Bruttoabfallhöhe und Jahresarbeit	159
Tab. 8.2:	Finanzwirtschaftliche Annahmen.....	160
Tab. 8.3:	Referenzgebäude für Maßnahmen im Bereich Wärmeversorgung.....	161

Tab. 8.4:	Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsberechnung untersuchte Versorgungssysteme ..	162
Tab. 8.5:	Reale jährliche Preisanstiege für Preispfad B (mäßiger Anstieg) nach BMU-Leitstudie.....	163
Tab. 8.6:	Angenommene Kostendegressionen für EE-Anlagen	165
Tab. 8.7:	Aufwandzahlen EFH	175
Tab. 8.8:	Aufwandzahlen MFH.....	176
Tab. 8.9:	Förderungen im Rahmen des Marktanreizprogramms (MAP) für den Bestand (Angaben in Euro).....	177
Tab. 8.10:	Förderungen im Rahmen des MAP für Neubauten (Angaben in Euro).....	178
Tab. 8.11:	Investitionskosten im EFH-Neubau (ohne MWSt.)	179
Tab. 8.12:	Investitionskosten im EFH-Bestand (ohne MWSt.).....	179
Tab. 8.13:	Investitionskosten im MFH-Neubau (ohne MWSt.).....	180
Tab. 8.14:	Investitionskosten im MFH-Bestand (ohne MWSt.).....	181
Tab. 8.15:	Hilfsenergiebedarf EFH-Neubau (Fußbodenheizung)	182
Tab. 8.16:	Hilfsenergiebedarf EFH-Bestand (Plattenheizkörper)	182
Tab. 8.17:	Hilfsenergiebedarf MFH-Neubau (Fußbodenheizung)	182
Tab. 8.18:	Hilfsenergiebedarf MFH-Bestand (Plattenheizkörper).....	183
Tab. 8.19:	Wartungs- und Inspektionskosten EFH	183
Tab. 8.20:	Wartungs- und Inspektionskosten MFH.....	183
Tab. 8.21:	Gebühren Schornsteinfeger EFH	184
Tab. 8.22:	Gebühren Schornsteinfeger MFH.....	184
Tab. 8.23:	Nutzungsdauer und Instandsetzungsfaktor der Heizungssysteme und deren Komponenten.....	184

1 Hintergrund und Aufgabe

Bereits seit einigen Jahren wird in der Berliner Politik und Gesellschaft über die Erstellung eines neuen Energiekonzepts nach 2010 für die Stadt diskutiert. Das Ziel eines solchen Energiekonzepts sollte es sein, durch die breite Einbeziehung aller Sektoren ambitionierte Minderungsziele zu erreichen. Der Berliner Senat hat in seinem „Klimapolitischen Arbeitsprogramm des Senats“ im Juli 2008 beschlossen, die Reduzierung der CO₂-Emissionen um über 40 Prozent bis 2020 gegenüber 1990 anzustreben. Bis 2006 wurden knapp 24 Prozent erreicht. Das bedeutet, dass bis 2020 die CO₂-Emissionen noch um mindestens 16 Prozentpunkte zu reduzieren sind.

Zu Beginn des Jahres 2009 wurde die Berliner Energieagentur GmbH (BEA) vom Berliner Senat beauftragt, ein solches integriertes Energiekonzept zu erstellen. Das Konzept basiert auf der einen Seite auf einer Analyse der gegenwärtigen Energieverbräuche der relevanten Sektoren und Handlungsfelder sowie auf Prognosen und Szenarien zur diesbezüglichen Entwicklung. Auf der anderen Seite wird die Energiewirtschaft hinsichtlich ihrer zukünftigen Entwicklungen und Potenziale zu einer umwelt- und klimafreundlicheren Energiebereitstellung untersucht. Hieraus wird ein Set an Maßnahmen abgeleitet, das zu einer Strategie zur Umsetzung der energie- und klimapolitischen CO₂-Minderungsziele des Landes Berlin verdichtet wird.

Das Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) ist in Abstimmung mit dem Berliner Senat von der Berliner Energieagentur beauftragt worden, die Potenziale im Bereich der Erneuerbaren Energien (EE) in Berlin als einen wichtigen Bestandteil des Energiekonzepts zu analysieren. Dabei wurden die folgenden Aufgaben vereinbart:

- Ermittlung des Status Quo der Nutzung Erneuerbarer Energien in Berlin
- Abschätzung der technischen Nutzungs- und Erschließungspotentiale für Erneuerbare Energien (Bioenergie, Solarenergie, oberflächennahe Geothermie/Wärmepumpen, Windenergie, Wasserkraft) zur Energiebereitstellung für das Land Berlin bis zum Jahr 2020 (zentrale Aufgabe). Hierzu werden Szenarien erstellt, die verschiedene Rand- und Rahmenbedingungen berücksichtigen (mind. Referenz- und Zielszenario)
- Abschätzungen / Restriktionen für langfristige theoretisch-technische Nutzungspotentiale dieser Erneuerbaren Energien
- Vorschläge für Maßnahmen zur Erreichung der Potenziale

Als Untersuchungsgebiet wurde die Stadt Berlin inklusive der Berliner Stadtgüter im Land Brandenburg vereinbart.¹ Eine verstärkte Energieversorgung durch das Umland ist nicht Gegenstand dieses Auftrags. Das technologische Untersuchungsspektrum der Potenzialanalyse umfasst die Biomasse und die verschiedenen energetischen Biomassekonversionspfade, Solarthermie und Photovoltaik, die oberflächennahe Geothermie bzw. Wärmepumpen, Windenergie und Wasserkraft.

¹ 16.000 ha in Brandenburg gelegener Flächen (Berliner Stadtgüter o.J.) befinden sich laut eines Urteils des Verwaltungsgerichtshofes aus dem Jahr 2007 offiziell im Besitz des Landes Berlin (Tagesspiegel 2008). Verwaltet werden sie von der landeseigenen „Berliner Stadtgüter GmbH“, die landwirtschaftliche Flächen an Agrarbetriebe verpachtet, sowie Rieselfelder bewirtschaftet und Ausgleichsflächen vermarktet.

Nur am Rande behandelt wurde die Tiefengeothermie, da hierzu parallel eine Studie (zu den geothermischen Potenzialen in Berlin im Allgemeinen) im Auftrag der Berliner Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz (SenGUV) erstellt wird, deren Ergebnisse bei Abschluss dieser Untersuchung jedoch noch nicht vorlagen. Abwasserwärmenutzung sowie die Energiegewinnung aus (nicht-biogenen) Abfällen gehören ebenfalls nicht zum Untersuchungsspektrum dieser Studie, da sie im engeren Sinne nicht zu den Erneuerbaren Energien sondern zur Erhöhung der Energieeffizienz in der Nutzung von Wärmeenergie zählen.

Die Ausarbeitung der Studie erfolgte in enger Zusammenarbeit und Abstimmung mit der BEA, da in den Energiebedarfs- und Erzeugungsanalysen viele Überschneidungen vorlagen.

2 EE-Ausbaustand in Berlin – Analyse des Status Quo bis 2008

2.1 Zur Methode

Eine genaue Darstellung über die Nutzung Erneuerbarer Energien in den letzten Jahren in Berlin lag bislang noch nicht vor. Die verfügbaren statischen Daten des Amtes für Statistik Berlin-Brandenburg (siehe 2.2) sind erfassungsbedingt in der Regel ungefähr drei Jahre alt. Zudem liegen die Daten bislang in derart aggregierter Form vor, dass es nicht möglich ist, eine Differenzierung von z.B. elektrischer und thermischer Energieerzeugung (Strom, Wärme) vorzunehmen oder die Anteile der einzelnen EE-Technologien genau zu unterscheiden.

Für die Ermittlung von zukünftigen Potenzialen ist es aber von besonderer Bedeutung, möglichst aktuelle Entwicklungen heranzuziehen. Dies gilt insbesondere in einem derartig dynamischen Markt wie dem der Erneuerbaren Energien, in dem sowohl die Marktentwicklung als auch die Rahmenbedingungen gerade in den letzten 2-3 Jahren eine hohe Veränderung erfahren haben. Ohne die Berücksichtigung solcher Entwicklungen ließen sich Methoden wie Trendfortschreibungen oder ähnliche Abschätzungen zur zukünftigen Entwicklung nicht seriös anwenden. Daher wurden in allen EE-Bereichen gezielte Recherchen und Analysen zum Anlagenbestand durchgeführt und diese mit den vorhandenen statischen und quasi-statistischen Daten aus den zuständigen Bundes- und Landes-Verwaltungen, aber auch von Verbänden und Vereinen, Unternehmen und Experten angereichert.

Nachfolgend werden zunächst die verfügbaren statischen Daten, die das Jahr 2006 beschreiben, sowie die daraus erhältliche größtmögliche Differenzierung in die einzelnen EE-Bereiche dargestellt. Nach einer Diskussion der Datenqualität und -lücken werden die im Rahmen der Studie ermittelten Ausbaustände der einzelnen EE-Technologien beschrieben. Abschließend erfolgt eine Gesamtschau des Status Quo der Erneuerbare Energien-Nutzung in Berlin.

2.2 Verfügbare statistische Datengrundlage

Die aktuellsten offiziellen statistischen Daten zur Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien in Berlin stammen vom Länderarbeitskreis Energiebilanzen und vom Amt für Statistik Berlin-Brandenburg und bilden die Situation bis zum Jahr 2006 ab. Mit Blick auf die zurückliegenden Daten bzw. deren Vergleichbarkeit und Qualität ist insbesondere das Jahr 2003 hervorzuheben, in dem aufgrund der Einführung des Energiestatistikgesetzes eine andere Erhebungsmethodik verwendet wurde. Seit dem liegen etwas differenziertere Informationen zum Anteil der EE am Primär- und Endenergieverbrauch aus den Energie- und CO₂-Bilanzen des Amtes für Statistik Berlin-Brandenburg (2008a; 2007). bzw. dessen Vorläufer, dem Statistischen Landesamt Berlin (2005) vor. Die wesentlichen Informationen zu erneuerbaren Energien aus diesen statistischen Berichten sind in Tab. 2.1 zusammengefasst dargestellt. Die aus diesen Statistiken verfügbaren Daten weisen allerdings einen hohen Aggregationsgrad und einige Unklarheiten auf. Im Einzelnen sind die folgenden Aspekte anzuführen:

- Grundsätzlich wird nur die in Netze eingespeiste Energie erfasst, nicht jedoch Strom und Wärme aus erneuerbaren Energien für den Eigenbedarf. Damit würden formal z.B. für den Eigenbedarf produzierende PV-Inselanlagen, Wärmepumpensysteme oder Solarthermieanlagen

nicht berücksichtigt werden. Allerdings werden nach Auskunft des Amtes durchaus Datenquellen wie das Solarkataster und auch Wärmepumpen (zumindest zum Teil) mit berücksichtigt. Dies ist in den Berichten jedoch nicht genau aufgeschlüsselt und konnte auch durch Nachfragen und Plausibilitätskontrollen nicht vollständig aufgelöst werden (siehe hierzu auch die Ausführungen weiter unten)

- Die Kategorie „Sonstige“ ist nicht aufgeschlüsselt bzw. erläutert; nach Auskunft des Amtes verbirgt sich hier (u.a.) die Wärmeerzeugung aus Wärmepumpen dahinter.
- In den Bereichen Biomasse und Abfälle kann nicht zwischen Strom- und Wärmeversorgung unterschieden werden, da die Werte nur in aggregierter Form (in TJ) angegeben werden. Ebenso ist unklar, welche Biomassen in welchen Anlagen bzw. Konversionstechnologien und Anlagengrößen eingesetzt wurden.
- Bei der Stromerzeugung sind die Bereiche Wind- und Solarenergie nicht getrennt angegeben. Dies spielte bis 2007 auch keine Rolle, da die erste und bisher einzige Berliner Windenergieanlage erst Mitte 2008 in Betrieb ging. Es wird jedoch empfohlen, für die Folgejahre eine getrennte Ausweisung vorzunehmen.
- Solarthermie ist nicht gesondert aufgeführt, sie verbirgt sich jedoch laut Auskunft des Amtes in der Position „Photovoltaik/Wind“ (d.h. bei der Stromerzeugung) und dürfte die maßgebliche Position beim ausgewiesenen Endenergieverbrauch dieser Kategorie sein.

Auch aus den hier zusammengetragenen Erläuterungen der Daten der Statistik lassen sich die Zahlen jedoch nicht vollständig erklären. Insbesondere die Daten für die Kategorie „Wind/Photovoltaik“ (die angesichts fehlender Windeinspeisung im Jahr 2006 nur PV umfassen dürfte) fallen beim Primärenergieverbrauch unerklärlich hoch aus, selbst wenn, wie seitens des Amtes angegeben, hier die Solarthermie einbezogen ist.

Biodiesel wird laut Energiebilanzen als einziger erneuerbarer Primärenergieträger vollständig von außerhalb bezogen. Demgegenüber werden alle anderen EE laut Statistik in Berlin selbst erzeugt.

Laut LAK Energiebilanzen findet eine Stromeinspeisung aus EE in Berlin in größerem Maßstab (im Umfang von 13 GWh) erst seit dem Jahr 2006 statt. Diese Energieeinspeisung ist wahrscheinlich auf das 2004 in Betrieb genommene und mit Altholz befeuerte Heizkraftwerk in Rudow zurückzuführen (siehe auch 0). Bis 2005 wurde im Land Berlin laut Daten keine Fernwärme aus erneuerbaren Energien erzeugt, wobei hier die Daten erst ab 2003 Auskunft geben.

Tab. 2.1: Anteil erneuerbarer Energien (EE) am Primär- und Endenergieverbrauch in Berlin 2003-2006 nach Energie- und CO₂-Bilanzen

		2003	2004	2005	2006
Wind/Photovoltaik	PEV [TJ]	7,0	8,0	47,0	205,0
	EEV [TJ]	k. A.	k. A.	k. A.	61,0
Biomasse	PEV [TJ]	76,0	13,0	34,0	297,0
	EEV [TJ]	76,0	5,0	34,0	291,0
Biodiesel	PEV [TJ]	k. A.	842,0	1.698,0	3.095,0
	EEV [TJ]	k. A.	842,0	1.698,0	3.092,0
Klärgas u. a. Biogase	PEV [TJ]	2,0	k. A.	k. A.	k. A.
	EEV [TJ]	0,0	k. A.	k. A.	k. A.
Organik im Hausmüll *	PEV [TJ]	1.864,0	1.909,0	1.338,0	1.626,0
	EEV [TJ]	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Sonstige	PEV [TJ]	62,0	63,0	228,0	70,0
	EEV [TJ]	62,0	63,0	228,0	70,0
EE Gesamt	PEV [TJ]	2.011,0	2.835,0	3.345,0	5.293,0
	EEV [TJ]	138,0	910,0	1.960,0	3.514,0
EE-Anteil am gesamten Energieverbrauch	PEV [TJ]	0,6	0,9	1,1	1,7
	EEV [TJ]	0,1	0,3	0,8	1,3

* Gemäß einer Konvention des Berliner Länderarbeitskreises Energiebilanzen werden 60 % der aus Siedlungsabfällen gewonnenen Energie den Erneuerbaren Energien zugerechnet (organischer Anteil). Auch aus Klärschlamm erzeugte Energie ist in dieser Kategorie enthalten.

Quellen: Daten aus Statistisches Landesamt Berlin (2005) sowie Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2009; 2008a; 2007)

Eine weitere offizielle statistische Datenquelle ist durch die Bundesnetzagentur gegeben. Diese veröffentlicht im Rahmen der EEG-Jahresendabrechnung seit dem Jahr 2006 Angaben zur Anzahl, installierten Leistung und Stromeinspeisung der nach EEG vergüteten Anlagen. Für das Jahr 2007 wurden von den Verteilungsnetzbetreibern auch anlagenscharfe Daten erhoben, die zu einer bundesländerspezifischen Darstellung geeignet sind. Im Juli 2009 wurde schließlich der „EEG-Statistikbericht 2007“ veröffentlicht (BNetzA 2009). Entsprechende Rohdaten über Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien in Berlin waren für die Jahre 2006, 2007 und 2008 auch vom Netzbetreiber Vattenfall Europe erhältlich. Diese Daten wurden in den folgenden Abschnitten berücksichtigt.

2.3 Solarenergie

Zur Nutzung der Solarenergie stehen im Gegensatz zu anderen erneuerbaren Energien relativ detaillierte Daten des Solaranlagenkatasters zur Verfügung (siehe Tab. 2.2 und Tab. 2.3). Die darin enthaltenen Daten werden von der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie (DGS) Berlin-

Brandenburg zusammengestellt und basieren auf Daten des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA, im Rahmen des Marktanreizprogramms MAP), der GASAG, Vattenfall Europe und (mittlerweile nur noch zu einem sehr geringen Prozentsatz) auf freiwilligen Angaben von Anlagenbetreibern. Nicht integriert wurden in den letzten Jahren nach Auskunft der DGS die durch die KfW geförderten Anlagen, insbesondere größere Solarthermieanlagen in Mehrfamilienhäusern, sofern diese nicht durch Dritte gemeldet wurden.

2.3.1 Solarthermie

2.3.1.1 Stand in Deutschland und Anwendungsgebiete

Solarthermische Anlagen dienen in der Regel der dezentralen Wärmeerzeugung, insbesondere zur Warmwasserbereitung, aber auch zunehmend zur Heizungsunterstützung in privaten Haushalten und sonstigen Gebäuden, zur Prozesswärmeerzeugung und zur Erwärmung von Schwimmbadwasser. In Deutschland waren Ende 2008 rund 11,3 Mio. m² Kollektorfläche in etwa 1.250.000 solarthermischen Anlagen installiert, wovon allein im Jahr 2008 2,1 Mio. m² Fläche in 210.000 Anlagen neu errichtet wurden (BSW 2009a). Diese Anlagen trugen im Jahr 2008 mit 4,1 TWh zur Endenergieerzeugung bei, was einem Anteil von 0,3 % am End- und 0,1 % am Primärenergieverbrauch entspricht (BMU 2009b). Die starke Zunahme an Neuinstallationen in den letzten Jahren ist laut BSW-Solar auf das modifizierte Marktanreizprogramm zurückzuführen (BSW 2007). Für 2009 werden noch einmal ähnliche Wachstumsraten wie für 2008 angenommen. Ein Grund hierfür wird in dem 2009 in Kraft getretenen Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz (EEWG) gesehen (gtai 2009).

Zur Nutzung solarthermischer Anlagen stehen unterschiedliche Einsatzgebiete sowie technische Konzepte zur Auswahl. Die in Deutschland am häufigsten genutzten Anlagen sind **Solarkollektoren auf Wohngebäuden**, die der Brauchwassererwärmung dienen sowie so genannte Kombisysteme, die zusätzlich zur Heizungsunterstützung beitragen. Der Deckungsgrad beträgt bei Warmwassersolaranlagen in der Regel zwischen 50 und 60 %, bei Kombisystemen zwischen 20 und 30 % (Meyer 2007b). Während noch bis ins Jahr 2006 ein Großteil der Solarthermieanlagen (etwa 75 %) ausschließlich der Trinkwassererwärmung dienten (BMU 2006), handelt es sich bei den neu installierten Anlagen inzwischen mehrheitlich um Kombianlagen (60 %), die auch zur Heizungsunterstützung eingesetzt werden (BSW 2009a). Dabei ist wichtig, dass die Gebäudeheizungen auf verhältnismäßig niedrige Temperaturen ausgelegt sind und eine große Wärmeübertragungsfläche besitzen. Dementsprechend eignen sich beispielsweise Fußbodenheizungen besonders gut für den Einsatz von Solaranlagen (Guigas 2006). Die solarthermischen Anlagen lassen sich auch anhand ihrer Größe in zwei Gruppen einteilen:

- Über 95 % der solarthermischen Anlagen sind nach Angaben des Solaratlas 2007 bundesweit Kleinanlagen mit einer Kollektorfläche von bis zu 20-25 m² (vgl. Koldehoff/ Urbschat 2007). Von den 2001-2006 durch das Marktanreizprogramm geförderten Anlagen stellten die mit < 20 m² Kollektorfläche sogar rund 96 % Anlagen und immerhin 89 % der Fläche (Stryi-Hipp et al. 2007). Antragsteller für diese geförderten Kleinanlagen waren fast ausschließlich private Haushalte.
- Seit den 1990er Jahren gewinnen Großanlagen zur Wärmeversorgung von Mehrfamilienhäusern (MFH) mehr Aufmerksamkeit (Guigas 2006). Die Analyse der durch das Marktanreizprogramm 2001-2006 geförderten Solarthermieanlagen zeigt, dass Anlagen mit mindestens 40 m² Fläche nur einen Anteil von 0,4 % (knapp 3 % der Fläche) ausmachen, auf den Größenbereich 20-40 m² entfielen weitere 3 % der Anlagen (Stryi-Hipp et al. 2007). Der Gesamtbestand an

großen Solarwärmanlagen (> 20 m²) in MFH wurde Ende 2005 auf 2.500 Anlagen mit einer Kollektorfläche von ca. 100.000 m² geschätzt (Stryi-Hipp et al. 2007). Der Trend hierbei scheint jedoch positiv zu sein: So wurden im Jahr 2008 1.280 Anträge für Solarthermieanlagen auf Mehrfamilienhäusern beim Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle eingereicht (BSW 2009a). Dies ist jedoch nach wie vor nur knapp 1 % der insgesamt 170.000 Anträge für Solaranlagen im Jahr 2008 (BMU 2009a).

Großanlagen können nicht nur in Mehrfamilienhäusern, sondern auch im **Nichtwohnungsbau**, beispielsweise in öffentlichen Einrichtungen, Krankenhäusern, Senioren- und Studentenwohnheimen zur Warmwassererwärmung und Heizungsunterstützung Anwendung finden. Jedoch ist bisher die Anzahl von Solarthermieanlagen im gewerblichen Bereich noch sehr gering (Stryi-Hipp et al. 2007). Pilot- und Demonstrationsanlagen mit einer Kollektorfläche von mindestens 100 m² werden derzeit im Rahmen des Programms „Solarthermie 2000Plus“ gefördert. Im Rahmen des Programms wurden 18 Anlagen mit einer gesamten Kollektorfläche von rund 13.000 m² bewilligt (Projektgruppe Solarthermie 2008). Ein Problem für den Einsatz von Solarthermie in zahlreichen Nicht-Wohngebäuden stellt der fehlende oder sehr geringe Warmwasserbedarf beispielsweise in Bürogebäuden dar. Besonders ungünstig ist der Einsatz außerdem in Einrichtungen, die in den Sommermonaten längere Zeit nicht genutzt werden (insbesondere Schulen, Turnhallen etc.). In der Industrie sind außerdem die langen Amortisationszeiten ein Hinderungsgrund (Stryi-Hipp et al. 2007).

Solare Wärme kann in **Nahwärmenetze**, mit denen mehrere Gebäude versorgt werden, oder in **Fernwärmenetze** eingespeist werden. Solar unterstützte Nahwärmenetze werden teilweise mit saisonalen Speichern geplant, damit die im Sommer bereitgestellte Wärme im Winter zur Verfügung steht. Insgesamt befinden sich diese Einsatzmöglichkeiten in Deutschland aber noch im Entwicklungs- und Demonstrationsstadium (Stryi-Hipp et al. 2007). Die Leitstudie des BMU für den Ausbau der erneuerbaren Energien geht in seinen Szenarien davon aus, dass der Einsatz von Solarkollektoren in Nahwärmenetzen erst im Zeitraum nach 2020 als eingeführte Technologie zu betrachten ist (BMU 2008c).

In Industrieländern trägt der Bedarf an **gewerblicher Prozesswärme** erheblich zum Gesamtenergieverbrauch bei: Pro Jahr werden in Deutschland ca. 2.000 PJ eingesetzt, was in etwa 20 % des Endenergiebedarfs ausmacht (Hennecke 2005). Ein Teil dieser Prozesswärme könnte über solarthermische Anlagen gedeckt werden, die in einem Temperaturbereich bis 150-200°C mit akzeptablen Wirkungsgraden eingesetzt werden können (Stryi-Hipp et al. 2007). Rund ein Drittel der Prozesswärme entfällt auf den Temperaturbereich unterhalb 200°C, 14 % sogar unter 100°C (ebda.). Problematisch beim Einsatz von Solarenergie im Bereich der Prozesswärme ist der konstante Wärmebedarf, dem die nur wechselhaft verfügbare Solarstrahlung gegenübersteht. Zum reibungslosen Ablauf der Produktion bedarf es deshalb Speichersystemen, die Strahlungsschwankungen abpuffern. Außerdem ist eine Reserveanlage notwendig, die ggf. den kompletten Wärmebedarf erzeugen kann, so dass die Investitionskosten insgesamt hoch sind und die Solaranlage sich einzig durch die Brennstoffeinsparungen amortisieren muss. Außerdem sind je nach Anlagengröße und Prozesswärmebedarf individuelle Lösungen gefragt, ein Standardsystem existiert aufgrund der unterschiedlichen Bedürfnisse der Unternehmen nicht. Planungs- und Beratungsaufwand sind dadurch zusätzlich hoch. Dennoch kann solare Prozesswärme erfolgreich in verschiedenen Branchen wie der Nahrungsmittel-, Textil-, Zellstoff und Papierindustrie eingesetzt werden (Hennecke 2005). Im Bereich der Prozesswärme waren bis 2003 weltweit weniger als 100 Solaranlagen installiert (Meyer 2003). Dass die solarthermische Prozesswärmenutzung auch 2008 noch in den Kinderschuhen steckt, zeigt eine Umfrage von Sonne, Wind & Wärme, wonach nur 6 von 70 befragten Unternehmen der Solarthermiebranche bereits solche Anlagen realisiert haben (Meyer 2008).

Solare Freibadheizungen sind besonders kostengünstig, da die Solarstrahlung mit der Wärmenachfrage korreliert (Kaltschmitt et al. 2003a). Zusätzlich bedarf es in Freibädern nur geringer Temperaturen von unter 30 °C, so dass preiswerte Absorbermaterialien verwendet werden können und aufgrund des hohen Wärmespeichervermögens des Beckenwassers kein Warmwasserspeicher notwendig ist. Die Systemkosten einer solaren Freibadheizung sind dadurch mit 75 €/m² verhältnismäßig gering und eine Amortisierung erfolgt normalerweise bereits nach vier Jahren (Berner 2007). In Berlin waren bis 2008 5.000 m² Solarabsorbermatten in fünf Sommerbädern der Berliner Bäder Betriebe installiert, durch die insgesamt rund 1.400 MWh/a fossil erzeugte Wärme vermieden werden konnten (Berliner Bäder-Betriebe/ Land Berlin 2009). Angesichts eines Gesamtverbrauchs der Berliner Bäder Betriebe von rund 118.000 MWh im Jahr 2008 (Summe Strom, Fernwärme, Erdgas) (Thoma 2009) erzeugen die Absorber mehr als 1 % der Energie. Bis 2011 sollen drei weitere Bäder mit insgesamt 5.500 m² Absorbermatten ausgestattet werden (Thoma 2009).

Wenig preisgünstig sind dagegen Anlagen zur **solaren Kühlung**. Zwar korrelieren auch hier Solarstrahlung und Energienachfrage, denn der Energiebedarf für die Klimatisierung steigt mit der Zunahme der Außentemperatur, doch die Kosten der solaren Kühlung liegen im Vergleich zu konventionellen Systemen derzeit noch um etwa 20-40 % höher, wenn keine Förderung erfolgt. Eine Amortisierung innerhalb der Lebensdauer wird derzeit meist nicht erreicht, soll in naher Zukunft aber möglich sein. Kombinierte Systeme, in denen die Anlagen sowohl für die Kühlung als auch zur Heizungsunterstützung eingesetzt werden können, weisen insgesamt eine wesentlich höhere Wirtschaftlichkeit auf (Henning 2005). Bis Ende 2007 waren europaweit lediglich 200 Anlagen zur solaren Gebäudeklimatisierung installiert (klima:aktiv o.J.), in Deutschland lag die Zahl der Anlagen bis 2007 bei 23 (Stryi-Hipp et al. 2007). Die meisten dieser Anlagen befanden sich noch im Pilotstadium, wobei ein Expertenworkshop im Jahr 2007 noch deutlichen Verbesserungsbedarf sah, da teilweise gravierende Probleme beim Betrieb auftraten (Meyer 2007a).

2.3.1.2 Stand in Berlin

In Tab. 2.2 sind die Ende 2008 laut Solaranlagenkataster **in Berlin installierten solarthermischen Anlagen** verzeichnet. Die Vollständigkeit dieser Informationen kann aufgrund der teilweise freiwilligen Angaben nicht gewährleistet werden. Nichtsdestotrotz stellen sie die beste verfügbare Datenquelle dar.

Tab. 2.2: Solarthermische Anlagen in Berlin bis Ende 2008

Anlagenzahl Solarthermie	5.864
Installierte Fläche Solarthermie gesamt	61.755,5 m ²
Durchschnittsfläche Solarthermie	10,53 m ²
Berechnete Wärmeerzeugung	22.872,4 MWh

Quelle: Solaranlagenkataster (SenGUV/DGS 2009) sowie eigene Berechnungen

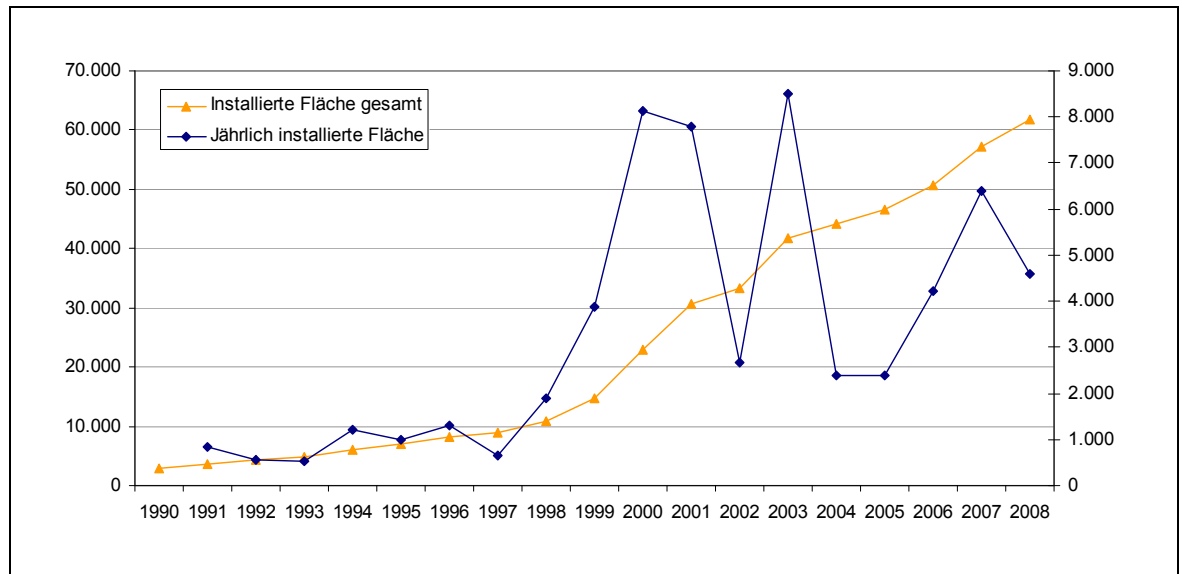


Abb. 2.1: Entwicklung der installierten Flächen (m²) bei solarthermischen Anlagen 1990 bis 2008

Eigene Darstellung nach Daten Solaranlagenkataster und Energiebericht 1997-2000

Eine Entwicklung der Jahre ab 1990 lässt sich weitestgehend aus Daten zu Anlagenzahl und -fläche aus dem Solaranlagenkataster und dem „Energiebericht 1997-2000“ ableiten.² Die Entwicklung der installierten Anlagen zeigt nach einem langsamen Anstieg in den 1990er Jahren einen seit ca. 10 Jahren stärker steigenden Ausbau, wobei die Zuwächse stark schwankten. Derartige Schwankungen sind teilweise auch auf Bundesebene zu beobachten und können mit den unterschiedlichen Förderungen durch das MAP sowie durch die mit dieser Programmförderung verbundenen Unsicherheiten und Verzögerungen erklärt werden. Für die Zukunft ist aufgrund des EE-Wärmegesetzes und der Fortführung des MAP wieder mit einem stärkeren und ggf. dann in den nächsten Jahren wachsenden Anstieg zu rechnen.

Da über die solare Wärmeenergieerzeugung aus diesen Anlagen keine sicheren Daten vorliegen, wurde diese anhand von durchschnittlichen solaren Erträgen für Berlin (370,4 kWh / m²) (FFU 2007: 31) hochgerechnet und die Ergebnisse einer Plausibilitätskontrolle mit bundesweiten Durchschnittswerten (BMU 2008b) unterzogen. Für das Jahr 2008 errechnet sich damit ein Wert von fast 23 GWh_{th} (siehe obige Tabelle). Im Jahr 2008 wurden damit in Berlin (bezogen auf den Gesamtwärmebedarf 2008: 41.906 GWh/a) etwa 0,05 % durch Solarthermie erzeugt.

Damit ist der Anteil der Solarthermie in Berlin deutlich geringer als im Bundesschnitt: Die bundesweit installierten Solaranlagen (11,3 Mio. m²) erzeugten im Jahr 2008 4.131 GWh/a und damit 0,3 % des bundesweiten Wärmebedarfs (BMU 2009b). Die Wärmeenergieerzeugung über die Jahre ist am Ende dieses Kapitels in der Tabelle der Gesamtschau (Tab. 2.11) zu sehen. Geht man davon aus, dass der oben erwähnte Wert in der Rubrik „PV/Wind“ in den Energiebilanzen des Landes tatsächlich (vollständig) der Solarthermie zuzurechnen ist, dann stimmen die hier rechnerisch ermittelten

² Lediglich der Wert für das Jahr 2004, für den keine Daten vorlagen, wurde als Mittel der Werte von 2003 und 2005 berechnet.

Daten (umgerechnet 62 TJ für 2005 und 67 TJ für 2006) gut mit dem in der Statistik genannten Wert i.H.v. 61 TJ für 2006 überein.

2.3.2 Photovoltaik

Wie im Fall der Solarthermie stellen auch bei der Photovoltaik (nachfolgend auch PV abgekürzt) die Daten des Solarkatasters die umfänglichste Quelle dar, deren Vollständigkeit jedoch nicht gewährleistet werden kann. Die laut Kataster bis zur Mitte des Jahres 2009 in Berlin installierten Photovoltaikanlagen, sowie die daraus berechnete Stromerzeugung sind in Tab. 2.3 aufgeführt. Diese umfassen nur die netzgekoppelten Anlagen, nicht berücksichtigt wurden viele Inselanwendungen, wie sie für Automaten, Signaltechnik des S-Bahn- und Zug-Netzes, Kleingartenanlagen, Boote etc. verwendet werden. Die DGS schätzt, dass allein ca. 2000 solarbetriebene Parkscheinautomaten in Berlin errichtet sind, generell dürfen keine Automaten mehr aufgestellt werden, die einen Netzanschluss benötigen (SenGUV/DGS 2009). Auch hier wurde wieder eine durchschnittliche Stromerzeugung berechnet (Erläuterungen siehe unten).

Tab. 2.3: Photovoltaikanlagen in Berlin nach Solaranlagenkataster Mitte 2009

Anlagenzahl Photovoltaik (netzgekoppelt)	1.976
Installierte Photovoltaik Leistung	14.441,3 kWp
Durchschnittsleistung Photovoltaik	7,3 kWp
Berechnete Stromerzeugung	9.783,4 MWh

Quelle: Solaranlagenkataster (SenGUV/DGS 2009) sowie eigene Berechnungen

Die Entwicklung des PV-Ausbaus in Berlin ist in Abb. 2.2 dargestellt. Hierfür wurden neben dem Solaranlagenkataster Daten des Energieberichts 1997-2000 (SenStadt o. J.) verwendet. Deutlich erkennbar ist ein Anstieg der Zubauleistung durch die Einführung des bundesweiten 100.000-Dächer-Programms im Jahr 1998, der durch die Einführung des EEG 2000 unterstützt wurde. Das Auslaufen des 100.000-Dächer-Programms hat ab 2002 zu einem deutlichen Einbruch der Zubauleistung und Anlagenzahl geführt. Ab 2004 stiegen aufgrund des PV-Vorschaltgesetzes und der EEG-Novelle 2004 auch in Berlin die Zubauraten wieder an.

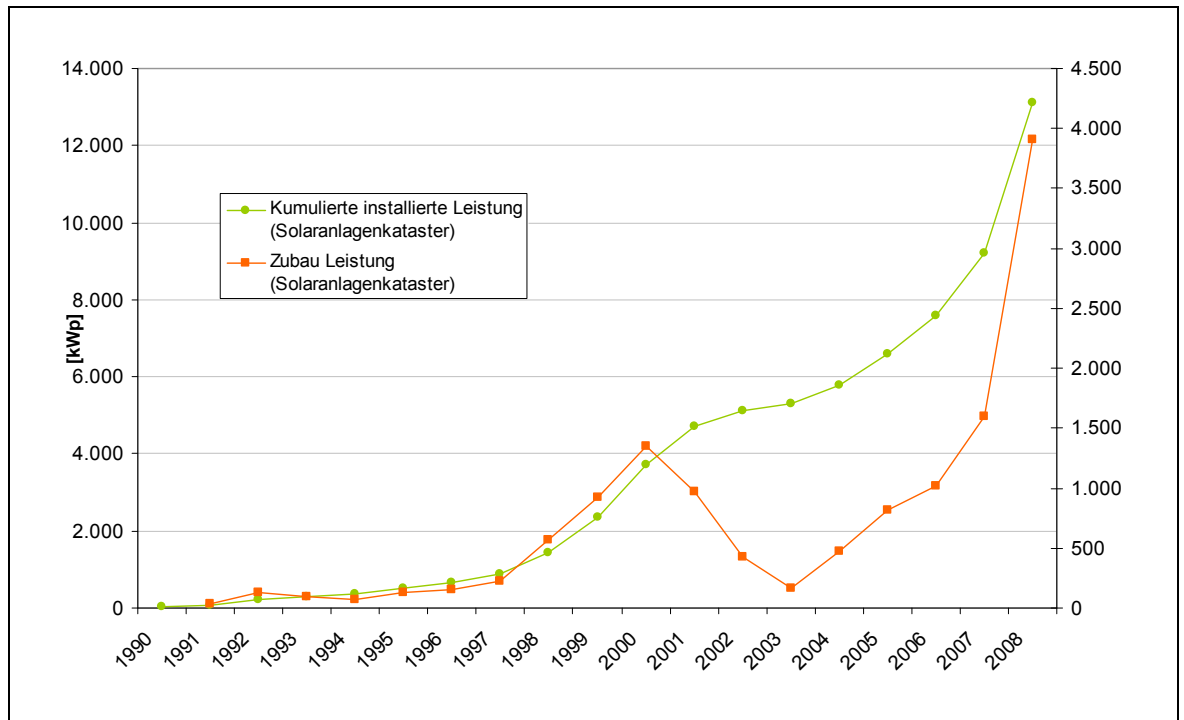


Abb. 2.2: Entwicklung von kumulierter installierter Leistung und jährlichem Zubau von PV-Anlagen in Berlin

Quellen: eigene Darstellung nach Solaranlagenkataster sowie (SenStadt o. J.)

Neben diesen Daten stehen darüber hinaus Daten des Berliner Stromnetzbetreibers Vattenfall Europe (VE) für die nach EEG vergüteten Photovoltaikanlagen zur Anlagenzahl, installierten Leistung und Stromerzeugung für die Jahre 2006 bis 2008 zur Verfügung. Diese Daten sind in Tab. 2.4 zusammengefasst.

Tab. 2.4: kumulierte Anzahl, Leistung und Stromerzeugung von EEG-Photovoltaikanlagen 2006 bis 2008

	Anlagenzahl	Installierte Leistung [kW]	Stromerzeugung [GWh]
2006	1.207	6.088,8	4,2
2007	1.382	7.597,3	5,1
2008	1.726	10.900,3	6,8

Quellen: Datenblätter von Vattenfall Europe zu den EEG-Jahresendabrechnungen 2006 bis 2008

Die im Solaranlagenkataster verzeichnete installierte Leistung liegt 2008 mit ca. 13,1 MWp deutlich höher als die von Vattenfall angegebene Gesamtleistung für 2008 i.H.v. 10,9 MW. Gründe dafür könnten die zusätzliche Erfassung von Altanlagen, die noch nicht vom EEG erfasst wurden, sowie eventuell von zur Eigennutzung von PV-Strom genutzten Anlagen durch das Solaranlagenkataster (im Vergleich zu den VE-EEG-Jahresendabrechnungen) sein. Die Darstellung der Entwicklung und der kumulierten installierten Leistung erfolgt auf der Basis des Solaranlagenkatasters. Daher ist auch von einer höheren Einspeiseleistung aus PV-Anlagen auszugehen, die auch nicht EEG-Anlagen umfasst. Zieht man die aus den Daten des Netzbetreibers Vattenfall ermittelbaren durch-

schnittlichen Volllaststunden für die Jahre 2006-2008 heran, so ergeben sich Anhaltsgrößen, welche die technische Qualität des Anlagenbestands (z.B. hinsichtlich Wirkungsgraden) sowie Standortfaktoren (wie Verschattung und Sonnenscheindauer) ausdrücken. Für die 3 genannten Jahre wurde somit mit Volllaststundenzahlen von ca. 685, 677 und 626 für 2006, 2007 und 2008 gerechnet. Für das vorherige Jahr 2005 wurde der grobe Mittelwert dieser 3 Daten angesetzt (660), und dieser für alle Vorjahre (gemäß der o.g. Gründe) linear um ca. 10 Std. verringert, so dass sich für das Jahr 1990 ein Wert von 510 Std. errechnet. Sie werden darüber hinaus in ihrer Größenordnung für die zurückliegenden Jahre durch Literaturdaten bestätigt (BMU 2008b; Hirschl 2002; Staiß 2007).

Auf Basis dieser Daten ergibt sich eine berechnete Strommenge von 8,2 GWh für das Jahr 2008, die aus dem PV-Anlagenbestand erzeugt wurde. Für das Jahr 2006 errechnet sich ein Wert von 5,2 GWh, von denen nach Angaben des Netzbetreibers Vattenfall 4,2 GWh auf EEG-Anlagen entfielen. Noch größer und weniger erklärbar fällt jedoch der Unterschied zu den Daten der Energiebilanz des Landes aus (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2009). Hier stehen in der Rubrik PV/Wind für 2006 205 TJ zu Buche, von denen rein rechnerisch (unter Abzug der Solarthermie, s.o.) 144 TJ oder umgerechnet 40 GWh auf PV entfallen müssten. Dieser Wert weicht jedoch um das 8-10-fache von den Daten des Netzbetreibers bzw. den aus dem Solarkataster ermittelten ab.

2.4 Biomasse / biogene Reststoffe

Für die Analyse der Nutzung und Potenziale biogener Reststoffe wurde vom Senat für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz die Studie „Nutzung von Biomasse in Berlin“ im Jahr 2008 in Auftrag gegeben (ICU / Witzenhausen-Institut 2009). In dieser Studie wurde eine detaillierte Mengenerfassung der in Berlin anfallenden biogenen Reststoffe vorgenommen und Szenarien für die zukünftige Nutzung für das Jahr 2020 entwickelt. Für diese Szenarien wurden die durch effizientere Nutzung der Reststoffe mögliche CO₂-Einsparung ausgewiesen, nicht aber explizit die daraus erzeugte Endenergiebereitstellung. Derartige Daten liegen auch nicht durch die amtliche Statistik bzw. die Energiebilanzen des Amts für Statistik Berlin-Brandenburg vor, da die in der Bilanz enthaltenen Biomasse- bzw. Abfalldaten stark aggregiert sind und keine Separierung von Strom- und Wärmeerzeugung oder Aufschlüsselungen nach Anlagenarten ermöglichen (siehe auch Abschnitt 2.2).

Aus diesem Grund wurden für biogene Reststoffe auf Basis der Mengenbilanzen aus der Studie von ICU und dem Witzenhausen-Institut (ICU / Witzenhausen-Institut 2009) unter Annahme der Heizwerte, Wirkungsgrade und Auslastungen die erzeugte Endenergie berechnet. Für andere Bioenergieträger musste für die Darstellung dieses Bereichs auf eine Vielzahl von Einzelinformationen zurückgegriffen werden, deren Vollständigkeit daher auch nicht immer gewährleistet werden kann. Im Folgenden wird die Nutzung von Biomasse in Berlin in den Kategorien Kleinanlagen zur Wärmeerzeugung, EEG-vergütete Anlagen, nicht EEG-vergütete Anlagen, Zufeuerung in konventionellen Anlagen, Erzeugung und Nutzung von Biogas, Deponiegas- und Klärschlammnutzung sowie Biokraftstoffe im Verkehrssektor genauer beschrieben.

2.4.1 Kleinanlagen zur Wärmeerzeugung aus Biomasse

Als Basis für Berechnungen für Kleinanlagen zur Wärmeerzeugung aus Biomasse dienten Angaben des BAFA über im Rahmen des Marktanzreizprogramms (MAP) geförderte Anlagen zur Biomassenutzung (Pelletanlagen, Holzhackschnitzelfeuerungsanlagen, Scheitholzvergaser) in den

Jahren 2000-2008, siehe Tab. 2.5. Angaben über die über die KfW geförderten Anlagen > 100 kW, die durch zinsgünstige Kredite gefördert wurden, liegen nicht vor. Die Evaluierungen des Marktanzreizprogramms geben aber Hinweise, dass wenige Anlagen in Berlin installiert sind, die jedoch keine Berücksichtigung finden konnten.

Tab. 2.5: BAFA-geförderte Anlagen zur Biomassenutzung 2000-2008 in Berlin (kumuliert)

	Pelletanlagen		Holzhackschnitzel- feuerungsanlagen		Scheitholzvergaser	
	Anzahl	Leistung [kW]	Anzahl	Leistung [kW]	Anzahl	Leistung [kW]
2000	2	30	0	0		
2001	5	70	0	0	1	40
2002	17	250	0	0	2	61
2003	29	424	0	0	2	61
2004	35	516	0	0	4	126
2005	53	770	1	99	16	534
2006	123	2170	2	149	31	1020
2007	195	3468	4	347	45	1514
2008	212	3958	4*	347*	51	1675

* Wert aus 2007 für 2008 übernommen, da kein aktuellerer Wert vorlag.

Quelle: Datenblatt geförderte Biomasseanlagen Land Berlin nach BAFA, Stand 30. 6. 2008

Durchschnittliche Volllaststundenzahlen für durch das MAP geförderte Pellet-, Holzhackschnitzel- und Scheitholzanlagen wurden einem MAP-Evaluationsbericht aus dem Jahr 2004 (ZSW/ Fraunhofer ISI 2004: 57) entnommen (siehe Tab. 2.6) und der durchschnittlichen Leistung des jeweiligen Jahres mittels linearer Regression angepasst. Die darüber berechnete Wärmeerzeugung beträgt 2.476 MWh und ist in der Gesamtschau, siehe Tab. 2.10 dargestellt.

Tab. 2.6: Volllaststundenzahlen für MAP-geförderte Kleinanlagen zur Wärmeerzeugung aus Biomasse

Pellets - Wärmeerzeugung [h/a]		Scheitholz - Wärmeerzeugung [h/a]		Hackschnitzel - Wärmeerzeugung [h/a]	
Anlagenleistung 15 kW	Anlagenleistung 35 kW	Anlagenleistung 15 kW	Anlagenleistung 35 kW	Anlagenleistung 35 kW	Anlagenleistung 70 kW
1.300	1.500	1.300	1.500	1.500	1.800

Quelle: (ZSW/ Fraunhofer ISI 2004: 57)

Neben den über das Marktanzreizprogramm geförderten Anlagen werden weitere, überwiegend mit Scheitholz befeuerte Kleinf Feuerstätten wie Kachelöfen betrieben, die statistisch nicht erfasst werden, insbesondere nicht deren Holzeinsatz. Der Holzeinsatz wurde in (BMU 2009b) für die Bundesebene abgeschätzt, andere Studien wie (Wenzelides 2006) haben jedoch gezeigt, dass der Einsatz bislang eher unterschätzt wurde und die Beheizung von Kleinf Feuerungsstätten von größerer Bedeutung ist als bisher angenommen. Das Brennholz wird oftmals in Eigenregie aufbereitet, so dass dadurch eine kostengünstige Wärmeversorgung erzielt werden kann. Um dennoch den

Holzeinsatz in diesen Anlagen grob abzuschätzen, wurde ausgehend von einer Studie über den Energieholzverbrauch in privaten Haushalten in (Mantau/ Sörgel 2006) und den Gebäudezahlen in Berlin berechnet, wieviel Holz in Berlin zur Wärmeversorgung in Kleinf Feuerstätten neben den über das Marktanzreizprogramm geförderten Anlagen eingesetzt würde, wenn Berlin dem Bundesdurchschnitt entspräche. Dieser Wert liegt bei 164.000 Mg. Unter der Annahme eines durchschnittlichen feuerungstechnischen Wirkungsgrads von 70 % und einem Heizwert für Scheitholz von 4,1 kWh/kg beträgt die Endenergie 480 GWh.

Es ist jedoch davon auszugehen, dass in Berlin unterproportional viel Brennholz verbrannt wird, da die Ressource Holz in der Großstadt weniger verfügbar ist als im Bundesdurchschnitt. Deshalb wurde eine Korrektur des ermittelten Wertes vorgenommen, die diese Rahmenbedingung Rechnung trägt. Dazu wurde die repräsentative Erhebung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte für das Jahr 2005 von RWI und forsa (forsa/ RWI Essen 2006) ausgewertet. Im Rahmen dieser Studie wurde die Nutzung von Pellet- und anderen EE-Anlagen in EFH, ZFH und MFH ermittelt. Die in Berlin installierten Pelletanlagen wurden zu den bundesweit installierten Anlagen ins Verhältnis gesetzt. Mit diesem Anteil wurde die Abschätzung in Höhe von 164.000 Mg auf 1.160 Mg reduziert. Das entspricht einer Wärmebereitstellung von 3,36 GWh.

2.4.2 EEG-vergütete Anlagen, ausschließliche Nutzung von Biomasse

Gemäß EEG können Strom erzeugende Biomasseanlagen bis zu einer maximalen Anlagenleistung von 20 MW_{el} und nur bei ausschließlicher Nutzung von Biomasse als Brennstoff eine Einspeisevergütung erhalten. Informationen zu EEG-vergüteten Biomasse-Anlagen und deren Stromeinspeisung in Berlin standen für die Jahre 2006 bis 2008 in Form von EEG-Jahresendabrechnungen des Netzbetreibers Vattenfall Europe zur Verfügung. Sie dienen zur Berechnung von Volllaststunden für einzelne Anlagen, über die die Wärmeerzeugung aus Biomasse ermittelt werden konnte.

In Tab. 2.7 sind Anlagenzahl, installierte Leistung und Stromerzeugung der EEG-vergüteten Biomasseanlagen in Berlin für die Jahre 2006 und 2007 in aggregierter Form dargestellt. Für eine höhere Transparenz und als Grundlage für die Ermittlung der in diesen Anlagen erzeugten Wärme werden Großanlagen sowie kleine und mittelgroße Anlagen im Folgenden zusätzlich getrennt aufgeführt.

Tab. 2.7: Anzahl, Leistung und Stromerzeugung aus EE-vergüteten Biomasseanlagen 2006 bis 2008 nach Angaben von Vattenfall Europe

	Anlagenzahl	Installierte Leistung [kW]	Stromerzeugung [GWh]
2006	7	21.753	44,5
2007	9	22.018	135,6
2008	9	22.023	147,5

Quellen: Datenblätter von Vattenfall Europe zu den EEG-Jahresendabrechnungen 2006 bis 2008

2.4.2.1 Großanlagen

Die weitaus größte Anlage zur Nutzung von Biomasse in Berlin ist das von RWE Innogy betriebene Biomasseheizkraftwerk Rudow / Gropiusstadt, das Strom und Fernwärme v. a. aus der Verfeuerung von Altholz zur Verfügung stellt (RWE o. J.). Die in Tab. 2.8 aufgeführten Daten zur EEG-

vergüteten Stromerzeugung dieser Anlage stammen wiederum aus den Jahresendabrechnungen des Netzbetreibers, mit deren Hilfe Volllaststunden und schließlich die Wärmeerzeugung abgeleitet wurden. Es zeigt sich, dass die Großanlage in Rudow in quantitativer Hinsicht nahezu vollständig für die EEG-vergütete Stromerzeugung aus Biomasse in Berlin verantwortlich ist (vgl. Tab. 2.8 und Tab. 2.7).³

Tab. 2.8: Strom- und Wärmeerzeugung 2006 bis 2008 in der Biomasse-Großanlage Rudow

	Installierte elektrische Leistung	EEG-Strom ¹	Installierte thermische Leistung	Wärmeerzeugung ²
	[MW _{el}]	[MWh _{el}]	[MW _{th}]	[MWh _{th}]
2006	20	43.916	65	142.728
2007	20	129.240	65	420.029
2008	20	143.255	65	465.578

¹ nach Datenblättern von Vattenfall Europe zu den EEG-Jahresendabrechnungen 2006 bis 2008

² berechnet aus durchschnittlichen Volllaststunden für die Stromerzeugung und installierter thermischer Leistung

2.4.2.2 Kleine und mittelgroße Anlagen

Die Datenlage zu kleinen und mittelgroßen EEG-vergüteten Biomasseanlagen in Berlin ist demgegenüber deutlich schlechter. Über die Jahresendabrechnungen des Netzbetreibers sind elektrische Leistung und eingespeiste Strommengen für die Jahre 2006 und 2007 ersichtlich sowie die Adressen der Anlagen. Über weitere Einzelinformationen zu den gelisteten Anlagen ließ sich für zwei mit Pflanzenöl befeuerte BHKW im Fernheizwerk Neukölln die thermische Leistung ermitteln (FHW-Neukölln o. J.). Für alle anderen Anlagen wurde anhand der aus dem o.g. Anlagenbeispiel ermittelten Verhältnis von thermischer zu elektrischer Leistung ($480 \text{ kW}_{\text{th}} / 440 \text{ kW}_{\text{el}}$) sowie der ermittelten Volllaststunden der Stromerzeugung eine Abschätzung für die Wärmeerzeugung vorgenommen.

³ Über die Inbetriebnahme des Kraftwerks Rudow liegen widersprüchliche Angaben vor: Während die Anlage ursprünglich bereits 2003 in Betrieb gehen sollte, gibt der Betreiber als Zeitpunkt der Inbetriebnahme das Jahr 2006 an, vgl. Angaben unter <http://www.rwe.com/web/cms/de/85900/rwe-innogy/unternehmen/standorte/> (15.2.2010). Dementsprechend wird für die Jahre 2003 bis 2005 von keiner nennenswerten Energieerzeugung ausgegangen.

Tab. 2.9: Strom- und Wärmeerzeugung 2006 bis 2008 in kleinen und mittelgroßen Anlagen zur Nutzung von Biomasse in Berlin

	Installierte elektrische Leistung ¹	EEG-Strom ¹	Installierte thermische Leistung (berechnet) ²	Wärmeerzeugung (berechnet) ²
	[MW _{el}]	[MWh _{el}]	[MW _{th}]	[MWh _{th}]
2006	1,75	569	ca. 1,9	ca. 620
2007	2,02	6.394	ca. 2,2	ca. 6.975
2008	2,02	4.228	ca. 2,2	ca. 4.613

¹ nach Datenblättern von Vattenfall Europe zu den EEG-Jahresendabrechnungen 2006 bis 2008

² Berechnet auf Basis des Verhältnisses thermische / elektrische Leistung 480 kW_{th} / 440 kW_{el}, (FHW Neukölln) und Volllaststd. der Stromerzeugung

2.4.3 Nicht EEG-vergütete, nicht netzgebundene Biomasseanlagen

Eine vollständige Auflistung der nicht EEG-vergüteten bzw. nicht netzgebundenen Biomasseanlagen ist für Berlin nicht verfügbar. Zu einigen Anlagen lagen jedoch Informationen vor:

- Das Reichstagsgebäude sowie umliegende Parlamentsgebäude werden durch ein Biodiesel-BHKW mit Wärme und Strom versorgt. Das Kraftwerk hat eine Leistung von 1.600 kW_{el} und 1.800 kW_{th}. Die Anlage speist weder Strom noch Wärme ins Netz ein. Nicht benötigte Wärme wird in einen 300 Meter tiefen Aquiferspeicher geleitet, wodurch diese bei Bedarf wieder genutzt werden kann. Im Winter wird zudem Kälte aus der Umgebungsluft über Rohre in eine etwa 50 Meter tiefe süßwasserhaltige Erdschicht gepumpt und dort gespeichert. Im Sommer wird das kalte Wasser wieder hochgepumpt und zur Kühlung des Gebäudes genutzt (Dena o. J.).
- Seit 2005 werden 100 von 370 Wohnungen im Viertel Hermann-Piper-Straße in Reinickendorf von einer mit Holzpellets befeuerten Kesselanlage der Baugenossenschaft Reinickes Hof (betrieben von der Blockheizkraftwerks-Träger- und Betreibergesellschaft mbH Berlin, BTB) mit Wärme versorgt. Die Anlage mit einer Leistung von 540 kW_{th} deckt rund 70 % des Jahreswärmebedarfs.⁴
- Im Delikatessen Requisiten-Fundus Berlin OHG ist nach Auskünften SenGUV eine Holzpellet-Feuerungsanlage zur Wärmeerzeugung mit einer thermischen Leistung von ca. 320 kW in Betrieb.
- Im Naturschutzzentrum Ökowerk Berlin e. V. am Teufelssee ist eine mit Holzhackschnitzeln gespeiste Feuerungsanlage zur Wärmeerzeugung mit einer Leistung von 110 kW installiert. Zusätzliche Wärme erzeugt eine Thermosolaranlage mit einer Gesamtbruttofläche von 12,87 m² und einem durchschnittlichen Ertrag von 350 kWh / m²*a.⁵

⁴ <http://www.btb-berlin.de> und Auskünfte der SenGUV.

⁵ Auskünfte per E-Mail vom Geschäftsführer Dr. Andreas Meißner

Damit sind auf der Basis der hier aufgeführten Anlagen ca. 2,8 MW_{th} sowie schätzungsweise 2 bis 2,4 MW_{el} an weiteren kleinen bis mittelgroßen Biomasseheiz(kraft)werken installiert. Damit verdoppeln sich die Anlagenleistungen in den Bereichen Strom und Wärme bei der Kategorie der kleinen bis mittelgroßen Anlagen, wenn man diese nicht einspeisenden zu den EEG-Anlagen hinzurechnet.

2.4.4 Zufeuerung von Biomasse in konventionellen Kraftwerken

Auch die Zufeuerung von Biomasse in konventionellen Kraftwerken wird nicht im Rahmen des EEG vergütet. In Berlin werden laut Angaben von Vattenfall Europe (VE) in den Kraftwerken Klingenberg und Reuter (bzw. Reuter C, nicht jedoch das größere HKW Reuter West) Holzhackschnitzel zugefeuert (Vattenfall o. J.). Der Betreiber will im Heizkraftwerk Reuter im gesamten Jahr 2009 voraussichtlich bis zu 3.500 Mg geschreddertes Landschaftspflegeholz vom Bezirk Spandau einsetzen, was in etwa 1.400 Mg Steinkohleeinheiten entspricht (Vattenfall 2009a). Zudem wurden im Jahr 2009 erstmals in Berlin gesammelte Weihnachtsbäume mit einer Menge von 2.000 Mg im Kraftwerk Reuter mit verbrannt (Welt online 2009). Es ist geplant, diese Biomasse auch in den kommenden Jahren dort zu verbrennen. Angaben über die gesamten Einsatzmengen bzw. Strom- und Wärmeerzeugung stehen nicht zur Verfügung. Aus den gegebenen Daten wurde ein Energieinhalt berechnet und über den prozentualen Anteil der elektrischen bzw. thermischen Leistung an der Gesamtleistung die Strom- und Wärmeerzeugung abgeschätzt. Zusätzlich wurde ein Nutzungsgrad von 85 % für die Anlage angenommen und in die Berechnungen einbezogen. Daraus ergibt sich eine elektrische Strombreitstellung von 7,6 GWh und eine thermische von 10,4 GWh. Die Ergebnisse für die so ermittelte Strom- und Wärmeerzeugung aus zugefeuerter Biomasse sind in Abschnitt 2.4.9 aufgeführt.

2.4.5 Erzeugung und Nutzung von Biogas

Laut der im Auftrag der SenGUV durchgeführten Studie „Nutzung von Biomasse in Berlin“ werden bisher in der Hauptstadt lediglich **Speisereste und Fettabscheiderinhalte** aus Restaurants, Kantinen, Großküchen, Krankenhäusern und Pflegeheimen sowie teilweise Speisereste aus dem Lebensmittelhandel mit einem **Volumen von insgesamt ca. 95.000 Mg / a** einer Vergärung zugeführt (ICU/ Witzenhausen-Institut 2009: 10). Da sich je nach Reststoffqualität die Biogaserträge deutlich unterscheiden – in der o.a. Studie wird eine diesbezügliche Spannweite von 50-480 m³ / Mg angegeben – lässt sich für diese Reststoffmenge auch nur eine Spannweite des Biogasvolumens angeben, das demzufolge zwischen 5 Mio. und 45 Mio. m³ gelegen haben könnte. Die Vergärung erfolgt bisher jedoch nicht in Berlin, doch **in Zukunft** soll auch **in Berlin Biogaserzeugung aus biogenen Reststoffen oder nachwachsenden Rohstoffen** (NawaRos) stattfinden. Diese Planungen sind in den Szenarien bis 2020 dargestellt.

2.4.6 Deponiegas- und Klärschlammnutzung

Die Nutzung von Deponiegas und Klärschlamm in Anlagen zur Strom- und Warmegewinnung wird seit dem Jahr 2000 ebenfalls im EEG gefördert und vergütet.

Das anfallende Deponiegas dreier **Deponien der BSR** (Schwanebeck, Schöneicher Plan, Wernsdorf, alle in Brandenburg gelegen) wird in BHKWs in Strom und Wärme umgewandelt (Thürmer 2008; BSR o. J.-a). Neben der Deckung des Eigenbedarfes wird auch elektrische Energie ins Netz eingespeist – laut eigenen Angaben in einer Menge, die ausreichen würde „um eine Stadt mit

30.000 Einwohnern zu versorgen“. Auch die anfallende Wärme kann dank einem „Energieverbund“ mit einem Großkraftwerk vollständig genutzt werden (BSR o. J.-b). Genauere Angaben zum Umfang der Strom- und Wärmeerzeugung stehen nicht zur Verfügung.

In fünf der sechs **Klärwerke** (Münchehofe, Schönerlinde, Stahnsdorf, Waßmannsdorf und Wansdorf) der Berliner Wasserbetriebe (**BWB**) wird der Klärschlamm in Faulbehältern gefault und das entstehende Klär- bzw. Biogas zur Energiegewinnung – großteils für den eigenen Bedarf (z. B. Klärschlamm-trocknung, Gebäudebeheizung etc.), aber auch zur Einspeisung ins Fernwärmenetz und zur Stromerzeugung genutzt. Die Energieerzeugung erfolgt teilweise in BHKWs. Alle diese Anlagen befinden sich jedoch auf Brandenburgischem Landesgebiet.

Lediglich in der Berliner Kläranlage Ruhleben erfolgt keine Biogasverwertung. Überschüssige Wärme wird hier in einem Turbinengenerator in Elektrizität umgewandelt (BWB o. J.). Jährlich werden ca. 37.000 Mg Klärschlämme energetisch verwertet und dadurch ca. 25.000 MWh Strom erzeugt.⁶ Dieser Wert wurde aus Mangel am Vorhandensein früherer Werte ab dem Jahr 2004 als konstant angenommen. Der Wirkungsgrad dieser Anlage ist mit ca. 20 % aufgrund der fehlenden Nutzung des bei der Stromerzeugung anfallenden Dampfes (wie sie z. B. im Falle der Müllverbrennungsanlage Ruhleben erfolgt, siehe 0) jedoch gering, es besteht Optimierungspotenzial. Zusätzlich ist geplant, das für die Stützfeuerung nötige Heizöl zukünftig durch Fette zu ersetzen.⁷

In Bezug auf die Klär- und Deponiegasnutzung sieht ein Forschungsbericht von Staiß et al. (Staiß et al. 2007: 99ff) in Deutschland nur noch wenig zusätzliches Marktpotenzial, da die meisten Quellen bereits genutzt würden. Eventuell könnten innovative Technologien wie ORC-Verfahren zu einer verbesserten Umsetzung in Strom und Wärme genutzt werden (ebda.).

2.4.7 Energetische Verwertung von Siedlungsabfällen

Nach der Studie von ICU / Witzenhausen-Institut (ICU / Witzenhausen-Institut 2009) fallen jährlich in Berlin 400.000 Mg organischer Abfall im Hausmüll an. Siedlungsabfälle zur Beseitigung werden von den Berliner Stadtreinigungsbetrieben (BSR) hauptsächlich in folgenden Anlagen behandelt (SenGUV 2009):

- In der **Müllverbrennungsanlage Ruhleben** werden etwa **212.000 Mg** (53 % der Organik im Hausmüll) des organischen Abfalls mit verbrannt. Der entstehende Hochdruckheißdampf wird im benachbarten Kraftwerk Reuter zur Strom- und Wärmeerzeugung genutzt. Daraus werden ca. 96 GWh Strom und 256 GWh thermische Energie erzeugt.⁸
- In zwei mechanisch-physikalischen Stabilisierungsanlagen in Pankow und Reinickendorf werden **120.000 Mg/a** organischer Abfall bearbeitet. Die dort getrocknete und aussortierte brennbare Fraktion dient zur Substitution von Primärbrennstoffen im **Kraftwerk Jänschwalde** in Brandenburg.

⁶ Auskunft der SenGUV.

⁷ Auskunft der SenGUV.

⁸ Für die Berechnung wurde ein Heizwert von 3370 kWh/Mg und Wirkungsgrade von 12 % elektrisch und 38 % thermisch zu Grunde gelegt ((ICU / Witzenhausen-Institut 2009)

- Insgesamt **68.000 Mg** organischer Abfall werden sowohl in einer mechanisch-biologischen Behandlungsanlage in Schöneiche bei Berlin (Brandenburg) weiterverarbeitet und in verschiedene Stofffraktionen getrennt als auch in einer mechanischen Aufbereitungsanlage in Berlin-Köpenick. Die hier entstehenden Ersatzbrennstoffe werden ebenfalls im **Kraftwerk Jänschwalde** in Brandenburg eingesetzt.

2.4.8 Biokraftstoffe im Verkehrssektor

In der Studie „Nutzung von Biomasse in Berlin“ (ICU/ Witzenhausen-Institut 2009:10) wird u. a. die derzeitige Verwertung von biogenen Reststoffen (NawaRo werden nicht betrachtet) in Berlin untersucht. Demnach werden Frittierfette aus Restaurants und Imbissen (5000 Mg/a erfasst) zu Biodiesel aufbereitet. Die Umwandlung erfolgt jedoch nicht in Berlin, sondern durch die PETROTEC AG mit Sitz in Borken (Nordrhein-Westfalen)⁹.

Insgesamt wurde laut Energiebilanz (siehe auch 2.2) im Jahre 2006 Biodiesel mit einem Heizwert von 3095 TJ importiert, das entspricht 859,7 GWh (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2009). In der Energiebilanz für das Jahr 2006 ist keine Eigenerzeugung von Biodiesel in Berlin, sondern nur der Bezug des Kraftstoffes verzeichnet (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2009).

Bioethanol oder -methanol werden nicht erwähnt. Laut des Kompetenznetzwerkes Mineralölwirtschaft / Biokraftstoffe Brandenburg-Berlin wird Biodiesel an sieben, Bioethanol an einem (Verbio) und Biomethanol an über 50 (und ca. 40 geplanten) Standorten in Brandenburg erzeugt (Biokraftstoffe Brandenburg o. J.).¹⁰ Welche Mengen bzw. welche Anteile davon in Berlin verwendet wurden konnte jedoch auch hier nicht unter vertretbarem Aufwand ermittelt werden.

In Berlin waren Ende 2008 6 Bioethanol-Tankstellen in Betrieb oder in Planung (ethanol-tanken.com 2009). Biodiesel wird an ca. 27 Berliner Tankstellen und an unzähligen in der Brandenburger Umgebung vertrieben (IWR o. J.).

Eine Abschätzung des Biokraftstoffabsatzes in Berlin für die Jahre 2007 und 2008 wurde durch eine Fortschreibung des Wertes für 2006 mit den bundesweiten prozentualen Veränderungen vorgenommen.¹¹ Daraus ergibt sich ein Biokraftstoffabsatz von 960,4 GWh in 2007 und 780,5 GWh in 2008 für Berlin.

2.4.9 Gesamtschau Biomasse

Aus den oben aufgeführten einzelnen Biomassefraktionen der entsprechenden Bioenergieerzeugung bzw. –nutzung ergibt sich die folgende tabellarische Übersicht.

⁹ Nach Auskünften der SenGUV

¹⁰ Ohne Datum, wahrscheinlich 2007 oder aktueller

¹¹ Die Entwicklung in den Jahren 2004 bis 2006 zeigt, dass die prozentualen Veränderungen in Berlin und auf Bundesebene ähnlich verliefen.

Tab. 2.10: Nutzung von Biomasse / biogenen Reststoffen aus und in Berlin

	Klein- feuer- stätten *	Hei- zungs- anla- gen**	EEG-vergütete Biomasseanlagen				Energetische Verwertung von Siedlungsabfäl- len zur Beseiti- gung		Zufeuering in konventionel- len Kraftwerken		Klär- schlamm- verwer- tung	Biokraft- stoffe
			kleine und mittelgroße		Großanlage Rudow ***		MVA Ruhleben/ HKW Reuter		Nur HKW Reuter		Klärwerk Ruhle- ben	Nur Bezüge
			MWh _{th}	MWh _{th}	MWh _{el}	MWh _{th}	MWh _{el}	MWh _{th}	MWh _{el}	MWh _{th}	MWh _{el}	MWh _{th}
2005	3.360	792	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	96.000	255.600	0	0	25.000	472.000
2006	3.360	1.509	569	620	43.916	142.728	96.000	255.600	0	0	25.000	860.000
2007	3.360	2.250	6.394	6.975	129.240	420.029	96.000	255.600	0	0	25.000	960.000
2008	3.360	2.476	4.228	4.613	143.255	465.578	96.000	255.600	0	0	25.000	781.000
2009	3.360	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	96.000	255.600	7.612	10.380	k.A.	k.A.

* Geschätzter Wert für 2005 auf die anderen Jahre übertragen / ** nur BAFA-geförderte /

*** Nach Angaben des Betreibers erfolgte die Inbetriebnahme in 2006 (s.o.)

Quelle: eigene Daten

2.5 Geothermie und Wärmepumpen

2.5.1 Technische Konzepte und bundesweite Entwicklung

Unter Geothermie wird die in der Erdkruste gespeicherte Wärme verstanden, die zum einen aus dem Erdinneren (Zerfallsprozesse, Restwärme aus der Erdentstehung) und zum anderen sehr oberflächennah durch Sonneneinstrahlung entsteht. Diese Wärme kann sowohl zur Bereitstellung von Raumwärme, zur Brauchwassererwärmung als auch zur Stromerzeugung (tiefe Geothermie) verwendet werden.

Die Wärmeentnahme aus dem Erdreich kann in Form von **Sonden** vertikal oder in Form von **Kollektoren** horizontal erfolgen. Die horizontale Anwendung der Kollektoren erfolgt in der Regel über Kunststoff-Rohrregister oder Kapillarrohmatten in einer Tiefe von 1,0 bis 1,5 m. So können die Register die oberflächennahen sonnenerwärmten Schichten nutzen, befinden sich jedoch bereits in einer frostfreien Tiefe (2009; Kaltschmitt et al. 2006). Vertikale Sonden können über Einfach-, U-, Doppel-U- und Koaxialrohre bis zu mehrere Hundert Meter tief in den Untergrund gebracht werden. Da jedoch unter 100 m das Deutsche Bergrecht gilt, wird ihre private Anwendung häufig auf 100 m beschränkt. Beim Sondenverfahren müssen Mindestabstände eingehalten werden, um eine thermische Beeinflussung der Sonden zu vermeiden. Bei einer Sondenlänge von 80 m sind beispielsweise mindestens 15 m Mindestabstand vorgesehen (Genske et al. 2009). Beide Systeme (Kollektoren und Sonden) fallen im Allgemeinen unter den Begriff Sole/Wasser-Wärmepumpen. Die Wärmepumpe selbst dient dazu die Temperatur des Wärmeträgers auf ein höheres Niveau zu bringen, so dass eine Verwendung zu Heizzwecken möglich ist. Neben dem Erdreich stehen als Wärmequellen für Wärmepumpen das Grundwasser (Wasser/Wasser-Wärmepumpen) sowie weitere Quellen wie Außen- und Abluft (Luft-Wärmepumpen) und Abwasser zur Verfügung. Im Folgenden werden die Wärmequellen Erdreich, Grundwasser sowie Luft und die jeweiligen Nutzungskonzepte berücksichtigt. Abwasser-Wärmepumpen werden in dieser Teilstudie nicht weiter verfolgt, da es sich hierbei im engeren Sinne nicht um eine Erneuerbare Energie-, sondern um eine Energieeffizienztechnologie handelt (wird daher im Teil der Berliner Energieagentur berücksichtigt).

Häufigste Anwendung finden **Wärmepumpen in Wohngebäuden**, die zur Bereitstellung von Heizwärme und/oder zur Brauchwassererwärmung dienen. Bundesweit überwiegen Heizungs-Wärmepumpen gegenüber Anlagen, die ausschließlich zur Brauchwassererwärmung genutzt werden (Marktanteil 2006-2008 zwischen 14-18 %) (Bundesverband Wärmepumpe e.V. 2009). Heizungs-Wärmepumpen werden in der Regel so ausgelegt, dass der Deckungsgrad des Heizwärmebedarfs 100 % beträgt. Die Nutzung der verschiedenen Wärmequellen hat sich in den vergangenen 10 Jahren deutlich verändert. Dabei werden in den vergangenen Jahren vermehrt Luftwärmepumpen installiert, was vermutlich auf die im Vergleich zu Sole/Wasser-Wärmepumpen deutlich geringeren Investitionskosten zurückzuführen ist. Im Heiz-Wärmepumpen-Bestand liegen die Anteile der Wärmequellen etwa bei 55 % Erdreich, 35 % Luft und 10 % Wasser (persönliche Mitteilung Frau Gorris (2009)). Bezüglich der Energieeffizienz schneiden Luft-Wärmepumpen am schlechtesten ab.

Entscheidender Parameter ist die Jahresarbeitszahl (JAZ), die das Verhältnis von bereitgestellter Energie zu Antriebsenergie darstellt. Für Erdwärmesonden als auch -kollektoren werden vielfach Jahresarbeitszahlen von 3,5 – 4 angegeben (Blum et al. 2009). Auer und Schöte (2008) kommen in ihrem Feldversuch jedoch zu dem Ergebnis, dass die real erreichten Jahresarbeitszahlen zwischen 3,3 – 3,38 liegen. Theoretisch erreichbare Jahresarbeitszahlen von Wasser-/Wasser-Wärmepumpen liegen derzeit bei Werten bis zu 4,5. Die JAZ der reinen Außenluft-Wärmepumpen (ohne Abluft-Nutzung) liegt mit einer maximalen JAZ von 3,3 deutlich niedriger (Auer/ Schöte 2008). Im Durchschnitt verbrauchen Luft/Wasser-Anlagen 25 % mehr Strom als Sole/Wasser Anlagen (Bundesamt für Energie o.J.). Um einen hohen Wirkungsgrad zu erzielen eignen sich Kompressionswärmepumpen insbesondere zusammen mit großflächigen Fußboden- und Wandheizungen, da diese mit einer geringeren Vorlauftemperatur als Heizkörper arbeiten können (Brugmann 2006). Fußbodenheizungen weisen sehr geringe Vorlauftemperaturen von 35 – 38°C (Hecking et al. 2007) bzw. 40-45°C (Russ 2009) auf, und bieten sich damit im Gegensatz zu Radiatoren (Vorlauftemperatur von 45-65°C) für alle Arten der Wärmepumpen an (Hecking et al. 2007). Bei Radiator-Heizkörpern erreichen Sole/Wasser-Wärmepumpen immer noch eine JAZ von 3,3, Luft-Wärmepumpen dagegen nur noch eine JAZ von 2,3 (UBA 2007). Reine Brauchwasser-Wärmepumpen nutzen meist die Wärme der Umgebungsluft im Aufstellraum (Dimplex 2009). Sie besitzen im Vergleich zu Heizungs-Wärmepumpen niedrigere Jahresarbeitszahlen, können jedoch mit Solarthermieanlagen kombiniert werden und so eine höhere Effizienz erreichen (Witt 2007).

Wärmepumpen können sowohl in **Einfamilien- als auch in Mehrfamilienhäusern** eingesetzt werden. Dabei liegen typische Heizleistungen von Wärmepumpen in Einfamilienhäusern bei 5,6 kWth (Neubau) und 11,2 kWth (Bestand) und in Mehrfamilienhäusern zwischen 30 kWth (Neubau) und 66 kWth (Bestand) (Hofer et al. 2007). In **Bürogebäuden** sind Wärmepumpen besonders dann zu empfehlen, wenn sie im Sommer zur Kühlung des Gebäudes eingesetzt werden können. **Gas-Wärmepumpen**, die eine deutlich höhere Energieeffizienz aufweisen, sind derzeit nur im großen Leistungsbereich verfügbar. Für den Einsatz in Ein- und Zweifamilienhäusern befinden sie sich im Feldteststadium. Bis 2020 soll der Anteil an Gas-Wärmepumpen deutlich zunehmen. In der vom Bund der Energiewirtschaft (BDEW) beauftragten Prognos-Studie „Energietrends 2020 für Haushalte“ wird der Anteil an Gas-WP bei Neubauten im Jahr 2020 bereits auf 10 % geschätzt, insgesamt werden der Prognose zufolge Neubauten zu 30 % mit elektrischen WP beheizt (Prognos AG 2009, 2). Dementsprechend würde bereits 2020 ein Viertel der in Neubauten eingesetzten Wärmepumpen mit Gas betrieben.

Erdwärme kann ähnlich wie die Solarthermie in **Nahwärmenetzen** eingesetzt werden. Es handelt sich hierbei um ein Anwendungsfeld der tiefen Geothermie und der hydrothermalen Geothermie. Die Leitstudie des BMU für den Ausbau der erneuerbaren Energien geht im Leitszenario davon

aus, dass Erdwärme in Nahwärmenetzen im Jahr 2020 mit 8,2 TWh/a und im Jahr 2050 mit 77,9 TWh/a zur Wärmebereitstellung beitragen wird (BMU 2008b).

Eine Nutzungsmöglichkeit, die vielfach in Bürogebäuden zum Einsatz kommt, ist die **Wärme- und Kältespeicherung**, bei der die Speicherkapazität des Untergrundes in der unmittelbaren Umgebung oder unterhalb des Gebäudes genutzt wird. Dabei können Erdwärmesondensystemen sowie sogenannte „Energiepfähle“ oder Fundamentplatten als Wärmeübertrager verwendet werden. Innerhalb des Winterhalbjahres wird Wärme aus dem Erdreich entzogen und mittels einer zwischengeschalteten Wärmepumpe zur Beheizung des Gebäudes genutzt. Das ausgekühlte Erdreich dient im Sommer zum Kühlen des Gebäudes. Dies kann bspw. durch sogenannte „Free-Cooling“ erfolgen, wobei ein Wärmeträger im freien Umlauf durch Gebäude und Erdreich fließt (Sasse et al. 2006). Anwendungsbeispiele in Berlin sind z.B. die Volkswagenbibliothek und das EnergieForum Berlin (siehe Status Quo). Die Potenziale in diesem Bereich werden hoch eingeschätzt, die Praxisbeispiele zeigen jedoch, dass die Planung solcher Vorhaben sehr genau und individuell erfolgen muss und häufig nachgeschaltete Optimierungsschritte notwendig sind (Sasse/ Kuhn 2007).

Abluft-Wärmepumpen werden außerdem in **Hallenbädern zur Luftentfeuchtung** eingesetzt. Sie ersetzen dort das Standardverfahren der Ventilatorenlüftung. Dabei wird der nach Außen geleiteten feuchten Luft Wärmeenergie entzogen, die über eine Wärmepumpe wieder zur Schwimmbadbeheizung genutzt wird. Mit dieser sogenannten Wärmerückgewinnung wird gegenüber der Ventilatorenlüftung eine weitaus höhere Effizienz erreicht (Röben 2003). Für kleine Schwimmbäder finden zudem Außenluft-Wärmepumpen zur Erheizung des Beckenwassers Anwendung (Stoltenberg Energie GmbH 2006). Erdgekoppelte Wärmepumpen, in der Regel tiefe Erdsonden, werden auf Grund hoher Investitionskosten selten in Schwimmbädern eingesetzt, können allerdings bei sehr großen Schwimmbädern mit hoher Auslastung geeignet sein (Stoltenberg Energie GmbH 2006; Bine Informationsdienst 2008a). Seit einigen Jahren werden vereinzelt Gas-Absorptionswärmepumpen zur Beheizung des von Schwimmbädern eingesetzt. In Kombination mit Solarabsorbern kann mit derartigen Systemen bis zu 100 % des Wärmeenergiebedarfs des Schwimmbades gedeckt werden (Solkav Swiss AG o.J.; ASUE 2002, 22).

Die Nutzung der oberflächennahen Geothermie im Bereich **Industrie und produzierendes Gewerbe** ist aufgrund des niedrigen Temperaturniveaus begrenzt. Die Geothermische Vereinigung schätzte die Verbreitung im Jahr 2008 auf insgesamt maximal 5.500 Anlagen in ganz Deutschland (Geothermische Vereinigung 2008, 1). Im Leistungsbereich 100 – 1.500 kWh_{th}) sind Erdwärme, Grundwasser, industrielle Abwärme (Luft und Flüssigkeiten) sowie Abwasser mögliche Wärmequellen, wobei die Mehrheit der bestehenden Anlagen Abwärme nutzt. Nach Lambauer et al. (2008) können mit der bestehenden Wärmetechnologie (Stand 2008) ca. 231 PJ pro Jahr an Wärme für Brauchwasserbereitstellung, Raumwärme und Niedertemperatur-Prozesswärme bereitgestellt werden, was in etwa 9 % des Energiebedarfs der deutschen Industrie im Jahr 2006 entspricht. Unter der Voraussetzung dass sich Komponenten und Wärmepumpenanlagen technisch weiterentwickeln und sich die mögliche erzeugbare Temperatur auf 100°C erhöht, kann der Anteil mit 389,53 PJ auf 15 % des gesamten Energiebedarfs bzw. 30 % des Nutzwärmebedarfs gesteigert werden. Dies entspräche einer Einsparung von ca. 6,34 Mio. Tonnen CO₂ jährlich (Lambauer et al. 2008, 50).

Der Bundesverband Wärmepumpe (bwp e.V.) veröffentlicht jährlich Informationen zum Wärmepumpenmarkt in Deutschland. Dementsprechend waren Anfang des Jahres 2009 insgesamt ca. 350.000 Wärmepumpen installiert (Bundesverband Wärmepumpe e.V. 2009). Im Jahr 2008 wurden in Deutschland insgesamt ca. 62.500 Heizungs-Wärmepumpen verkauft, wobei Sole/Wasser-Wärmepumpen (Erdreich) einen Marktanteil von 46 % aufwiesen, Luftwärmepumpen einen Markt-

anteil von 43 % und Wasser/Wasser-Wärmepumpen einen Anteil von 7 % (IZW e.V. 2009). Luft-Wärmepumpen haben dabei insbesondere in den vergangenen drei Jahren stark an Verbreitung gewonnen (s. Abb. 2.3). Nach Informationen des Bundesverbands Wärmepumpe nutzten im Jahr 2008 31,7 % der in Deutschland installierten Wärmepumpen Luft als Wärmequelle, die Abschätzung für das Jahr 2009 liegt bei 34,5 % (persönliche Mitteilung, Frau Gorris (2009)). Zu den Heizungs-Wärmepumpen kommen Brauchwasser-Wärmepumpen hinzu – im Jahr 2008 wurden deutschlandweit knapp 14.000 Anlagen verkauft. Der Marktanteil an Brauchwasser-Wärmepumpen beträgt jedoch weniger als 20 %.

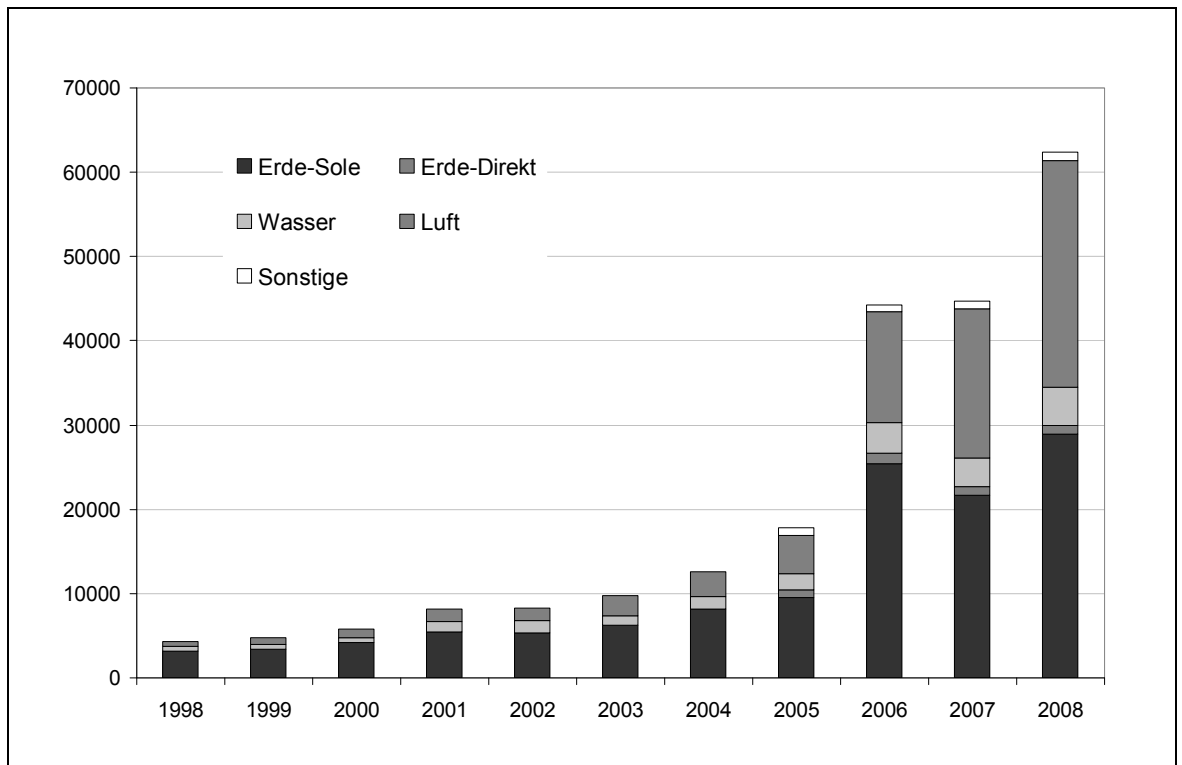


Abb. 2.3: Anzahl der in Deutschland verkauften Heizwärmepumpen (1998-2008)
Eigene Darstellung nach Angaben der IZW e.V.(2009)

2.5.2 Wärmepumpen in Berlin

Für die Errichtung von Erdwärmesonden bzw. -kollektoren ist in Berlin eine **wasserbehördliche Erlaubnis** notwendig, da in der Hauptstadt Trinkwasser aus Grundwasser gewonnen wird (SenGUV 2008a). Daher lässt sich die ungefähre Anzahl der installierten Erdwärmesonden, -kollektoren und Wasser-/Wasser-Wärmepumpen aus den Anträgen bei der Wasserbehörde ableiten. Über die Anzahl der Realisierungen kann dabei keine Aussage getroffen werden, vermutlich ist der Realisierungsgrad jedoch sehr hoch.

In Berlin wurden laut SenGUV bei der Wasserbehörde bis September 2009 insgesamt **ca. 1700 Erdwärmepumpen** beantragt und genehmigt (Wedewardt 2009). Dabei handelt es sich mehrheitlich um Erdwärmesonden (1.580), hinzu kommen 62 Erdwärmekollektoren und 57 Wasser/Wasser-Wärmepumpen. Ein Anteil von deutlich weniger als 10 % dieser Anlagen sollte dem Antrag zufolge

eine Leistung von mehr als 30 kW aufweisen, so dass davon ausgegangen werden kann, dass Wärmepumpen wie im gesamten Bundesgebiet auch in Berlin **vorzugsweise in Ein-, Zwei- und kleinen Mehrfamilienhäusern** installiert wurden und werden. Dies bestätigt eine Auswertung der Neubaustatistik für Ein- und Mehrfamilienhäuser in Berlin für die Jahre 2006 bis 2009, die auch die Anzahl der neu beantragen Wärmepumpen in diesen Gebäuden enthält. Insbesondere im Bereich der neuen Einfamilienhäuser ist ein großer Zuwachs an Wärmepumpen zu verzeichnen. Während in den Jahren 2006 und 2007 pro Quartal ca. 80 bis 100 Wärmepumpen in Einfamilienhäusern beantragt und genehmigt wurden, waren es seit dem 2. Quartal 2008 meist um 130 Wärmepumpen pro Quartal.

Auch in **Mehrfamilienhäusern** stieg der Marktanteil der Wärmepumpen in diesem Zeitraum an. Mit etwa 5 genehmigten Wärmepumpen pro Quartal sind sie zahlenmäßig jedoch nicht von großer Relevanz (GASAG 2009) (s. Abb. 2.4). Die Wärmequelle wird in der Neubaustatistik bislang nicht unterschieden, so dass in diesen Zahlen sowohl Sole/Wasser-Wärmepumpen, Wasser/Wasser-Wärmepumpen als auch Luft-Wärmepumpen enthalten sind¹².

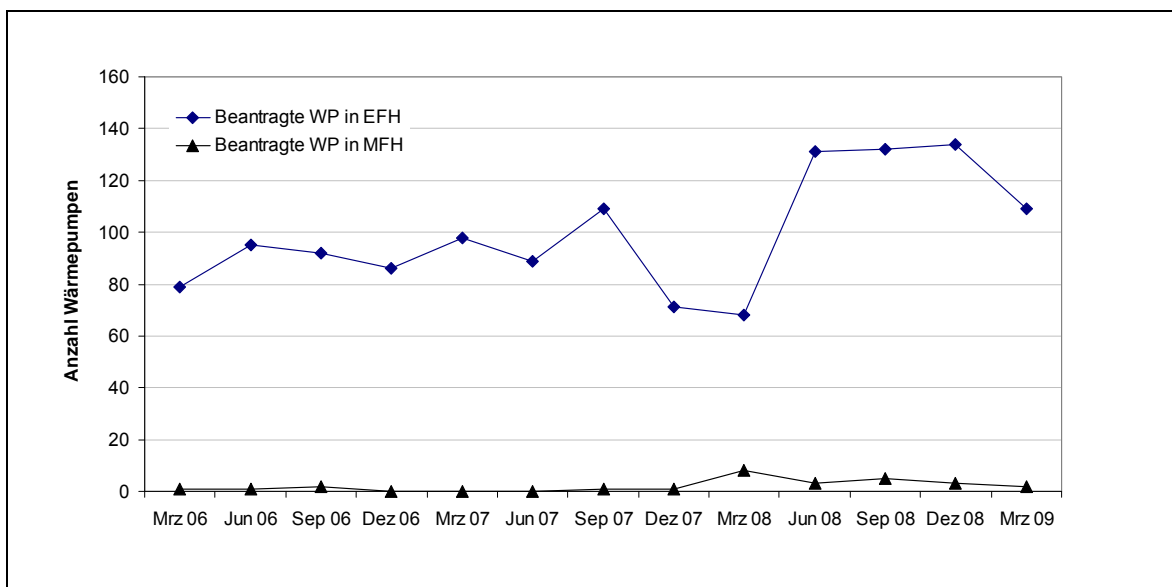


Abb. 2.4: Entwicklung der in Neubauten genehmigten Wärmepumpen bis 2009

Quelle: Eigene Darstellung nach GASAG (2009)

Da für **Luft-Wärmepumpen** keine Genehmigung durch den SenGUV notwendig ist, sind diese in der obigen Abschätzung zum Status Quo noch nicht enthalten. Aufgrund der flächenintensiven Bebauung und Einschränkungen der Freiflächen durch die Wasserschutzgebiete ist zu vermuten, dass der Anteil an Luftwärmepumpen in Berlin höher liegt als im bundesweiten Durchschnitt. An diese Stelle wird daher von einem moderat höheren Anteil von 40 % (bundesweit ca. 35 %) ausgegangen, so dass derzeit vermutlich ca. 1100 Luftwärmepumpen in Berlin bestehen und sich der Gesamtbestand auf etwa 2.800 Heizungs-Wärmepumpen beläuft. Ebenfalls noch nicht berücksichtigt sind Brauchwasser-Wärmepumpen, die bundesweit einen Anteil von ca. 15 % am gesamten

¹² Eine spezifische Erfassung der Wärmequellen ist geplant und soll ab Januar 2010 im Rahmen der Neubaustatistik erfolgen (persönliche Mitteilung, Frau Beeck 2009)

Wärmepumpenbestand aufweisen. Demnach wären 2009 zusätzlich etwa 500 Brauchwasser-Wärmepumpen installiert. Reine Brauchwasser-Wärmepumpen nutzen wie bereits beschrieben, in der Regel die Wärmequelle Umgebungsluft (Raumwärme).

Für frühere Jahre liegen keine offiziellen Daten vor, ebenso gibt es keine Angaben zur **genutzten Umweltwärme**. Für das Jahr 2005 konnte die Anlagenzahl sowie die genutzte Umweltwärme für Berlin dem Anlagenband einer Studie der FFU entnommen werden (FFU 2007: 32). Demnach waren 2005 1.210 Wärmepumpen in Berlin in Betrieb und nutzten 27.778 MWh Umweltwärme. Damit ergibt sich ein Wert von 22,9 MWh Umweltwärme pro Anlage und Jahr. Ein ähnlicher Wert wurde anhand einer Studie von (Faninger 2007) berechnet: Nach Angaben zum Wärmepumpenmarkt in Österreich wurden im Jahr 2006 etwa 21 MWh Nutzwärme pro Wärmepumpe (Wärmequelle: Erdreich) bereitgestellt. Auf Basis der FFU-Studie wurde ein Wert für die Wärmeerzeugung durch die momentan installierten Anlagen ermittelt. Mit 1.700 Sole- und Wasser/Wasser-Wärmepumpen werden mit dieser vereinfachten Berechnung ca. 39.000 MW_{th} bzw. 140 TJ jährlich bereit gestellt. Inklusive der Luft-Wärmepumpen werden bei Annahme der Wärmebereitstellung von 22,9 MWh pro Anlage in 2009 etwa **64.000 MWh_{th}** erzeugt. Bezogen auf den Wärmebedarf in 2008 in Berlin, entspräche dies etwa 0,15 % des Wärmebedarfs (41.906 GWh). Dabei ist allerdings zu beachten, dass keine Informationen zu möglichen Nutzungseinschränkungen oder der tatsächlichen Auslastung der Wärmepumpen vorliegen und der tatsächliche Wert daher deutlich abweichen kann. Die ermittelten bzw. der FFU-Studie entnommenen Werte für das Jahr 2005 liegen mit 100 TJ in einer ähnlichen Größenordnung wie die in der Energiebilanz 2006 (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2009) angegebenen 70 TJ¹³.

Auch in Berlin sind einige Anlagen im Bereich **Handel und Gewerbe** in Betrieb. So wurden im Jahr 2008 insgesamt sechs Wärmepumpen in neu errichteten Nicht-Wohngebäuden installiert, davon zwei in Handels- und Lagergebäuden, zwei in Infrastrukturgebäuden, eine in einem Büro- und Verwaltungsgebäude und eine in einem sonstigen nichtlandwirtschaftlichen Betriebsgebäude (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2008b). Eine exakte Anzahl zu den derzeit installierten Anlagen in diesem Bereich liegt nicht vor, ist jedoch im unteren zweistelligen Bereich zu vermuten.

Einige Beispiele für **Speichernutzungen in Nicht-Wohngebäuden** sind der Reichstag, das EnergieForum Berlin und die Volkswagen Bibliothek der Technischen Universität Berlin. Da in Bürogebäuden in der Regel ein großer Kältebedarf im Sommer besteht, werden meist Energiekonzepte gewählt, in denen das Erdreich als Wärme- bzw. Kältespeicher dient. Im Energiekonzept des Reichstags werden als Wärmequelle bzw. –speicher zwei grundwasserleitende Erdschichten genutzt, wobei der erste Aquifer im Sommer die überschüssige Abwärme von einem stromgeführt betriebenen Blockheizkraftwerke aufnimmt und im Winter für die Versorgung von Niedertemperaturheiznetzen 45°C/30°C abgibt¹⁴ (Kranz et al. 2008). Der zweite Aquifer-Speicher erfüllt Kühlaufgaben. Im EnergieForum, dessen Energieversorgung in dieser Form seit 2003 in Betrieb ist, werden ebenfalls zwei Wärmepumpen eingesetzt: eine Abluftwärmepumpe sowie eine Wärmepumpe in Kombination mit einer so genannten Energiepfahlanlage. Letztere trägt im Winterhalbjahr zur

¹³ Eine Anfrage beim Amt für Statistik Berlin-Brandenburg klärte, dass nur die geothermische Energieerzeugung mit Hilfe von Wärmepumpen dem Bereich „Sonstige“ zugeordnet (Amt für Statistik Brandenburg 2009). Im Jahre 2005 war der Primärenergieverbrauch im Bereich „Sonstige“ jedoch ungleich höher (228 TJ). Es ist zu vermuten, dass in diesem Wert auch andere Quellen erneuerbarer Energien enthalten waren.

¹⁴ Es handelt sich in diesem Fall um eine reine Speicherung – Geothermie als Primärenergiequelle wird demnach nicht genutzt.

Wärmeversorgung bei. Dadurch kühlt das Erdreich in diesem Zeitraum aus, so dass es im Sommer zur freien Kühlung (Betonkernaktivierung) dienen kann (Sasse et al. 2006). Ähnlich funktioniert das Energiekonzept der der Volkswagenbibliothek, die seit 2004 in Betrieb ist (Sasse/ Kuhn 2007). Die Dokumentationen zu den Beispielanlagen zeigen, dass weiterer Forschungsbedarf in diesem Anwendungsbereich besteht. Die Energiekonzepte müssen meist sehr individuell geplant werden und sind häufig erst nach ein paar Jahren und nach weiteren Optimierungsschritten stabil. Eine erzeugte Wärmemenge lässt sich aus den bekannten Beispielen nicht ableiten, da es sich zum Teil um eine reine Wärmespeicherung handelt und die Feldtests erhebliche Schwankungen in der Wärmebereitstellung aufdeckten.

Neben der Wärmequelle ist der Bezug der Antriebsenergie relevant für die Energiebilanz der Wärmepumpe. Bislang existieren **Elektro-** und **Gas-Wärmepumpen**, wobei sich Gas-Wärmepumpen für den Einsatz in Ein- und Zweifamilienhäusern noch in einer frühen Marktphase (Feldteststadium) befinden. Nur für den größeren Leistungsbereich (z. B. Schwimmbadbeheizung) waren bereits 2008 gasmotorisch betriebene Wärmepumpen verfügbar (Schüwer/ Fishedick 2008). Es kann deshalb davon ausgegangen werden, dass die bestehenden Wärmepumpen in Berlin nahezu ausschließlich mit Strom betrieben werden. Wärmepumpen, die in Einfamilienhäusern eingesetzt werden, weisen in der Regel eine elektrische Leistung von 2-3,8 kW_{el} auf (neue EFH: 2 kW_{el}, EFH im Bestand: 3,8 kW_{el}) (AWP 2007). Unter der Annahme einer Volllaststundenzahl von 1.700 h benötigt eine Wärmepumpe demnach zwischen 3.400-6.500 kWh_{el} Strom im Jahr. Da in Berlin auch einige Wärmepumpe mit größeren Leistungszahlen betrieben werden, kann für das Jahr 2009 von einem durchschnittlichen Stromverbrauch von 6.000 kWh_{el} pro Heizungs-Wärmepumpe bzw. für alle Heizungs-Wärmepumpen von ca. 17.000 MWh_{el} ausgegangen werden. Die Berechnung des Strombedarfs kann auch über de Anteil der jeweiligen Wärmepumpen und deren JAZ erfolgen. Bei einem derzeitigen Anteil von 58 % Erd/Sole-Wärmepumpen (JAZ = 3,4), 40 % Luft-Wärmepumpen (JAZ = 3) und 2 % Wasserwärmepumpen (JAZ = 4,5) beläuft sich der Strombedarf auf etwa 19.700 MWh_{el}.

2.5.3 Tiefe Geothermie in Berlin

Eine Nutzung der Tiefen-Geothermie zur Strom- oder Wärmeerzeugung erfolgt in Berlin derzeit nicht. Erste Hinweise zu den Potenzialen lassen sich aus einer Geothermiebohrung in Wartenberg (Nordosten Berlins) sowie einer Bohrung der GASAG (zur Gasspeicherung) in Spandau ableiten (Bredel-Schürmann 2009) (s. Kapitel 4.3.2). Pläne zur Nutzung tiefer Geothermie existieren seitens der GASAG, die diese für die Grundlastversorgung des geplanten Europäischen Energie Instituts einsetzen möchten¹⁵. Die GASAG rechnet derzeit mit einer möglichen Wärmeleistung von 2,5 MW und einer Inbetriebnahme im Jahr 2013, genaue Einschätzungen zur Wärmeleistung werden jedoch erst nach den Bohrungen möglich sein. Da die Aufsuchungserlaubnis durch das Bergamt noch aussteht, ist das Zustandekommen dieses Projektes zwar noch nicht gesichert aber sehr wahrscheinlich (Bredel-Schürmann 2009). Zudem wird derzeit eine Studie zu Potenzialen der Geothermie für das Berliner Stadtgebiet im Auftrag der SenGUV erstellt. Die voraussichtliche Fertigstellung der Studie ist für 2012 geplant, Zwischenergebnisse sind noch nicht verfügbar (Limberg 2009).

¹⁵ Gelände um das Gasometer Schöneberg

2.6 Wind- und Wasserkraft sowie sonstige EE

2.6.1 Windenergie

Die Nutzung von Windenergie mit größeren Anlagen ist in dicht besiedelten urbanen Räumen im Regelfall nur sehr eingeschränkt möglich. Dennoch gibt es oftmals gerade an den Randgebieten auch in größeren Städten geeignete Gebiete. Mit der jüngeren Entwicklung von modernen Kleinwindanlagen ergeben sich zudem in Zukunft Potenziale auch im dichter besiedelten Bereich, insbesondere auf geeigneten Dächern.

Seit 2008 ist in Berlin-Pankow eine Windenergieanlage (WEA) in Betrieb. Mit einer Nabenhöhe von 138 m, einem Rotordurchmesser von 82 m und einer Leistung von 2 MW_{el} erzeugte sie nach Angaben des Anlagenbetreibers vom 31.7.2008 bis zum 11.6.2009 4,75 GWh elektrische Energie.¹⁶ Es wird ein (angepasster) Jahresertrag von 5,1 GWh prognostiziert. Für 2008 wurde die Hälfte der vom 31. 7. 2008 bis zum 11. 6. 2009 bekannten Stromerzeugung unterstellt. Die Betreibergesellschaft „Neue Energie Berlin GmbH“ beschäftigte sich bereits seit 2003 mit der Standortsuche. Rein rechtlich wurde der Bau erst im Jahre 2007 möglich, nachdem der pauschale Ausschluss für die Errichtung von Windkraftanlagen gemäß **Flächennutzungsplan** (FNP) durch Beschluss des Abgeordnetenhauses in Berlin aufgehoben wurde (Vach 2008). In der FNP-Änderung aus dem Jahr 2007 wird jedoch festgestellt:

„Angesichts der Siedlungsstruktur und -dichte und der Freiraumsituation im Berliner Stadtgebiet sind der Windenergienutzung jedoch enge Grenzen gesetzt. Die Eignung konkreter Standorte ist im Rahmen von Einzelfallprüfungen zu bestimmen, die planungsrechtliche Zulässigkeit von Windkraftanlagen ist aufgrund ihrer Privilegierung nach § 35 Abs. 1 BauGB zu beurteilen.“ (SenStadt 2007)

Im FNP sind also keine speziellen Flächen angegeben (SenStadt 2008c), stattdessen sind Einzelfallprüfungen vorgesehen. Im ursprünglichen Verbot (SenStadt 2007: 5.) der Windenergienutzung in Berlin wurde auch auf Potenziale in Brandenburg (siehe unten) verwiesen. Bodennahe Windgeschwindigkeiten in Berlin sind im Umweltatlas der SenStadt verzeichnet (SenStadt o. J.):

Dagegen werden in Brandenburg große Potenziale für den Ausbau der Windkraftnutzung gesehen. Das Bundesland hatte laut Bundesverband WindEnergie e.V. 2008 die zweitgrößte installierte Windkraftleistung und sogar den größten Zubau bundesweit (BWE 2008). Der Windstromanteil der Region Berlin-Brandenburg soll von heute 17,5 % (Stand 2007) auf ca. 35 % im Jahr 2020 gesteigert werden, um einen Anteil der regenerativen Energien am gesamten Energieverbrauch von 20 % 2020 zu erreichen (BWE o. J.).

Im Landesentwicklungsprogramm (LEP) Berlin-Brandenburg („Hauptstadtregion“) wird bezüglich der Windenergienutzung auf Regionalpläne verwiesen, in denen entsprechende Eignungsgebiete (laut gemeinsamer Landesplanungsabteilung Berlin-Brandenburg (1996)) „Bereiche mit mittlerem bis geringem Konfliktpotenzial“ ausgewiesen sind. Von 2001 bis 2005 traten Teil-Regionalpläne

¹⁶ Mündliche Informationen vom Betreiber Frank Vach; zudem Informationen auf <http://www.windenergie-berlin.de> (10.10.2009).

zur Steuerung der Windenergienutzung in den Regionen Uckermark-Barnim, Prignitz-Oberhavel, Oderland-Spree, Lausitz-Spreewald (seit 2007 unwirksam) und Havelland-Fläming in Kraft. Allgemein verweist das LEP beim Thema Wind auf die Notwendigkeit, bisher zur Primärproduktion von Nahrungsmitteln genutzte landwirtschaftliche Flächen aufgrund einer Neuausrichtung der Landwirtschafts- und Energiepolitik auf die Erzeugung regenerativer Energie umzustellen (GL Berlin-Brandenburg 2007).

Berliner Stadtgüter

Auf den in Brandenburg gelegenen Flächen der Berliner Stadtgüter GmbH sind **heute bereits 28 Windenergieanlagen** mit einer Gesamtleistung von ca. 38 MW installiert, die Hälfte davon in in Regionalplänen ausgewiesenen Windeignungsgebieten. Diese Anlagen erzeugen ca. 75.000 MWh Elektrizität pro Jahr (Umweltplan 2008). Da diese Stromerzeugung jedoch nicht in den Energiebilanzen des Landes Berlin, sondern in denjenigen Brandenburgs ausgewiesen wird, wird sie zur besseren Vergleichbarkeit auch in diesem Bericht nicht in der Gesamtschau zum Status Quo aufgeführt, sondern nur nachrichtlich erwähnt. In den Abschnitten zu zukünftigen Potenzialen werden diejenigen auf Flächen der Berliner Stadtgüter jedoch einbezogen.

2.6.2 Wasserkraft

In Berlin wird Wasserkraft derzeit nicht zur Energieerzeugung genutzt. Laut der „Potentialstudie der nutzbaren Wasserkraft im Land Berlin“ der Berliner Kraftwerks- und Anlagenbau aus dem Jahr 1992 wurde der Betrieb der letzten Berliner Wasserkraftanlage in Spandau (50 PS-Turbine) 1962 eingestellt (Kraftwerks- und Anlagenbau AG 1992, Pos. 4: 3).

2.6.3 Sonstige erneuerbare Energien

Das Spektrum der Erneuerbaren Energien wird je nach Begründungszusammenhang unterschiedlich weit gefasst. So werden z.B. im Geltungsbereich des EEG auch Klär-, Deponie- und Grubengas aufgeführt, obgleich insbesondere letztere keine regenerative Energiequelle darstellt. Bei Klär- und Deponiegasen handelt es sich um biogene Gase, die aus Abfallströmen entstehen. Nach dieser Logik wird auch teilweise auch die **Wärmerückgewinnung aus Abwasser** den erneuerbaren Energien zugerechnet, wobei es sich hierbei im engeren Sinne eher um eine Energieeffizienzmaßnahme handelt, bei der bereits erwärmtes Abwasser erneut genutzt wird. Ein Berliner Beispiel für eine solche Anwendung ist eine Kreuzberger Turnhalle, die auf diese Weise beheizt wird (Tagespiegel 2006).

Auch die Nutzung von (produziertem) **Wasserstoff** oder die **Elektromobilität** wird oftmals den Erneuerbaren hinzugerechnet. Hierbei handelt es sich jedoch um Speicher- bzw. Konversionstechnologien. Diese können durchaus auch mit regenerativen Energien hergestellt bzw. gespeist werden, was sie zusammen mit ihren Emissionsvorteilen bei der Endenergiebereitstellung insbesondere für urbane Anwendungen ökologisch vorteilhaft macht. In Berlin existierten 2008 14 wasserstoffbetriebene BVG-Busse, die mit Mitteln eines EU-Projekts und im Rahmen der „Clean Energy Partnership Berlin“ eingeführt wurden, deren kontinuierlicher Betrieb gegenwärtig noch nicht gewährleistet ist (Tagesspiegel 2009). Im Bereich Elektromobilität gehört Berlin zu einigen wenigen, ausgewählten Pilotstandorten in Deutschland. Im Februar 2009 wurde von Vattenfall in Kooperation mit BMW die erste Berliner Elektrotankstelle mit Erprobung eines intelligenten Lademanagements in Betrieb genommen (IWR 2009).

2.7 Gesamtschau der verfügbaren Daten und Vergleich mit Energiebilanzen

Alle verfügbaren und ermittelten Daten zur Entwicklung der Nutzung erneuerbarer Energien in Berlin sind in aggregierter Form in Tab. 2.11 dargestellt. Wurden Felder leer gelassen, lagen für die jeweiligen Jahre und Sparten keine Daten vor, gab es im jeweiligen Sektor noch keine Strom- bzw. Wärmeerzeugung aus EE, ist eine Null (0) in das jeweilige Feld eingetragen. Für das Jahr 2009 wurde aufgrund der Vielzahl noch nicht verfügbarer Werte keine Summe gebildet. Anschließend erfolgte der Vergleich mit Energiebilanzen, siehe Tab. 2.13

Die ermittelte Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien für die Jahre 2005-2008 (für diese Jahre konnte jeweils ein relativ vollständiger Datensatz ermittelt werden) wird in Tab. 2.12 mit dem gesamten **Strom- bzw. Wärmeverbrauch** dieser Jahre in Beziehung gesetzt. Diese Verbräuche wurden folgendermaßen ermittelt:

- **Strom:** für die Jahre 2005 und 2006 konnte der Endenergieverbrauch Strom aus der Energiebilanz (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2009) entnommen werden (abzüglich Stromverbrauch durch Verkehr). Die Werte für die folgenden Jahre wurden durch lineare Interpolation mit Hilfe des von der Berliner Energieagentur für das Jahr 2020 prognostizierten Wertes (Zielszenario) ermittelt. Für das Jahr 2006 wird ein Stromverbrauch (exkl. Verkehr) von 12.376 GWh, für 2007 von 12.204 GWh und für 2008 von 12.034 GWh unterstellt
- **Wärme:** Für die Jahre 2005 (42.767 GWh) und 2020 (Zielszenario) standen Werte der BEA zur Verfügung, die Wärmeverbräuche für die dazwischen liegenden Jahre wurden durch lineare Interpolation ermittelt. Für das Jahr 2006 wird ein so ermittelter Wärmeverbrauch von 42.480 GWh, für 2007 von 42.293 GWh und für 2008 von 41.906 GWh angenommen.

Tab. 2.11: Gesamtschau Nutzung erneuerbarer Energien in Berlin

	EE gesamt (exkl. Biokraftstoffe)		Solarenergie		Biomasse / biogene Reststoffe			Windenergie	Wasserkraft	Wärmepumpen
			Photovoltaik	Solarthermie	Biomasse/ biogene Reststoffe		Biokraftstoffe (Bezüge)			Luft- und Erdwärme
	MWh _{el}	MWh _{th}			MWh _{el}	MWh _{th}		MWh _{el}	MWh _{th}	
1990	22	1.063	22	1.063				0	0	
1991	42	1.373	42	1.373				0	0	
1992	110	1.575	110	1.575				0	0	
1993	164	1.776	164	1.776				0	0	
1994	207	2.219	207	2.219				0	0	
1995	284	2.584	284	2.584				0	0	
1996	380	3.071	380	3.071				0	0	
1997	517	3.311	517	3.311				0	0	
1998	858	4.017	858	4.017				0	0	
1999	1.424	5.456	1.424	5.456				0	0	
2000	2.273	8.509	2.273	8.470	0	39		0	0	
2001	2.915	11.417	2.915	11.355	0	62		0	0	
2002	3.232	12.430	3.232	12.341	0	89		0	0	
2003	3.387	15.575	3.387	15.486	0	89		0	0	
2004	3.749	16.551	3.749	16.366	0	185	234.000	0	0	
2005	125.344	304.776	4.344	17.246	121.000	259.752	472.000	0	0	27.778
2006	170.692	459.439	5.207	18.810	165.485	403.817	860.000	0	0	36.812
2007	262.867	755.304	6.233	21.175	256.634	688.214	960.000	0	0	45.915
2008	279.086	809.516	8.203	22.872	268.483	731.627	781.000	2.400	0	55.017
2009								5.100	0	64.279

Quelle: Eigene Daten

In Tab. 2.12 sind die Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien mit und ohne Abzug des von Wärmepumpen verbrauchten Stroms für die Jahre 2005-2008, sowie die Anteile am gesamten Strom- und Wärmeverbrauch (Endenergieverbrauch) Berlins dargestellt. Abb. 2.6 und Abb. 2.5 zeigen die Strom- bzw. Wärmeerzeugung durch erneuerbare Energien in diesen vier Jahren. Biokraftstoffe sind in dieser Aufstellung nicht enthalten.

Tab. 2.12: Gesamtschau erneuerbare Energien in Berlin 2005-2008

	Einheit	2005	2006	2007	2008
EE-Stromerzeugung gesamt	GWhel	125,3	170,7	262,9	279,1
EE-Anteil an Strom- verbrauch gesamt	%	1,1%	1,4%	2,2%	2,3%
Biomasse	GWhel	121,0	165,5	256,6	268,5
<i>Anteil an EE-Strom</i>	%	96,5%	96,9%	97,6%	96,2%
PV	GWhel	4,3	5,2	6,2	8,2
<i>Anteil an EE-Strom</i>	%	3,5%	3,1%	2,4%	2,9%
Wind	GWhel	0	0	0	2,4
<i>Anteil an EE-Strom</i>	%	0%	0%	0%	0,9%
EE-Stromerzeugung abzüglich Strom für Wärmepumpen	GWhel	118,1	161,1	250,8	264,7
Wärmeerzeugung gesamt	GWhth	304,8	459,4	755,3	809,5
EE-Anteil an Wärme- verbrauch gesamt	%	0,7%	1,1%	1,8%	1,9%
Biomasse	GWhth	259,8	403,8	688,2	731,6
<i>Anteil an EE-Wärme</i>	%	85,2%	87,9%	91,1%	90,4%
Solarthermie	GWhth	17,2	18,8	21,2	22,9
<i>Anteil an EE-Wärme</i>	%	5,7%	4,1%	2,8%	2,8%
Wärmepumpen	GWhth	27,8	36,8	45,9	55,0
<i>Anteil an EE-Wärme</i>	%	9,1%	8,0%	6,1%	6,8%
Energieerzeugung gesamt	GWh	430,1	630,1	1.018,2	1.088,6
EE-Anteil an Energie- verbrauch gesamt	%	0,8%	1,1%	1,9%	2,0%

Quelle: Eigene Daten

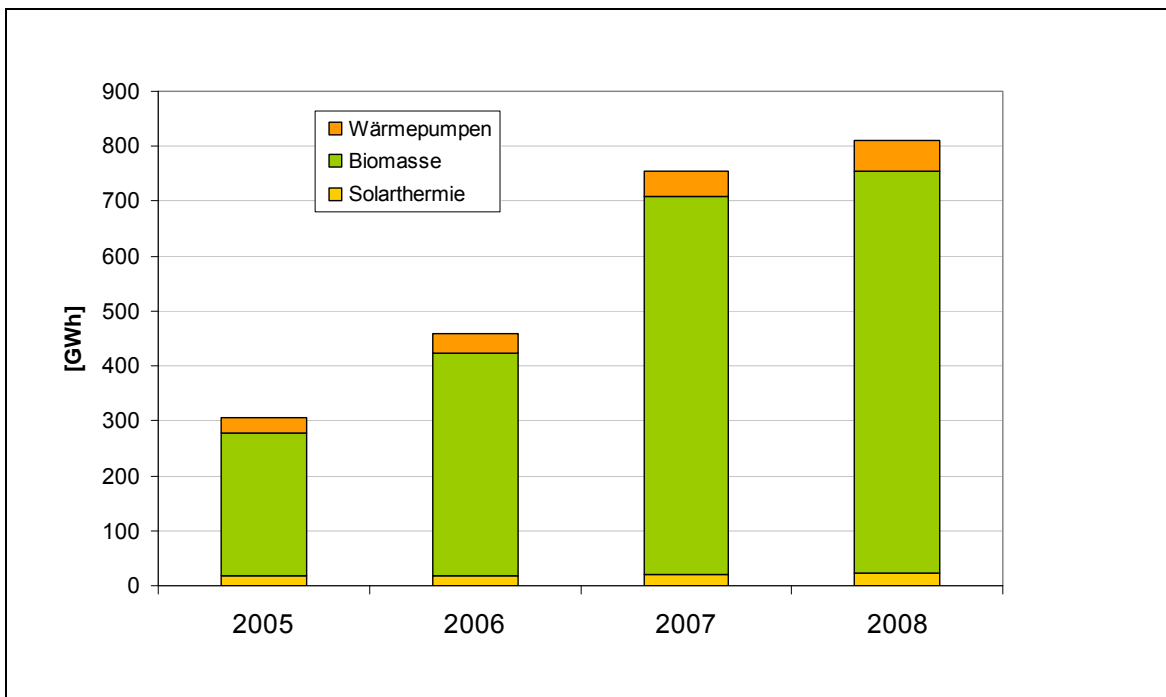


Abb. 2.5: Wärmeezeugung aus erneuerbaren Energien 2005-2008

Quelle: Eigene Darstellung

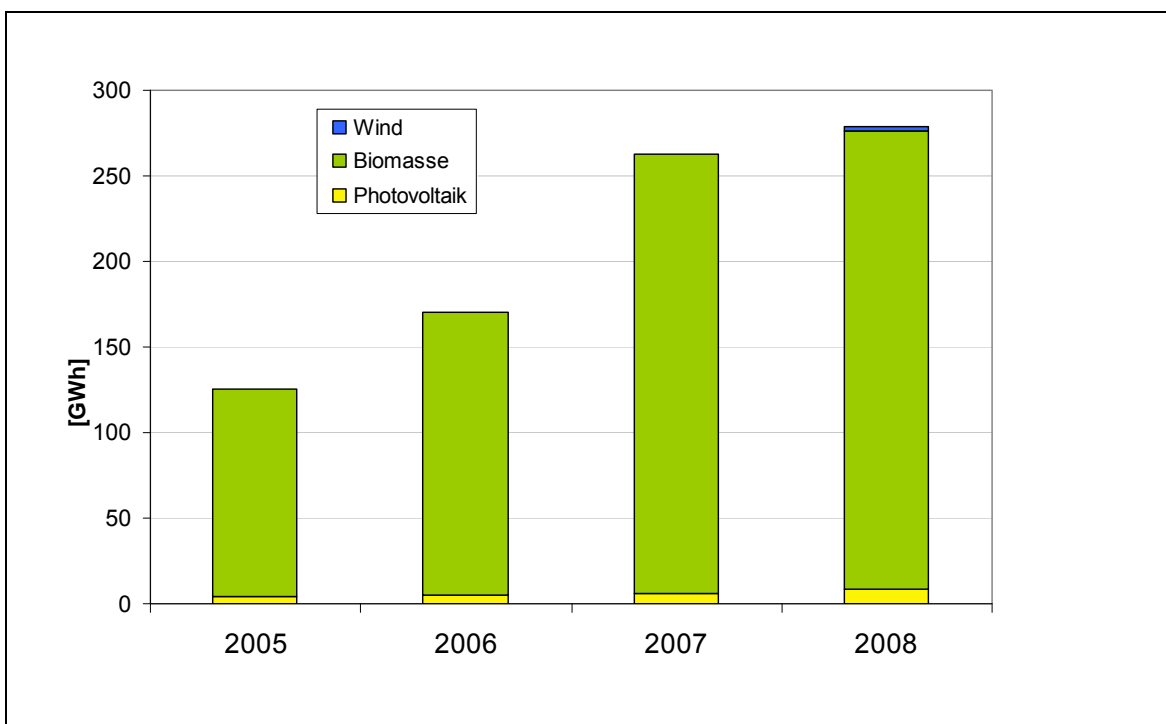


Abb. 2.6: Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien 2005-2008

Quelle: Eigene Darstellung

Für den Vergleich der oben ermittelten Werte mit Daten aus der Berliner Energiebilanz müssen zunächst alle Energiedaten in Terajoule umgerechnet werden. Im zweiten Schritt werden die Daten der Energiebilanz um die Werte für Biokraftstoffe bereinigt, da hierfür keine neuen Daten ermittelt werden konnten. Für den Vergleich wurden die beiden letzten Jahre der Energiebilanz ausgewählt, für die gleichzeitig die vollständigsten Datensätze unserer Studie vorliegen und die Datenlage als verhältnismäßig gut eingestuft werden kann. Die nachfolgende Tabelle zeigt einen hohen Grad der Übereinstimmung mit den in Energiebilanzen aufgeführten Werten.

Tab. 2.13: Vergleich ermittelter Werte mit Primärenergieverbrauch in Energiebilanzen

	EE gesamt - ohne Biokraft- stoffe	EE gesamt - ohne Biokraft- stoffe	EE gesamt laut Energiebilanzen ohne Biokraft- stoffe	Abweichung ermittelter Werte von Energiebi- lanzen
	MWh	TJ	TJ	%
2005	430.120	1.548	1.647	-6
2006	630.131	2.268	2.198	+3

Quelle: Eigene Berechnungen und Zusammenstellung von Daten aus Energie- und CO₂-Bilanzen für das Land Berlin (Statistisches Landesamt Berlin 2005; Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2009, 2008a, 2007)

3 Screening von Methoden für die Potenzialermittlung

Zur Ermittlung von Potenzialen im Bereich der Erneuerbaren Energien liegen noch keine standardisierten Methoden vor. Dies hat zur Folge, dass in den mittlerweile stark zunehmenden Studien zu EE-Potenzialen in Kommunen, Regionen und Städten höchst verschiedene Methoden bzw. Vorgehensweisen angewendet werden, die zu unterschiedlichen und daher in der Regel nur schlecht vergleichbaren Ergebnissen führen. Bei den meisten „Methoden“ handelt es sich eher um einfache Abschätzungen oder Hochrechnungen auf der Basis von politischen (oder von Studienautoren gesetzten) Zielwerten, bei anderen werden z.B. energetische oder gebäudebezogene Kenngrößen verwendet.

Die Problematik der Wissenschaftlichkeit der Analyse und der Vergleichbarkeit der Ergebnisse beginnt in der Regel bereits beim Potenzialbegriff. Daher wird an dieser Stelle zunächst eine Erläuterung und Festlegung bzw. Eingrenzung für die nachfolgende Untersuchung vorgenommen. Im Anschluss daran erfolgt eine Auswertung diverser Energie- und Klimaschutzkonzepte von Städten und Regionen sowie anderer Potenzialstudien hinsichtlich ihrer methodischen Ansätze zur Potenzialbestimmung erneuerbarer Energien.

3.1 Potenzialbegriff

Für die Ermittlung technischer Potenziale wird eine Vielzahl verschiedener Begriffe verwendet; dies gilt auch für den Bereich der Potenziale zur Nutzung Erneuerbarer Energien. Ein einheitlicher Standard existiert auch hier nicht, jedoch werden in der Literatur besonders häufig die folgende Potenziale unterschieden (Kaltschmitt et al. 2003a: 20ff):

- **Theoretisches Potenzial:** das in einem bestimmten geographischen Raum in einer bestimmten Zeitspanne theoretisch nutzbare physikalische Energieangebot (z. B. Sonneneinstrahlung innerhalb eines Jahres)
- **Technisches Potenzial:** Teil des theoretischen Potenzials, der unter Beachtung technischer Restriktionen nutzbar ist – oft werden auch andere „unüberwindbare“ Einschränkungen (z. B. gesetzliche Regelungen) bei der Ermittlung des technischen Potenzials berücksichtigt. Im Rahmen des technischen Potenzials kann zwischen dem Angebotspotenzial (Erzeugungspotenzial, ausschließlich angebotsseitige Restriktionen) und dem Nachfragepotenzial (Endenergiepotenzial, auch nachfrageseitige Restriktionen) unterschieden werden. Diese Unterscheidung ist beispielsweise im Fall der Wärmeerzeugung durch Solarthermie sinnvoll, da das Energieangebot den Bedarf an Niedertemperaturwärme in Deutschland übersteigt.
- **Wirtschaftliches Potenzial:** Teil des technischen Potenzials, der wirtschaftlich genutzt werden kann. Er ist abhängig von einer Vielzahl von Parametern, besonders großen Einfluss kann z. B. die Höhe der angenommenen Energiepreise haben. Das wirtschaftliche Potenzial kann unter einem volks- oder betriebswirtschaftlichen Blickwinkel betrachtet werden.
- **Erschließbares Potenzial:** Potenzial, das unter dem Einfluss verschiedener Restriktionen und Hemmnisse (z. B. Herstellerkapazitäten, administrative Hürden), jedoch auch Anreizen (Fördermaßnahmen, Vergütungen, Informationskampagnen) tatsächlich erschlossen wird.

Vor dem Hintergrund dieser Begriffsabgrenzung sind die nachfolgenden Untersuchungen wie folgt ausgerichtet:

- Die Abschätzung **langfristiger EE-Potenziale** in Berlin erfolgt im Sinne der Ermittlung von theoretisch-technischen Potenzialen. Viele grundlegende „technische“ Restriktionen – insbesondere Infrastrukturen und Gebäude – haben dauerhafteren Charakter und sind daher tendenziell weniger veränderlich als wirtschaftliche. Dennoch werden auch Annahmen für Änderungen technischer Randbedingungen getroffen, z.B. Änderungen im Wärmeleitungsnetz oder Grundsanierungen bzw. Abriss und Neubau von Gebäuden.
- Für den **Betrachtungshorizont 2020** wird versucht, erschließbare Potenziale zu ermitteln, die zum Teil auch die Frage der Wirtschaftlichkeit umfassen. Dies gilt insbesondere für den Wärmebereich, in dem viele verschiedene Technologien miteinander konkurrieren, weniger jedoch für die EEG-Stromerzeugung, deren Wirtschaftlichkeit durch die garantierte Vergütung in einigen Anwendungsbereichen sichergestellt ist. Hier sind eher andere Restriktionen und Hemmnisse von Bedeutung, die ebenso wie die Frage der (voraussichtlichen) Rahmenbedingungen so weit möglich beachtet werden.

Für Details zu den verwendeten – unterschiedlichen - Methoden der Potenzialanalyse in den verschiedenen EE-Bereichen wird auf die jeweiligen Unterkapitel verwiesen.

3.2 Methodenvielfalt – Übersicht ausgewerteter Studien

Um eine Orientierung und möglicherweise „best practice“ in der Anwendung von Methoden zur EE-Potenzialbestimmung zu ermitteln, wurden eine Reihe aktueller Energie- und Klimaschutzkonzepte ausgewertet. Diese sind in Tab. 3.1 aufgelistet. Darüber hinaus wurden eine Reihe weiterer relevanter Studien einbezogen, in denen grundlegende Arbeiten zur Potenzialermittlung durchgeführt wurden.

Tab. 3.1: Bezüglich der verwendeten EE-Potenzialermittlungsmethoden ausgewertete Energie- und Klimaschutzkonzepte

Ort	Titel	Ersteller / Jahr
Augsburg	CO ₂ -Minderungskonzept für die Stadt Augsburg	Ifeu (2004)
Bremen	Aktionsprogramm Klimaschutz 2010	Freie Hansestadt Bremen (2008)
Darmstadt	Klimaschutzkonzept für die Wissenschaftsstadt Darmstadt	IWU et al. (2002)
Frankfurt Main	Energie- und Klimaschutzkonzept für die Stadt Frankfurt a. M. 2008	Ifeu (2008a)
Freiburg	Klimaschutz-Strategie der Stadt Freiburg – Abschlussbericht: Szenarien und Maßnahmenplan	Öko-Institut (2007)
Hamburg	Fortschreibung Klimaschutzkonzept Hamburg 2008	Senat Hamburg (2008)
Hamburg	Klimaschutzkonzept Hamburg 2007-2012	Senat Hamburg (2007)
Hamburg	Das Steinkohle-Kraftwerk Hamburg Moorburg und seine Alternativen	ifeu/ arrhenius (2007)
Hamburg	Klimafaktor Metropole – Klimaschutzkonzept Erneuerbares Wilhelmsburg	IBA Hamburg (2008)

Ort	Titel	Ersteller / Jahr
Heidelberg	Klimaschutzkonzept Heidelberg 2004 (Fortschreibung)	Stadt Heidelberg/ ifeu (2006)
Mainz	Energiekonzept Mainz 2005-2015 Energie und Verkehr	ifeu (2008b)
München	Kommunale Strategien zur Reduktion der CO ₂ -Emissionen um 50 % am Beispiel der Stadt München	Öko-Institut (2004)
München	Sustainable urban infrastructure: Ausgabe München – Wege in eine CO ₂ -freie Zukunft	Wuppertal Institut / Siemens (2009)
Metropolregion Rhein-Neckar	Potenzialabschätzung 100 % Strom aus Erneuerbaren Energien in der Metropolregion Rhein-Neckar bis 2030	UnternehmensGrün (2008)

Quelle: Eigene Zusammenstellung

Alle Studien wurden hinsichtlich der verwendeten Methoden in den verschiedenen EE-Bereichen ausgewertet und eine qualitative Einschätzung zur Güte und Verwendbarkeit der jeweiligen Methoden gegeben. Nachfolgend werden die Ergebnisse dieses Screenings je EE-Technologie dargestellt. Dabei wird zunächst jeweils die Auswertung grundsätzlich geeigneter Methoden gegeben, die in der Literatur benannt werden, im zweiten Schritt werden die in den Energie- und Klimaschutzkonzepten angewendeten Methoden zusammengestellt.

Die Auswertung dieses Screenings ist ausführlich im Anhang wiedergegeben. Als ein zentrales Ergebnis ist festzuhalten, dass erstens keine „best practise“-Methoden festzustellen waren und zweitens keine, auch keine mehrheitlich einheitliche Anwendung von ähnlichen Methoden erfolgt. Diesbezüglich ist sowohl Forschungsbedarf als auch Standardisierungsbedarf zu konstatieren. Aus diesem Grund wurden im Rahmen dieser Studie technologiespezifische Methoden zur Potenzialermittlung angewendet, die sich erstens an der Situation in Berlin (Standortspezifika wie z.B. der Gebäudestruktur), zweitens am jeweiligen Ausbaustand (z.B. in Bezug auf die Frage vom Stand der Technologiediffusion/ Markteinführung) und drittens der Datenlage bzw. relevanten Vorarbeiten (z.B. Solaranlagenkataster und Solarer Rahmenplan) orientieren. Zudem werden unterschiedliche Methoden zur Ermittlung von Langfristpotenzialen und den Potenzialen für 2020 angewendet, die jeweils im Rahmen der nachfolgenden beiden Kapitel dargestellt werden.

4 Langfristige, technische Potenziale in Berlin

Nachfolgend werden im ersten Schritt zunächst langfristige Potenziale für die verschiedenen EE-Technologien ermittelt. Dabei wird - gemäß der obigen Abgrenzung des Potenzialbegriffs – ein technisches Potenzial ausgewiesen, welches z.B. bauliche Restriktionen berücksichtigt. Darüber hinaus wird der Terminus „langfristig“ hier als ein – zumindest in Bezug auf Bau- und Sanierungszyklen – einschätzbarer Zeitrahmen bis ca. 2050 angesetzt. Es wird davon ausgegangen, dass bis 2050 die Gebäude- und Infrastruktur sowie die Flächenverteilung nicht vollständig verändert hat sondern in wesentlichen Zügen noch mit dem heutigen Ausgangszustand vergleichbar ist. Dennoch ist darauf hinzuweisen, dass auch die Ermittlung dieses „technischen“ Potenzials in hohem Maße theoretische Züge aufweist, da der Zeitraum in jedem Fall zu lang für deterministische Aussagen ist.

Als Bezugswerte für diese „langfristigen“, also für das Jahr 2050 abgeschätzten Berliner Gesamtstrom- und Wärmebedarfe dienten die Ausgangsdaten der Berliner Energieagentur (BEA) für das Zielszenario 2020. Aus diesen wurde wiederum auf Basis der für 2050 angegebenen bundesweiten Bedarfswerte gemäß BMU-Leitszenario 2009 (BMU 2009c) Berliner Energiebedarfswerte für 2050 ermittelt. Der so ermittelte Strombedarf für Berlin beträgt im Jahr 2050 ca. 9.390 GWh, der entsprechende Wärmebedarf ca. 25.310 GWh.

4.1 Solarenergie

Als Grundlage für die Ermittlung technischer Langfristpotenziale für die Nutzung von Solarenergie standen Studien zu zwei bereits durchgeführte Potenzialermittlungen zur Verfügung:

- Der „solare Rahmenplan Berlin“ von Everding et. al (2006), für den eine auf Stadtraumtypen basierende Ermittlung der für die Nutzung von Solarenergie verfügbaren Dach- und Fassadenflächen in Berlin vorgenommen wurde.
- eine Abschätzung der „Nutzungspotenziale für Windenergie und Freiflächen Photovoltaik“ auf den in Brandenburg gelegenen Berliner Stadtgütern durch die umweltplan projekt GmbH (2008).

4.1.1 Stadtgebiet Berlin

Die hier dargestellte Ermittlung von Langfristpotenzialen zur Nutzung von Solarenergie basiert zu großen Teilen auf dem 2006 fertig gestellten „Solaren Rahmenplan Berlin“ von Everding et. al (2006). Dessen Ergebnisse sind auch in den digitalen Umweltatlas Berlin (SenStadt 2008b) integriert.

Grundlage für die Abschätzung von solarenergetisch nutzbaren Flächen bildet die Definition von Stadtraumtypen, die im Forschungsprojekt „Leitbilder und Potenziale eines solaren Städtebaus“ (unter der Leitung von Ecofys, 2004 abgeschlossen) durchgeführt wurde. Die Typologisierung erfolgt unter drei Gesichtspunkten (Everding et al. 2006):

- Entstehungsgeschichte (städtebauliche Struktur)
- Abgrenzung nach für die Solarenergienutzung besonders günstigen / ungünstigen technischen und baulichen Voraussetzungen

- erkennbarer Nutzungsänderungs- und Modernisierungsbedarf in den kommenden zwei Jahrzehnten (Einflussnahme durch Stadtplanung und Stadtsanierung)

Die Anpassung der Stadtraumtypen an die Berliner Stadtstruktur erfolgte auf Grundlage der „ISU Stadtstrukturtypen-Karte“ Berlin 2001 (vgl. SenStadt 2008a, Version 2008). Die dort verzeichneten Blockstrukturen wurden übernommen. Wenn pro Block zwei oder mehrere Stadtraumtypen zu erkennen waren, wurde derjenige mit dem höchsten Anteil an Nettobauland (NBL)¹⁷ ausgewiesen. In Einzelfällen und zur Kontrolle dieser Zuordnung wurden georeferenzierte Luftbilder zur Einstufung von Gebäuden nach Alter und Nutzung verwendet - im Zweifelsfall erfolgte eine Bewertung nach Luftbildern. Zusätzliche Informationen wurden aus einer Gebäudealterskarte (für einige Bezirke, 1988), der Denkmalliste und anderen auf dem FIS-Broker der SenStadt verfügbaren Plänen gewonnen. Angaben zur Fernwärmeversorgung der Baublöcke wurden der GIS-Datei „überwiegende Heizungsarten in Berlin“ (vgl. SenStadt 2005) entnommen. Entscheidend war dabei nicht der Anteil der Fernwärmeversorgung innerhalb eines Gebietes, sondern das Vorhandensein eines Fernwärmenetzes überhaupt, das eine 100 %ige Nutzung in Zukunft ermöglichen könnte. Die für Berlin definierten Stadtraumtypen, entsprechende ISU-Flächentypen, Flächenanteile sowie andere wichtige städtebauliche Charakteristika gemäß solarem Rahmenplan sind in Tab. 4.1 zusammengestellt.¹⁸

Tab. 4.1: Flächenanteile, entsprechende ISU-Flächentypen und andere wichtige Charakteristika der Stadtraumtypen in Berlin gemäß solarem Rahmenplan

Stadtraumtyp	Typ-Nr.	Netto- bauland (NBL)	ISU-TYP	Ge- schoss- flächen- zahl (GFZ)	Nutz- fläche (NFL)	NFL mit Fern- wärme	
		1000m ²			%	1000m ²	1000m ²
Innerstädtische Baublöcke oft City-Randlage (Quartiere der Gründer- und Vorkriegszeit mit Mischnut- zung)	1	34.832	8,9	1-6 komplett, 38 teilw.	2	52.248	14.397
Gewerbe und Industrie- komplexe der Gründer- und Vorkriegszeit	2	7.457	1,9	31 komplett, 29,30,92 teilw.	1	5.593	2.776
Zweckbau/öffentliche Einrichtungen bis 1939	3	17.355	4,4	12 komplett, 14,41,42, 43,44,45, 46,49,60 teilw.	1	13.016	7.074

¹⁷ Das Nettobauland entspricht dem Bruttobauland abzüglich der Grün- und anderer Gemeinflächen (Spielplätze, Versorgungseinrichtungen etc.) sowie der Verkehrsflächen (Straßen, Gehwege, Parkstreifen), die nicht dem einzelnen Grundstück zugehörig sind (z. B. gehören auf einem Grundstück befindliche Garagen zum Nettobauland).

¹⁸ ISU-Flächentypen stammen aus der Stadtstruktur des Berliner Informationssystems Stadt und Umwelt. Dabei handelt es sich um eine Kategorisierung der Flächen auf Basis landschaftsökologischer Gesichtspunkte, die sich auf Kubaturen von Baukörpern sowie deren Gruppierung konzentriert, jedoch auch das Verhältnis von Freiflächen und Überbauung etc. einbezieht. ISU-Flächentypen wie die Stadtraumtypen des solaren Rahmenplans teilen das Nettobauland nach verschiedenen Bebauungsarten auf.

Stadtraumtyp	Typ-Nr.	Netto- bauland (NBL)		ISU-TYP	Ge- schoss- flächen- zahl (GFZ)	Nutz- fläche (NFL)	NFL mit Fern- wärme
		1000m ²	%			1000m ²	1000m ²
Werks- und Genossen- schaftssiedlungen (einheit- lich geplante Wohnquartie- re der Gründer- und Vorkriegszeit)	4	16.371	4,2	10,72 komplett	0,8	9.823	3.678
Einfamilienhausgebiete, Villen- und Beamtenviertel (lockere Wohnbebauung der Gründer- und Vor- kriegszeit)	5	30.054	7,7	21,25 komplett, 22,23,26 teilw.	0,4	9.016	1.061
Block- rand/Wiederaufbauensem- bles der 50er und 60er Jahre (auf altem Stadt- grundriss und in geschlos- sener Bauweise)	6	6.368	1,6	7 kom- plett	2	9.552	4.250
Siedlungen des sozialen Wohnungsbaus der 50er (Zeilenbauten)	7	24.252	6,2	8,11 komplett	0,8	14.551	6.698
Siedlungen des sozialen Wohnungsbaus der 60er Jahre	8	8.984	2,3	8,9,11 komplett	0,9	6.064	4.005
Geschosswohnungsbau der 70er Jahre	9	17.071	4,4	9 teilw.	1,4	17.925	15.150
Plattenbausiedlungen in Ost-Berlin der 80er Jahre	10	2.924	0,7	71 komplett	1,4	3.070	2.505
Einfamilienhausgebiete der der 50er, 60er, 70er Jahre	11	92.559	23,7	22,23,26, 33 teilw.	0,5	34.710	6.090
Zweckbauten der 50er, 60er, 70er Jahre	12	26.238	6,7	13,14,41, 42,43,44, 45,46,49, 60 teilw.	0,8	15.743	10.064
Gewerbe und Industrie der 50er, 60er, 70er Jahre	13	35.969	9,2	30,32 teilw.	0,8	21.581	8.725
Geschosswohnungsan- lagen seit den 80er Jahren	14	13.140	3,4	25,73 komplett	1	9.855	2.438
Einfamilienhausgebiete seit den 80er Jahren	15	7.955	2	74 komplett, 22,23 teilw.	0,5	2.983	626
Gewerbe und Industrie seit den 80er Jahren	16	12.393	3,2	30,32,33 teilw.	0,7	6.506	2.458
Zweckbau/öffentliche Einrichtungen, Büro und Infrastruktur seit den 80er Jahren	17	5.309	1,4	29,13,14, 41,42,43, 44,45,46, 49,60 teilw.	1,3	5.176	3.867
Zukünftige Einfamilien- hausgebiete (EFH- Gebiete)	18	12.067	3,1	/	0,6	5.430	846
Zukünftige Geschosswoh- nungsgebiete	19	7.471	1,9	/	1	5.603	182
Zukünftige Gewerbegebie- te	20	9.524	2,4	/	1,6	11.429	406

Stadtraumtyp	Typ-Nr.	Netto- bauland (NBL)		ISU-TYP	Ge- schoss- flächen- zahl (GFZ)	Nutz- fläche (NFL)	NFL mit Fern- wärme
		1000m ²	%			1000m ²	1000m ²
Zukünftige Dienstleis- tungsstandorte	21	1.842	0,5	/	2	2.763	147
Summe		390.135				262.638	97.443

Quelle: eigene Zusammenstellung nach Everding et al. (2006)

Zur Abschätzung der Eignung der definierten Stadtraumtypen für eine solarenergetische Nutzung wurde jedem der 21 Berliner Stadtraumtypen ein Referenzgebiet im Stadtraum zugeordnet. Als Referenz dienen Gebiete in denen bereits Solar- bzw. Energieprojekte durchgeführt wurden, für die Planungsempfehlungen erstellt werden sollten, oder die für Berlin charakteristisch sind (Everding et al. 2006: 13). Für diese wurden im Anschluss energetische Lösungsmodelle und entsprechende Kennzahlen (z. B. Heizwärmebedarf, aktive Deckung etc.) ermittelt (Everding et al. 2006: 14), siehe Tab. 4.2.

Tab. 4.2: Kennzahlen der energetischen Lösungsmodelle gemäß solarem Rahmenplan

Typ- Nr.	Referenzgebiet	Länger- fristiger Heizbe- darf ¹ kWh/m ² a	Warm- wasser-/ Hilfs- energie- bedarf kWh/m ² a	Aktive Deckung		Solothermieflächen		PV Modul- flächen m ² /1000 m ² NBL
				Heizung	WW	Dach	Fassade	
				%		m ² /1000m ² NBL		
1	Block 103, Kreuz- berg	50	17	0 %	0 %	0	0	45
2	Umspann- werk/Gewerbehof Winsstr., Prenzlauer Berg	50	5	0 %	0 %	0	0	400
3	Grundschule Christ- burger Str., Prenz- lauer Berg	70	5	0 %	15 %	30	0	0
4	Siedlung Damm- weg, Neukölln	50	17	0 %	60 %	45	0	0
5	Gustav-Freytag-Str., Grünwald	70	17	25 %	60 %	45	0	0
6	Hübnerstr., Fried- richshain (Fried- richsHeim e. G.)	70	17	20 %	50 %	290	0	0
7	Bornitzstr, Lichten- berg (Mercur WBG)	50	17	40 %	60 %	80	0	30
8	Falkenhagener Feld, Siegenerstr., Span- dau	50	17	50 %	50 %	0	55	70
9	Hochhaus Salcher- dorfer Weg, Span- dau	40	17	0 %	0 %	0	0	85
10	Emrichstr., Köpenick	40	17	0 %	0 %	0	0	200
11	Im Spektfeld, Spandau	50	17	40 %	60 %	30	0	20

Typ-Nr.	Referenzgebiet	Längerfristiger Heizbedarf ¹	Warmwasser-/ Hilfsenergiebedarf	Aktive Deckung		Solothermief Flächen		PV Modulflächen
				Heizung	WW	Dach	Fassade	
		kWh/m ² a	kWh/m ² a	%		m ² /1000m ² NBL		m ² /1000 m ² NBL
12	Schulzentrum, Im Spektefeld, Spandau	70	5	0 %	10 %	0	0	10
13	Hafen Neukölln	60	5	0 %	0 %	0	0	130
14	Am Petersberg, Zehlendorf	40	17	0 %	50 %	40	40	40
15	Weinmeisterhornweg, Spandau	50	17	0 %	65 %	10	18	10
16	Hafen Neukölln	50	5	0 %	0 %	0	0	400
17	Energieforum, Friedrichshain	50	5	0 %	0 %	0	0	350
18	Zukünftige EFH-Gebiete - keine Referenz	40	17	40 %	50 %	9	18	10
19	Zukünftige Geschosswohnungsgebiete - keine Referenz	30	17	30 %	60 %	40	40	40
20	Zukünftige Gewerbegebiete - keine Referenz	40	5	0 %	0 %	0	0	400
21	Zukünftige Dienstleistungsstandorte - keine Referenz	40	5	10 %	20 %	0	0	400

¹ Der längerfristige Heizwärmebedarf wie der Warmwasser- bzw. Hilfsenergiebedarf entsprechen dem für 2050 prognostizierten Wärmebedarf in Berlin

Quelle: eigenen Zusammenstellung nach Everding et al. (2006)

Der Sanierungsbedarf zur Abschätzung des Potenzials der umsetzbaren energetischen Sanierung basiert auf Studien des Instituts für Wohnen und Umwelt (zitiert in „Nachhaltiges Bauen und Wohnen in Deutschland“, Ökoinstitut für UBA 2004 (siehe Everding et al. 2006: 15)).

Auf Basis der beschriebenen Charakteristika wurden Gütezahlen (bezogen aufs NBL) für das technische und solarurbane Flächenpotenzial ermittelt und mit Hilfe der der städtebaulichen Dichte (ausgedrückt in Geschossflächenzahlen: GFZ = Bruttogeschossfläche / NBL) der Referenzgebiete an die Berliner Verhältnisse angepasst. Die wesentlichen Kriterien für eine technische Eignung sind die Besonnung am 21. 12. um 12 Uhr, sowie eine Südabweichung von weniger als 45 Grad. Das solarurbane Flächenpotenzial entspricht einer weiteren Eingrenzung des technischen Potenzials anhand folgender Kriterien:

- städtebauliche Kriterien und Eingriffsempfindlichkeit (z. B. Fassaden oft weniger gut geeignet)
- ausreichend Fensterfläche zur passiven Solarenergienutzung, ausreichende geeignete Flächen für die solarthermische Wärmeerzeugung sowie geeignete Flächen für die photovoltaische Stromerzeugung (bei Neubauvorhaben) vorhanden

- Solarthermie hat Vorrang vor Photovoltaik, letztere erhält jedoch die „bessere“ Fläche, da sie empfindlicher auf Verschattung reagiert.

Über technische und solarurbane Gütezahlen wurden anschließend die potenziell geeigneten Dach- und Fassadenflächen für die einzelnen Stadtraumtypen berechnet. Die Ergebnisse sind in Tab. 4.3 dargestellt.

Tab. 4.3: Technische und solarurbane Gütezahlen und entsprechende Flächenpotenziale für Berlin gemäß solarem Rahmenplan

Typ-Nr.	technische Gütezahl		solarurbane Gütezahl		Technisches Flächenpotenzial		Solarurbanes Flächenpotenzial	
	Dach/ NBL	Fassade/ NBL	Dach/ NBL	Fassade/ NBL	Dach/ NBL in 1000m ²	Fassade/ NBL in 1000m ²	Dach/ NBL in 1000m ²	Fassade/ NBL in 1000m ²
1	0,1	0,1	0,07	0	3.483	3.483	2.438	0
2	0,37	0,02	0,25	0	2.759	149	1.864	0
3	0,2	0,09	0,03	0	3.471	1.562	521	0
4	0,13	0,05	0,03	0	2.128	819	491	0
5	0,06	0,06	0,03	0	1.803	1.803	902	0
6	0,19	0,04	0,19	0	1.210	255	1.210	0
7	0,11	0,19	0,11	0	2.668	4.608	2.668	0
8	0,08	0,11	0,08	0,04	719	988	719	359
9	0,15	0,15	0,15	0,15	2.561	2.561	2.561	2.561
10	0,15	0,05	0,15	0,05	439	146	439	146
11	0,05	0,05	0,05	0,02	4.628	4.628	4.628	1.851
12	0,11	0,05	0,11	0,02	2.886	1.312	2.886	525
13	0,1	0,13	0,1	0,03	3.597	4.676	3.597	1.079
14	0,13	0,07	0,08	0,04	1.708	920	1.051	526
15	0,11	0,03	0,05	0,03	875	239	398	239
16	0,3	0,13	0,22	0,12	3.718	1.611	2.726	1.487
17	0,21	0,13	0,22	0,13	1.115	690	1.168	690
18	0,03	0,2	0,08	0,018	362	2.413	965	217
19	0,085	0,05	0,08	0,04	635	374	598	299
20	0,35	0,15	0,3	0,13	3.333	1.429	2.857	1.238
21	0,35	0,15	0,31	0,13	645	276	571	239
Summe					44.743	34.941	35.257	11.456

Quelle: eigene Zusammenstellung nach Everding et al. (2006)

Für die Solarenergie werden hier also die „technischen“ Langfristpotenziale als „solarurbanes Flächenpotenzial“ gemäß dem solaren Rahmenplan ausgewiesen. Dieser bezieht seine Langfristberechnungen auf das Jahr 2050 und geht davon aus, dass bis dahin in allen Stadtraumtypen städtebaulich und energetisch optimierte Lösungsmodelle umgesetzt wurden, die eine energetische Sanierung der Gebäudehülle einschließen.

Das solarurbane Flächenpotenzial differenziert noch nicht zwischen solarthermischem und photovoltaischem Potenzial. Bei der folgenden Potenzialermittlung wird zunächst jeweils das Potenzial ausgewiesen, das durch eine vollständige Nutzung des gesamten solarurbanen Flächenpotenzials für Photovoltaik- bzw. Solarthermieanlagen erreicht werden könnte. Zusätzlich erfolgt eine Aufteilung des solarurbanen Flächenpotenzials auf die solarthermische und photovoltaische Nutzung, da davon auszugehen ist, dass das Dach- und Fassadenflächenpotenzial im Regelfall nicht von beiden Technologien gleichzeitig genutzt werden kann. Dies gilt insbesondere unter der Annahme, dass kombinierte PV-Thermie-Kollektoren nur in Einzelfällen wirtschaftlich einsetzbar sein werden.

4.1.1.1 Potenziale für Solarthermie

Das technische Potenzial für Solarthermie beruht grundsätzlich auf dem gesamten, für Solaranlagen nutzbaren Flächen auf Dächern und an Fassaden in Berlin. Der solare Rahmenplan benennt als **technisches Flächenpotenzial** Berlins rund 80 Mio. m², davon 45 Mio. m² Dachfläche und 35 Mio. m² Fassadenfläche (siehe Tab. 4.3). Von diesen Flächen wurden im Jahr 2008 rund 62.000 m² für Solarkollektoren genutzt. Dies entspricht weniger als 0,1 % des gesamten technischen Flächenpotenzials. Ausgehend von einem durchschnittlichen Flächenertrag von 370 kWh/m² (FFU 2007: 31) könnte durch die Installation von Solarkollektoren auf der gesamten Fläche von 80 Mio. m² jährlich eine Wärmemenge von rund **29 Mio. MWh_{th}** erzeugt werden. Dieser Betrag entspricht rund 69 % des Ist-Verbrauchs im Jahr 2008 (41,9 Mio. MWh/a) bzw. sogar **mehr als 100 % des auf Basis des Zielszenarios und des BMU-Leitszenarios hochgerechneten Wärmebedarfs für 2050** (25,3 Mio. MWh/a). Da von einer weiteren Reduktion des Wärmebedarfs auszugehen ist, übersteigt wohl langfristig das technische Potenzial für Solarthermie den Wärmebedarf in Berlin.

Allerdings kann nicht davon ausgegangen werden, dass in diesem Umfang Solarkollektoren installiert werden, da deren Installation durch städtebauliche und technisch-wirtschaftliche Aspekte weiter eingeschränkt wird. Im solaren Rahmenplan ist deshalb neben dem technischen noch ein solarurbanes Flächenpotenzial ausgewiesen, das 46 Mio. m² beträgt (siehe Tab. 4.3). Auf der Grundlage dieses **solarurbanen Flächenpotenzials** läge die Wärmebereitstellung bei rund **17 Mio. MWh** im Jahr. Dies entspricht immer noch 41 % des heutigen (2008: 41,9 Mio. MWh) und **67 % des langfristigen Wärmebedarfs (2050)**.

Dennoch ist nicht davon auszugehen, dass diese hohen technischen bzw. solarurbanen Potenziale mittel- bis langfristig erschlossen werden können und somit der gesamte Wärmebedarf Berlins durch Solarwärme gedeckt werden kann. Denn erstens kommt für die berücksichtigten Flächen alternativ die Nutzung durch PV-Anlagen in Frage, und zweitens stellt die saisonale Diskrepanz sowie teilweise die räumliche Distanz zwischen der Erzeugung und der Abnahme eine Begrenzung dar. Hinzu kommt, dass im Bereich der Prozesswärme teilweise Temperaturen notwendig sind, die sich kaum oder nur mit sehr schlechten Wirkungsgraden über Solarwärme decken lassen.

Während die zuerst genannte Restriktion (Konkurrenz mit PV) hier zunächst vernachlässigt wird, erfolgt im Weiteren eine Einschränkung des solarthermischen Potenzials aufgrund der letztgenannten Restriktion: Im solaren Rahmenplan wird das für Solarthermie geeignete Flächenpotenzial weiter eingegrenzt, indem für die unterschiedlichen Stadtraumtypen Konzepte zum Einsatz von Solarwärme entwickelt werden. Dabei werden nur Konzepte zur Versorgung einzelner Gebäude (also keine netzgekoppelten Anlagen) und nur für Gebäude mit einem ganzjährigen Wärmebedarf berücksichtigt. Dies schließt bspw. Schulen und Bürogebäude aus, aber auch für einige Stadtraumtypen mit Wohngebäuden werden aufgrund dieser Einschränkungen keine bis sehr geringe Potenziale gesehen. Außerdem legt der Rahmenplan fest, dass in Gebieten mit Fernwärmeanschluss auch langfristig keine Solarwärme zum Einsatz kommt. Damit reduziert sich das Flächenpotenzial

für Solarkollektoren auf 9 Mio. m², dies sind nur 11 % des gesamten technischen Flächenpotenzials und rund 20 % des solarurbanen Flächenpotenzials. Zusätzlich wird in einigen Gebieten von geringen solaren Deckungsgraden für die Solarthermienutzung ausgegangen, so dass sich das langfristig erschließbare **Potenzial nach solarem Rahmenplan** auf rund **1,9 Mio. MWh_{th}** im Jahr reduziert. Dies sind nur 7,51 % des langfristigen auf Basis des Zielszenarios und des BMU-Leitszenarios prognostizierten Wärmebedarfs (2050). Dafür ist der Einsatz von Flächen im Umfang von 11 % des solarurbanen Flächenpotenzials notwendig.

Da in dem im solaren Rahmenplan ermittelten Potenzial zur Solarwärmebereitstellung

- weder die Möglichkeit der saisonalen Speicherung
- noch der Einspeisung von solarer Wärme in Nah- und Fernwärmenetze berücksichtigt wurde
- und hinzu kommt, dass bei der Potenzialermittlung nur Stadtraumtypen einbezogen wurden, die sich besonders gut für den Einsatz von Solarwärme eignen,

wird dieses Potenzial als deutlich zu niedrig für ein langfristig, technisches Potenzial eingeschätzt. Folgt man dieser Annahme, dann bewegt sich das **langfristig erschließbare technische Potenzial** demgemäß zwischen dem rein auf die vorhandenen Flächen bezogenen Wert von 46 Mio. m² (bzw. 17 Mio. MWh_{th}) – und damit einer Deckung des kompletten Wärmebedarfs für Raumwärme und Warmwasser über Solarthermie – und den im solaren Rahmenplan genannten nutzerseitigen Potenzialen in Höhe von 1,9 Mio. MWh_{th}.

Um den Anteil, der zukünftig für Solarthermieanlagen in Berlin vorrätig gehalten werden sollte – und damit nicht für Photovoltaikanlagen zur Verfügung steht – abzuschätzen wird die Annahme getroffen, dass nur 27 % des Wärmebedarfs in Berlin mittel- bis langfristig mittels Solarwärme gedeckt werden. Dieser Anteil kann nach solarem Rahmenplan langfristig nur in wenigen, besonders gut geeigneten Stadtraumtypen ohne saisonale Speicherung und Wärmenetze erreicht werden. Für die übrigen Gebiete kann dieser Wert nur unter Einsatz saisonaler Speicher sowie mit Hilfe von Wärmenetzen, die die Wärme von Gebäuden ohne Warmwasserbedarf im Sommer zu solchen mit Warmwasserbedarf weiter leiten, erreicht werden. Erste Pilotprojekte im Neubau, die saisonale Speicher und solare Wärmenetze integrieren, erreichen solare Deckungsgrade von 35-50 % (Morhart 2009). Davon ausgehend, dass sich auch zukünftig eine Reihe von Nichtwohngebäuden nur sehr bedingt für den Einsatz von Solarthermie eignet, gehen wir für die gesamte Stadt von einer langfristigen solaren Deckung von bis zu 27 % aus. Bei einem langfristigen Wärmebedarf von 25,3 Mio. MWh_{th} müssten für eine solare Deckung von 27 % 6,8 Mio. MWh_{th} bereitgestellt werden, wofür eine Dach- und Fassadenfläche von 18,4 Mio. m² benötigt würde. Damit stünden 27,6 Mio. m² bzw. 60 % des solarurbanen Flächenpotenzials für PV-Anlagen zur Verfügung.

Bundesweit wird vom BMU (2009b; basierend auf den Daten der Leitstudie 2008) als langfristiges Potenzial für Solarthermie ein Ertrag von 300 TWh/a auf Dach- und Siedlungsflächen genannt. Da im Jahr 2008 4,1 TWh solare Wärme erzeugt wurden ist das mehr als das siebzigfache des gegenwärtigen Anlagenbestands. Damit könnten 21 % des bundesweiten Wärmebedarfs im Jahr 2008 (1.400 TWh) gedeckt werden (BMU 2009b). Bei in der Zukunft sinkendem Wärmebedarf würde dieser Anteil dementsprechend deutlich höher ausfallen.

4.1.1.2 Potenziale für Photovoltaik

Durchschnittlich wird für eine PV-Leistung von 1 kWp eine Fläche von etwa 10 m² benötigt.¹⁹ Würde man diese Annahme auf das gesamte **solarurbane Flächenpotenzial** (s.o.) anwenden, könnten auf den im solaren Rahmenplan ermittelten Dach- und Fassadenflächen PV-Anlagen mit einer Gesamtleistung von rund 4.670 MWp installiert werden. Mit der aus der EEG-Jahresendabrechnung 2007 von Vattenfall Europe ermittelten Volllaststundenzahl von 677,5 h/a für Berlin kann daraus ein Stromerzeugungspotenzial von ca. 3.165 GWh pro Jahr berechnet werden – unter der sehr konservativen Annahme, dass sich dieser Durchschnittswert in der Zukunft nicht steigert. Eine solche Strommenge entspräche bereits ca. 34 % des für 2050 auf Basis der Prognose im Zielszenario der BEA sowie dem BMU-Leitszenario 2009 (BMU 2009c) ermittelten Strom-Endenergieverbrauchs. Mit weiter sinkenden Stromverbrauchsmengen würde demgemäß auch der Anteil des PV-Stroms weiter steigen.

Die hier verwendete Volllaststundenzahl von 2007 und das daraus resultierende Stromerzeugungspotenzial liegt damit allerdings bereits deutlich über der im solaren Rahmenplan ermittelten solaren Strommenge, da im SRP von einer Volllaststundenzahl i.H.v. lediglich 578 h/a ausgegangen wurde. Es ist allerdings im Gegenteil eher davon auszugehen, dass die Volllaststundenzahlen aufgrund verbesserter Anlagentechnik und -planung (Ausrichtung, Aufständigung, bessere Nutzung diffuser Strahlung etc.) bei gleichzeitig zurückgehender Förderung und damit steigenden Anforderungen an die solaren Erträge in den nächsten Jahren eher weiter erhöhen werden, so wie dies in den vergangenen Jahren bereits der Fall war. Ginge man demgemäß bei längerfristiger Perspektive von einer durchschnittlichen Volllaststundenzahl von 850 h/a aus, ergibt sich ein **solares Stromerzeugungspotenzial** von fast **4.000 GWh**, was einem Anteil von gut **42 % des Strombedarfs 2050** entspricht.

Geht man von einer Nutzung der in Berlin verfügbaren und geeigneten Dach- und Fassadenflächen durch **Photovoltaik und Solarthermie** aus, verringert sich das Stromerzeugungspotenzial aufgrund der Flächenkonkurrenz. Geht man vereinfachend davon aus, dass auf lange Frist etwa 60 % der Dach- und Fassadenflächen für die photovoltaische Nutzung zur Verfügung stehen (siehe 4.1.1.1), dann lassen sich darauf noch etwa 2.800 MWp PV-Leistung errichten. Bei einer Volllaststundenzahl von 677,5 h/a (Wert von 2007) bzw. der für die Zukunft angenommenen i. H. v. 850 h/a errechnen sich daraus ca. 1.900 bzw. 2.140 GWh PV-Strom pro Jahr. Damit werden immerhin noch ca. 20-23 % des Strombedarfes 2050 erzielt. Geht man von diesem längerfristigen Dachflächenpotenzial aus, so kann die Differenz zum oben ermittelten „maximalen“ PV-Strompotenzial i.H.v. 42 % mit zunehmenden Grad an kombinierten PV-Solarthermie-Anlagen erschlossen werden.

4.1.2 PV-Potenziale auf Flächen der Berliner Stadtgüter GmbH

Im Auftrag der Berliner Stadtgüter GmbH führte die umweltplan projekt GmbH eine Abschätzung der „Nutzungspotenziale für Windenergie und Freiflächen Photovoltaik“ durch. Der Endbericht wurde im November 2008 veröffentlicht (umweltplan 2008). Die untersuchten Eigentumsflächen wurden den Kategorien „geeignet“ (für Freiflächenphotovoltaik bereits versiegelte und Konversionsflä-

¹⁹ Dabei kann der Flächenbedarf bei kristallinen Zellen aufgrund der derzeitigen erzielten marktüblichen Wirkungsgrade eher darunter, bei Dünnschichtmodulen eher darüber liegen.

chen gemäß EEG), „bedingt geeignet“ (Ackerflächen und Flächen in Landschaftsschutzgebieten) zugeordnet oder als nicht geeignet eingestuft.

- Im Ergebnis wird eine gesamte mögliche Fläche (geeignet und bedingt geeignet) zur Nutzung von Photovoltaik von 1570 ha ermittelt,
- Insgesamt könnte damit eine Gesamtnennleistung in Höhe von ca. 428 MWp installiert und ein potenzieller jährlicher Energieertrag in Höhe von 390.475 MWh erzeugt werden. Dieses Stromerzeugungspotenzial auf geeigneten und bedingt geeigneten Flächen könnte 4,2 % des Strombedarfs 2050 decken.
- Auf den Typus „geeignete Fläche“ entfallen 299,5 ha. Berücksichtigt man also nur diesen Typ (versiegelte und Konversionsflächen) und lässt das bedingt geeignete Ackerland und Flächen in Landschaftsschutzgebieten außen vor, da diese auch für die Erzeugung von Bioenergie genutzt werden könnte, ergibt sich ein Stromerzeugungspotenzial von 74.484 MWh. Das entspricht etwa 0,8 % des für 2050 prognostizierten Bedarfs. Diese Stromerzeugung ist in der Gesamtschau im Wert „PV“ enthalten.

Zu beachten ist allerdings, dass der Bau von Photovoltaikanlagen die parallele Nutzung anderer EE (z.B. Windenergieanlagen oder die teilweise Ernte von Biomasse) nicht ausschließt. Außerdem können die Ackerflächen auch für die Viehhaltung genutzt werden, wie existierende Beispiele von PV-Megawattanlagen auf Freiflächen zeigen. Damit ist das Potenzial letztlich zwischen den beiden Werten – 75 und 390 GWh – zu verorten.

4.2 Biomasse und Bioenergie

Das endogene Biomassepotenzial Berlins setzt sich aus privaten und kommunalen biogenen Reststoffen zusammen, die zur Energiebereitstellung genutzt werden können, sowie aus nachwachsenden Rohstoffen von holzigen und krautigen Pflanzen(teilen) von Berliner forst- und landwirtschaftlichen Flächen oder Flächen der Berliner Stadtgüter. Vergrößert werden kann das Potenzial durch Importe von Bioenergie- und Endenergieträgern aus Biomasse nach Berlin. Diese sind:

Bioenergieträger

- Pellets
- Holz (Hackschnitzel, Scheite etc.)
- Import von Substrat für Biogasanlagen (derzeit nicht relevant)

Endenergieträger

- Biokraftstoffe
- Bioerdgas

Während der Import nahezu unbegrenzt erfolgen kann und daher die Angabe eines Potenzials nicht sinnvoll ist, ist das endogene Potenzial sehr begrenzt. Für die biogenen Reststoffe wurde im Rahmen der Studie Witzhausen (2009) das derzeitige Aufkommen sowie die Nutzung der Reststoffe ausführlich erfasst. Tab. 4.4 listet das Aufkommen sowie die derzeitige Verwertung auf.

Tab. 4.4: Übersicht über in Berlin anfallende biogene Reststoffe und deren derzeitige Verwertung

	Summe	Restabfall- behandlung	Kompostierung	Vergärung	therm. Verwer- tung	stoffl. Verwer- tung	Eigenkompost- ierung, Dung	Klärschlamm	Futtermittel	Sonstige
Organik im Restmüll	400	400								
Bioabfälle aus Biotonne	53		53							
Laubsackinhalte	32		32							
Laub ungefasst	64		64							
Holziger Grünschnitt (BSR)	4		2		2					
Straßenkehrsicht (Mittelkornfraktion)	10	10								
Rechengut	7		7							
Grünreste - Grünflächenämter	59		21		31	7				
Grünabfälle - GALA-Bau	49		22		16	11				
Grünabfälle - Flughäfen	7									7
Grünabfälle, Mist - Pferdehaltung, Zoo, Tierparks	18		8,5				9,5			
Grünabfälle - Hausgärten, Kleingärten	92						92			
Speiseabfälle - Gewerbe	45			45						
Altfette, Fettabscheiderinhalte	55			50						5
Abfälle Nahrungs- und Genussmittelindustrie	47		8,5		13,5				25	
Klärschlämme	87							87		
Holzabfälle, Altholz	196				147	49				
sonstige Grünabfälle, Parks, Landwirtschaft	4		1		1					2

Quelle: (ICU/ Witzenhausen-Institut 2009)

Fraktionen, die der Restabfallbehandlung zugeführt, sowie die, die vergärt und thermisch verwertet werden und Klärschlamm, werden derzeit in Berlin energetisch genutzt. Das entspricht einem Anteil von 65 % an der gesamten Aufkommensmasse. Theoretisch ließen sich 100 % der anfallenden biogenen Reststoffe in dafür geeigneten Anlagen energetisch nutzen. Allerdings wäre die vollständige energetische Nutzung einerseits nicht praktikabel, andererseits auch nicht in allen Fällen wünschenswert. So ist bspw. der Verwertung als Futtermittel den Vorzug zu geben oder der stofflichen Verwertung wie bei Mulchmaterial. Die beiden Stoffströme „Speiseabfälle – Gewerbe“ und „Altfette und Fettabscheiderreste“ wurden nicht mit in die Berliner Energiebilanz einkalkuliert, da sie nach Brandenburg exportiert werden und damit nicht Berlin gutgeschrieben werden können.

Als theoretisch langfristiges Potenzial wird daher das Potenzial des Ökologie-Szenarios aus der Studie (ICU / Witzenhausen-Institut 2009) angegeben, dass eine Optimierung der energetischen Nutzung des Reststoffpotenzials vornimmt, jedoch auch ökologische Kriterien und die Machbarkeit der Reststoffsammlung berücksichtigt.

In (ICU / Witzenhausen-Institut 2009) wurden keine Angaben zu der möglichen Endenergiebereitstellung aus den Reststoffen gemacht. Daher wurde mit den z.T. genannten Heizwerten und Wirkungsgraden von Umwandlungsanlagen die erzeugbare Endenergie berechnet.

Tab. 4.5: Endenergiebereitstellung aus biogenen Reststoffen in Berlin in GWh

Biogene Reststoffe	Verbrennung		Vergärung	
	Strom	Wärme	Strom	Wärme
	403,9	817,8	120,3	150,4
Gesamt	Strom		Wärme	
	524,2		968,2	

Quelle: eigene Darstellung

Anbau von Nawaro auf Berliner Stadtgüter

Grundsätzlich bieten die Berliner Stadtgüter das Potenzial zum Anbau von nachwachsenden Rohstoffen. Konkret gibt es zwei Projekte, wo Kurzumtriebsplantagen angelegt werden sollen bzw. wurden:

- Mit dem Energiekonzern RWE wollen die Berliner Stadtgüter GmbH bei Königs-Wusterhausen südöstlich von Berlin 360 ha KUP anlegen. Auf 100 ha nahe des Schönefelder Kreuzes sind die ersten Pappeln und Weiden schon gepflanzt, die in fünf Jahren geerntet werden sollen (Fahrun 2009).
- In Wansdorf (Gemeinde Schönwalde-Glien) im Landkreis Havelland plant die Berliner Stadtgüter GmbH ein Modellprojekt. Hier liegen neben dem Klärwerk ausgedehnte Rieselfelder, wo noch bis 1986 Abwasser aus Spandau versickerte, die aber mit Schwermetallen belastet sind. Hier soll zunächst 20 ha Energiewald angepflanzt werden. Weil aber die Wansdorfer Heide trocken und sandig ist, braucht es Bewässerung. Darum starten die Stadtgüter ein Experiment. Geklärt Wasser aus dem Klärwerk soll ins alte Grabensystem fließen und die Bäume bewässern. Es fehlt nur ein etwa 300 Meter langer Kanal zum Klärwerk. Die Rieselfelder werden dann mit genau so viel Wasser geflutet, wie die Bäume brauchen. Denn das Wasserrecht verbietet, dass geklärtes Abwasser ins Grundwasser gelangen darf (Fahrun 2009).

Dieses Potenzial wird derzeit jedoch nicht auf Berliner Stadtgebiet genutzt. Theoretisch ließen sich jedoch Teile der von der Stadtgüter GmbH bewirtschafteten Fläche für den Anbau von nachwachsenden Rohstoffen nutzen. Dazu wurde eine Studie zur Ermittlung des Potenzials erstellt, deren Ergebnisse bei Erstellung dieser Studie noch nicht vorlagen.

4.3 Geothermie und Wärmepumpen

4.3.1 Oberflächennahe Geothermie und Wärmepumpen

In diesem Kapitel werden ausschließlich Potenziale für erdgekoppelte Wärmepumpen ausgewiesen. Da Außenluft in unendlicher Menge zur Verfügung steht, kann von einem theoretisch unendli-

chen Potenzial für Luft-Wärmepumpen ausgegangen werden, welches lediglich durch ökonomische und ökologische Restriktionen begrenzt wird²⁰.

Zur Ermittlung des theoretisch-technischen Potenzials für oberflächennahe Geothermie sind Informationen über vorherrschende Temperaturen sowie den geologischen und hydrogeologischen Aufbau des Untergrundes (Art und Mächtigkeit der Gesteine, Grundwasserstand und -fließverhältnisse) notwendig. Über spezifische Entzugsleistungen für verschiedene Untergründe kann anschließend ein mögliches Nutzungspotenzial berechnet werden (Genske et al. 2009). Da die Trinkwasserversorgung von Berlin über die Grundwasservorkommen erfolgt, ist der Einsatz von Erdwärmesonden und -kollektoren eingeschränkt. Um diese komplexen Zusammenhänge zu berücksichtigen sind für die Bestimmung konkreter Geothermiepotenziale genauere Untersuchungen notwendig.

Vor diesem Hintergrund erfolgt im Rahmen dieser Potenzialstudie eine Abschätzung des theoretischen Potenzials auf Basis der Stadtraumtypen. Die Berechnung basiert auf der Annahme, dass ausschließlich Erdsonden zur Erschließung des geothermischen Potenzials eingesetzt werden. Dies deckt sich in etwa mit den Informationen zum Status quo, wonach über 90 % der vom Sen-GUV genehmigten Wärmepumpen die Erdwärme mittels Erdsonden nutzen.²¹ Unter definierten Bedingungen (Gesteinsleitfähigkeit 2 W/mK, keine künstliche Wiedererwärmung, zwei Sonden pro Gebäude, Betriebszeitraum 30 Jahre usw.), berechnet Sanner (2008) einen notwendigen Mindestabstand von 15 m bei einer Sondentiefe von 100 m. Diese Entfernung wurde in den folgenden Berechnungen übernommen.²²

Zu den für Berlin definierten Stadtraumtypen liegen, wie in Kapitel 4.1.1 beschrieben, Flächenanteile sowie andere wichtige städtebauliche Charakteristika vor (s. Tab. 4.1). Basierend auf den Nettobaulandflächen und einem Mindestabstand von 15 m zwischen zwei Sonden, wurde die maximale Anzahl an Erdsonden für die 21 Stadtraumtypen berechnet. Innerhalb der Stadtraumtypen lassen sich Ein- und Zweifamilienhausgebiete, Mehrfamilienhausgebiete sowie Gewerbegebiete unterscheiden. Zur Ableitung der maximalen Anzahl an Wärmepumpen wurde je ein Referenzgebäude für Einfamilienhausgebiete und eines für Mehrfamilienhausgebiete (inklusive Gewerbegebiete) definiert.²³ Unter diesen Bedingungen ergibt sich für die **Einfamilienhausgebiete** eine maximale Heizwärmebereitstellung von **6,6 Mio. MWh** pro Jahr (Berechnung s. Anhang 8.1). Dieser Wert liegt nahezu doppelt so hoch wie der langfristig erwartete Gesamtwärmebedarf in diesen Gebieten (3,6 Mio. MWh pro Jahr nach Solarem Rahmenplan (Everding et al. 2006)). Für die **Mehrfamilienhaus- und Gewerbegebiete** ergibt sich nach dieser Berechnung eine maximale Bereitstellung von

²⁰ Ökologische Restriktionen ergeben sich durch die vergleichsweise geringen JAZ von Luftwärmepumpen, die mit hohen Strombedarfen einhergehen (durchschnittlich um 25 % höher als bei Sole/Wasser-Wärmepumpen). Bei einer JAZ < 3 bringt eine Wärmepumpe bei Bezug von konventionellem Strom keine ökologischen Vorteile, da die Strombereitstellung einen Wirkungsgrad von ca. 33 % aufweist und sich Energieaufwand und -bereitstellung aufwiegen (UBA 2007).

²¹ Luftwärmepumpen sind in dieser Statistik nicht enthalten.

²² Nach VDI-Richtlinie ist bis zu einer Sondenlänge von 100 m nur ein Abstand von 6 m vorgesehen, so dass die Berechnung in Bezug auf diesen Parameter als konservativ gelten kann.

²³ EFH: Leistung der Wärmepumpe: 9,6 kW(th), Volllaststunden: 1700 h, 2 Erdwärmesonden jeweils 70 m tief, 50 W Wärmeentzugsleistung pro m Sondenlänge, 15 m Mindestabstand zwischen den Sonden.
MFH: 12 Wohneinheiten, Leistung der Wärmepumpe: 30 kW(th), Volllaststunden: 2000 h, 5 Erdwärmesonden jeweils 70 m tief, 50 W Wärmeentzugsleistung pro m Sondenlänge, 15 m Mindestabstand zwischen den Sonden.

14 Mio. MWh pro Jahr. Dieser Wert liegt knapp oberhalb des langfristig erwarteten Gesamtwärmebedarfs in diesen Gebieten (13,5 Mio. MWh pro Jahr nach Solarem Rahmenplan (Everding et al. 2006)). Für die einzelnen Stadtraumtypen ergeben sich aufgrund der hohen Wärmebedarfe und geringen Nettobaulandflächen jedoch deutlich geringere Deckungsgrade von bspw. 43 % oder auch 56 %. Eine 100 %ige Heizwärmebereitstellung mittels erdgekoppelter Wärmepumpen wird demnach voraussichtlich in Einfamilienhausgebieten, jedoch nicht in allen Mehrfamilienhausgebieten möglich sein.

Tab. 4.6: Berechnung von maximaler Anzahl an Erdwärmesonden, Wärmepumpen und deren Heizwärmebereitstellung sowie Stromverbrauch basierend auf den Stadtraumtypen für Berlin gemäß solarem Rahmenplan

Typ-Nr.	Nettobauland 1000m ²	maximale Anzahl an Sonden	Anzahl WP	Heizwärme- Bereitstellung [GWth/a]	potenzieller Anteil an der Wär- meversorgung [%]	Strom- verbrauch GWh/a
1	34.832	197109	32851	1971	56,31 %	657
2	7.457	42198	7033	422	137,18 %	141
3	17.355	98209	16368	982	100,60 %	327
4	16.371	92641	15440	926	140,77 %	309
5 *	30.054	170071	85035	1386	176,70 %	357
6	6.368	36036	6006	360	43,36 %	120
7	24.252	137238	22873	1372	140,77 %	457
8	8.984	50839	8473	508	125,13 %	169
9	17.071	96602	16100	966	94,55 %	322
10	2.924	16546	2758	165	94,55 %	55
11 *	92.559	523777	261888	4269	183,56 %	1100
12	26.238	148477	24746	1485	125,75 %	495
13	35.969	203543	33924	2035	145,10 %	678
14	13.140	74357	12393	744	132,37 %	248
15 *	7.955	45016	22508	367	183,56 %	95
16	12.393	70130	11688	701	195,98 %	234
17	5.309	30043	5007	300	105,53 %	100
18 *	12.067	68285	34143	557	179,80 %	143
19	7.471	42277	7046	423	160,53 %	141
20	9.524	53895	8982	539	104,79 %	180
21	1.842	10424	1737	104	83,83 %	35
Summe	390.135	2.207.712	637.002	20584		6.364

* Grau unterlegte Felder markieren Ein- und Zweifamilienhausgebiete.

Quelle: eigene Berechnungen nach Daten von Everding et al. (2006)

Mit dem Erreichen dieser maximalen Heizwärmebereitstellung von 20.584 GWh könnte langfristig etwa 81 % des hochgerechneten Wärmebedarfs in Berlin (25.311 GWh/a) gedeckt werden. Abge-

sehen von der genannten regionalen Diskrepanz zwischen möglicher Erdwärmenutzung und tatsächlichem Wärmebedarf existieren weitere **Restriktionen, die dieses Potenzial weiter eingrenzen:**

- In einigen Stadtraumtypen (z.B. Innerstädtische Baublöcke, oft City-Randlage) ist ein sehr hoher Anteil an überbauten und versiegelten Flächen sowie an Unterkellerungen zu erwarten, so dass **bauliche Einschränkungen** vorliegen. An dieser Stelle wird angenommen, dass diese Einschränkungen zu einer Reduktion des Potentials in diesen Gebieten von 30-50 % führen.
- Hinzu kommen die ausgewiesenen **Wasserschutzgebiete**, in denen eine Nutzung der Erdwärme des Bodens und des Grundwasser grundsätzlich nicht erlaubt ist (Leitfaden SenGUV). Betroffen sind dabei stellenweise Regionen in Spandau, Reinickendorf, Köpenick, Marzahn-Hellersdorf und Neukölln. Die Bohrtiefe ist in Berlin allgemein auf 100 m zu begrenzen (dies wurde in der Berechnung durch eine maximale Bohrtiefe von 75 m berücksichtigt), lokal ist stellenweise aus **Grundwasserschutzgründen** nur eine geringere Bohrtiefe erlaubt (Leitfaden SenGUV), wodurch sich das Potenzial verringern kann (Größenordnung ca. 10-25 %).
- Die mögliche **Entzugsleistung** aus dem Untergrund wird außerdem bedingt durch die Art des Gesteins und den Wassergehalt. In Berlin liegen überwiegend Sande und Kiese sowie teilweise Geschiebemergel vor. Die Entzugsleistung kann in Abhängigkeit vom Wassergehalt zwischen > 25 W/m (trocken) und $65-80$ W/m (wasserführend) bei 1.800 Jahresarbeitsstunden schwanken (Genske et al. 2009S. 19)²⁴. Bei Annahme einer Entzugsleistung von nur 25 W/m würde sich die gesamte Wärmebereitstellung auf etwas 13.700 GWhth verringern, bei einer Annahme von 80 W/m auf etwa 41.200 GWhth erhöhen. Demnach kann die Abschätzung von 20.600 GWhth eher als konservativ gelten.
- Eine weitere Restriktion besteht bedarfseitig im Bereich **Industrie und Gewerbe**, in dem auf Grund **hoher Temperaturbedarfe** der Einsatz von Wärmepumpen nur eingeschränkt möglich ist. Eine Studie von Lambauer, Fahl et al. (2008) befasst sich mit dem Potenzial industrieller Großwärmepumpen (Leistungsbereich: $100 - 1500$ kWh_{th}). Mögliche Wärmequellen für diesen Bereich sind Erdwärme, Grundwasser, industrielle Abwärme (Luft und Flüssigkeiten) sowie Abwasser, wobei die Mehrheit der bestehenden Anlagen Abwärme nutzen. Nach Lambauer, Fahl et al. (2008) können mit der bestehenden Wärmetechnologie (Stand 2008) ca. 231 PJ pro Jahr an Wärme für Brauchwasserbereitstellung, Raumwärme und Niedertemperatur-Prozesswärme bereitgestellt werden, was in etwa 9 % des Energiebedarfs der deutschen Industrie im Jahr 2006 entspricht. Unter der Voraussetzung dass sich Komponenten und Wärmepumpenanlagen technisch weiterentwickeln und sich die mögliche erzeugbare Temperatur auf 100°C erhöht, kann der Anteil mit 389,53 PJ auf 15 % des gesamten Energiebedarfs bzw. 30 % des Nutzwärmebedarfs gesteigert werden Lambauer, Fahl et al. (2008 S. 50). In den Gewerbegebieten (2, 13, 16, 20) würde sich der Anteil am Gesamtwärmebedarf auf geschätzt etwa 30-50 % verringern.

Basierend auf den obigen Einschätzungen zu den möglichen Restriktionen kann das zunächst ermittelte theoretische Potenzial um einen groben Schätzwert von etwa 40 % verringert werden, so dass sich die Gesamtwärmebereitstellung auf **12,4 Mio. MWhth** beläuft. Dies entspricht einem Anteil von 49 % am hochgerechneten langfristigen Wärmebedarf in Berlin.

24

Nach VDI-Richtlinie ist bei Erdwärmesonden und bei 1.800 Jahresbetriebsstunden mit durchschnittlichen Wärmeentzugsleistungen von etwa 50 W/m Sondenlänge zu rechnen.

Der Betrieb von Wärmepumpen ist ausschließlich unter Zufuhr von **Antriebsenergie** möglich. Hierzu kann Strom oder Gas verwendet werden, wobei sich Gas-Wärmepumpen noch im Feldteststadium befinden. Insofern das theoretisch verfügbare Potenzial mit Elektro-Wärmepumpen genutzt wird und sich die Energieeffizienz von erdgekoppelten Wärmepumpen nur geringfügig verbessern wird, wäre der Betrieb der Wärmepumpen jährlich mit einem Stromverbrauch von 3,1 Mio. MWhel verbunden²⁵. Zum einen werden sich jedoch die Jahresarbeitszahlen durch Technologieentwicklung weiter verbessern, so dass der Stromverbrauch langfristig sinken wird. Zum anderen werden vermehrt Gas-Wärmepumpen genutzt werden. Nach der Prognos-Studie „Energietrends 2020 für Haushalte“ wird 2020 ein Viertel der in Neubauten eingesetzten Wärmepumpen mit Gas betrieben werden (Prognos AG 2009). Es ist demnach anzunehmen, dass sich der Strombedarf um ca. 10 % auf etwa 2,8 Mio MWhel verringern wird, gleichzeitig ist ein entsprechender Gasverbrauch zu konstatieren. Längerfristig kann auch die Kopplung der bei Wärmepumpen benötigten Niedrigenergiezufuhr mit der so genannte kalten Fernwärme sinnvoll sein, wenn der die Fernwärmeheizung nicht mehr wirtschaftlich betrieben werden kann.

4.3.2 Tiefe Geothermie

Zu den Potenzialen tiefer Geothermie in Berlin ist derzeit noch wenig dokumentiert. Wie bereits erwähnt, wird im Auftrag der SenGUV derzeit eine Studie zu den geothermischen Potenzialen in Berlin erstellt, die voraussichtlich im Jahr 2012 fertig gestellt wird (Limberg 2009). Nach Einschätzung des GeoForschungsZentrum Potsdam können langfristig und nachhaltig – unter Berücksichtigung des terrestrischen Wärmeflusses, der das Potenzial wieder auffüllt – etwa 0,5 GW geothermische Wärme für Berlin erschlossen werden (Huenges 2009). Zur genaueren Quantifizierung sind nach Einschätzung des GFZ neben der Studie des SenGUV weitere Erkundungen und Probebohrungen notwendig. Unter Annahme einer Volllaststundenzahl von 2000 h/a²⁶ ergibt sich damit eine langfristig mögliche Wärmebereitstellung von 1000 GWh/a bzw. 1 Mio. MWh/a. Dies entspricht etwa 4 % des langfristigen Wärmebedarfs von 25.311 GWh/a. Bis 2050 ist zu erwarten, dass neben den bis 2020 umgesetzten Anlagen mindestens drei weitere Anlagen mit jeweils 20 MW errichtet werden können. Bei einer Volllaststundenzahl von 2000 h/a könnten hierdurch ca. 120 GWth bereitgestellt werden. Inklusiv der bis 2020 nach dem Ausbauszenario errichteten Anlagen würde sich die Bereitstellung auf etwa 155 GWth belaufen.

4.3.3 Fazit

In der Summe der Einfamilienhaus-, Mehrfamilienhaus- und Gewerbegebiete können somit rechnerisch 20,6 Mio. MWh Heizwärme mittels Erdwärmesonden bzw. erdgekoppelten Wärmepumpen (oberflächennahe Geothermie) bereitgestellt werden. Dies entspricht 49 % des Wärmeverbrauchs des Jahres 2008 (41,9 Mio. MWh/a) und 81 % des langfristig erwarteten Gesamtwärmebedarfs (25,3 Mio. MWh/a). Aufgrund von verschiedenen rechtlichen, hydrogeologischen und baulichen Restriktionen wird dieses Potenzial jedoch vermutlich nicht vollständig erschließbar sein. In dieser Studie wird in erster Näherung eine Reduktion des Gesamtpotenzials von 40 % angenommen. Damit verringert sich das Potenzial auf 12,4 Mio MWhth – dies entspricht 30 % des Wärme-

²⁵ Annahme JAZ = 4.

²⁶ Persönliche Mitteilung Herr Huenges, GFZ Potsdam, 8.12.09

verbrauchs im Jahr 2008 und 49 % des langfristig erwarteten Gesamtwärmebedarfs. Die Studie zu den Potenzialen der Geothermie in Berlin auf Basis geologischer Bedingungen und unter Berücksichtigung wasserrechtlicher Einschränkungen, die derzeit im Auftrag des SenGUV erstellt wird (Fertigstellung voraussichtlich 2012), wird diesbezüglich nähere Erkenntnisse bringen. Dies betrifft insbesondere die Potenziale der tiefen Geothermie, die an dieser Stelle auf Angaben des GFZ Potsdam auf 0,5 GW bzw. 1 Mio. MWh/a Wärmebereitstellung geschätzt werden. Dies sind zusätzlich etwa 2 % des Wärmeverbrauchs im Jahr 2008 (41,9 Mio. MWh/a) und etwa 4 % des langfristig erwarteten Gesamtwärmebedarfs (25,3 Mio. MWh/a). Zur genauen Quantifizierung sind nach Einschätzung des GFZ neben der Studie des SenGUV weitere Erkundungen und Probebohrungen notwendig.

Dem BMU Leitszenario 2008 zufolge können im Jahr 2020 insgesamt 17,3 TWh/a Wärme mit Geothermie bereitgestellt werden, davon stellen Wärmepumpen ca. 9 und Nahwärme 8,3 TWh/a. Für 2050 rechnet das BMU mit einem Ausbau auf 21,9 TWh/a Wärmebereitstellung mit Wärmepumpen und 78 TWh/a Wärmebereitstellung mit Nahwärmenutzungen (tiefe Geothermie) (BMU 2008c).

4.4 Windenergie

4.4.1 Stadtgebiet Berlin

4.4.1.1 Große Windenergieanlagen

Die entscheidenden Restriktionen für große Windenergieanlagen sind in Ballungsräumen die Verfügbarkeit geeigneter Flächen sowie die Akzeptanz durch die Bevölkerung (Landschaftsbild, Lärmemissionen etc.). Entsprechende Vorgaben sind meist in der Flächennutzungsplanung enthalten. Aus diesem Grund gibt es in Berlin bislang auch erst – bzw. immerhin - eine Windenergieanlage (vgl. hierzu auch Abschnitt 2.6.1). Im aktuellen Flächennutzungsplan sind keine speziellen Vorrangflächen oder Eignungsgebiete angegeben (SenStadt 2008c), sondern Einzelfallprüfungen vorgesehen. Diese Regelung ermöglicht (gemäß § 35 Baugesetzbuch) die Errichtung von Windenergieanlagen im Außenbereich, wenn keine öffentlichen Belange dagegensprechen. Bei Planung und Bau der bisher einzigen Berliner WEA zeigte sich jedoch, dass für eine erfolgreiche, zügige Umsetzung die Aufgeschlossenheit von Landeigentümern (häufig z. B. die Liegenschaftsfonds Berlin) und Genehmigungsbehörden auf Bezirksebene unbedingt notwendig ist.

Neben diesen formalen Restriktionen sind Ertragsfaktoren entscheidend, allen voran die Windgeschwindigkeit. Für die Ermittlung eines längerfristigen technischen Potenzials für die Stromerzeugung aus Windenergie wären daher Daten zu Windgeschwindigkeiten auf Nabenhöhe flächendeckend für das gesamte Stadtgebiet sinnvoll. Verfügbar sind gegenwärtig jedoch im digitalen Umweltatlas lediglich Daten zu bodennahen Windgeschwindigkeiten in 10 m Höhe (SenStadt o. J.).²⁷

²⁷ Eine darauf basierende Abschätzung der Geschwindigkeiten in größeren Höhen wäre unter Berücksichtigung einer hohen Rauigkeitsklasse (ca. 3,5-4 für Großstädte mit hohen bis sehr hohen Gebäuden, vgl. unter <http://www.windpower.org/de/stat/unitsw.htm#roughness>), theoretisch möglich. Solche Rauigkeiten der Geländeoberfläche haben beispielsweise Verwirbelungen von Luftströmen an Kanten oder sehr spezielle Strömungsverhältnisse in Straßenschluchten zur Folge. Aufgrund des dadurch sehr ungleichmäßigen Windprofils in Bodennähe (siehe auch (SenStadt o. J.)) erscheint eine pauschale Hochrechnung der Windgeschwindigkeiten für durchschnittliche Nabenhöhen jedoch nicht sinnvoll.

Einschätzungen aus Interviews mit Experten der umweltplan projekt GmbH (Betreiber der ersten Berliner WEA) legen jedoch nahe, dass im Stadtgebiet Berlins noch relevante erschließbare Potenziale vorhanden sind, die jedoch gegenwärtig noch nicht näher quantifiziert sind. Für das Jahr 2020 (siehe 5.1.1) wurde in diesen Gesprächen jedoch ein unter sehr guten Genehmigungsvoraussetzungen umsetzbares Windkraftpotenzial von insgesamt 102 MW angegeben (Vach 2009; v. Tengg-Kobligk 2009). Dieses wird - aufgrund der eingeschränkten Flächenverfügbarkeit in Berlin sowie der relativ unwahrscheinlichen Umsetzung bis 2020 - als Langfristpotenzial gewertet. Damit könnten jährlich ca. 245.100 MWh Strom erzeugt werden und damit ein Beitrag von 2,6 % zum voraussichtlichen Strombedarf 2050 (auf Basis des Zielszenarios der BEA sowie der BMU-Leitstudie 2009 (BMU 2009c)) geleistet werden.

4.4.1.2 Kleinwindanlagen

Für die Nutzung von Windenergie im urbanen Raum können insbesondere Kleinwindanlagen (KWEA) eine technische Lösung sein. Bisher sind Kleinwindanlagen jedoch kaum wissenschaftlich erforscht, eine Ausnahme bildet eine vom BMU geförderte Pilotstudie „Akzeptanz und Potenzial kleiner vertikaler Windenergieanlagen.“²⁸ Anfang 2009 gründete sich der Bundesverband Kleinwindanlagen (BVKW), um die Marktdurchdringung der Anlagen voranzutreiben.²⁹ Aber auch der Bundesverband WindEnergie (BWE) entdeckt das Thema zunehmend.³⁰

Über die maximale **Größe von Kleinwindanlagen** gibt es keine klare Festlegung. Eine Orientierung liefern unterschiedliche rechtliche Regelungen und Normen, die kleine explizit von großen Windenergieanlagen abgrenzen (Fest 2009:3):

- § 5 Abs. 1 S. 2 EEG: Grenze für die Eigenversorgung 30 kW
- Anlage 1.6 zur 4. BImSchV: immissionsschutzrechtliches Genehmigungsverfahren ab 50 m Anlagenhöhe
- DIN EN 61400-2:2007 „Windenergieanlagen, Teil 2: Sicherheit kleiner WEA“: überstrichene Rotorfläche kleiner als 200 m² (= max. 70 kW)
- Bauordnungsrecht: einzelne Landesbauordnungen mit Genehmigungsfreistellung/ Verfahrensfreistellung bei Anlagen < 10 m Höhe
- Windenergieerlasse einzelner Bundesländer mit Schwelle zur Raumbedeutsamkeit bei 35 m Höhe

Ebenso uneinheitlich fassen die zuständigen Verbände die Größen: während für den BWE die Größenklasse der KWEA bis 100 kW geht, verweist der Bundesverband Kleinwindanlagen auf die o.g. DIN EN 61400-2:2007 und benennt Größen <1,5 kW als Micro-Anlagen, <6 kW als Anlagen zur Eigenversorgung (ebda.).

²⁸ Projekt unter der Leitung des Instituts für Psychologie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, <http://www.psych.uni-halle.de/abteilungen/sozial/forschung/> (28.11.2009)

²⁹ Internetseite des Bundesverbands unter <http://cms.bundesverband-kleinwindanlagen.de/> (28.11.2009).

³⁰ Der BWE hat in 2009 bereits 2 Symposien zu diesem Thema ausgerichtet. Nähere Informationen dazu unter: <http://www.wind-energie.de/de/themen/kleinwindanlagen/> (28.11.2009).

Bisher kann auch noch nicht auf Durchschnittswerte zu Anlagenleistungen und -erträgen zur Ermittlung von Potenzialen zurückgegriffen werden. Das Herstellerfeld ist breit und inhomogen, verschiedenste Konstruktionen kommen zum Einsatz. Die angebotenen Anlagen haben unterschiedliche lange Nutzungsdauern und Qualitäten, auch die Netzkonformität ist nicht immer gewährleistet. Kleinwindanlagen werden bislang kaum zertifiziert, da die bisherige Zertifizierungsmethodik auf große WEA zugeschnitten ist und für die in der KWEA-Branche eher kleinen Hersteller hohe spezifische Kosten verursacht.

In der aktuellen Diskussion um Kleinwindanlagen erfahren **Anlagen mit Vertikalachsenrotoren** eine Renaissance (diese sind auch Forschungsgegenstand im o. g. BMU-Projekt). Im Gegensatz zu horizontalen WEA wird die Kraft in Bodennähe abgenommen, was eine einfachere Montage zur Folge hat. Außerdem ist keine Windnachführung nötig, weniger bewegte Teile sind erforderlich, die Konstruktion ist einfacher und kostengünstiger. Jedoch weisen vertikale WEA niedrigere Leistungen auf, und für ihr Anlaufen ist die Zuführung von Hilfsenergie notwendig. Die durch die instationäre Strömung verursachten Schwingungen des Mastes können zu einer schnelleren Materialermüdung führen, vor allem am Übergang vom Mast zum Fundament und an der Lagerung des Rotors (Brenner 2009). Vertikale WEA können jedoch die Verwirbelungs- und Straßenschluchteneffekte in Städten tendenziell besser tolerieren bzw. ausnutzen als horizontale Anlagen (Kröger 2009).

Die Installation von **Kleinwindanlagen auf Dächern** ist in vielen Fällen (z. B. auf Gewerbegebäuden, Hochhäusern etc.) baustatisch möglich, wodurch eine Vielzahl von zusätzlichen Flächen in urbanen Räumen erschlossen werden könnten. Durch den Betrieb entstehende Vibrationen können durch spezielle Fundamente und Verankerungen unterbunden werden, dabei müssen keine höheren Kosten als bei einer Freilandaufstellung entstehen. Kleinwindanlagen verursachen nur geringe Lärmemissionen (Kröger 2009).

Aufgrund ihrer hohen spezifischen Investitionskosten (laut BVKW 3.000 bis 5.000 Euro/kW) und der gegenwärtig noch nicht gegebenen Massenproduktion sind Kleinwindanlagen in Deutschland bisher meist **nicht wirtschaftlich** betreibbar. Die Netzeinspeisung von Strom wird nach EEG für kleine unter 50 m Höhe aber über 30 kW wie große WEA mit dem selben Tarif vergütet, kleinere Anlagen gar nicht (EEG 2008), wodurch das EEG gegenwärtig nur sehr geringe Marktanreize bietet. Daher scheint zum jetzigen Zeitpunkt die Nutzung von KWEA insbesondere dann sinnvoll und ökonomisch darstellbar, wenn es um abgelegene Standorte bzw. das Ziel einer autarken Versorgung von Einzellokationen an besonders geeigneten Standorten geht. Dies können z.B. Campingplätze, abgelegene landwirtschaftliche Gebäude, Sportanlagen, Straßenbeleuchtungen etc. sein (Pehnt 2009). Kleinwindanlagen können aufgrund der in der Regel komplementären Zeiten der Stromerzeugung gut mit PV-Anlagen gekoppelt werden (Kröger 2009). International gibt es bereits Beispiele für eine aktive KWEA-Förderung. In England werden diese Anlagen im Rahmen des „Low Carbon Buildings Programme“ in Abhängigkeit von den Standortbedingungen (Windgeschwindigkeit ab 5m/s) finanziell gefördert (Pehnt 2009). Dadurch wird erwartet, dass die Zahl der installierten Anlagen in England bis 2020 auf 1,2 Mio. ansteigt, wodurch gleichzeitig eine deutliche Senkung der Investitions- und Stromgestehungskosten (derzeit bei etwa 0,2 Euro/kWh) erwartet wird (BVKW 2009). Aufgrund der bisherigen Qualitätsmängel der Anlagen könnten auch Anforderungen an diesbezügliche Standards bei der Förderung eine Rolle spielen. Im Rahmen des nächsten EEG-Erfahrungsberichts soll die Frage einer gesonderten Kleinwindvergütung erörtert werden (Fest 2009).

Neben den technischen Herausforderungen und der Analyse der Wirtschaftlichkeit verschiedener Einsatzformen ist auch Forschungsbedarf hinsichtlich der **volkswirtschaftlichen Effekte** zu kons-

tatieren. Mögliche relevante regionale Wertschöpfungseffekte sowie Einsparungen von Infrastrukturkosten, konkret den geringeren Kosten zum Netzausbau, könnten gewichtige ökonomische Gründe für eine höhere spezifische Förderung von KWEA im Rahmen des EEG sein.

Neben der Frage der fehlenden Förderung stellt die unterschiedliche und teilweise schwer durchschaubare **Genehmigungspraxis** ein weiteres zentrales Hemmnis für die Verbreitung dar. Grundsätzlich sind KWEA „bauliche Anlagen“ im Sinne des Baugesetzbuches und unterliegen nicht dem immissionsschutzrechtlichen sondern dem baurechtlichen Genehmigungsverfahren, weswegen die verschiedenen Landesbauordnungen der 16 Bundesländer für die Ausgestaltung des Verfahrens maßgeblich sind (Fest 2009). In **Berlin** wurde ein Passus aus der Musterbauordnung (MBO) von 2002 in den wie folgt übernommen: *„Kleinstwindkraftanlagen können unter der Voraussetzung, dass die Stromgeneratoren nur für den Eigenverbrauch vorgesehen sind und sie sich dem Gebäude unterordnen, unter die verfahrensfreien Vorhaben eingeordnet werden. Allerdings wird diese Zuordnung nicht möglich sein, wo die Dimensionierung der Windkraftanlagen über den angemessenen Rahmen hinausgeht.“* (§ 62 Abs. 1 Nr. 2 c) **BauOBln** – Entscheidungshilfen der Berliner Bauaufsicht).

Damit greift die Verfahrens- u. Genehmigungsfreiheit nach der BauOBln nur bei überwiegender Eigenversorgung, wodurch sich diese deutlich von den Regelungen anderer Bundesländer unterscheidet. Nach bisherigen Erfahrungen werden im städtischen Bereich Baugenehmigungen in der Regel nur für Industrie- und Gewerbegebiete erteilt, in Wohngebieten gibt es meistens keine Aufstellmöglichkeit (Broek 2009: 12). Neben der Frage der Genehmigung muss auch bei diesbezüglicher Freistellung weiteres Bauordnungsrecht (insbesondere Abstandsflächenrecht bei offener Bauweise, Bauplanungsrecht (§§ 30 ff. BauGB, § 14 BauNVO), Immissionsschutzrecht (§ 22 BImSchG, TA Lärm) und ggf. Naturschutzrecht (Eingriff, Gebietsschutz, Artenschutz) berücksichtigt werden (Fest 2009).

Unter der Prämisse, dass in **Zukunft** robuste und langlebige Anlagen in großer Stückzahl produziert werden und technische Konzepte zur dezentralen Eigennutzung vorliegen, ist auch in urbanen Räumen für Kleinwindanlagen ein nennenswertes Potenzial zu vermuten. Dieses dürfte sich zunächst auf Industrie- und Gewerbegebiete erstrecken, wobei durchaus auch KWEA-Potenziale in Wohngebieten möglich sind, wenn diese - ähnlich wie dies bei PV-Anlagen gemäß § 33 Abs. 2 gefördert wird – zum überwiegenden Eigenverbrauch errichtet werden. Werden zunehmend auch gute Praxiserfahrungen mit KWEA auf Gebäuden gemacht, käme in Bezug auf diese Standorte ein zusätzliches Potenzial hinzu.

Ein **theoretisches Potenzial** im Bereich der Nettobaulandfläche des Stadtraumtyps „Gewerbe und Industrie der 50er, 60er, 70er Jahre“ – das als eines der zentralen Potenzialgebiete angesehen werden kann – kann wie folgt aussehen:

- Die Fläche dieses Typs wird mit 36 Mio. qm angegeben.
- Geht man von einer Abstandsregel für KWEA von 20 x 20 Metern aus (d.h. eine Anlage auf 400 qm)³¹ und vermutet maximal 10 % geeigneter Standorte auf der hier betrachteten Fläche,

³¹ Laut Heyde (2009: 28) ist nach dem sächsischen Bauordnungsrecht für die Errichtung von Kleinwindkraftanlagen auf privatem Gelände Grenzabstände zu benachbarten Grundstücken von mindestens der Nabhöhe der Anlage plus halben Rotordurchmesser eingehalten werden. In so genannten Kerngebieten reicht ein Abstand von 0,5 x Höhe, in Gewerbe- und Industriegebieten 0,25 x Höhe. Da eine Höhe von 10 m in vielen Landesregelungen einen Schwellenwert für die Genehmigungseffordernis darstellt, wurde hier eine Abstandsspannbreite von 20 m angenommen.

dann errechnet sich daraus eine Anzahl von ca. 9.000 KWEA, die auf diesem Stadtraumtyp errichtet werden könnten (de facto 1 KWEA auf 4.000 qm).

- Nimmt man weiterhin an, dass die durchschnittliche Leistung 7,5 kW und der durchschnittliche Jahresertrag 1.000 kWh/kW beträgt (konservativer Wert nach BVKW (2009)), dann errechnet sich hieraus ein theoretisches Potenzial dieser Anlagen in Höhe von etwa 67,4 GWh pro Jahr.

Diese Strommenge entspricht einem Anteil von 0,7 % an dem für 2050 auf Basis des Zielszenarios der BEA sowie der BMU-Leitstudie 2009 prognostizierten Strombedarfs (9,4 TWh/a). Geht man zusätzlich davon aus, dass eine gewisse Anzahl auch auf den anderen Stadtraumtypen errichtet werden kann, dann erhöht sich dieser Wert dementsprechend. Im Gegensatz zu dem hier ausgewählten Stadtraumtyp werden KWEA jedoch in vielen anderen Typen angesichts von Genehmigungs-, Akzeptanz- oder Ertragsproblemen gar keine oder nur eine sehr begrenzte Rolle spielen. Daher wird hier vorsichtig von einem doppelt so hohen Potenzial für die gesamte Nettobaulandfläche Berlins ausgegangen, so dass sich hieraus ein langfristiger Anteil der KWEA von 1,4 % am für 2050 prognostizierten Stromverbrauch ergibt.

Jenseits dieser theoretischen Potenzialberechnung ist jedoch zu konstatieren, dass in Deutschland Kleinwindanlagen im städtischen Raum bisher noch kaum verbreitet sind. In Hamburg ist – um ein aktuelles Beispiel zu nennen – die Beleuchtung eines großen Parkplatzes mit KWEA geplant (Endelmann 2009). Auch in Berlin wären zunächst erste Anwendungen zu konzipieren und eine Förderung im Rahmen von Pilot- und Leuchtturmprojekten zu erwägen – unter der Voraussetzung, dass eine Prüfung der technischen Machbarkeit in verschiedenen Anwendungen, eine Abschätzung betriebs- und volkswirtschaftlicher Effekte erfolgt ist und wenn kein Bundesförderprogramm aufgelegt wird. Diesbezüglich ist aus gegenwärtiger Sicht Forschungsbedarf zu konstatieren. Sind die oben genannten technisch-ökonomischen Anforderungen gegeben, sollte sich Berlin bei der Markteinführung der KWEA beteiligen, regulative Hemmnisse auf Landesebene abbauen und sich auf Bundesebene zur spezifischen Förderung im EEG einsetzen.

4.4.2 Berliner Stadtgüter

In einer von der umweltplan projekt GmbH für die Berliner Stadtgüter GmbH erstellten Studie (siehe auch 4.1.1.1) werden neben Potenzialen für Freiflächenphotovoltaik auch solche für die Nutzung von Windenergie untersucht (umweltplan 2008). Die untersuchten Eigentumsflächen wurden den folgenden Kategorien zugeordnet:

- „geeignet“ (für die Windenergienutzung im Regionalplan ausgewiesene Windeignungsflächen)
- „bedingt geeignet“ (z. B. reduzierte Pufferzonen zu Naturschutzgebieten, keine Mindestgrößen, auch Flächen in Landschaftsschutzgebieten möglich)
- „nicht geeignet“.

Zentrales Ergebnis der Studie: Die Fläche in ausgewiesenen Windeignungsgebieten von ca. 120,4 ha wird mit einem Bestand von 14 Windenergieanlagen bereits zu 98 % ausgenutzt. Insgesamt wurden jedoch eine mögliche Gesamtfläche zur Windenergienutzung von 1.001 ha und eine mögliche Gesamtnennleistung von 212 MW ermittelt. Davon entfallen ca. 880 ha auf bedingt geeignete Flächen, die laut Studie das größte Potenzial für den Bau neuer Windkraftanlagen bieten. Insgesamt wird die Errichtung 87 neuer WEA mit einer Leistung von ca. 174 MW für möglich gehalten, jedoch lägen lediglich zwei Standorte innerhalb von ausgewiesenen Windeignungsflächen. Bei vollständiger Nutzung dieser Potenziale ergäbe sich ein Energieertrag neuer Windenergieanlagen

von 339.633 MWh und ein Gesamtertrag von 414.633 MWh pro Jahr (Umweltplan 2008). Damit könnten ca. 4,4 % des für 2050 prognostizierten Strombedarfs gedeckt werden.

Die Ersteller der Studie kamen in einem Interview (v. Tengg-Koblick 2009; Vach 2009) jedoch zu der Einschätzung, dass sich aufgrund einiger einschränkender Aspekte (Naturschutzbelange, zukünftige Baugebiete etc.), die im Rahmen der Studie nicht betrachtet werden konnten, das Zubaupotenzial in der Praxis wahrscheinlich um ca. $\frac{1}{4}$ reduzieren würde. Unter Annahme dieser Einschränkung könnte **langfristig mit ca. 169 MW installierter Leistung eine Stromerzeugung von ca. 329.725 MWh/a** - und damit die Deckung von 3,5 % des Berliner Strombedarfs 2050 - realisiert werden.

Im Bundesland Brandenburg wurden im Rahmen der **gemeinsamen Landesentwicklungsplanung** der „Hauptstadtregion“ **Vorrangflächen für die Windkraftnutzung** ausgewiesen. Die noch nicht erschlossenen, für die Windenergienutzung geeigneten Flächen der Stadtgüter GmbH befinden sich, wie bereits erläutert, jedoch **zum größten Teil außerhalb** dieser Vorrangflächen - aus rechtlichen Gründen können daher dort im Moment keine Windenergieanlagen errichtet werden. Durch eine Änderung/Ausweitung dieser Flächen oder den Übergang zu Einzelfallprüfungen könnte jedoch in Zukunft auf den Flächen der Berliner Stadtgüter eine deutlich stärkere Nutzung der Windenergie möglich werden. In einem gemeinsamen Erlass des Ministeriums für Infrastruktur und Raumordnung, sowie des Ministeriums für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz vom Juni 2009, dem so genannten „**Windkrafteerlass**“ werden Ziele für die Ausweitung der Windkraftnutzung in Brandenburg genannt. Sie sollen durch Repowering bestehender Anlagen sowie die Ausweisung neuer Eignungsgebiete durch die Regionalplanung erreicht werden. Dadurch könnten ggf. auch die Flächen der Berliner Stadtgüter in Zukunft für die Errichtung von Windenergieanlagen zur Verfügung stehen (GLBerlin-Brandenburg 2009).

In der Vergangenheit war es bereits mehrfach zu Streitigkeiten in Bezug auf die Verhinderung des Windkraftausbaus der Berliner Stadtgüter gekommen. So wurde beispielsweise der geplante Bau von Windkraftanlagen nahe des Schönefelder Kreuzes durch die Planungsgemeinschaft Lausitz-Spreewald aufgrund der Nähe zum Flughafen BBI untersagt (Jacobs 2009), die Errichtung von 25 Windrädern in Stahnsdorf wurde durch das Streichen einer Vorrangfläche aus dem „Teilregionalplan Windenergie“ durch die Regionale Planungsstelle Havelland-Fläming verhindert (Potsdamer Neueste Nachrichten 2008). Von Seiten der Berliner Stadtgüter wurden bereits Klagen angedroht, falls es zur weiteren Verhinderung von Windenergieprojekten kommen sollte (Jacobs 2009).

4.5 Wasserkraft

Die Nutzung von Lauf- und Speicherwasserkraft zur Energieerzeugung kann auf eine lange Tradition zurückblicken. Das **theoretische Potenzial** kann auf verschiedene Weise bestimmt werden (Kaltschmitt et al. 2003a: 372ff):

- als Flächenpotenzial (Niederschlags- oder Abflussflächen - oberste Potenzialgrenze), berechnet über Niederschlag (ggf. abzüglich Verdunstung und Versickerung) und Höhenunterschied (zu dem Punkt, an dem das Wasser das betrachtete Gebiet verlässt),
- als Linienpotenzial von erfassten Fließgewässern (über mittlere jährliche Abflüsse und Höhenunterschiede bis zum nächsten Vorfluter oder Verlassen des Untersuchungsgebietes)
- Das Stromerzeugungspotenzial kann unter Abzug der bereits genutzten Potenziale über durchschnittliche jährliche Regelarbeitsvermögen abgeschätzt werden.

Für **Berlin** wurde eine entsprechende **Potenzialermittlung** bereits **1992** durch die Kraftwerks- und Anlagenbau AG durchgeführt und unter dem Titel „Potentialstudie der nutzbaren Wasserkraft im Land Berlin“ veröffentlicht (Kraftwerks- und Anlagenbau AG 1992). Als Grundlage für die Ermittlung von Wasserkraftpotenzialen dienten Informationen zu geomorphologischen und hydrologischen Verhältnisse der Berliner Gewässer, sowie die Geschichte der Nutzung von Spree, Havel und Fließ (z. B. Panke, Wuhle). Es erfolgte eine Berechnung des theoretischen (Linien-) Potenzials für die Wuhle über mittleren Abfluss (MQ) und Höhendifferenz. Für die anderen kleinen Berliner Gewässer wurde aufgrund des geringen Gefälles oder der Kürze der Wasserläufe auf Berliner Territorium kein Linienpotenzial ermittelt. Für Havel und Spree wurden ebenfalls keine Linienpotenziale berücksichtigt, da diese schon weitestgehend durch Staukanalisation (Schifffahrt) an den Staustufen erschlossen sind.

Trotz des schon etwas weiter zurückliegenden Erstellungszeitraumes der Studie können die getroffenen Annahmen noch als plausibel bewertet werden, da im Bereich der Wasserkraft in den letzten Jahren keine großen Technologiesprünge mehr stattgefunden haben. Im Standardwerk „Wasserkraftanlagen. Planung, Bau und Betrieb“ von Giesecke und Mosonyi (2005) wird beispielsweise von einem Gesamtwirkungsgrad für Wasserkraftanlagen zwischen 0,7 und 0,8 ausgegangen.³²

Charakteristika und nutzbare Wasserkraftpotenziale der einzelnen Berliner Gewässer sowie die jeweils zur Berechnung verwendeten Formeln gemäß „Potentialstudie der nutzbaren Wasserkraft im Land Berlin“ (Kraftwerks- und Anlagenbau AG 1992) sind in Tab. 4.7 dargestellt.

Tab. 4.7: Charakteristika und nutzbare Wasserkraftpotenziale der einzelnen Berliner Gewässer

Gewässer	Standort	QA [m³/s]	h _{FA} [m]	Pel [kW]	A [kWh]	A [kWh]	Berechnungsformeln (siehe Anhang)
Havel	Staustufe Spandau	19,13	1,65	250,6	1.540.923	1.540.923	3, 5, 8
Spree	Schleuse Charlottenburg	43,00	1,20	490,0	2.457.564	4.915.128	1, 5, 7
	Mühlendamm Schleuse	20,50	1,50	245,0	1.228.782		1, 5, 7
	Wehr Werderscher Markt	20,50	1,50	245,0	1.228.782		1, 5, 7
Tegeler Fließ	Ehemalige Humboldtmühle	0,59	1,20	5,6	34.440	34.440	2, 6, 8
Nordgraben	Eichborndamm Wittenau	1,90	1,90	28,2	215.428	515.220	4a, 6, 9
	Rosenthaler Weg	0,88	4,90	34,2	261.448		4a, 6, 9
	Verteilerbauwerk	0,88	0,90	5,1	38.344		4a, 6, 9
Panke	Schlosspark Buch - Pölnitzweg	0,20	1,35	2,1	13.184	13.184	2, 6, 8
Wuhle	Köpenicker Heerstraße	2,20	2,30	40,2	306.802	1.653.826	4b, 6, 9

³² Dass der in der Potenzialstudie verwendete zweite Wert unter diesen Standardwerten liegt, ist für sehr geringe Ausbaufallhöhen von unter einem Meter durchaus plausibel.

Gewässer	Standort	QA [m ³ /s]	h _{FA} [m]	PeI [kW]	A [kWh]	A [kWh]	Berechnungsformeln (siehe Anhang)
	Biesdorf - Kreuzung B1	2,20	1,70	29,7	226.766		4b, 6, 9
	U-/S-Wuhletal	2,20	2,50	43,7	333.480		4b, 6, 9
	Cecilienstraße	2,20	3,10	54,2	413.280		4b, 6, 9
	Kreuzung Landsberger Allee	2,20	1,40	24,5	186.749		4b, 6, 9
	Ahrensfelder Berge	2,20	1,40	24,5	186.749		4b, 6, 9
Wuhle/ Abwasserleiter	Falkenberg/ Köthener Str.	1,70	1,40	19,0	144.730	144.730	4b, 6, 9
Erpe	Heidemühle-Erpetal	1,50	1,70	20,8	158.737	158.737	4b, 6, 9
Summe				1.562,4	8.976.188	8.976.188	

Quelle: Eigene Zusammenstellung nach Kraftwerks- und Anlagenbau AG (1992)

Das nutzbare Wasserkraftpotenzial beträgt laut Kraftwerks- und Anlagenbau AG in Berlin in Summe 1.562 kW elektrische Leistung und eine Jahresarbeit von 8.976 MWh. Das entspräche ca. 0,1 % des für 2050 prognostizierten Strombedarfs von 9.390 GWh. Der weitaus größte Teil kann mit 980 kWel und 4.915 MWh den 3 untersuchten Standorten an der Spree zugeschrieben werden, das entspricht ca. 63 % des gesamten elektrischen Leistungspotenzials. Den größten Einzelbeitrag dazu könnte die Schleuse Charlottenburg (Spree) mit 490 kWel und 2.457 MWh leisten.

4.6 Gesamtschau und Diskussion der Ergebnisse

Bei den hier ermittelten langfristig möglichen EE-Ausbauentwicklungen handelt es sich um eine Einschätzung theoretisch-technischer Potenziale bis etwa 2050. Für diesen Zeitraum wird angenommen, dass sich einige grundlegende Infra- und Gebäudestrukturen noch nicht vollständig verändert haben bzw. erneuert wurden, so dass dieser „Bestand“ als eine Restriktion zu berücksichtigen ist (vgl. auch Solarer Rahmenplan). Gleichzeitig ist der Zeitraum so groß, dass beispielsweise unterschiedliche Preisentwicklungen die reale Ausprägung der hier aufgezeigten technischen Potenziale deutlich verändern können. Dies trifft beispielsweise für die hohen ausgewiesenen technischen Potenziale bei den Wärmepumpen zu, wenn der Strompreis deutlich höher ausfällt und damit andere Optionen – z.B. die Solarthermie – im Vergleich wirtschaftlicher werden. Ebenso bedeutsam wie die Entwicklung der Preise (und eng gekoppelt damit) ist die Veränderung von Rahmen- bzw. Förderbedingungen für die zukünftige Entwicklung der einzelnen Technologien. Je nachdem wie die Rahmenseetzungen für z.B. die Photovoltaik, die Elektromobilität, für CCS, Atomenergie und Offshore-Wind, für Energieeffizienz und Erneuerbare Energien im Gebäudebestand etc. in Deutschland in Zukunft ausfallen, wird der Energiemix in Zukunft aussehen.

Als Bezugswerte für die für das Jahr 2050 abgeschätzten Berliner Gesamtstrom- und Wärmebedarfe dienen die Ausgangsdaten der Berliner Energieagentur (BEA) für das Zielszenario 2020. Aus diesen wurde auf Basis der für 2050 angegebenen bundesweiten Bedarfswerte gemäß BMU-Leitszenario 2009 (BMU 2009c) Berliner Energiebedarfswerte für 2050 ermittelt. Der so ermittelte

Strombedarf für Berlin beträgt im Jahr 2050 ca. 9.390 GWh, der entsprechende Wärmebedarf ca. 25.310 GWh.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Potenziale für eine langfristige Energieerzeugung (etwa 2050) aus erneuerbaren Energien dargestellt. Neben den ermittelten absoluten Zahlen enthält die Tabelle die Anteile am gesamten Strom- und Wärmeverbrauch (Endenergieverbrauch) Berlins 2050. Darüber hinaus wird für die Stromerzeugung der um den erforderlichen **Wärmepumpenstrom** geminderte Wert ausgewiesen, um zu dokumentieren, dass die gewonnene Energie durch Wärmepumpen durch deutlich erhöhten Strombezug erkaufte wird. Dieser sollte auf Basis erneuerbarer Energien erzeugt werden, was wiederum bei stark steigenden Strompreisen der Realisierung dieses Potenzials entgegen steht. Bei der **Biomasse** werden **nur die endogenen Potenziale** aus biogenen Rest- und Abfallstoffen berücksichtigt (ohne Berliner Stadtgüter), da die Höhe möglicher Importe demgegenüber nicht sinnvoll prognostiziert werden kann; dies betrifft auch mögliche importierte Biogasmengen. Ebenso wurden bisher noch **keine Biokraftstoffe berücksichtigt**, da diesbezüglich auf Ergebnisse einer laufenden Untersuchung der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung zurückgegriffen werden soll, die zum Abschluss dieser Studie noch nicht vorlagen. Eine weitere Einschränkung der hier ermittelten Werte ergibt sich daraus, dass die im Bereich **Wärmepumpen und Solarthermie** ermittelten Potenziale teilweise für ähnliche Gebäudetypen gelten und in Ermangelung differenzierter Gebäudedaten eine Abgrenzung nicht vorgenommen werden konnte.

Tab. 4.8: Gesamtschau langfristiger Potenziale erneuerbarer Energien in Berlin bis 2050 (ohne Biomasse-Importe)

	Energieerzeugung 2050	Anteil an EE- Strom/Wärme	Anteil am gesam- ten Energie- verbrauch 2050
	[GWh]	[%]	[%]
PV	2.214,5	64,1 %	23,6 %
Biogene Reststoffe *	524,2	15,2 %	5,6 %
Wind	709,7	20,5 %	7,6 %
Wasser	9,0	0,3 %	0,1 %
Summe Strom	3.457,4	100,0 %	36,8 %
Summe Strom abzgl. Wärme- pumpenstrom	957,4		10,2 %
Solarthermie	6.800,0	32,1 %	26,9 %
Biogene Reststoffe *	968,2	4,6 %	3,8 %
Wärmepumpen	12.400,0	58,6 %	49,0 %
Tiefengeothermie	1.000,0	4,7 %	4,0 %
Summe Wärme	21.168,2	100,0 %	83,6 %
Summe Strom & Wärme	24.625,6	100,0 %	71,0 %
Summe Strom & Wärme abzgl. Wärmepumpenstrom	22.125,6		63,8 %

* nur endogene Biomasse, d.h. ohne importierte Biomasse/Biokraftstoffe/Biogas

Quelle: Eigene Berechnungen

Wie sich der EE-Anteil entwickelt, wenn der Wärmebedarf im Berliner Gebäudebestand drastisch reduziert wird, ist eine strategisch wichtige Forschungsfrage, die im Rahmen dieser Studie jedoch nicht beantwortet werden konnte. Ein deutlich niedrigerer Wärmebedarf im zukünftigen Gebäudebestand, der z.B. durch strengere Neubau- und Bestandsauflagen erzielt werden kann, stellt **besondere Anforderungen** einerseits an die **Erzeugungstechnologien**, die teilweise Grenzen in besonders kleinen Leistungsbereichen aufweisen, andererseits auch an die **Infrastrukturen** wie die Fernwärmeleitungen, die gewisse Wärmemengen (bzgl. Volumen, Druck) brauchen, um betrieben werden zu können. Diesbezüglich wären technisch-ökonomische Szenarien zu entwickeln, die für verschiedene Wärmebedarfe den jeweiligen Technologie- und Infrastrukturmix untersuchen.

5 Erschließbare EE-Potenziale und Szenarien bis 2020

Bei der Ermittlung der erschließbaren Potenziale werden nun neben den technischen Restriktionen stärker die bisherige Entwicklung sowie in Teilen auch die Wirtschaftlichkeit der Technologien berücksichtigt. Wir gehen davon aus, dass - unter Beibehaltung der wesentlichen Rahmenbedingungen auf Bundesebene - durch gezielte Berliner Maßnahmen in den verschiedenen EE-Bereichen höhere Wachstumsraten erzielbar sind, als dies gegenwärtig in Berlin der Fall ist. Dabei sind jedoch die unterschiedlichen Entwicklungsstände der verschiedenen Technologien sowie ihre unterschiedlichen Einsatzbereiche und Hemmnisse zu beachten. Vor diesem Hintergrund und aufgrund der zum Teil sehr unterschiedlichen Datenqualität des Status Quo unterscheiden sich die Methoden zur Ermittlung der verschiedenen EE-Potenziale für 2020. Das konkrete Vorgehen wird daher jeweils in den nachfolgenden Kapiteln dargestellt.

Als Vergleichswerte für die für 2020 ermittelten EE-Potenziale dienten von der Berliner Energieagentur übermittelte Werte für Strom- und Wärmebedarfe im Referenz- und Zielszenario. Im Wärmebereich betragen diese 40.257 GWh (Referenzszenario) und 38.464 GWh (Zielszenario), im Stromsektor 11.760 GWh und 9.980 GWh.

5.1 Stromerzeugung

5.1.1 Photovoltaik

5.1.1.1 Stadtgebiet Berlin

Das EEG bietet den ins Stromnetz einspeisenden Photovoltaik-Anlagen in vielen Fällen einen wirtschaftlichen Betrieb. Daher konnte in den letzten knapp 20 Jahren auch in Berlin ein stetiger Zuwachs von installierter Leistung und Stromerzeugung verzeichnet werden (siehe auch Abschnitt 2.3.2). Die langfristigen technischen Potenziale wurden in Abschnitt 4.1.1.2 über die im solaren Rahmenplan (Everding et al. 2006) abgeschätzten Dach- und Fassadenflächen berechnet. Da die individuelle Entscheidung zum Bau einer PV-Anlage jedoch nicht nur von Wirtschaftlichkeit und vorhandenem Flächenpotenzial, sondern auch in hohem Maße von Eigentumsverhältnissen, finanziellen Möglichkeiten, baulichen Gegebenheiten, Einstellungen etc. abhängt, wird das bis zum Jahr 2020 erreichbare PV-Potenzial nicht über die Langfristpotenziale, sondern über Trendfortschreibungen bzw. Szenarien abgeschätzt. Grundlegende Annahmen dafür sind:

- Für die ab 2009 neu installierte Leistung werden zur Berechnung des Stromertrages **Volllaststundenzahlen von 750 h/a** angenommenen, die **bis 2020 auf 850 h/a** ansteigen. Dabei wird davon ausgegangen, dass neue Anlagen eine bessere Standortwahl und Planung erhalten und tendenziell höhere Wirkungsgrade aufweisen werden. Diese (Ertrag steigernden) Annahmen werden durch die in den nächsten Jahren voraussichtlich deutlich sinkenden Vergütungszahlungen eher bekräftigt.

- Zur Ermittlung von Trends und Hochrechnungen werden die **Wachstumsraten ab 2004** herangezogen, da ab diesem Zeitpunkt aufgrund der Novellierung des EEG ein deutlicher Anstieg der Raten in Berlin wie auch in ganz Deutschland verzeichnet werden konnte.

Für das Jahr 2020 wurde ein von der BEA prognostizierter Strombedarf im Referenzszenario von 11.760 GWh und im Zielszenario von 9.980 GWh als Vergleichsgrundlage herangezogen.

Unter Verwendung dieser grundsätzlichen Annahmen wurden drei verschiedene Szenarien erstellt:

- Das **Referenzszenario** nimmt für die Jahre 2009-2020 weiterhin den mittleren Zubau der Jahre 2004-2008 (1.563 kWp/a) an. Dieses Szenario geht davon aus, dass sich der jährliche Zubau (ohne weitere Maßnahmen) nicht weiter erhöht, sondern eine in etwa gleichgroße Anzahl an Anlagen überwiegend im privaten Bereich gebaut wird. Weitere Zielgruppen werden nicht erschlossen und auch der Anbieter- bzw. Installateursmarkt wächst nicht, und trägt damit auch nicht signifikant zur weiteren Verbreitung bei. Unter diesen Voraussetzungen könnten 2020 bei ca. 31.870 kWp installierter Leistung 23.210 MWh jährlich erzeugt werden.
- Nimmt man demgegenüber eine (lineare) Trendfortschreibung der Zubauraten 2004-2008 an, erhält man deutlich höhere Werte. So könnten 2020 ca. 110.000 kWp installiert sein, die 86.670 MWh Strom erzeugen. Um den Trend der jährlich steigenden Zubauraten zu verwirklichen sind - neben sinkenden Investitionskosten zum Ausgleich sinkender Vergütungssätze - jedoch voraussichtlich Maßnahmen erforderlich, die zusätzliche Zielgruppen erschließen. Das so genannte „**Ausbau-Plus-Szenario**“ beruht auf der beschriebenen linearen Trendfortschreibung der Zubauraten. Ab dem Jahr 2015 erfolgt aufgrund der bis dahin prognostizierten Netzparität³³ ein im Vergleich zur linearen Trendfortschreibung zusätzlicher Anstieg der Zubauleistung um 10 % (2015) bis 35 % (2020, schrittweise Erhöhung um jährlich 5 %). Daraus resultiert für 2020 eine kumulierte installierte Leistung von ca. 124.600 kWp sowie eine Stromerzeugung von knapp 99.000 MWh
- Eine drittes Szenario basiert auf den Ausbaudaten des so genannten BMU-Leitszenario von 2009, in dem ebenfalls die Entwicklung bis 2020 und darüber hinaus für alle EE ermittelt wurde (BMU 2009c). Bei der Übertragung der in dieser Studie verwendeten Zubauraten auf Berlin ergeben sich für installierte Leistung (57.175 kWp) und Stromerzeugung (43.278 MWh) im Jahr 2020 Werte, die zwischen den beiden oben genannten Szenarien liegen.

³³ Die Netzparität gilt als erreicht, wenn PV-Strom zum Endverbraucherstrompreis angeboten werden kann. Ab diesem Zeitpunkt, wird von einer noch deutlicheren Steigerung des Ausbaus der Photovoltaik ausgegangen.

Abb. 5.1. zeigt Entwicklung sowie Ergebnisse der Szenarien für die aus PV-Anlagen resultierende Stromerzeugung.

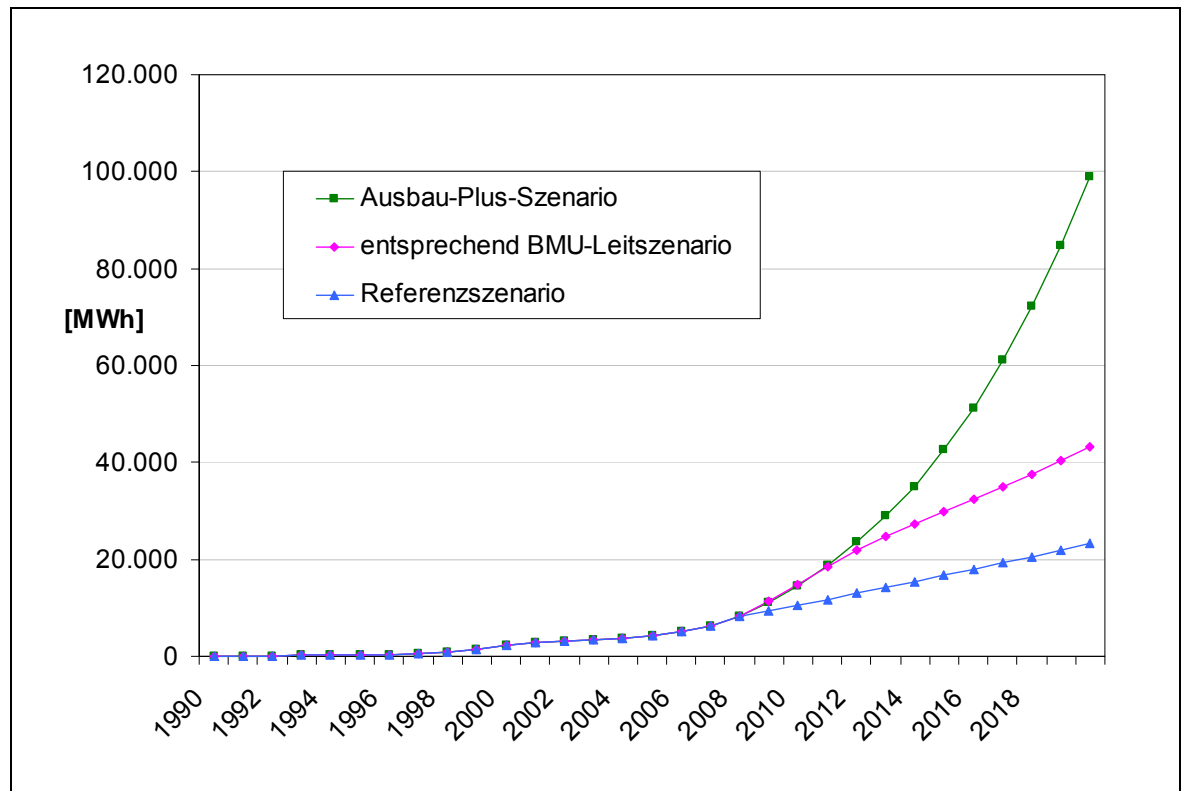


Abb. 5.1: Entwicklung der Stromerzeugung [MWh] durch Photovoltaik in den verschiedenen Trendszenarien für Berlin bis 2020

Eigene Berechnungen unter Berücksichtigung der oben genannten Annahmen.

Die wichtigsten Ergebnisse dieser Szenarien sowie die Abschätzung der Bedeutung von PV für Berlins Strombedarf und Flächenpotenziale sind in Tab. 5.1 zusammengefasst. Es zeigt sich, dass auch unter Annahme einer linear ansteigenden Zubaurate (die den starken Aufwärtstrend seit 2004 widerspiegelt), sowie einer zusätzlichen Steigerung des Zubaus ab 2015, im Jahr 2020 lediglich knapp 1 % des von der Berliner Energieagentur im Zielszenario prognostizierten Strombedarfs Berlins durch Photovoltaikanlagen gedeckt werden könnten. Unter der Annahme, dass pro installiertem kWp 10 m² geeignete Dach- oder Fassadenfläche erforderlich sind, würden im Szenario „Linearer Zubau“ nur ca. 2,7 % des im solaren Rahmenplan ausgewiesenen solarurbanen Flächenpotenzials genutzt werden - eine Konkurrenz zur solarthermischen Nutzung kann somit nahezu ausgeschlossen werden.

Tab. 5.1: Ergebnisse der PV-Szenarien 2020 im Überblick

	Referenz 2020	Ausbau-Plus 2020	BMU- Leitszenario 2020	2008
Installierte Leistung [MWp]	31,9	124,6	57,2	13,1
Stromerzeugung [MWh]	23.214	98.916	43.278	8.203
Anteil am Strombedarf [%]	0,2 %	1,0 %	0,4 %	0,1 %
Anteil an im solaren Rahmen- plan ausgewiesenen solarurba- nen Flächen [%]	0,7 %	2,7 %	1,2 %	0,28 %

Quelle: Eigene Berechnungen

Mit der Annahme der steigenden Zubauraten im Ausbau-Plus-Szenario wird zwar einerseits eine dynamische Marktentwicklung gezeichnet, andererseits wird damit im Ergebnis im Jahr 2020 noch kein hoher Anteil am Berliner Strombedarf erzielt. Das BMU-Leitszenario 2009 sieht für Deutschland in 2020 jedoch eine Stromerzeugung durch Photovoltaik in der Höhe von 20 TWh vor, was einem Anteil von ca. 3,6 % an der gesamten prognostizierten Bruttostromerzeugung entspricht. Demgegenüber fällt der hier im Ausbau-Plus-Szenario ermittelte Wert im Vergleich deutlich niedriger aus - wengleich es einige Gründe dafür gibt: Erstens startet Berlin im Vergleich mit dem Bundesdurchschnitt mit deutlich geringeren Bestandswerten, muss also zunächst im Ausbau „nachholen“. Zweitens gibt es im urbanen Raum viele Einschränkungen der Flächen- bzw. Standortpotenziale (z.B. fehlende Freiflächen für Großanlagen, Denkmalschutz, Verschattungen etc.). Drittens ist die Errichtung von PV-Anlagen in einer ausgeprägten Mieterstadt mit einer Reihe zusätzlicher Hemmnisse behaftet. Zur Erzielung höherer Anteile muss also in jedem Fall ein Hemmnisabbau erfolgen, es müssen weitere Zielgruppen erschlossen werden und es muss sich auch anbieter-, betreiber- und installateursseitig ein aktiverer Solarmarkt entwickeln. Die Übertragung des PV-Anteils aus dem BMU-Leitszenario – 3,6 % - auf Berlin würde angewendet auf den Strombedarf gemäß Zielszenario der BEA eine PV-Stromerzeugung von ca. 359.000 MWh und eine jährliche Steigerung von ca. 37 % bedeuten.

5.1.1.2 PV Stadtgüter

Für die Ermittlung von PV-Potenzialen auf den Berliner Stadtgütern wird auf die Ergebnisse der für die Berliner Stadtgüter GmbH erstellten Studie (umweltplan 2008) zurückgegriffen (siehe auch Abschnitt 4.1.2). Demnach wurden geeignete und bedingt geeignete Flächen für PV-Freiflächenanlagen ausgewiesen. Für die Erschließung von PV-Potenzialen wird unter Beachtung von wahrscheinlichen Nutzungskonkurrenzen nur auf die geeigneten Flächen (bereits versiegelte bzw. Konversionsflächen im Umfang von 299,5 ha) zurückgegriffen. Bei den als bedingt geeignet ausgewiesenen Flächen handelt es sich vorrangig um landwirtschaftliche Flächen, die eher für den Anbau von Biomasse zur energetischen Nutzung vorgeschlagen werden. Gegenwärtig gibt es bereits zwei konkrete Aktivitäten im Bereich PV-Freiflächenanlagen.

- Auf einem Teil des ehemaligen Militärflughafens **Staaken** schloss der Solarmodulproduzent Q-Cells Ende Februar 2009 einen Pachtvertrag über ca. 30 ha Fläche mit der Berliner Stadtgüter GmbH und plant - unter der Voraussetzung, dass die Gemeinde Dallgow-Döberitz das Gebiet zur „Sonderfläche für solare Energiegewinnung“ umwidmet - bis 2010 den Bau einer Freiflächenanlage mit einer Gesamtleistung von 18 MW zu beenden (Fahrun 2009). Das Unternehmen konnte im Juli 2009 zusätzlich einen Pachtvertrag für 10 ha Fläche auf Spandauer Gebiet unterzeichnen. So soll ein „grenzüberschreitender“ Solarpark mit einer PV-Leistung von

20 MW geschaffen werden (Märkische Allgemeine 2009), der ab Frühjahr 2010 rund 12.450 MWh (Steyer 2009) pro Jahr einspeisen soll.

- Außerdem plant die umweltplan projekt GmbH eine PV-Freiflächenanlage mit einer Leistung von ca. 3,7 MWp auf einer ehemaligen Deponie zwischen **Rüdersdorf** und Fredersdorf-Vogelsdorf zu errichten, die jährlich ca. 3.300 MWh Strom einspeisen könnte (SPD-Hennickendorf 2009; Vach 2009).

Durch die zwei beschriebenen Projekte ergibt sich eine voraussichtliche PV-Leistung von 23,7 MW auf den Flächen der Berliner Stadtgüter GmbH. Durch diese Freiflächenanlagen könnten ca. 15.750 MWh Elektrizität, und damit 0,16 % des für 2020 vorausgesagten Verbrauchs (Zielszenario) erzeugt werden.

Im **Referenzszenario** wird für das Jahr 2020 die Umsetzung der Hälfte des von der umweltplan projekt GmbH für die Berliner Stadtgüter GmbH ermittelten PV-Potenzials auf „geeigneten“ Flächen (siehe Abschnitt 4.1.2, (umweltplan 2008)) unterstellt. Ein solcher Ausbau ergäbe eine installierte Leistung von ca. 40,8 MWp, d.h. es wird für die nächsten 12 Jahre von etwa einem weiteren Projekt in der Größenordnung des o.g. „Staaken-Projekts“ ausgegangen. Mit dieser installierten Leistung lässt sich eine Stromerzeugung von ca. 37.240 MWh/a realisieren - was einen Anteil von 0,3 % an dem von der BEA in ihrem Referenzszenario prognostizierten Strombedarf darstellen würde.

Für das **Ausbau-Plus-Szenario** wird eine vollständigen Umsetzung des PV-Potenzials auf den als geeignet eingestuften Flächen (nach umweltplan 2008) angenommen, was eine installierte Leistung von ca. 81,6 MWp und eine daraus resultierende Stromerzeugung in Höhe von ca. 74.500 MWh zur Folge hätte. Letztere entspräche ca. 0,75 % des von der BEA in ihrem Zielszenario unterstellten Strombedarfs im Jahr 2020.

5.1.1.3 Gesamtpotenzial Berlin inkl. Stadtgüter

In Tab. 5.2 ist das gesamte ermittelte PV-Stromerzeugungspotenzial Berlins 2020, einmal nur für das Stadtgebiet und einmal als Summe der abgeschätzten Elektrizitätserzeugung im Stadtgebiet Berlins sowie auf Flächen der Berliner Stadtgüter GmbH, für Referenz- und Ausbau-Plus-Szenario dargestellt. Im Ausbau-Plus-Szenario können demnach - unter Berücksichtigung der Berliner Stadtgüter - 1,7 % des für 2020 im Zielszenario der Berliner Energieagentur prognostizierten Strombedarfs durch Photovoltaik gedeckt werden, im Referenzszenario beträgt der Anteil (am von der BEA in ihrem entsprechenden Szenario ermittelten Strombedarf) lediglich 0,5 %. Im Stadtgebiet Berlin könnten Anteile von 1 % (Ausbau-Plus-Szenario) bzw. 0,2 % (Referenzszenario) an den Strombedarfen 2020 erreicht werden.

Tab. 5.2: Stromerzeugung durch Photovoltaikanlagen im Jahr 2020 im Stadtgebiet und auf Flächen der Berliner Stadtgüter GmbH

	Berlin ohne Stadtgüter		Berlin mit Stadtgütern	
	Stromerzeugung 2020	Anteil am Stromverbrauch	Stromerzeugung 2020	Anteil am Stromverbrauch
	[MWh]	[%]	[MWh]	[%]
Referenz 2020	23.213,8	0,2 %	60.456	0,5 %
Ausbau-Plus 2020	98.915,6	1 %	173.400	1,7 %
Vergleich: 2008	8.203	0,1 %	8.203	0,1 %

Quelle: Eigene Berechnungen; Strombedarfe der Szenarien von BEA.

5.1.2 Windenergie

5.1.2.1 Stadtgebiet Berlin

Große Windenergieanlagen

Für das Land Berlin liegen keine detaillierten Standortanalysen oder Windpotenzialkartierungen vor, aus denen sich genauere Anlagenpotenziale ermitteln ließen. Eine zentrale Quelle sind daher Informationen von Experten und Aktiven auf diesem Gebiet, die sich bereits ausführlich mit den Gegebenheiten möglicher Potenzialgebiete in Berlin befasst haben. Die befragten Akteure geben dabei als eine aus ihrer Sicht „untere Grenze“ ein Zubaupotenzial von 5 Anlagen mit einer Gesamtleistung von ca. 20 MW an, die ihnen nach den gegenwärtigen Erfahrungen mit der ersten Berliner WEA realistisch erscheinen (v. Tengg-Kobligk 2009; Vach 2009). Damit ergäbe sich im Jahr 2020 eine Gesamtleistung von 22 MW, mit der (unter Annahme von 2.400 Volllaststunden pro MW, vgl. umweltplan 2008) ca. 53.100 MWh Elektrizität erzeugt werden könnten.

Bei verbesserten Rahmenbedingungen in Berlin (z.B. durch die Vereinfachung des Zugangs zu stadteigenen Flächen oder die Bündelung von Genehmigungsverfahren) gehen die Befragten von einem Potenzial von bis zu 20 Anlagen bzw. insgesamt 102 MW bis 2020 aus. (Vach 2009; v. Tengg-Kobligk 2009). So wäre eine Stromerzeugung von ca. 245.100 MWh denkbar.

Auf Basis dieser Informationen und Einschätzungen werden das Referenz- und Ausbau-Plus-Szenario formuliert, wobei hier unter Berücksichtigung der bisherigen Erfahrungen eine deutliche Absenkung der angegebenen Werte vorgenommen wird:

Im **Referenzszenario** wird von keiner Errichtung neuer Anlagen ausgegangen. Damit bliebe es bei einer Stromerzeugung von 5.100 MWh durch die bereits existierende 2MW-Anlage, die 2020 0,04 zum Strombedarf im Zielszenario der BEA beitrüge.

Im **Ausbau-Plus-Szenario** wird ein Zubau von 5 neuen WEA mit einer Leistung von jeweils 3 MW unterstellt. So könnte 2020 eine installierte Leistung von 17 MW und eine Stromerzeugung von 41.100 MWh erreicht und damit 0,4 % des von der BEA für 2020 in ihrem Zielszenario prognostizierten Stromverbrauchs (9.980 GWh) gedeckt werden.

Kleinwindanlagen

Der Markt für Kleinwindanlagen befindet sich in einem sehr frühen Stadium. Gegenwärtig sind für Berlin erste Testreihen geplant, um Erfahrungen über das technisch-ökonomische Potenzial auf Gebäuden zu sammeln. Unter der Annahme, dass sich die gegenwärtigen Rahmenbedingungen, sprich die Förderpolitik nach EEG sowie die Genehmigungspraxis, nicht verändern, kann für das **Referenzszenario** von einem **vernachlässigbaren Ausbau** ausgegangen werden.

Nimmt man jedoch an, dass sich in den nächsten Jahren die Zuverlässigkeit der Technik soweit entwickelt, dass über erste erfolgreiche Anwendungen und ggf. eine gezielte, angemessene Breitenförderung eine langsame Marktentwicklung einsetzt, dann kann auch von „messbaren“ Stromerträgen durch Kleinwindanlagen ausgegangen werden. Nimmt man – nach einer Testphase in den nächsten 2 Jahren – einen Wert von 30 KWEA in 2011 an und geht von einem jährlichen Wachstum in Höhe von 30 % aus, dann werden bis 2020 etwas mehr als 300 Anlagen in Berlin errichtet. Eine solche Anlagenzahl könnte – basierend auf den im Abschnitt 4.4.1.2 festgelegten Anlagenparametern - eine Strommenge von ca. 2,25 GWh erzeugen und damit einen Anteil von 0,02 % am Gesamtstromverbrauch (Zielszenario BEA) erreichen.

5.1.2.2 Berliner Stadtgüter

Wie bereits oben erläutert, befinden sich die durch Windenergienutzung noch nicht erschlossenen Flächen der Stadtgüter GmbH zum weitaus größten Teil außerhalb der in Brandenburg ausgewiesenen Windeignungsflächen - aus rechtlichen Gründen können daher dort im Moment keine Windenergieanlagen errichtet werden. Durch eine Änderung/Ausweitung dieser Flächen oder den Übergang zu Einzelfallprüfungen könnte jedoch in Zukunft auch auf den Flächen der Berliner Stadtgüter eine weitere Nutzung der Windenergie möglich werden. Die hierfür erforderliche Änderung der Rahmenbedingungen wird als Kriterium für die Unterscheidung in Referenz- und Ausbau-Plus-Szenario verwendet.

Für das **Referenzszenario** wird angenommen, dass es zu keiner signifikanten planungsrechtlichen Änderung bis 2020 – und damit zu keinem weiteren Zubau auf den Flächen der Berliner Stadtgüter kommt. Im Moment wird der auf diesen Flächen erzeugte Strom nicht in der Energiebilanz mit aufgeführt, stellt jedoch dennoch ein EE-Potenzial dar, das dem Land Berlin durchaus zugerechnet werden könnte. Die Strommenge von ca. 75 GWh, die durch die gegenwärtig bereits errichteten Anlagen produziert wird, beträgt 0,6 % des für 2020 im Referenzszenario der Berliner Energieagentur prognostizierten Strombedarfs.

Für das **Ausbau-Plus-Szenario** wird angenommen, dass bis zum Jahr 2020 bis zu 50 % der ermittelten Ausbaupotenziale ausgeschöpft werden können (nach umweltplan projekt GmbH (2008)).³⁴ Diese Realisierungsgröße wird auch von den Autoren der Potenzialstudie als realistisch eingestuft (v. Tengg-Kobligk 2009; Vach 2009). Dadurch könnten 2020 auf Flächen der Berliner Stadtgüter GmbH mit einer installierten Gesamtleistung von 122 MW ca. 240.000 MWh Strom erzeugt, und umgerechnet etwa 2,4 % des voraussichtlichen Strombedarfs 2020 (gemäß Zielszenario der BEA) gedeckt werden. Wichtig ist hierbei, dass für die tatsächliche Realisierung dieser Potenziale aller-

³⁴ Als Basis dient der in der Studie ausgewiesene Potenzialwert (75% des Gesamtpotenzials), der auch Naturschutzaspekte etc. berücksichtigt (vgl. Abschnitt 4.4).

dings entscheidende Rahmenbedingungen in Brandenburg geändert werden müssten. Dies sollte ein Gegenstand der Diskussionen und Aushandlungen der Gemeinsame Landesplanungsabteilung Berlin-Brandenburg sein.

5.1.2.3 Gesamtpotenzial Berlin inkl. Stadtgüter

Die in den vorigen Abschnitten hergeleiteten Windenergie-Nutzungspotenziale in Berlin und auf Flächen der Berliner Stadtgüter GmbH sind in Tab. 5.3 für Referenz- und Ausbau-Plus-Szenario zusammengefasst. Es zeigt sich, dass die Berliner Stadtgüter für die Nutzung der Windenergie eine entscheidende Rolle spielen. Auf dem Gebiet des Landes Berlin selbst können voraussichtlich bis 2020 Windstromanteile i.H.v. bis zu 0,43 % (inkl. Kleinwindanlagen) erschlossen werden. Berücksichtigt man die Stadtgüterflächen, dann kann das Potenzial auf einen Anteil von bis zu 3 % erweitert werden.

Tab. 5.3: Stromerzeugung durch Windenergieanlagen im Jahr 2020 im Stadtgebiet und auf Flächen der Berliner Stadtgüter GmbH

	Berlin ohne Stadtgüter			Berlin mit Stadtgütern	
	Stromerzeugung 2020 [MWh]	davon durch KWEA [MWh]	Anteil am Bedarf 2020 [%]	Stromerzeugung 2020 [MWh]	Anteil am Bedarf 2020 [%]
Referenz	5.100	0	0,04 %	80.100	0,68 %
Ausbau-Plus	43.350	2.250	0,43 %	283.212	2,84 %
Vergleich: 2009	5.100	0		75.000	

Quelle: Eigene Berechnungen; Strombedarfe nach Szenarien der BEA

5.1.3 Wasserkraft

Ab 1991 wurde mit der Implementierung des Stromeinspeisungsgesetzes auch die Stromerzeugung durch Wasserkraftnutzung mit knapp 15 Pf/kWh vergütet. Mit der Einführung des EEG im Jahre 2000 wurde die Vergütung ohne Anpassung an Inflation etc. auf 7,67 Ct/kWh festgesetzt. Im Jahr 2004 wurde die Mindestvergütung für Strom aus Wasserkraftanlagen mit einer Leistung unter 500 kW zwar auf 9,67 Ct/kWh und 2009 auf 12,67 Ct/kWh angehoben, jedoch für nach dem 31. 12. 2007 genehmigte Anlagen nur unter immer strengeren ökologischen Anforderungen und nur für Neubauten an bereits bestehenden oder für andere Zwecke errichteten Wehranlagen oder Stau-stufen oder ohne durchgehende Querverbauung (eigene Recherchen und Gespräch mit Arbeitsgemeinschaften Wasserkraftwerke Deutschland). Unter diesen Umständen erscheint die Nutzung der Wasserkraftpotenziale in Berlin im Moment als nicht wirtschaftlich - was jedoch nur durch spezielle Standortgutachten genauer geprüft werden könnte. Obwohl die Wasserkraftnutzung in Deutschland lange Tradition hat und daher eher keine Technologiesprünge mehr zu erwarten wären, konnten in den letzten Jahren - vor allem aufgrund der steigenden Relevanz von Exporten und internationaler Konkurrenzfähigkeit in der Wasserkraftbranche - deutliche Effizienzsteigerungen in der Anlagentechnik verzeichnet werden (Uphoff 2009). Ob diese bis 2020 zur Wirtschaftlichkeit (kleiner) Wasserkraftanlagen in Berlin führen wird ist aber fraglich. Um vorhandenen technischen Potenzialen dennoch Rechnung zu tragen und als Hauptstadt eine Vorbildfunktion zu erfüllen, könnte jedoch die Errichtung von technologisch besonders fortschrittlichen Pilotanlagen - ev. in Kooperation mit Herstellern - an ausgewählten Standorten geprüft werden.

5.1.4 Anteil Erneuerbarer Energien im deutschen Strommix – EE-Stromimporte

Für die Ermittlung des allgemeinen Anteils erneuerbarer Energien im Strommix wird die so genannte „Leitstudie“ des BMU herangezogen (BMU 2008a). Danach wird in 2020 ein Anteil von 35 % Erneuerbare Energien am Bruttostromverbrauch in Deutschland erreicht. In diesem Anteil sind wiederum 0,5 % an EE-Importstrom aus dem EU-Stromverbund enthalten. Die 35 % ergeben sich zum einen aus der gegenwärtig gültigen gesetzlichen „Mindestanforderung“ für den Strombereich: Gemäß § 1 Abs. 2 EEG „verfolgt dieses Gesetz das Ziel, den Anteil Erneuerbarer Energien an der Stromversorgung bis zum Jahr 2020 auf mindestens 30 % und danach kontinuierlich zu erhöhen.“ Der im Leitszenario ausgewiesene höhere Wert dient damit gleichzeitig der Erfüllung des durch die EU-Richtlinie gesetzten Globalziels eines 20 %-Anteils für alle Erneuerbaren Energien, da einige andere Bereiche – insbesondere Biokraftstoffe, aber auch der Wärmebereich – den 20 %-Wert nicht erreichen werden. Die wesentlichen Daten finden sich in Tab. 5.4. Neben der BMU-Leitstudie hat auch der Bundesverband Erneuerbare Energien eine Studie zum EE-Ausbau im Strombereich für den Zeithorizont 2020 in Auftrag gegeben, die im Januar 2009 vorgelegt wurde. Zentrales Ergebnis dieser Studie: Der Anteil der Erneuerbaren am Stromverbrauch steigt bis 2020 auf 47 % (BEE 2009).³⁵

Im Rahmen dieser Studie wird vorgeschlagen, für das Referenzszenario von dem im Gesetz formulierten „Mindestwert“ i.H.v. 30 % auszugehen, da dieser erreicht werden muss, darüber hinaus gehende Anteile jedoch politisch auszuhandeln sein werden. Für das EE-Ausbauszenario wird ein mittlerer Wert in Höhe von 40 % gewählt, der sich zwischen dem Ergebnis des BMU-Leitszenarios und der BEE-Branchenprognose „Stromversorgung 2020“ befindet, jedoch eine höhere Nähe zum „konservativeren“ Wert des BMU hat.

Tab. 5.4: EE-Stromerzeugung in Deutschland laut BMU-Leitszenario 2009 unter Berücksichtigung von Importen aus dem EU-Stromverbund

		2020	2025	2030	2040	2050
Bruttostromverbrauch Deutschland	TWh/a	557	k. A.	540	558	599
EE-Strom in Deutschland gesamt (inkl. Importe)	TWh/a	196	256,5	317	426,5	502,6
Anteil EE in D gesamt	%	35,2 %	k. A.	58,7 %	76,4 %	83,9 %
EU-Stromverbund-Importe	TWh/a	2,7	21,7	40,7	91,5	123,3
Anteil EU-Stromverbund in Deutschland (Importe)	%	0,5 %	k. A.	7,5 %	16,4 %	20,6 %
<i>Davon: solarthermische KW</i>	TWh/a	0	9,7	20,2	55,3	84,5
<i>Davon: Wind und andere EE</i>	TWh/a	2,7	12	20,5	36,2	38,8

Quelle: Eigene Zusammenstellung nach BMU (2009c)

³⁵ Siehe hierzu auch unter: www.stromversorgung2020.de (28.11.2009).

5.2 Gebäudebezogene Heizungssysteme

5.2.1 Übergreifende Methodik und Annahmen

Zur Ermittlung der erschließbaren Potenziale bis zum Jahr 2020 wurde im Bereich der gebäudebezogenen Heizungssysteme eine Vorgehensweise gewählt, die es ermöglicht, die Nutzungskonkurrenzen zwischen den Systemen zu berücksichtigen. Zunächst erfolgt für jede der hier relevanten EE-Technologien - Solarthermieanlagen, Wärmepumpen zur Nutzung oberflächennaher Geothermie und kleine Biomasseheizkessel - eine **Trendfortschreibung** der bisherigen Zubauraten. Für die Berechnung des **Referenzszenarios** werden zwei weitere Aspekte berücksichtigt: zum einen kann sich durch eine Veränderung der Wirtschaftlichkeit der Anteil der EE-Anlagen verändern, zum anderen haben sich mit dem seit Anfang 2009 geltenden EE-Wärme-Gesetz die Rahmenbedingungen für Neubauten deutlich verändert.

Zur Bildung des Referenzszenarios wird als Rahmenbedingung die Veränderung der **Wirtschaftlichkeit** der EE-Anlagen im Vergleich zu fossilen Referenzszenarien bis zum Jahr 2020 berücksichtigt. Verglichen werden für die Wohngebäude die Vollkosten des Betriebs von Solarthermieanlagen (zusätzlich zu einem Heizungskessel), Wärmepumpen und Holzpelletkessel mit denen von Gas- oder Öl-Brennwertkesseln. Während bei den EE-Anlagen in den nächsten Jahren zum Teil deutliche Kostendegressionen erwartet werden, kann der Anstieg der Energiepreise zu einer Erhöhung der Kosten bei den fossilen Heizungen führen. Im Anhang 8.1 ist das Vorgehen bei der Berechnung der Wirtschaftlichkeit dargestellt.

Zur Berechnung des Referenzszenarios im **Bestand** wird die jährlich zu ersetzende Anzahl an Heizungsanlagen als Grundlage gewählt. Bei einer Lebensdauer von 20 Jahren (BEA 2009) sind dies 5 % der Anlagen pro Jahr. Die Zahl der Anlagen wird bei den Wohngebäuden vereinfachend über die Zahl der Gebäude abgeschätzt, da EE-Anlagen in der Regel als (Teil von) Gebäudezentralheizungen eingesetzt werden. Der Zubau von EE-Anlagen lässt sich somit mittels Annahmen zur Entwicklung des Anteils der EE-Anlagen an den neu installierten Anlagen berechnen. Der in den einzelnen Gebäuden zu deckende Wärmebedarf kann über den gesamten Wärmebedarf in EFH und MFH (BEA 2009) berechnet werden. Zur Abschätzung des Wärmebedarfs, der durch die neu installierten EE-Anlagen gedeckt werden kann, muss zusätzlich deren Deckungsgrad bekannt sein. Dieser wird für Biomasse und Wärmepumpen bei den Wohngebäuden mit jeweils 100 %³⁶ angenommen, für Solarthermieanlagen in Neubauten 15 % und im Bestand 10 %. Im Bereich der Nichtwohngebäude kann diese differenzierte Herangehensweise nicht gewählt werden, da keine Informationen zur Anzahl Gebäude vorliegen. Deshalb wird der Anteil EE direkt über den Wärmebedarf abgeschätzt.

³⁶ Zwar werden in einigen Anwendungsbeispielen Spitzenlastkessel eingesetzt, so dass die durchschnittliche Deckungsrate ggf. etwas niedriger liegt. Ein Einsatz von Wärmepumpen und die Nutzung von Biomasse in Mehrfamilienhäusern mit einem Deckungsgrad von 100 % ist technisch jedoch möglich und wird sich zukünftig verbreiten. Aufgrund der insgesamt geringen Anzahl an Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern hat die Höhe dieses Deckungsgrades lediglich geringfügige Auswirkungen auf die Gesamtwärmebereitstellung durch Wärmepumpen.

Dabei wird auch hier von den oben genannten Werten für die solare Deckung sowie für Wärmepumpen von einem Deckungsgrad von 50 %³⁷ ausgegangen.

Die **Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung** sind umfassend in Anhang 8.3.1.4 dargestellt, im Folgenden werden lediglich die zentralen Ergebnisse zusammengefasst:

- In *neu gebauten Einfamilienhäusern* stellt heute die Gas-Brennwertheizung die kostengünstigste Variante dar. Luft-Wärmepumpen (bei Bezug von speziellen Wärmepumpen-Stromtarifen) sind bereits heute über die gesamte Lebensdauer betrachtet kostengünstiger als der Einsatz eines Öl-Brennwertkessels, ab 2015 gilt dies auch für Gas-Brennwertkessel. Dagegen rentiert sich bis 2020 weder die Installation einer Solarthermieanlagen, noch eines Holzpelletkessels oder einer Sole-Wärmepumpe.
- In *bestehenden Einfamilienhäusern*, bei denen im Vergleich zu Neubauten von einem höheren Energiebedarf ausgegangen wird, rentieren sich bereits heute Luft-Wärmepumpen sowie Holzpelletkessel (im Vergleich zu Gas-Brennwertkesseln ab 2010). Sole-Wärmepumpen werden bei diesen Gebäuden ab 2012 (im Vergleich zur Ölheizung) bzw. 2015 (im Vergleich zur Gasheizung) rentabel, Solarthermieanlagen können dagegen bis 2020 nicht (bzw. erst ab 2018 bei Ölheizungen und in Verbindung mit einem Holzpelletkessel) wirtschaftlich betrieben werden. Während heute Luft-Wärmepumpen mit Abstand die günstigste Variante unter den EE-Anlagen darstellt sinken die Kosten für Holzpelletkessel sowie für Holzpelletkessel kombiniert mit Solarthermieanlagen bis 2020 auf dasselbe Niveau, so dass alle drei Alternativen dann rentabel sind.
- In *neu gebauten Mehrfamilienhäusern* rentiert sich bereits heute sowohl der Einbau von Solarthermieanlagen als auch die Nutzung von Holzpelletkesseln, wobei die Kombination von beiden am günstigsten ist. Sole-Wärmepumpen können - im Vergleich zu den fossilen Referenzsystemen - ab 2013 bzw. 2015 wirtschaftlich betrieben werden, bleiben aber bis 2020 deutlich teurer als die alternativen EE-Heizungssysteme.
- Im *Mehrfamilienhaus-Bestand* sind ebenfalls bereits heute Solarthermie und Holzpelletkessel die wirtschaftlichsten Heizungssysteme, wobei die Kombination aus beidem am kostengünstigsten ist, und insgesamt die Kosten des Einsatzes eines Holzpelletkessels deutlich unter denen aller anderen betrachteten Heizungssysteme liegen. Im Bestand ist außerdem auch die Nutzung einer Sole-Wärmepumpe rentabler als die fossilen Referenzsysteme, ab 2010 bzw. 2013 ebenfalls günstiger als die Kombination von Solarthermie mit den fossilen Heizkesseln.

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen zeigen also, dass unter den getroffenen Annahmen bereits heute in fast allen Wohngebäuden EE-Anlagen wirtschaftlich betrieben werden können. Bis 2020 steigen die Kosten für die Nutzung der fossilen Referenzsysteme deutlich an, so dass dann in allen Gebäuden EE-Anlagen – in der Regel deutlich – kostengünstiger sind. Bei den Ergebnissen ist zu berücksichtigen, dass das betrachtete Referenz-Mehrfamilienhaus zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit kleiner als viele Mehrfamilienhäuser in Berlin ist. Dies ändert jedoch vermutlich nichts an der Tendenz der Ergebnisse, da eine Auswertung zu größeren EE-Anlagen

³⁷ In Nicht-Wohngebäuden ist ein Einsatz von Wärmepumpen insbesondere im Bereich produzierendes Gewerbe aufgrund des niedrigen Temperaturniveaus nur sehr begrenzt möglich. Experten schätzen die erreichbaren Deckungsgrade auf etwa 30 % (Lambauer et al. 2008). Für Bürogebäude können höhere Deckungsanteile erzielt werden, reale Deckungsanteile schwanken in diesem Bereich stark und liegen Feldversuchen zufolge zwischen 1 und 100 % (Hoffmann und Voss 2006). Aus diesen Gründen wurde in der Studie ein durchschnittlicher Deckungsanteil von 50 % für Nicht-Wohngebäude angenommen.

ergab, dass die Kosten bei größeren Anlagen eher geringer sind – wobei dies wohl auch für die fossilen Referenzsysteme gilt (vgl. Anhang 8.3.1.5). Keine Aussagen können basierend auf der Literatur zur Wirtschaftlichkeit von EE-Anlagen im Bereich der Nichtwohngebäude getroffen werden.

Die Frage, welche **Auswirkungen die Entwicklung der Wirtschaftlichkeit auf das Marktwachstum** in den einzelnen EE-Sparten hat wird jeweils in den folgenden Unterkapiteln erörtert. Trotz wirtschaftlicher EE-Heizungssysteme werden heute in der Regel noch fossile Heizungen installiert. Deshalb gehen wir im Referenzszenario aufgrund zahlreicher Restriktionen nicht von einem sprunghaften Anstieg allein aufgrund der Zunahme der Wirtschaftlichkeit der EE-Anlagen aus. Denn auch wenn die geringeren Kosten einen starken Marktimpuls haben wird das Marktwachstum weiterhin durch nicht-wirtschaftliche Hemmnisse (insbesondere bauliche Hemmnisse, beispielsweise Gasetagenheizungen in zahlreichen Berliner Mehrfamilienhäusern), eine langsame Marktdurchdringung sowie verzögerte Anpassungsgeschwindigkeiten in den (überwiegend kleinen und mittelständischen) Unternehmen, die Planung und Installation der Anlagen umsetzen müssen, begrenzt. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass die EE-Anlagen zwar aufgrund geringerer Betriebskosten über die gesamte Nutzungsdauer (in der Regel 20 Jahre) kostengünstiger sind, deren Investitionskosten aber meist deutlich höher liegen. Viele Eigentümer/-innen – gerade von Einfamilienhäusern – treffen ihre Investitionsentscheidung jedoch vor dem Hintergrund der Investitionskosten und nicht der Kosten über die gesamte Lebensdauer. Da die Differenz der Investitionskosten aufgrund von angenommenen Kostendegressionen bei den EE-Anlagen bis 2020 geringer wird kann dies allerdings einen zusätzlichen Impuls für das Marktwachstum der erneuerbaren Energien zur Folge haben. Im Bereich der Mehrfamilienhäuser kommt hinzu, dass die Eigentümer/-innen die Mehrkosten für die Installation einer EE-Anlage bisher nicht oder nur in geringem Maße auf die Mieter/-innen umlegen können, so dass es zu einem Nutzer-Investor-Dilemma kommen kann: Da die Eigentümer/-innen nicht direkt von den sinkenden Energiekosten profitieren rentiert sich für sie die Investition in EE-Anlagen nicht. All diese Restriktionen führen dazu, dass sich die Kostenvorteile des Einsatzes von EE-Anlagen nicht direkt in den Zubauraten niederschlagen.

Im Bereich der Nichtwohngebäude, in dem EE-Anlagen bisher nur eine geringe Bedeutung haben, wird im Referenzszenario für den Bestand lediglich bei den öffentlichen Gebäuden aufgrund der klimapolitischen Zielen des Landes, dessen Vorbildfunktion sowie insbesondere der Klimaschutzvereinbarung zwischen dem Land Berlin und der Berliner Immobilienmanagement GmbH (SenGUV o. J.) ein Zubau von EE-Anlagen angenommen. Da in der Vereinbarung nur der Ausbau der Solarthermie als Ziel genannt wird gehen wir von einem stetigen Anstieg bis auf 5 % der neu installierten Anlagen im Bereich öffentlicher Dienstleistungen bis 2020 aus.

Das **EE-Wärme-Gesetz** hat zur Folge, dass alle seit dem in Kraft treten neu errichteten Gebäude (auch Nicht-Wohngebäude) EE-Anlagen zur Wärmeerzeugung installieren oder alternative Ersatzmaßnahmen durchführen müssen. Eine Ersatzmaßnahme ist die Übererfüllung der EnEV durch einen hohen energetischen Standard. Nast et al. (2009) gehen davon aus, dass diese Ersatzmaßnahme aufgrund der geringeren Wirtschaftlichkeit bis 2020 nur in 10 % der Gebäude vorgenommen wird. Dieser Wert wird nachfolgend ebenfalls verwendet. Als weitere Ersatzmaßnahme ist der Bezug von Fernwärme möglich. Für Berlin nehmen wir einen Anteil der Fernwärme von 15 % bei Einfamilienhäusern und 30 % bei Mehrfamilienhäusern und Nicht-Wohngebäude an³⁸. Vor dem Hin-

³⁸ Diese Anteile basieren auf Daten zu den vorwiegenden Heizenergieträgern in Neubauten für den Zeitraum März 2006 bis März 2009 (nach Angaben des Amtes für Statistik Berlin-Brandenburg, ausgewertet von der GASAG (GASAG 2009).

tergrund der Eignung der Heizungssysteme für die unterschiedlichen Gebäudenutzungen wurden die in Tab. 5.5 dargestellten Anteile im Neubau bis 2020 angenommen. Im Bereich der Einfamilienhäuser wird unterstellt, dass Wärmepumpen aufgrund ihres bereits 2008 hohen Anteils in Neubauten (fast 30 %, (GASAG 2009)) sowie ihrer vergleichsweise hohen Wirtschaftlichkeit (insbesondere Luft-Wärmepumpen) die größte Bedeutung zukommt. Für Biomasse und Solarwärme werden aufgrund der hohen Kosten geringere Anteile angenommen, wobei die der Biomasseanlagen entsprechend der bisher geringen Bedeutung niedriger sind. Bei größeren Gebäuden weisen insbesondere Biomasse- und Solarthermieanlagen eine hohe Wirtschaftlichkeit auf, wohingegen der Nutzung von Wärmepumpen aufgrund der begrenzten Freiflächenverfügbarkeit mehr Restriktionen entgegen stehen. Hinzu kommen bei größeren Gebäuden Block-Heizkraftwerke (KWK) als kostengünstige Ersatzmaßnahme. Ausgehend von den sehr geringen heutigen Anteilen von Biomasseanlagen wird bei den Mehrfamilienhäusern von hohen Zubauraten bei Solarthermie ausgegangen. Deren Nutzung ist hingegen im Nichtwohngebäudebereich aufgrund diverser Hemmnisse häufig keine sinnvolle Option, so dass bei den Nichtwohngebäuden ein höherer Anteil an KWK-Anlagen sowie von Biomasseheizungen und Wärmepumpen angenommen wird.

Tab. 5.5: Annahmen zu Maßnahmen zur Umsetzung des EE-Wärme-Gesetzes bei Neubauten in Berlin bis 2020

	Ersatzmaßnahmen			EE-Anlagen		
	Übererfüllung EnEV	Fernwärme	KWK	Solarthermie	Wärmepumpen	Biomasse
EFH/ZFH	10 %	15 %	0 %	20 %	45 %	10 %
MFH	10 %	30 %	10 %	30 %	10 %	10 %
Nicht-Wohngebäude	10 %	30 %	20 %	5 %	17,5 %	17,5 %

Quelle: Eigene Zusammenstellung

Die Annahmen zur Entwicklung der Neubauten bis 2020 wurden von der Berliner Energieagentur (BEA 2009) übernommen. Für Wohngebäude geht diese von einem jährlichen Zubau (Nutz- und Wohnfläche) bis 2020 von 435.200 m²/Jahr aus. Diese teilen sich wie folgt auf:

- EFH/ZFH: 299.520 m²/Jahr, MFH: 136.000 m²/Jahr.³⁹ Dies sind 1.747 EFH/ZFH und 139 MFH im Jahr (bezogen auf von der BEA entwickelte Idealtypen von EFH und MFH).

Im Bereich der Nichtwohngebäude geht die Berliner Energieagentur basierend auf den Fertigstellungen zwischen 1994 und 2007 (Daten nach Amt für Statistik Berlin-Brandenburg) von einem jährlichen Zubau (Nutz- und Wohnfläche) von 565.400 m²/Jahr aus. Diese verteilen sich auf:

- Anstaltsgebäude: Ca. 43.800 m²/Jahr (7,75 %),
- Büro- und Verwaltungsgebäude: Ca. 127.400 m²/Jahr (22,5 %),
- gewerbliche Betriebsgebäude: Ca. 347.600 m²/Jahr (61,5 %)

³⁹ Dabei wird angenommen, dass in diesen Angaben eine reine Nutzfläche von 30% bei EFH/ZFH sowie 20% bei MFH enthalten ist.

- und sonstige Nichtwohngebäude: ca. 46.600 m²/Jahr (8,24 %).

Der Wärmebedarf der Neubauten wird über Annahmen zum durchschnittlichen Energiebedarf berechnet. Für die Wohngebäude werden diejenigen der Berliner Energieagentur übernommen, die für EFH/ZFH von 85 kWh/m²*a und für MFH von 50 kWh/m²*a ausgeht. Bei den Nichtwohngebäuden ist es aufgrund der Vielfalt an Gebäuden sehr schwierig, Annahmen zum durchschnittlichen Energiebedarf zu treffen. Im Folgenden wird vereinfachend angenommen, dass der Bedarf rund 30 % unter den Vergleichswerten für Nichtwohngebäude im Bestand des BMVBS (2009) liegt⁴⁰. Entsprechend wurde folgender Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasser angenommen:

- 100 kWh/m²*a für Anstaltsgebäude und gewerbliche Betriebsgebäude
- 70 kWh/m²*a für Büro- und Verwaltungsgebäude und sonstige Nichtwohngebäude

Damit liegt der Wärmebedarf für die neu zugebauten Nichtwohngebäude jährlich bei rund 51.000 MWh/a.

Für das **Ausbauszenario** wird davon ausgegangen, dass aufgrund verschiedener politischer Maßnahmen der Anteil der EE-Anlagen an den jährlich im Wohngebäudebestand ausgewechselten Heizungsanlagen stetig auf 40 % steigt. Die Aufteilung wurde – wie beim EE-Wärmegesetz – vor dem Hintergrund der bisher installierten Anlagen, der Wirtschaftlichkeit und der Eignung der Heizungssysteme für die jeweilige Nutzung getroffen (siehe Tab. 5.6).

Tab. 5.6: Ausbauszenario: Annahmen zu den Anteilen der EE-Anlagen an den neu installierten Anlagen im Wohngebäudebestand 2020

	Solarthermie	Wärmepumpen	Biomasse
EFH/ZFH	8,0 %	16,0 %	16,0 %
MFH	13,3 %	13,3 %	13,3 %

Quelle: Eigene Zusammenstellung

Im Ausbauszenario wird davon ausgegangen, dass die solare Deckung in Wohn- und Nichtwohngebäuden durch technologisch ausgereifte Systeme und den verstärkten Zubau von Systemen zur Heizungsunterstützung steigt. Für Neubauten wurde entsprechend mit einem stetiger Anstieg auf 20 % solare Deckung bis 2020 gerechnet, im Bestand auf 15 %.

Zusätzlich wird in Mehrfamilienhäusern der Stadtraumtypen, die nach solarem Rahmenplan (Everding et al. 2006) besonders gut für Solarthermie geeignet sind, angenommen, dass bei 60 % der ausgetauschten Anlagen ab 2011 Solarkollektoren installiert werden und die solare Deckung hier ab 2010 bereits bei 15 % liegt. Ausgehend von einer Verpflichtung zur Nutzung von Solarthermie wurde für jeweils 5 % dieser Gebäude als Ersatzmaßnahme der Einbau einer Biomasseanlagen

⁴⁰ Als Vergleichswerte nach EnEV2009 werden vom BMVBS für Verwaltungsgebäude je nach Größe 80-85 kWh/m²a, für Bürogebäude 105-135 kWh/m²a angenommen, bei Anstalten bspw. 105 kWh/m²a (Betreuungseinrichtungen) bzw. 180 kWh/m²a (Justizvollzugsanstalten), gewerbliche Betriebsgebäude bspw. 110 kWh/m²a (Gebäude für Produktion), 70-135 kWh/m²a (Handel/Kaufhäuser) oder 150 kWh/m²a (Hotel), sonstige Nichtwohngebäude 90/105 kWh/m²a (allgemeinbildende Schulen) bzw. 110 kWh/m²a (Kindertagesstätten) (BMBVBS 2009). Damit wird für die EnEV 2009 (Bestand) als durchschnittlicher Wert 133 kWh/m²a für Anstaltsgebäude und für gewerbliche Betriebsstätten sowie 100 kWh/m²a für Büro- und Verwaltungsgebäude und sonstige Nichtwohngebäude angenommen.

bzw. Wärmepumpe angenommen. Bei den besonders gut geeigneten Gebieten handelt es sich um Werks- und Genossenschaftssiedlungen (einheitlich geplante Wohnquartiere der Gründer- und Vorkriegszeit), Wiederaufbau-Ensembles der 50er und 60er Jahre (auf altem Stadtgrundriss und in geschlossener Bauweise) sowie Siedlungen des sozialen Wohnungsbaus der 50er Jahre (Zeilenbauten) und 60er Jahre. Die Nutzfläche in diesen Gebieten beträgt 32 % der Nutzfläche der Gebiete mit (überwiegend) Mehrfamilienhäusern, so dass davon ausgegangen wird, dass bei 32 % der Mehrfamilienhäuser ohne Fernwärmeanschluss ein verstärkter Ausbau der Solarthermie erfolgt. Der Ausbau wird auf die Mehrfamilienhäuser beschränkt, da in den Einfamilienhäusern im Bestand Solarthermieanlagen bisher nicht wirtschaftlich sind.

Bei den Nichtwohngebäuden wird aufgrund der derzeit noch sehr geringen Anlagenzahlen für Biomasse und Wärmepumpen davon ausgegangen, dass die Heizungen erst im Jahr 2011 einen Wert von 0,1 % der neu installierten Anlagen im Bestand erreichen. Für die im Nichtwohngebäudebereich derzeit noch eher im Pilot- und Demonstrationsprojektstadium befindlichen Solarthermieanlagen nehmen wir das Erreichen dieses Werts erst im Jahr 2013 an. Nach Überschreiten dieses Schwellenwerts gehen wir von einem weiteren deutlichen Marktzuwachs um jährlich 30 % aus.

Für den Bereich öffentlicher Dienstleistungen wird analog zum Referenzszenario ein stärkerer Ausbau der Solarthermie angenommen. Allerdings wird im Ausbauszenario von einem deutlicheren Zuwachs ausgegangen, so dass Solarthermieanlagen bis 2020 einen Anteil von 15 % an den neu installierten Anlagen im Bereich öffentlicher Dienstleistungen erreichen.

5.2.2 Biomasse

Das Spektrum der Techniken von Biomasseumwandlungsanlagen zur Wärmeversorgung von Gebäuden ist sehr groß. Es reicht von Einzelfeuerstätten über Zentralheizungen und Mischformen davon bis zu KWK-Anlagen, die neben der Wärme auch Strom bereitstellen. Letztere werden jedoch nicht in diesem Kapitel behandelt, der Fokus ist hier auf rein wärmeerzeugende Anlagen gerichtet (siehe dazu Kapitel 5.3). Während die Einzelfeuerstätten bauartbedingt ihre Wärme nur an den umgebenden Raum abgeben und in der Regel nur als Zusatzheizung betrieben werden, wird bei Zentralheizungskesseln die Wärmeabgabe an den umgebenden Raum vermieden. Sie stehen meist in einem nicht zu beheizenden Raum und sind durch Wasserwärmeübertrager an den Heizkreislauf angeschlossen. Traditionelle Einzelfeuerstätten wie Kamine, Öfen oder Küchenherde weisen insgesamt eine schlechte Energieeffizienz und hohe Schadstoffemissionen auf. Daher wird versucht, durch politische Steuerung Anreize für die Installation moderner effizienter Kessel zu schaffen. Dies geschieht durch das Marktanreizprogramm, im Rahmen dessen Pelletöfen und Zentralheizungskessel wie Pelletkessel, Hackschnitzelanlagen und Scheitholzvergaserkessel gefördert werden, die strengen technischen Anforderungen genügen.

Durch die Förderstatistiken des Marktanreizprogramms sind die installierten Anlagen gut dokumentiert, da davon auszugehen ist, dass nahezu alle Anlagen, die die Anforderungen erfüllen, auch die Förderung erhalten. Bei den Einzelfeuerstätten, die diese nicht erfüllen, existiert keine Statistik, die Anlagenzahl und Biomasseeinsatz aufführt. Für diese Feuerstätten ist in Kapitel 2.4.1 eine Abschätzung für den Brennstoffeinsatz vorgenommen worden. Die Masse wurde mit 1.160 Mg abgeschätzt und eine Wärmebereitstellung von 3,36 GWh. Die zukünftige Entwicklung ist allerdings nur schwer absehbar. Da diese Feuerstätten vordergründig wegen der Atmosphäre und zumeist als Zusatzheizung betrieben werden, wird davon ausgegangen, dass sie auch zukünftig weiterhin eingesetzt werden. Daher wird die Wärmebereitstellung sowohl im Referenz- als auch im Ausbauszenario bis 2020 als konstant angenommen.

Im Gegensatz dazu wird ein Zubau der modernen Biomassekessel erwartet. Impulse werden durch das EE-Wärmegesetz im Neubau gegeben, aber auch für den Gebäudebestand ist ein Anstieg der Biomassenutzung zu erwarten. Ausgehend von den installierten Anlagen im Jahr 2008 werden Entwicklungen für die Biomassenutzung im Gebäudebestand für das Referenz- und Ausbauszenario aufgezeigt. Dabei wird einerseits zwischen Neubau und Gebäudebestand und andererseits zwischen den Gebäudetypen Ein-/Zweifamilienhaus, Mehrfamilienhaus und Nichtwohngebäude unterschieden.

5.2.2.1 Referenzentwicklung

Die Statistiken zu den installierten Anlagen zur Biomassenutzung zur ausschließlichen Wärmeversorgung betreffen die über das BAFA geförderten Anlagen bis 100 kW_{th} durch Investitionszuschüsse. Daneben besteht die Möglichkeit der Förderung durch zinsgünstige Darlehen für Anlagen über 100 kW_{th}. Die Abwicklung läuft über die Kreditanstalt für Wiederaufbau. Daten zu den über die KfW geförderten Anlagen liegen nicht vor. Aus den Evaluierungen des Marktanzreizprogramms ist zu entnehmen, dass einige wenige Anlagen über 100 kW_{th} in Berlin installiert sind (BMU 2008d).

Entsprechend der Anlagenleistung wurde eine Aufteilung der Anlagen, die über BAFA und KfW gefördert wurden, auf die Gebäudetypen vorgenommen, in denen sie installiert sind.

- Pelletanlagen und Scheitholzvergaserkessel in Ein- und Zweifamilienhäusern
- Hackschnitzelanlagen < 100 kW_{th} in Mehrfamilienhäusern
- Hackschnitzelanlagen > 100 kW_{th} in Nichtwohngebäuden

Bei der Entwicklung im Referenzszenario wurde das EE-Wärmegesetz berücksichtigt, das am 1.1.2009 in Kraft getreten ist und dessen Auswirkungen sich in den Statistiken bis 2008 entsprechend noch nicht niedergeschlagen haben. Wie in Kapitel 5.2 erläutert, wird davon ausgegangen, dass beim **Neubau** von sowohl Ein- und Zweifamilienhäusern als auch Mehrfamilienhäusern 10 % ihrer Verpflichtung mit der Installation einer Biomasseanlage nachkommen. Bei den Nichtwohngebäuden wurde von 17,5 % ausgegangen. Es wird unterstellt, dass diese Anlagen den Warmwasser- und Heizungsbedarf zu 100 % abdecken. Für die Jahre bis 2008 wurde weiterhin angenommen, dass die Anlagen zu 30 % im Neubau und zu 70 % im Bestand installiert wurden. Mit diesen Annahmen ergibt sich die in Tab. 5.7 dargestellte Entwicklung bis zum Jahr 2020.

Tab. 5.7: Installierte Biomasseheizanlagen im Neubau 2006-2020 in Berlin, Referenzszenario

	Ein-/Zweifamilienhäuser		Mehrfamilienhäuser	
	Zubau	Kumuliert	Zubau	Kumuliert
2006	26	26	0	0
2007	26	51	1	1
2008	7	58	0	1
2009	9	67	0	1
2010	175	242	14	15
2011	175	417	14	29
2012	175	591	14	43
2013	175	766	14	57

	Ein-/Zweifamilienhäuser		Mehrfamilienhäuser	
	Zubau	Kumuliert	Zubau	Kumuliert
2014	175	941	14	71
2015	175	1.116	14	85
2016	175	1.290	14	99
2017	175	1.465	14	113
2018	175	1.640	14	127
2019	175	1.815	14	141
2020	175	1.989	14	155

Quelle: Eigene Berechnungen

Für den **Gebäudebestand** ist davon auszugehen, dass der Ausbau in einem größeren Maße voranschreiten wird als eine Trendfortschreibung der letzten Jahre erwarten ließe. Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen (siehe Anhang 8.3.1.4) zeigen, dass im Bestand in Ein- und Zweifamilienhäusern Pelletkessel ab 2010, in Mehrfamilienhäusern bereits heute schon wirtschaftlich betrieben werden können und daher lukrative Anreize für die Installation gegeben sind. Der tatsächliche Ausbau wird daneben von vielen anderen Größen gesteuert, doch ist damit eine positive Rahmenbedingung gegeben, die zu einer Verbreitung führen dürfte. Es wurde davon ausgegangen, dass in EFH/ZFH 10 % der Heizkessel, die ohnehin ausgetauscht werden müssen, durch Biomasseanlagen ersetzt werden. Im MFH wurde eine Quote von 2,5 % unterstellt. Daraus ergibt sich ein Anlagenzubau entsprechend Tab. 5.8.

Tab. 5.8: Installierte Biomasseheizanlagen im Gebäudebestand 2006-2020, Referenzszenario

	Ein-/Zweifamilienhäuser		Mehrfamilienhäuser	
	Zubau	Kumuliert	Zubau	Kumuliert
2006	60	129	1	2
2007	60	189	1	3
2008	16	205	1	4
2009	21	226	0	4
2010	79	305	10	14
2011	137	442	20	33
2012	194	637	29	63
2013	252	888	39	101
2014	309	1.198	48	149
2015	366	1.564	57	206
2016	423	1.987	66	272
2017	480	2.466	75	347
2018	536	3.003	83	430
2019	593	3.596	91	521
2020	649	4.245	100	621

Quelle: Eigene Berechnungen

Über typische Wärmebedarfe der einzelnen Gebäudetypen wurde aus den Installationszahlen die Wärmebereitstellung aus den Anlagen berechnet. Die Summe aus den Biomasseanlagen in den Gebäudetypen EFH/ZFH und MFH sowohl im Neubau als auch Gebäudebestand sind in Tab. 5.9 dargestellt.

Tab. 5.9: Wärmebereitstellung aus Biomasse im Wohnbereich im Neubau und Gebäudebestand 2006-2020 und Anteil an Gesamtwärmebedarf WG/WG und NWG, Referenzszenario

	Wärmebereitstellung [GWh _{th} /a]	Anteil am Gesamtwärmebedarf WG [%]	Anteil am Gesamtwärmebedarf WG und NWG [%]
2006	3,64	0,0 %	0,0 %
2007	5,57	0,0 %	0,0 %
2008	6,13	0,0 %	0,0 %
2009	6,72	0,0 %	0,0 %
2010	12,31	0,0 %	0,0 %
2011	20,61	0,1 %	0,0 %
2012	31,56	0,1 %	0,1 %
2013	45,09	0,2 %	0,1 %
2014	61,15	0,2 %	0,1 %
2015	79,67	0,3 %	0,2 %
2016	100,60	0,4 %	0,2 %
2017	123,88	0,5 %	0,3 %
2018	149,45	0,6 %	0,4 %
2019	177,27	0,7 %	0,4 %
2020	207,26	0,8 %	0,5 %

Quelle: Eigene Berechnungen

Für den Nichtwohnbereich wurde für den Neubaubereich ebenfalls das EE-Wärmegesetz zu Grunde gelegt. Der Anteil an Biomasseanlage wurde auf 17,5 % festgesetzt. Im Bestand hat sich die Biomassennutzung bislang nicht im nennenswerten Umfang durchsetzen können. Daher ist auch eine Trendentwicklung nicht ableitbar. Wegen der großen Hemmnisse, die der Nutzung in diesem Gebäudetyp entgegenstehen, ist im Referenzszenario davon ausgegangen worden, dass es keinen Zubau im Bestand geben wird.

Tab. 5.10: Wärmebereitstellung aus Biomasse in NWG 2007-2020 und Anteil am Gesamtwärmebedarf NWG/ WG und NWG, Referenzszenario

	Neubau		Bestand		Gesamt		
	Wärmebereitstellung (GWh _{th} /a)	Anteil am Gesamtwärmebedarf NWG (%)	Wärmebereitstellung (GWh _{th} /a)	Anteil am Gesamtwärmebedarf NWG (%)	Wärmebereitstellung (GWh _{th} /a)	Anteil am Gesamtwärmebedarf NWG (%)	Anteil am Gesamtwärmebedarf WG und NWG (%)
2007	0,00	0,00 %	0,0	0,00 %	0,00	0,00 %	0,00 %
2008	0,00	0,00 %	0,0	0,00 %	0,00	0,00 %	0,00 %
2009	0,00	0,00 %	0,0	0,00 %	0,00	0,00 %	0,00 %
2010	8,98	0,05 %	0,0	0,00 %	8,98	0,05 %	0,02 %
2011	17,96	0,10 %	0,0	0,00 %	17,96	0,10 %	0,04 %
2012	26,94	0,16 %	0,0	0,00 %	26,94	0,16 %	0,06 %
2013	35,92	0,21 %	0,0	0,00 %	35,92	0,21 %	0,09 %
2014	44,91	0,27 %	0,0	0,00 %	44,91	0,27 %	0,11 %
2015	53,89	0,33 %	0,0	0,00 %	53,89	0,33 %	0,13 %
2016	62,87	0,38 %	0,0	0,00 %	62,87	0,38 %	0,15 %
2017	71,85	0,44 %	0,0	0,00 %	71,85	0,44 %	0,18 %
2018	80,83	0,50 %	0,0	0,00 %	80,83	0,50 %	0,20 %
2019	89,81	0,57 %	0,0	0,00 %	89,81	0,57 %	0,22 %
2020	98,79	0,63 %	0,0	0,00 %	98,79	0,63 %	0,25 %

Quelle: Eigene Berechnungen

Die Aufteilung der Wärmebereitstellung aus Biomasse auf die Teilverbrauchssektoren wurde entsprechend der Aufteilung des Gesamtwärmebedarfs dieser Sektoren vorgenommen. Die Aufteilung auf die Teilverbrauchssektoren ist in Tab. 5.11 dargestellt.

Tab. 5.11: Aufteilung der Wärmebereitstellung aus Biomasse in NWG auf die Teilverbrauchssektoren im Referenzszenario im Jahr 2020

	Prozentuale Aufteilung	Wärmebereitstellung [GWh _{th} /a]
Bestand+Neubau	100 %	98,79
davon ÖDL	40 %	39,52
davon PDL	20 %	19,76
davon Gewerbe	10 %	9,88
davon Handel	10 %	9,88
davon Industrie	20 %	19,76

Quelle: Berliner Energieagentur und eigene Berechnungen

Zur Berechnung des Brennstoffbedarfs der Anlagen im EFH/ZFH und MFH wurde angenommen, dass es sich bei 10 % der Anlagen um Kombianlagen handelt, bei denen die Solarthermie- mit der Biomassenutzung kombiniert wird. Das hat zur Folge, dass entsprechend der Biomassebedarf ge-

ringer ist. Bei einer Deckungsrate von 10 % für Solarthermieanlagen ergibt sich daraus ein um 10 % geringerer Bedarf an Biomasse. Mit der Annahme, dass die Energie zur Hälfte aus Pellets und zur anderen Hälfte aus Scheitholz/Hackschnitzel erzeugt wird, ergibt sich daraus ein Bedarf an 34.000 t Pellets und 43.000 t Scheitholz/Hackschnitzel.

5.2.2.2 Ausbauszenario

Im Ausbauszenario wird für den Neubau ebenso das EE-Wärmegegesetz unterstellt, mit den wie im Referenzszenario angenommenen Aufteilungen für die Nutzung der einzelnen EE-Anlagen. Das bedeutet, dass der Ausbau für den Neubau für beide Szenarien gleich verläuft.

Bei den Bestandsgebäuden wird unterstellt, dass ein forcierter Ausbau vorangetrieben wird. Dazu sollen 40 % der jeweils in dem Jahr auszutauschenden Heizkessel durch EE-Anlagen ersetzt werden. Gestützt durch die Wirtschaftlichkeitsberechnungen wird angenommen, dass im EFH/ZFH 16 % Biomassekessel der zu ersetzenden Kessel mit Biomasse befeuert werden, im MFH 13 %. Einige Mehrfamilienhäuser sind nach solarem Rahmenplan besonders gut geeignet sind für Solarthermie. Da die Installation von solarthermischen Anlagen jedoch nicht immer möglich ist, wird angenommen, dass 5 % dieser Mehrfamilienhäuser als Ersatzmaßnahme eine Biomasseanlage installieren. In allen Fällen deckt die Biomasse 100 % des Wärmebedarfs der jeweiligen Gebäude ab. Daraus ergibt sich der in der nachfolgenden Tabelle aufgezeigte Anlagenzubau bis 2020.

Tab. 5.12: Installierte Biomasseheizanlagen im Wohnbereich im Gebäudebestand 2006-2020 im Ausbauszenario

	Ein-/Zweifamilienhäuser		Mehrfamilienhäuser	
	Zubau	Kumuliert	Zubau	Kumuliert
2006	60	129	1	2
2007	60	189	1	3
2008	16	205	1	4
2009	21	226	0	4
2010	115	341	53	57
2011	209	550	78	135
2012	302	852	120	255
2013	395	1.246	161	416
2014	488	1.734	201	617
2015	580	2.314	240	857
2016	672	2.986	279	1.136
2017	764	3.751	316	1.452
2018	856	4.606	353	1.805
2019	947	5.554	389	2.195
2020	1.038	6.592	425	2.620

Quelle: Eigene Berechnungen

Mit den Wärmebedarfen für die Gebäudetypen EFH/ZFH und MFH kann damit die Wärmebereitstellung aus Biomasse ermittelt werden. Im Jahr 2020 beläuft sich dieser Wert auf etwa 520 GWh, was einem Anteil am Gesamtwärmebedarf im Wohnbereich von 2,3 % entspricht.

Tab. 5.13: Wärmebereitstellung im Wohnbereich aus Biomasse im Neubau und Gebäudebestand 2006-2020 und Anteil an Gesamtwärmebedarf WG/ WG und NWG, Ausbauszenario

	Wärmebereitstellung [GWh _{th} /a]	Anteil am Gesamtwärmebedarf WG [%]	Anteil am Gesamtwärmebedarf WG und NWG [%]
2006	3,64	0,0 %	0,0 %
2007	5,55	0,0 %	0,0 %
2008	6,11	0,0 %	0,0 %
2009	6,69	0,0 %	0,0 %
2010	19,16	0,1 %	0,0 %
2011	37,22	0,2 %	0,1 %
2012	63,03	0,3 %	0,2 %
2013	96,36	0,4 %	0,2 %
2014	136,97	0,6 %	0,3 %
2015	184,63	0,8 %	0,5 %
2016	239,09	1,0 %	0,6 %
2017	300,15	1,3 %	0,8 %
2018	367,57	1,6 %	0,9 %
2019	441,14	1,9 %	1,1 %
2020	520,64	2,3 %	1,4 %

Quelle: Eigene Berechnungen

In den NWG ist im Neubau wieder das EE-Wärmegesetz Treiber für den Ausbau. Im Bestand ist davon ausgegangen worden, dass 2011 erstmals eine merkliche Anzahl an Kesseln zugunsten von Biomassekesseln ausgetauscht wird (0,1 %), die dann jedes Jahr um 30 % steigt.

Tab. 5.14: Wärmebereitstellung aus Biomasse in NWG 2007-2020 und Anteil an Gesamtwärmebedarf NWG/ WG und NWG, Ausbauszenario

	Neubau		Bestand		Gesamt		
	Wärmebereitstellung (GWh _{th} /a)	Anteil am Gesamtwärmebedarf NWG (%)	Wärmebereitstellung (GWh _{th} /a)	Anteil am Gesamtwärmebedarf NWG (%)	Wärmebereitstellung (GWh _{th} /a)	Anteil am Gesamtwärmebedarf NWG (%)	Anteil am Gesamtwärmebedarf NWG und WG (%)
2007	0,00	0,00 %	0,00	0,00 %	0,00	0,00 %	0,00 %
2008	0,00	0,00 %	0,00	0,00 %	0,00	0,00 %	0,00 %
2009	0,00	0,00 %	0,00	0,00 %	0,00	0,00 %	0,00 %
2010	8,98	0,05 %	0,00	0,00 %	8,98	0,05 %	0,02 %
2011	17,96	0,10 %	0,61	0,00 %	18,57	0,11 %	0,04 %
2012	26,94	0,16 %	1,39	0,01 %	28,33	0,17 %	0,07 %
2013	35,92	0,21 %	2,40	0,01 %	38,32	0,23 %	0,09 %
2014	44,91	0,27 %	3,69	0,02 %	48,59	0,29 %	0,12 %
2015	53,89	0,33 %	5,34	0,03 %	59,23	0,36 %	0,15 %
2016	62,87	0,38 %	7,47	0,05 %	70,34	0,43 %	0,18 %
2017	71,85	0,44 %	10,21	0,06 %	82,05	0,51 %	0,21 %
2018	80,83	0,50 %	13,71	0,09 %	94,54	0,59 %	0,24 %
2019	89,81	0,57 %	18,21	0,11 %	108,02	0,68 %	0,28 %
2020	98,79	0,64 %	23,82	0,15 %	122,61	0,80 %	0,32 %

Quelle: Eigene Berechnungen

Die Aufteilung der Wärmebereitstellung aus Biomasse auf die Teilverbrauchssektoren wurde wie im Referenzszenario entsprechend der Aufteilung des Gesamtwärmebedarfs dieser Sektoren vorgenommen. Die Aufteilung auf die Teilverbrauchssektoren ist in Tab. 5.15 dargestellt.

Tab. 5.15: Aufteilung der Wärmebereitstellung aus Biomasse in NWG auf die Teilverbrauchssektoren im Ausbauszenario im Jahr 2020

	Prozentuale Aufteilung	Wärmebereitstellung [GWh _{th} /a]
Bestand+Neubau	100 %	122,61
davon ÖDL	40 %	49,04
davon PDL	20 %	24,52
davon Gewerbe	10 %	12,26
davon Handel	10 %	12,26
davon Industrie	20 %	24,52

Quelle: Berliner Energieagentur und eigene Berechnungen

5.2.3 Solarthermie

Während der Einsatz von Solarthermie-Anlagen in Wohngebäuden sowie als Schwimmbadabsorber bereits als **erprobte Technologie** angesehen wird, sind solarthermische Anlagen in anderen Bereichen derzeit noch im Stadium von **Pilot- und Demonstrationsprojekten**. Dies gilt insbesondere für die Bereiche der solaren Kühlung, der Prozesswärmenutzung sowie der Einspeisung von Solarwärme in Wärmenetze (vgl. Kapitel 2.3.1). In diesen Bereichen ist deshalb nicht damit zu rechnen, dass vor dem Jahr 2020 Solarthermie in größerem Umfang eingesetzt wird. Hinzu kommt bei der solaren Kühlung, dass diese in der Regel nicht den Wärmebedarf von Gebäuden reduziert, sondern an Stelle von strombetriebenen Kühlsystemen eingesetzt wird. Ebenfalls noch am Anfang steht die Nutzung von Solarwärme zur Warmwasser- und Raumwärmebereitung in Nicht-Wohngebäuden, so dass hier auch allenfalls ein langsames Wachstum in den nächsten Jahren erwartet wird. Eine Ausnahme stellen Neubauten dar, in denen aufgrund des EE-WärmeG die Nutzung von erneuerbaren Energien verpflichtend ist. Allerdings bleiben die Probleme von Solarthermie in zahlreichen Nicht-Wohngebäuden (siehe Kapitel 2.3.1) bestehen, so dass auch in den Neubauten nur ein geringer Anteil an Solarthermieanlagen erwartet wird. Entsprechend fokussiert die Ermittlung der erschließbaren Potenziale in Berlin bis 2020 insbesondere auf den Bereich der Wohngebäude. In den übrigen Bereichen wird insbesondere die Förderung von Modellprojekten als Möglichkeit gesehen die Technologie ab 2020 breiter zum Einsatz zu bringen.

5.2.3.1 Referenzentwicklung

Als einfache Abschätzung zur weiteren Entwicklung der Anzahl und Fläche an installierten Solarthermieanlagen kann eine Trendfortschreibung der Entwicklung der letzten Jahre vorgenommen werden. Dabei werden keine veränderten Rahmenbedingungen oder Verhaltensweisen angenommen. Die bisherige Zubaurate von Solarthermieanlagen in Berlin zeigt – bezogen auf die Kollektorfläche - keinen zunehmenden Trend über die Jahre 2000-2008, sondern starke Schwankungen mit Maxima in den Jahren 2000, 2001, 2003 und 2007 (vgl. Tab. 5.14)⁴¹. Deshalb wurde für die Trendfortschreibung von dem durchschnittlichen Zubau der Jahre 2000-2008 (5.225 m² im Jahr) für den Zeitraum 2009-2020 ausgegangen.

⁴¹ Auch bundesweit stagnierte der Ausbau der Solarthermie zwischen 2000 und 2007 auf recht stabilem Niveau, lag jedoch im Jahr 2008 fast doppelt so hoch wie in den Vorjahren (BMU 2009b).

Tab. 5.16: Entwicklung Solarthermieanlagen in Berlin; ab 2009: Trendfortschreibung

	Fläche [m²]	Anlagenzahl
2000	22.869	2.059
2001	30.659	2.788
2002	33.321	3.091
2003	41.811	3.901
2004	44.188	4.090
2005	46.565	4278
2006	50.788	4728
2007	57.171	5356
2008	61.756	5864
2009	66.981	6.307
2010	72.206	6.750
2011	77.431	7.193
2012	82.656	7.636
2013	87.881	8.079
2014	93.106	8.522
2015	98.331	8.965
2016	103.556	9.408
2017	108.781	9.851
2018	114.006	10.294
2019	119.231	10.737
2020	124.456	11.180

Angaben zu installierten Solarthermieflächen aus Solaranlagenkataster (zur Verfügung gestellt von der SenGUV) Da für das Jahr 2004 keine Daten aus dem Solaranlagenkataster zur Verfügung standen, wurde der entsprechende Wert als Mittel der Werte für 2003 und 2005 berechnet.

Quelle: Eigene Berechnungen

Diese Trendfortschreibung führt im Jahr 2020 zu einer Gesamtfläche an Solarthermiekollektoren von rund 125.000 m². Damit sind bei Weitem nicht die langfristigen, technischen Flächenpotenziale (siehe Kapitel 8.1.1) erschlossen, so dass die verfügbaren Flächen keine Einschränkung darstellen. Da bundesweit bisher kaum Anlagen außerhalb von Wohngebäuden installiert wurden wird davon ausgegangen, dass die Anlagen nur auf Wohngebäuden installiert wurden.

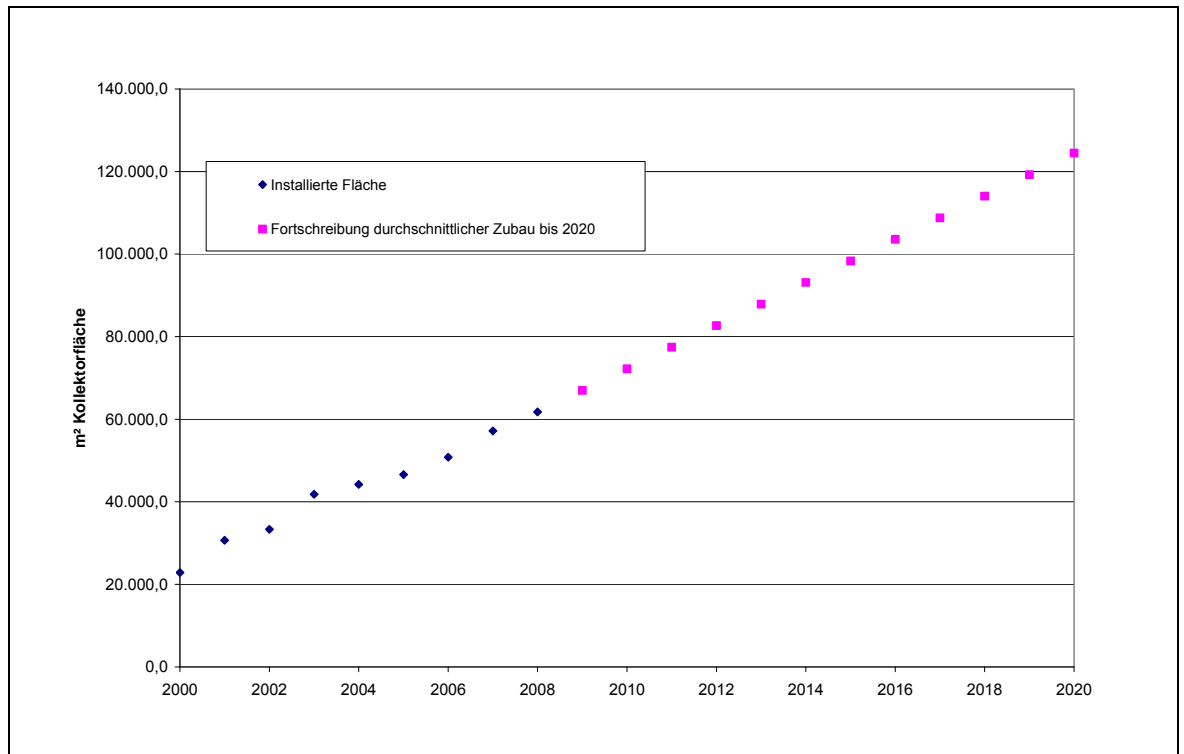


Abb. 5.2: Entwicklung der installierten Solarkollektoren bis 2008 und Trendfortschreibung bis 2020

Eigene Darstellung; Daten bis 2008 aus Solaranlagenkataster

Die Fortschreibung der Anlagenzahl führt zu einer Zahl an Anlagen von knapp 11.200 in Berlin. Ausgehend von einer Abschätzung der Berliner Energieagentur, die im Jahr 2008 von rund 450 Anlagen auf Mehrfamilienhäusern ausging⁴², wurde von einem Anteil von rund 8 % der Anlagen auf Mehrfamilienhäusern ausgegangen. Damit gibt es nach der Trendfortschreibung 2020 10.322 Anlagen auf Ein- und Zweifamilienhäusern und 858 Anlagen auf Mehrfamilienhäusern. Die Wärmezeugung wird über den durchschnittlichen Wärmebedarf von Ein- bzw. Mehrfamilienhäusern berechnet. Bis 2020 werden nach dieser Berechnung im Wohnbereich 33,67 GWh/a solarer Wärme erzeugt⁴³.

⁴² Quelle: www.berliner-mieterverein.de/magazin/online/mm0708/hauptmm.htm?http://www.berliner-mieterverein.de/magazin/online/mm0708/070814.htm

⁴³ Damit die Trendfortschreibung vergleichbar mit den weiteren Szenarien ist wird die Wärmemenge hier – anders als beim Status quo – über die Anlagenzahl und nicht über die Kollektorfläche berechnet. Der mittlere Ertrag liegt dadurch mit 268 kWh/m²a 2020 deutlich geringe als der dort genannte (370 kWh/m²a). Ein Absinken des spezifischen Ertrags erscheint aufgrund des steigenden Anteils der Anlagen mit Heizungsunterstützung nicht unplausibel.

Da sich Anfang 2009 mit der Einführung des **EE-Wärme-Gesetzes** die Rahmenbedingungen für Neubauten geändert haben, erfolgt neben der Trendfortschreibung noch eine Betrachtung der zusätzlich zu erwartenden Solarkollektoren auf Neubauten, die wohl eher einem zukünftigen Trend entspricht. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Solarthermie zur Heizungsunterstützung eingesetzt wird, so dass von einer solaren Deckung von 15 % (Pflichtanteil nach EE-Wärme-gesetz) ausgegangen wird. Wie oben beschrieben wird aufgrund des neuen Gesetzes davon ausgegangen, dass bis 2020 in 20 % der neuen Einfamilienhäuser, in 30 % der Mehrfamilienhäuser und in 5 % der Nichtwohngebäude Solarthermieanlagen installiert werden. Dies sind im Schnitt 349 Anlagen in Einfamilienhäusern und 42 Anlagen in Mehrfamilienhäusern im Jahr. Diese Zubauten können nicht einfach zum Trend addiert werden, da auch bisher schon Anlagen in Neubauten installiert wurden. Hierbei wird davon ausgegangen, dass die Solarthermieanlagen auch bisher schon eher im Neubau als im Bestand installiert wurden. Da der Neubau nur einen kleinen Anteil am Bestand ausmacht wird von einer Aufteilung von 30 % im Neubau und 70 % im Bestand ausgegangen. Damit steigt die Zahl der Anlagen durch das EE-Wärme-gesetz im Wohngebäudebereich bis 2020 auf 14.022 Anlagen, und damit rund 2.800 mehr als bei der Trendfortschreibung. Diese Anlagen tragen bis 2020 39,53 GWh/a zur Deckung des Wärmebedarfs bei. Angesichts des geringen Anteils an Neubauten führt das EE-Wärme-gesetz nur zu einem geringen Anstieg, wie die folgende Abbildung zeigt.

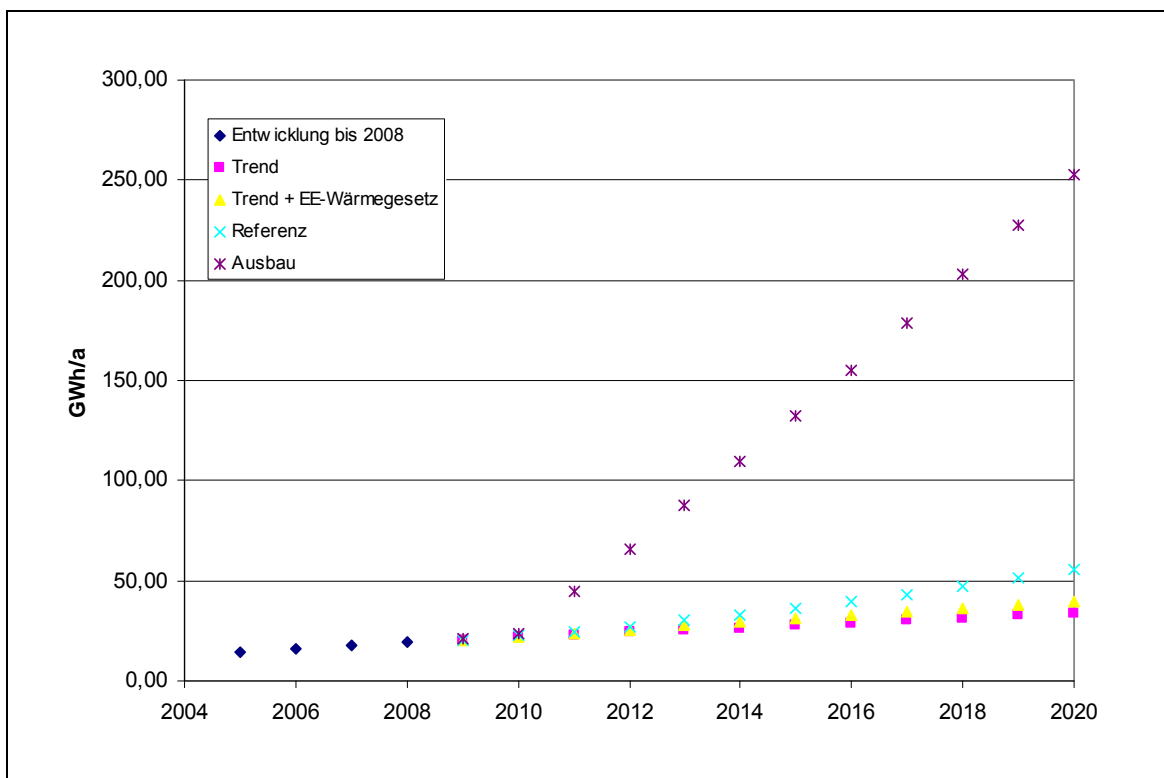


Abb. 5.3: Entwicklung der Wärmebereitstellung aus Solarthermie in Berlin (nur Wohngebäude)

Quelle: eigene Darstellung

Da im Nichtwohngebäudebereich lediglich Informationen zum Zubau an Flächen und nicht zur Gebäudezahl vorliegen, können hier keine Angaben zur Anlagenzahl sondern lediglich zum Wärmebedarf, der durch die Solarthermieanlagen gedeckt wird, gemacht werden. Dies sind 0,75 % des

Wärmebedarfs der Neubauten (Solarthermieanlagen in 5 % der Gebäuden, 15 % solare Deckung) und damit 4,23 GWh/a bis 2020. Wird von einer Verteilung entsprechend des Wärmebedarfs der unterschiedlichen Sektoren ausgegangen, so entfallen davon 1,20 GWh auf den öffentlichen Sektor, 1,44 GWh auf private Dienstleistungen, 0,56 GWh auf das Gewerbe, 0,48 GWh auf den Handel und 0,54 MWh auf die Industrie (Berechnung Berliner Energieagentur 2010). Insgesamt steigt damit der solare Beitrag durch das EE-Wärmegesetz auf rund 43,76 GWh/a.

Veränderungen bei der Entwicklung der Anzahl neu installierter Solaranlagen werden im Referenzszenario für den Bestand zusätzlich erwartet, wenn sich deren **Wirtschaftlichkeit** verbessert, sei es durch Energiepreissteigerungen oder Kostendegressionen bei den Solaranlagen⁴⁴. Die Ergebnisse zeigen, dass Solarthermie in den Einfamilienhäusern nicht bzw. erst ab 2018 wirtschaftlich ist. Allerdings wird der Abstand zu den fossilen Referenzsystemen Jahr für Jahr geringer und die Investitionskosten sinken, so dass von einem leichten Anstieg im Referenzszenario ausgegangen wird. Entsprechend wird angenommen, dass nicht – wie als Ergebnis der Trendfortschreibung – nur bei 4,4 % der Heizungsaustausche 2020 sondern bei 5 % eine Solarthermieanlage installiert wird. Bei den Mehrfamilienhäusern sind Solarthermieanlagen bereits heute wirtschaftlich. Aufgrund der oben genannten Hemmnisse (insbesondere dem Investor-Nutzer-Dilemma) wird zwar von einem deutlichen Anstieg des Zubaus ausgegangen, der jedoch nur bis zu einem Anteil von 5 % der in Altbauten neu installierten Anlagen bis 2020 wächst (im Vergleich zu 0,6 % nach Trend). Damit steigt die Zahl der Anlagen bis 2020 auf 15.340, der gedeckte Wärmebedarf (Wohngebäude) auf 55,62 GWh/a. Damit werden nach dem Referenzszenario bis 2020 0,2 % des gesamten Wärmebedarfs der Wohngebäude in Berlin mittels Solarthermie gedeckt.

Im Bereich der Nichtwohngebäude wird wie oben beschrieben lediglich ein Ausbau im Bereich der öffentlichen Gebäude auf bis 5 % der neu installierten Anlagen 2020 angenommen. Dies führt zu Deckung von weiteren 5,10 GWh/a. Damit kommen insgesamt 9,34 GWh/a aufgrund der Nichtwohngebäude, so dass im Referenzszenario insgesamt 64,96 GWh/a an solarer Wärme bereitgestellt werden.

Im **BMU-Leitszenario 2009** wird davon ausgegangen, dass 2020 80 PJ/a an Wärme aus Solarthermieanlagen erzeugt wird. Dies ist im Vergleich zu 2008 (15 PJ/a) eine Steigerung auf 533 % [Leitstudie 2009]. Da bundesweit heute der Beitrag der Solarthermie zur Wärmeerzeugung mit einem Anteil von 0,3 % (2008) deutlich höher als in Berlin ist [EE in Zahlen 6/2009], wird bei der Übertragung auf die Berliner Situation die Steigerungsrate übernommen, nicht aber die Gesamterzeugung beispielsweise pro Kopf. Bei einer Steigerung um 533 % würde in Berlin, wo 2008 22.872 MWh/a erzeugt wurden, bis 2020 ein Ertrag von 122.000 MWh/a erreicht. Dieser Wert ist ungefähr doppelt so hoch wie im Referenzszenario.

⁴⁴ Solarthermieanlagen werden in der Wirtschaftlichkeitsanalyse nur als Wärmequelle zur Trinkwassererwärmung in Ergänzung zu den fossilen Referenzanlagen sowie Holzpelletkesseln untersucht. Anlagen zur reinen Trinkwassererwärmung sind im Vergleich zu Kombianlagen, die auch zur Heizungsunterstützung eingesetzt werden, dabei vergleichsweise günstig bezogen auf die produzierte Wärmemenge (BINE Informationsdienst 2008b). Damit ist davon auszugehen, dass sich Anlagen zur Heizungsunterstützung etwas weniger schnell rentieren als reine Trinkwasseranlagen.

5.2.3.2 Ausbauszenario

Politische Maßnahmen, die den Einsatz erneuerbarer Energien vorschreiben oder attraktiver machen, können zu einem verstärkten Ausbau der Solarwärmenutzung beitragen. Wie oben dargestellt gehen wir im Ausbauszenario für den Bestand von folgenden Annahmen aus:

- EFH/ZFH: stetiger Anstieg auf einen Anteil von 8 % an den ausgetauschten Anlagen; Anstieg der solaren Deckung von 10 % auf 15 % bis 2020
- MFH: stetiger Anstieg auf einen Anteil von 13,3 % an den ausgetauschten Anlagen; Anstieg der solaren Deckung von 10 % auf 15 % bis 2020; Ausnahme: Mehrfamilienhäuser der Stadtraumtypen, die nach solarem Rahmenplan besonders gut für Solarthermie geeignet sind: bei diesen wird angenommen, dass ab 2011 bei 60 % der ausgetauschten Anlagen Solarkollektoren installiert werden und die solare Deckung bei 15 % liegt
- Nichtwohngebäude: ab 2013 ausgehend von 0,1 % jährliches Marktwachstum von 30 %. Zudem wird für den öffentlichen Sektor analog zum Referenzszenario ein deutlicherer Ausbau der Solarthermie, diesmal jedoch auf 15 % der ausgetauschten Anlagen in 2020 angenommen. Die solare Deckung steigt zudem von 10 % auf 15 % in 2020.

Außerdem wird im Ausbauszenario angenommen, dass in den Neubauten ebenfalls die solare Deckung auf 20 % bis 2020 steigt.

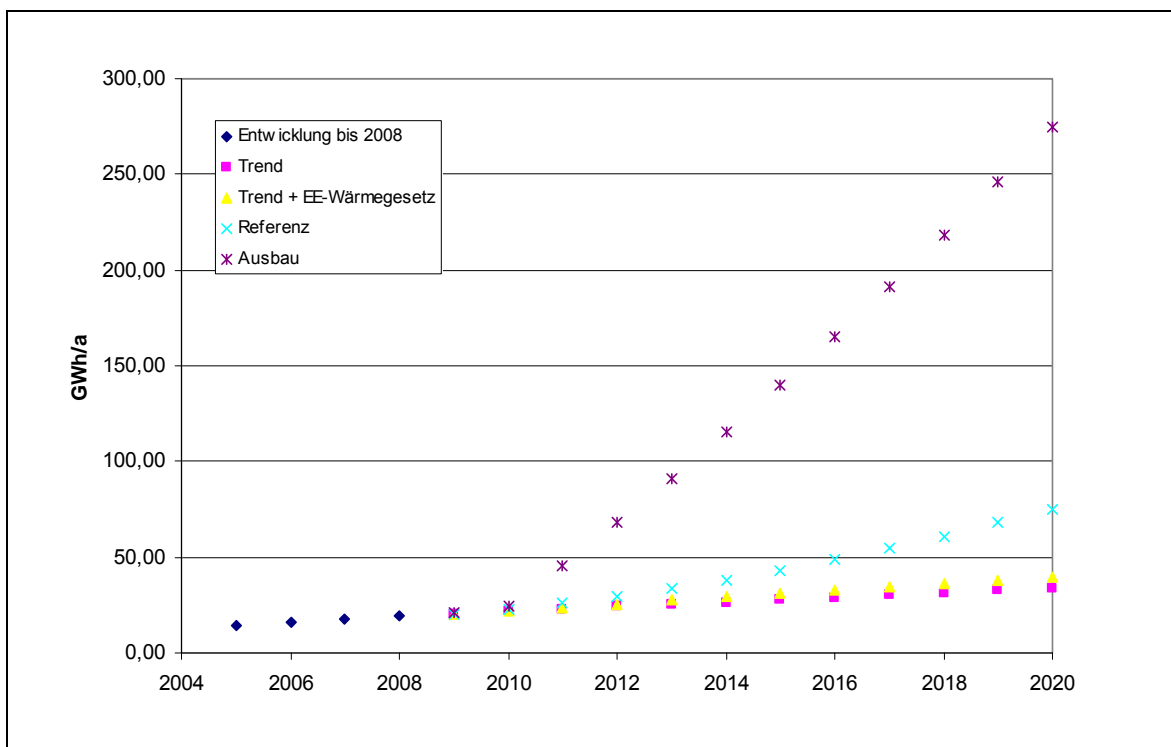


Abb. 5.4: Entwicklung der Wärmebereitstellung aus Solarthermie in Berlin (Wohn- und Nichtwohngebäude)

Quelle: eigene Darstellung

In Folge dieser Annahmen steigt die Zahl der Solarthermieanlagen in Wohngebäude auf 25.491, die 252,91 GWh/a Wärme bereitstellen (1,1 % des Bedarfs der Wohngebäude nach Zielszenario).

Hinzu kommen 21,79 GWh/a auf Nichtwohngebäuden, davon allein 15,35 GWh/a durch die Installation von Solarthermieanlagen im öffentlichen Sektor (Bestand). Wird bei Neubau und beim übrigen Bestand von einer Verteilung entsprechend des Wärmebedarfs der unterschiedlichen Sektoren ausgegangen, so entfallen insgesamt 16,49 GWh auf den öffentlichen Sektor, 2,54 GWh auf private Dienstleistungen, 0,92 GWh auf das Gewerbe, 0,89 GWh auf den Handel und 0,95 MWh auf die Industrie (Berechnung Berliner Energieagentur 2010). Insgesamt wird damit im Ausbauszenario eine solare Wärmeleistung von 274,70 GWh/a jährlich bereitgestellt. Dies entspricht einem Anteil an 0,7 % des gesamten Wärmebedarfs 2020 (nach Zielszenario 38,5 TWh/a).

5.2.4 Geothermie und Wärmepumpen

Wie auch bei der Solarthermie kann als einfache Abschätzung der Entwicklung der installierten Wärmepumpen, welche als Wärmequellen die oberflächennahe Geothermie (Erdreich, Wasser) oder Umweltwärme (Luft) nutzen eine **Trendfortschreibung** der Entwicklung der letzten Jahre vorgenommen werden. Dabei werden keine veränderten Rahmenbedingungen oder Verhaltensweisen berücksichtigt.

Eine Auswertung von Neubaugenehmigungen für Ein- und Mehrfamilienhäuser sowie auch für Wärmepumpen für die Jahre 2006 bis 2009 zeigt, dass der Anteil der Wärmepumpen in Neubauten in Berlin deutlich angestiegen ist (s. Abb. 5.5). Während in den Jahren 2006 und 2007 pro Quartal ca. 80 bis 100 Wärmepumpen in Einfamilienhäusern beantragt und genehmigt wurden, waren es seit dem 2. Quartal 2008 meist um 130 Wärmepumpen pro Quartal. Auch in Mehrfamilienhäusern stieg der Marktanteil der Wärmepumpen in diesem Zeitraum an. Mit etwa 4 genehmigten Wärmepumpen pro Quartal sind sie zahlenmäßig jedoch nicht von großer Relevanz (GASAG 2009). Die Wärmequelle wird in der Neubaustatistik bislang nicht unterschieden, so dass in diesen Zahlen sowohl Sole/Wasser-Wärmepumpen, Wasser/Wasser-Wärmepumpen als auch Luft-Wärmepumpen enthalten sind⁴⁵. Die Studie geht davon aus, dass die Marktanteile von Luftwärmepumpen in Berlin derzeit über dem bundesdeutschen Durchschnitt liegen (s. Kapitel 2.5.2). Die Studie geht für diesen Zeitraum deshalb von einem Anteil von ca. 55-60 % Sole/Wasser-Wärmepumpen, 35-40 % Luft-Wärmepumpen und 1-5 % Wasser/Wasser-Wärmepumpen aus. Da diese Wärmepumpen auf Grund ihrer geringen JAZ aus ökologischen Gründen nur eingeschränkt zu empfehlen sind, sollte dem in den vergangenen Fünf Jahren zunehmenden Trend mit entsprechenden Maßnahmen gegengesteuert werden.

Die Anzahl der beantragten und genehmigten Heizungs-Wärmepumpen in Berlin zeigt über die Jahre 2006-2009 keinen klaren zunehmenden Trend. Für frühere Jahre liegen keine Daten vor. Bezogen auf die Baugenehmigungen der Gebäude nahmen die Anteile an Wärmepumpen in diesem Zeitraum zu und pendeln sich im Jahr 2008 bei ca. 26 % der Heizungssysteme in neuen EFH und knapp 10 % der Heizungssysteme in neuen MFH ein. Für die Trendfortschreibung wurde dieser Anteil an Wärmepumpen in EFH und MFH auch für den Zeitraum 2010-2020 angenommen, der jährliche Zubau an Gebäuden beträgt den Annahmen der BEA zufolge 1.747 EFH und 139 MFH.

⁴⁵ Eine spezifische Erfassung der Wärmequellen ist geplant und soll ab Januar 2010 im Rahmen der Neubaustatistik erfolgen (persönliche Mitteilung Frau Beeck 2009, Amt für Statistik Berlin-Brandenburg)

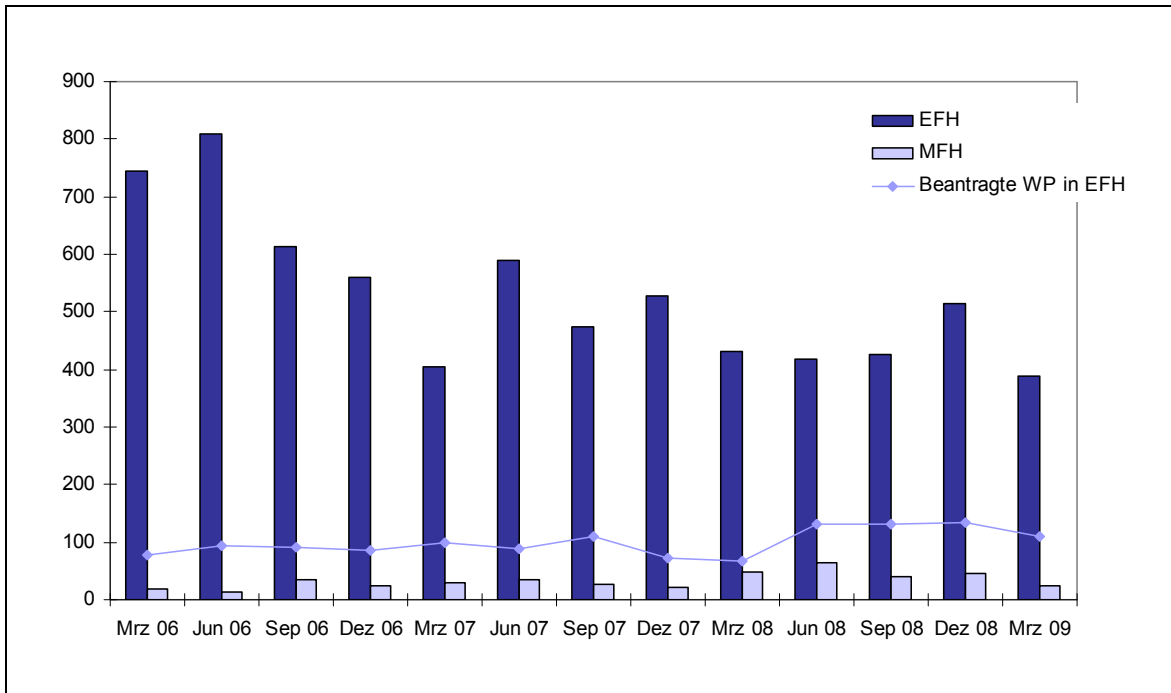


Abb. 5.5: Entwicklung der Baugenehmigungen für EFH und MFH sowie Wärmepumpen in EFH im Zeitraum 2006-2009
Eigene Darstellung nach (GASAG 2009)

Tab. 5.17: Entwicklung der oberflächennahen Geothermie (Wärmepumpen) in Berlin; ab 2009 Trendfortschreibung

	Anzahl Anlagen	Wärmebereitstellung [GWth/a]
2005	Ca.1210	27,8
2006		
2007		
2008	Ca. 1400	
2009	1699 (September) (2800 inklusive Luft-WP)	39,0 (64,1 mit Luft-Wärmepumpen)
2010	3.452	70,44
2011	4.102	81,09
2012	4.752	91,68
2013	5.402	102,22
2014	6.052	112,70
2015	6.702	123,12
2016	7.352	133,49
2017	8.002	143,81
2018	8.652	154,08
2019	9.302	164,29
2020	9.952	174,46

Angaben zur Anlagenzahl 2005 und der genutzten Umweltwärme stammen aus der Studie der FFU, für das Jahr 2008 liegt eine Abschätzung von Vattenfall vor, bei der Anzahl für das Jahr 2009 handelt es sich um die bis zu diesem Zeitpunkt wasserrechtlich genehmigten Sole/Wasser- und Wasser/Wasser-Wärmepumpen Anlagen, (zur Verfügung gestellt von der SenGUV) zuzüglich einer Abschätzung zur Anzahl der Luftwärmepumpen (s. Status Quo), durchschnittlich genutzte Umweltwärme 2009 nach (FFU 2007: 32)

Quelle: Eigene Berechnungen

Nicht in der Statistik enthalten sind neu installierte Wärmepumpen im Gebäudebestand. Die Studie geht davon aus, dass in Berlin etwa 37 % aller neuen Wärmepumpen im Bestand installiert werden. Demnach kämen zu den 410 Wärmepumpen im Neubau weitere 240 Anlagen im Gebäudebestand hinzu – die Verteilung zwischen Ein- und Mehrfamilienhäusern wird analog zur Neubaustatistik angenommen. Bei einer Fortschreibung bis 2020 ergibt sich damit eine Anlagenzahl von 9.952 Wärmepumpen mit einer Wärmebereitstellung von 174,46 GWh. Von dieser gesamten Wärmebereitstellung würden bei einem gleichbleibenden Anteil erdgekoppelter Wärmepumpen von ca. 55-60 % am Gesamtbestand der Heizungs-Wärmepumpen im Jahr 2020 etwa 96-105 GWh aus Erdwärme gewonnen. Hinzu kommen die Nicht-Wohngebäude. Bislang existieren in Berlin einige Demonstrationsprojekte, die genaue Anzahl an Wärmepumpen in Nicht-Wohngebäuden ist jedoch unklar, weshalb der bisherige Bestand komplett den Wohngebäuden zugewiesen wurde.

Zur Nutzung tiefer Geothermie ist keine Trendfortschreibung möglich, da derzeit keine Anlagen existieren. Auch in der Referenzentwicklung wird auf Grund der derzeitigen Unsicherheiten über die vorhandenen Potenziale im Projektgebiet der GASAG⁴⁶ diese Technologie deshalb nicht berücksichtigt

5.2.4.1 Referenzentwicklung

Mit der Einführung des **EE-Wärme-Gesetzes** Anfang 2009 haben sich, wie bereits beschrieben, die Rahmenbedingungen für Neubauten geändert. Deshalb erfolgt innerhalb des **Referenzszenarios** neben der Trendfortschreibung eine Betrachtung der zusätzlich zu erwartenden Wärmepumpen in Neubauten. Die Studie geht davon aus, dass für 45 % der neu gebauten Einfamilienhäuser Wärmepumpen als Heizungssystem gewählt werden. Bei einer Neubaurate von 1.747 Einfamilienhäusern pro Jahr, werden demnach 786 Wärmepumpen jährlich zugebaut. Bei den Mehrfamilienhäusern geht die Studie von 139 neu errichteten Gebäuden pro Jahr aus und einem Anteil an Wärmepumpen in neu errichteten MFH von 10 %, woraus sich ein zusätzlicher jährlicher Zubau von 14 Wärmepumpen ergibt. Ein großer Teil des Zuwachses ist bereits in der Trendfortschreibung enthalten, da bereits im Zeitraum 2006-2009 in 10-30 % der EFH Wärmepumpen installiert wurden (Neubaustatistik). Insgesamt werden im Neubau Wohngebäude damit 105,2 GWhth Wärmebereitstellung durch Wärmepumpen in Wohngebäuden von. Das EE-Wärme-gesetz gilt auch für Nicht-Wohngebäude. Es wurde angenommen, dass in 17,5 % der neu errichteten Nicht-Wohngebäude Wärmepumpen eingebaut werden. Als Deckungsgrad wurde 50 % angenommen. Bei einem jährlichen Zubau von 565.400 m² Wohnfläche kommt demnach jährlich eine Wärmebereitstellung 4,5 GWhth durch Wärmepumpen hinzu. Im Jahr 2020 würden 49,40 GWhth in neu erbauten Nicht-Wohngebäuden bereitgestellt.

Die Aufteilung der Wärmebereitstellung mittels Wärmepumpen auf die Teilverbrauchssektoren wurde entsprechend der Aufteilung des Gesamtwärmebedarfs dieser Sektoren vorgenommen. Die Aufteilung auf die Teilverbrauchssektoren ist in Tab. 5.22 dargestellt.

⁴⁶ Gelände Gasometer Schöneberg (s. Kapitel 2.6.1)

Tab. 5.18: Aufteilung der Wärmebereitstellung mittels Wärmepumpen in NWG auf die Teilverbrauchssektoren im Referenzszenario im Jahr 2020

	Prozentuale Aufteilung	Wärmebereitstellung [GWth/a]
Bestand+Neubau	100 %	49,40
davon ÖDL	10 %	4,94
davon PDL	35 %	17,29
davon Gewerbe	15 %	7,41
davon Handel	25 %	12,35
davon Industrie	15 %	7,41

Quelle: Berliner Energieagentur und eigene Berechnungen

Weiterhin wurde im Referenzszenario die **Wirtschaftlichkeit** der verschiedenen Wärmepumpensysteme (Sole/-Wasser- und Luft-Wärmepumpen) berücksichtigt, da davon auszugehen ist, dass das Erreichen der Wirtschaftlichkeit zu einem vermehrten Einsatz dieser Technologie führen wird. Dies ist insbesondere für den Gebäudebestand relevant, da der Neubau bereits durch das EE-Wärmegesetz geregelt wird. Unter Berücksichtigung eines Wärmepumpen Stromsondertarifs, wie ihn bspw. Vattenfall anbietet, ist die Luft-Wärmepumpe im EFH-Bestand bereits heute wirtschaftlich. Die Sole/-Wasserwärmepumpe wird die Wirtschaftlichkeit im EFH-Bestand im Jahr 2015 erreichen, im MFH-Bestand ist sie ebenfalls bereits heute wirtschaftlich. Da davon auszugehen ist, dass sich das Wissen um die Wirtschaftlichkeit weiter verbreitet, müsste die Wahl beim Austausch eines Heizungssystems im Bestand in Zukunft häufiger auf ein Wärmepumpensystem fallen. Allerdings existieren einige Einschränkungen bezüglich des Ausbaus: Der Stromsondertarif beeinflusst das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsberechnung verhältnismäßig stark, so dass die Luft-Wärmepumpe die Wirtschaftlichkeit im EFH-Bestand ohne den Sondertarif erst im Jahr 2018 und die Sole/Wasser-Wärmepumpe im MFH-Bestand im Jahr 2016 und im EFH-Bestand gar nicht erreicht. Derzeit ist zu vermuten, dass der Sonderstromtarif auch weiterhin beibehalten wird, möglicherweise könnte eine weite Verbreitung der Wärmepumpen jedoch zu einer Abschaffung führen. Weitere Hemmnisse für eine große Steigerung des Anteils von Wärmepumpen im Bestand, sind das Investor-Nutzer-Dilemma im MFH-Bestand sowie der Anlass einer Komplettsanierung, da Wärmepumpen aus Energieeffizienzgründen insbesondere in Kombination mit Fußboden- oder Wandheizungen zu empfehlen sind. Aus diesen Gründen geht die Studie davon aus, dass wegen der zunehmenden Wirtschaftlichkeit der Anteil von Wärmepumpen an den ausgetauschten Heizungssystemen im EFH-Bestand bis 2020 moderat auf 10 % und im MFH-Bestand auf 5 % ansteigen wird. Unter diesen Annahmen steigt die Anzahl an Wärmepumpen im Referenzszenario auf knapp 18.000 Anlagen im Jahr 2020, dies entspricht in etwa einer Wärmebereitstellung von etwa 445 GWh (s. Abb. 5.6) bzw. einem Anteil von 1,8 % am gesamten Wärmebedarf der privaten Haushalte des Referenzszenarios der BEA (24.552 GWh). Für den Nicht-Wohngebäudebestand wurde auf Grund der geringen Anzahl vorhandener Beispiele kein Zuwachs angenommen, es bleibt demnach bei einer Bereitstellung von 49,40 GWth. Auf Grund der beschriebenen geringen Energieeffizienz der Luft-Wärmepumpen einerseits und ihrer früh eintretenden Wirtschaftlichkeit andererseits, geht die Studie davon aus, dass sich die Anteile der verschiedenen Wärmepumpensysteme bis 2020 folgendermaßen entwickeln: 60 % Sole/Wasser-Wärmepumpen, 35% Luft-Wärmepumpen, 5 % Wasser/Wasser-Wärmepumpen.

Insofern sich die Energieeffizienz von Wärmepumpen etwas verbessern wird (JAZ Sole/Wasser-Wärmepumpe: 4, Wasser/Wasser-Wärmepumpe: 4,5, Luft-Wärmepumpe: 3,5), wäre der Betrieb

der Anlagen mit einem Strombedarf von ca. 129,1 GWhel verbunden. Da bis 2020 weitere Energieeffizienzsteigerungen möglich sind und der Einsatz von Gaswärmepumpen an Bedeutung gewinnen wird (s. Kapitel 2.5.1), könnte sich der Strombedarf um weitere 10% verringern. Unter diesen Voraussetzungen läge der Strombedarf im Jahr 2020 bei 116,6 GWhel.

5.2.4.2 Ausbauszenario

Wie beschrieben, kann mit politischen Maßnahmen, die den Einsatz erneuerbarer Energien vorschreiben oder attraktiver machen, ein höherer Anteil Erneuerbarer Energien erreicht werden. Da der Neubau bereits durch das EE-Wärmegesetz abgedeckt wird, betrifft dies ausschließlich Gebäudebestand. Es wurde davon ausgegangen, dass der Anteil an Wärmepumpen an den ausgetauschten Heizungssystemen im Bestand durch unterstützende Maßnahmen auf 16 % in EFH und auf 13,3 % in MFH im Jahr 2020 gesteigert werden kann. In den Mehrfamilienhäusern, die nach solarem Rahmenplan besonders gut für Solarthermie geeignet sind, diese aber nicht nutzen, werden als Ersatzmaßnahme in 5 % der ausgetauschten Anlagen Wärmepumpen installiert. Dabei wurde angenommen, dass die Entwicklung ab 2011 stattfinden wird. Unter dieser Voraussetzung wären im Jahr 2020 in Wohngebäuden insgesamt 21.673 Wärmepumpen installiert, die mit einer Wärmebereitstellung von 669,02 GWhth (2,9 % des Gesamtwärmebedarfs im Wohnbereich im Jahr 2020) und einem Strombedarf von 174,7 GWhel einhergingen (bzw. 157,2 GWhel bei höherer Energieeffizienz, s.o.). Für Nicht-Wohngebäude wurde für das Jahr 2011 ein Anteil von 0,1 % der durch Wärmepumpen ersetzten Anlagen im Bestand und bis 2020 eine jährliche Zunahme um 30 % festgelegt. Mit diesen Annahmen ergibt sich eine Wärmebereitstellung im Nicht-Wohngebäude-Bestand von 11,91 GWhth im Jahr 2020 inklusive Neubau beläuft sich die Bereitstellung auf 61,31 GWhth (Strombedarf von 14,4-16 GWhel).

Die Aufteilung der Wärmebereitstellung mittels Wärmepumpen auf die Teilverbrauchssektoren wurde wie im Referenzszenario entsprechend der Aufteilung des Gesamtwärmebedarfs dieser Sektoren vorgenommen. Die Aufteilung auf die Teilverbrauchssektoren ist in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tab. 5.19: Aufteilung der Wärmebereitstellung mittels Wärmepumpen in NWG auf die Teilverbrauchssektoren im Ausbauszenario im Jahr 2020

	Prozentuale Aufteilung	Wärmebereitstellung [GWh _{th/a}]
Bestand+Neubau	100 %	61,31
davon ÖDL	10 %	6,13
davon PDL	35 %	21,46
davon Gewerbe	15 %	9,19
davon Handel	25 %	15,33
davon Industrie	15 %	9,19

Quelle: Berliner Energieagentur und eigene Berechnungen

Weiterhin geht die Studie davon aus, dass die von der GASAG geplante Anlage zur Nutzung **tiefer Geothermie** errichtet wird und eine Wärmeleistung von 2,5 MW erschlossen werden kann (Bredel-

Schürmann 2009). Unter Annahme einer Volllaststundenzahl von 8000 h⁴⁷ würden jährlich ab 2013 20 GWhth bereitgestellt werden. Weiterhin ist nach Expertensicht der Einsatz von weiteren fünf Anlagen mit jeweils 20 MW bis zum Jahr 2020 möglich, sofern Investitionen in Bohrungen und geophysikalische Explorationen getätigt werden (Huenges 2009)⁴⁸. Diese Studie geht davon aus, dass eine weitere Anlage mit einer Leistung von 5 MW tatsächlich realisiert wird. Es wird angenommen, dass diese Anlage im Neubaubereich (Wohngebäude) Anwendung finden wird. Unter Annahme einer Volllaststundenzahl von 3000 h würden damit weitere 15 GWhth Wärme jährlich bereitgestellt. Bis zum Jahr 2020 können demnach insgesamt 35 GWhth durch tiefe Geothermie genutzt werden. Der Strombedarf für die Tiefenpumpe beträgt in Anlehnung an die Referenzanlage Neustadt-Glewe⁴⁹ etwa 1093 MWhel pro Jahr (Geothermische Energie 2003)).

In der Summe werden im Ausbauszenario 730 GWhth, 1,9 % des Gesamtwärmebedarfs im Jahr 2020, durch Wärmepumpen bereitgestellt. Hiermit wäre bei ausschließlicher Bereitstellung mit strombetriebenen Wärmepumpen ein Strombedarf von ca. 190,7 GWhel verbunden. Von dieser gesamten Wärmebereitstellung würden bei einem Anteil erdgekoppelter Wärmepumpen von 60 % am Gesamtbestand der Heizungs-Wärmepumpen im Jahr 2020 etwa 438 GWh aus Erdwärme gewonnen. Hinzu kommen 35 GWhth Wärmebereitstellung aus tiefer Geothermie, die mit einem Strombedarf von etwa 1093 MWhel pro Jahr einhergehen.

⁴⁷ Persönliche Mitteilung durch Herr Bredel-Schürmann, 9.12.09, die hohe Volllaststunden ergibt sich aus dem konstanten Energiebedarf des geplanten Projektes.

⁴⁸ Diese Ausbauziele sind als ambitioniert nach Expertensicht aber als erreichbar zu bezeichnen (Huenges 2009).

⁴⁹ Es wurde das Verhältnis von Strombedarf zu Wärmebereitstellung dieser Beispielanlage übernommen.

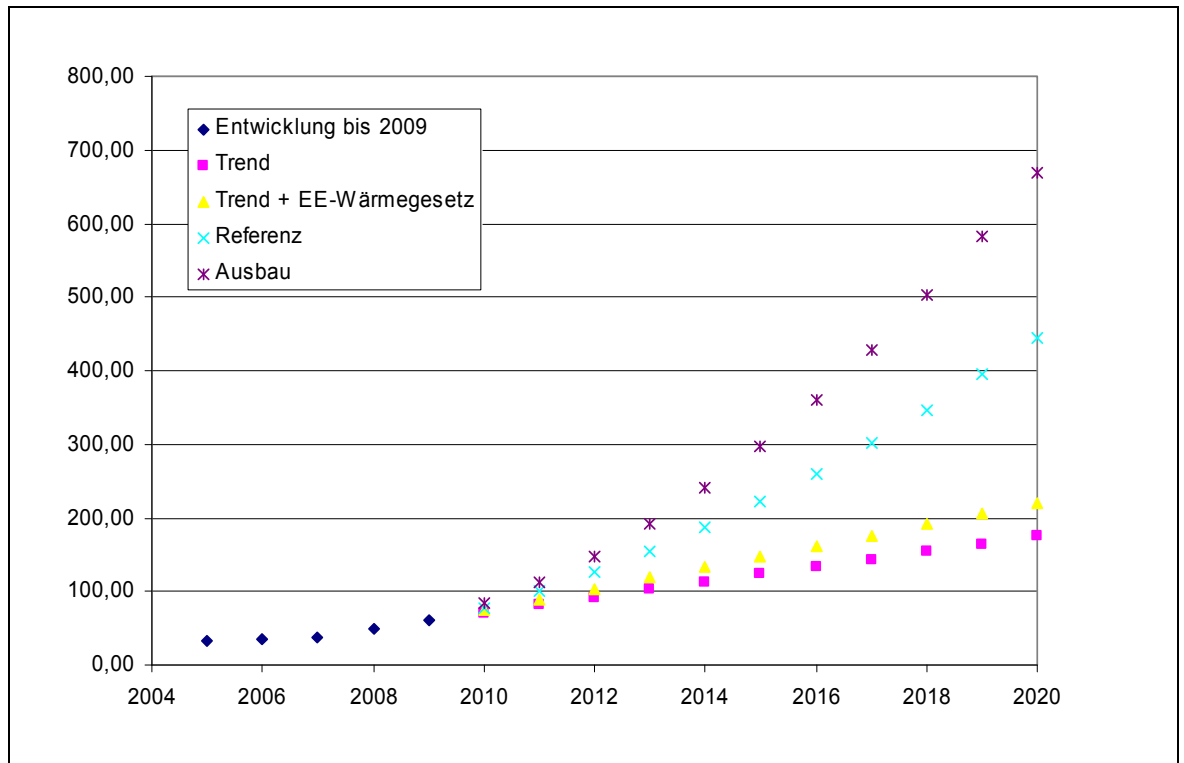


Abb. 5.6: Wärmebereitstellung mit Wärmepumpen in Wohngebäuden für den Zeitraum 2005-2009 und Weiterentwicklung bis 2020 bei Trendfortschreibung, Trend mit Berücksichtigung des EE-Wärmegesetzes, Referenzszenario (EE-Wärmegesetz, Wirtschaftlichkeit) und Ausbauszenario

Eigene Darstellung; Daten 2005 (FFU 2007: 32), Daten 2009 (Wedewardt 2009) plus Abschätzung der Anzahl von Luftwärmepumpen, die dazwischen liegenden Werte wurden interpoliert, eigene Berechnung für den Zeitraum 2010 bis 2020

Die folgende Grafik gibt eine Übersicht über die Entwicklung der Wärmebereitstellung durch Wärmepumpen in Wohn- und Nicht-Wohngebäuden in den verschiedenen Szenarien. Zusätzlich wird das Ausbauszenario in Kombination mit der Wärmeerzeugung aus tiefer Geothermie dargestellt (s. Abb. 5.7).

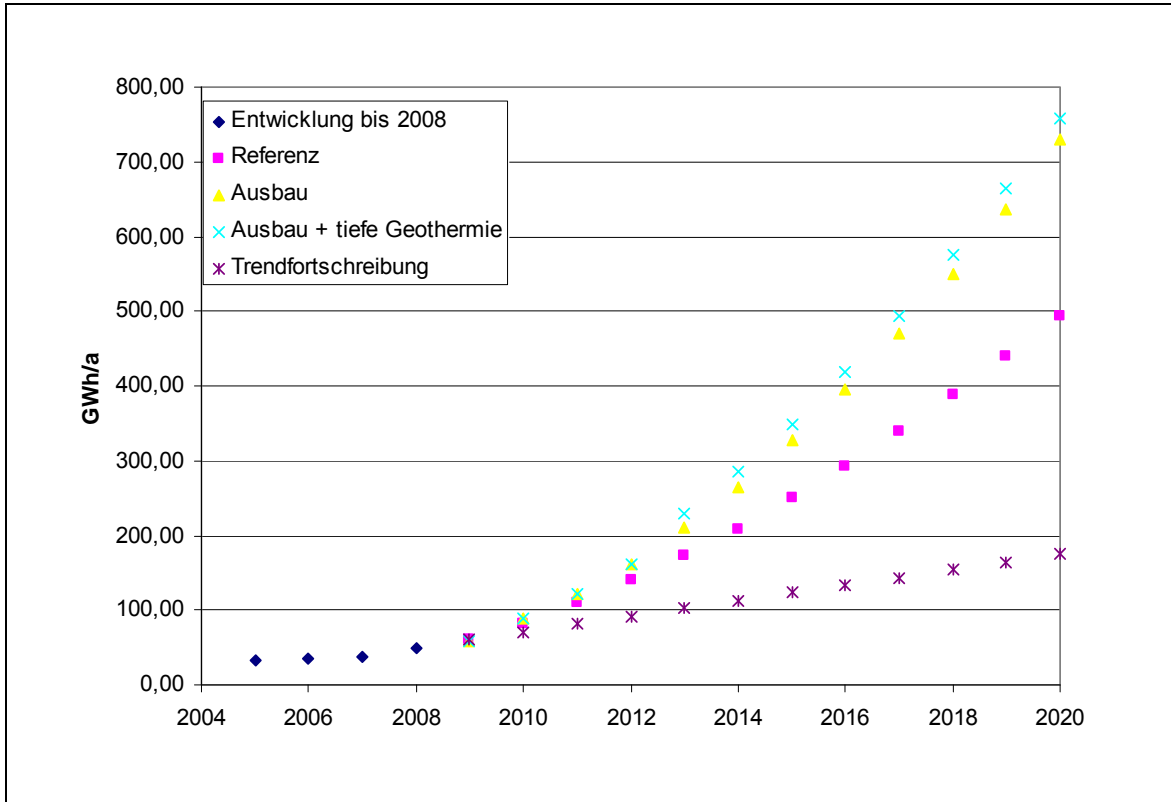


Abb. 5.7: Wärmebereitstellung mit Wärmepumpen in Wohn- und Nicht-Wohngebäuden für den Zeitraum 2005-2009 und Weiterentwicklung bis 2020

Eigene Darstellung. Daten 2005 (FFU 2007: 32), Daten 2009 (Wedewardt 2009) plus Abschätzung der Anzahl von Luftwärmepumpen, die dazwischen liegenden Werte wurden interpoliert, eigene Berechnung für den Zeitraum 2010 bis 2020, Angaben zu tiefer Geothermie Bredel-Schürmann (2009) und Huenges (2009)

5.2.5 Beitrag der erneuerbaren Energien zur Wärmebereitstellung

Addiert man die Wärmebereitstellung durch Solarkollektoren, Biomasseheizungen und Wärmepumpen auf, so zeigt sich, dass bis 2020 nach Referenzszenario 868,88 GWh/a und nach Ausbauszenario 1.651,65 GWh/a an Wärme durch diese Anlagen bereitgestellt werden (vgl. Tab. 5.16 und Tab. 5.17). Diese Zahlen berücksichtigen noch nicht die EE-Anteile an der Fernwärme. Diese sind aber in der Gesamtschau integriert (s. Kapitel 5.4).

Tab. 5.20: Referenzszenario: Wärmebereitstellung (Nutzenergie) durch erneuerbare Energien (GWh/a)

	Solarthermie	Biomasse (Heizungen)	Wärmepumpen	Summe
2008	19,04	9,50	48,95	77,49
2009	20,30	10,08	59,72	90,11
2010	22,81	24,66	82,71	130,17
2011	25,64	41,94	109,23	176,81
2012	28,78	61,87	139,22	229,87
2013	32,25	84,38	172,59	289,22
2014	36,02	109,42	209,27	354,71
2015	40,10	136,92	249,18	426,20
2016	44,48	166,83	292,24	503,56
2017	49,17	199,09	338,38	586,64
2018	54,14	233,65	387,52	675,31
2019	59,41	270,44	439,59	769,43
2020	64,96	309,42	494,51	868,88

Quelle: Eigene Berechnungen

Tab. 5.21: Ausbauszenario: Wärmebereitstellung (Nutzenergie) durch erneuerbare Energien (GWh/a)

	Solarthermie	Biomasse (Heizungen)	Wärmepumpen	Summe
2008	19,27	9,47	48,86	77,60
2009	20,65	10,05	59,53	90,23
2010	24,13	31,50	87,84	143,47
2011	45,79	59,15	121,48	226,43
2012	68,13	94,73	162,40	325,26
2013	91,21	138,05	210,39	439,65
2014	115,03	188,93	265,26	569,22
2015	139,61	247,22	326,84	713,67
2016	164,97	312,80	394,97	872,74
2017	191,14	385,57	469,49	1046,20
2018	218,13	465,48	550,30	1233,91
2019	245,98	552,53	637,29	1435,80
2020	274,70	646,62	730,33	1651,65

Quelle: Eigene Berechnungen

Damit wird nach Referenzszenario ein Anteil von 2,2 % des gesamten Wärmebedarfs im Jahr 2020 gedeckt, im Ausbauszenario sind es immerhin 4,3 %.

Die hier ermittelten Anteile basieren auf Abschätzungen des Wärmebedarfs, die nach Abschluss der Arbeiten für diese Studie durch den Auftraggeber (BEA) nochmals leicht verändert wurden. Be-

zogen auf die geänderten Wärmebedarfswerte ergeben sich die folgenden EE-Anteile: Im Referenzszenario wird 2020 ein Anteil von 2,5% des gesamten Wärmebedarfs erreicht, im Ausbauszenario sind es 5%. Diese Werte wurden von der BEA in der Darstellung des gesamten Energiekonzepts verwendet.

5.3 Größere Biomasse-Anlagen

Die Ermittlung der Erschließung der Potenziale aus biogenen Quellen bis 2020 wird zum einen aus den Bestandsanlagen weiterentwickelt. Dabei ist zu erwarten, dass durch Modernisierungen oder Ersatz der Altanlagen durch modernere die Effizienz steigen wird und entsprechend mehr Endenergie aus dem genutzten Potenzial bereitgestellt werden kann. Daneben ist davon auszugehen, dass es einen Zubau an Umwandlungsanlagen geben wird. Diese führen dazu, dass der Import von Biomasse nach Berlin ansteigen wird, organische Stoffströme innerhalb Berlins in eine thermische Verwertung umgelenkt werden oder das Biomassepotenzial aus Berlin vergrößert wird. Es gibt bereits einige konkrete Planungen für einzelne Anlagen, die im Referenz- und Ausbauszenario berücksichtigt werden. Grundlage für die Entwicklung der Szenarien ist die Analyse aus Witzenhausen (2009), in der Szenarien für eine energieeffizientere Nutzung des biogenen Reststoffpotenzials Berlins aufgezeigt werden. Darin wurde bis 2020 von einem gleich bleibenden Mengenaufkommen ausgegangen. Die Steigerung der Energiebereitstellung aus biogenen Reststoffen wird hauptsächlich aus den folgenden Maßnahmen erzielt:

- die Bioabfallsammlung wird auf die Außenbezirke Berlins ausgedehnt, hierdurch ergibt sich eine Stoffstromverlagerung von Biomasse aus dem Restmüll, aus Laubsäcken sowie aus der Eigenkompostierung zur Biotonne
- der gesamte Bioabfall wird der Vergärung zugeführt
- krautige Biomassen werden überwiegend in der Vergärung eingesetzt, ebenso Mist und sonstige Grünabfälle
- ungefasste Laubmengen (Teilmengen) werden thermisch verwertet – bei Mengen mit hohem Wassergehalt kann eine zusätzliche Behandlung (Trocknung) notwendig werden
- zusätzliche Erfassung von Altfetten und Fettabscheiderinhalten
- zusätzliche Erfassung von Speiseabfällen aus dem Geschäftsmüll

Dafür gibt es bereits z.T. konkrete Planungen zu dem Bau von Umwandlungsanlagen, in denen die energetische Reststoffverwertung umgesetzt werden soll:

- Am weitesten fortgeschritten (Genehmigungsantrag bereits eingereicht) scheint die Planung einer Vergärungsanlage durch das Entsorgungs- und Verwertungsunternehmen **ALBA**⁵⁰. Vorgesehen ist der Bau einer Anlage mit einer Kapazität von 60.000 Mg Bioabfällen pro Jahr in Pankow, sowie die Nutzung des erzeugten Biogases zur Stromerzeugung in einem BHKW (ICU/ Witzenhausen-Institut 2009: 11).
- Laut Pressemeldungen plant die **BSR** zur Verwertung von Abfällen aus der Biotonne eine Vergärungsanlagen nahe der MVA Ruhleben in Spandau und bei Bedarf eine weitere in Marzahn

⁵⁰ Nach Auskünften der SenGUV

zu errichten. In der Studie zur „Nutzung von Biomasse in Berlin“ (ICU/ Witzenhausen-Institut 2009: 11) werden diese Pläne konkretisiert.

- Der Bau einer Vergärungsanlage in Spandau wird vorbereitet: bei einer Jahresdurchsatzmenge von 60.000 Mg Bioabfällen soll Biogas ins Gasnetz eingespeist und als Ersatz für Dieselkraftstoff im eigenen Fuhrpark eingesetzt werden. Diese Menge wurde in den Szenarien für 2020 nicht der Strom- und Wärmeerzeugung angerechnet, sondern ein Kraftstoffeinsatz unterstellt.
- Der Standort Marzahn wird vorgehalten, um bei einem höheren Bioabfallaufkommen eine weitere Vergärungsanlage (Jahresdurchsatz von bis zu 45.000 Mg) errichten zu können.
- Die Berliner Wohnungsbaugesellschaft **HOWOGE** will eine NawaRo-Vergärungsanlage installieren und das entstehende Biogas zur Strom- und Wärmeerzeugung nutzen. Die erzeugte Elektrizität soll EEG-vergütet ins Stromnetz eingespeist, die erzeugte Wärme über Nahwärmenetze zu eigenen Immobilien gelangen (Kirschner 2009). Die Anlage könnte 15.000 Mg Mähgut pro Jahr aufnehmen (ICU/ Witzenhausen-Institut 2009: 12).
- Auch das Entsorgungsunternehmen **BRAL** plant eine eigene Vergärungsanlage mit einer Kapazität von 20.000 Mg / a zur Verwertung der erfassten Speisereste (ICU/ Witzenhausen-Institut 2009: 12).

Teile der in Berlin anfallenden holzigen Reststoffe werden zurzeit bereits im Heizkraftwerk Reuter mitverbrannt (Landschaftspflegeholz aus dem Bezirk Spandau und Berliner Weihnachtsbäume). Die dort eingesetzte Biomasse soll nach Möglichkeit in den nächsten Jahren gesteigert werden. Bis 2020 soll das Heizkraftwerk Reuter stillgelegt und der Biomassestoffstrom umgelenkt werden (Schnauß 2009). Vattenfall plant den Bau zweier Biomasseheizkraftwerke mit einer elektrischen Leistung von 40 MW und einer thermischen Leistung von 150 MW, die teilweise das Heizkraftwerk Klingenberg ersetzen sollen (Vattenfall 2009b). Diese beiden Anlagen hätten einen jährlichen Brennstoffbedarf von 400.000 Mg.⁵¹ Daneben plant die Fernheizwerk Märkisches Viertel GmbH, ein Tochterunternehmen der Vattenfall Europe Wärme AG, den Bau eines Heizkraftwerks im Märkischen Viertel. Der Genehmigungsantrag wurde bereits eingereicht (Fernheizkraftwerk Märkisches Viertel 2009). Der Brennstoffbedarf liegt bei ca. 76.000 Mg (Schnauß 2009). Kapazitäten zur weiteren Biomassenutzung böten sich VE noch zusätzlich in zwei Kohlekraftwerken, in denen eine Mitverbrennung möglich wäre. Allerdings liegen dazu keine konkreten Zahlen vor. Da die Versorgung der geplanten Biomasseheizkraftwerke schon ambitioniert erscheint, wird davon ausgegangen, dass es im Jahr 2020 keine zusätzliche Mitverbrennung von Biomasse in Kohlekraftwerken geben wird.⁵²

Damit würde eine Nachfrage induziert, die nur durch zusätzlich Importe nach Berlin bedient werden könnte. In der weiteren Betrachtung wurde davon ausgegangen, dass 50.000 Mg der benötigten

⁵¹ Für die Berechnung der Endenergiebereitstellung wurden für dieses HKW ein elektrischer Wirkungsgrad von 30 % und ein Nutzungsgrad von 90 % sowie eine Wärmenutzung von 100 % unterstellt.

⁵² Nach Abschluss der Studie gab Vattenfall veränderte Biomassebedarfe bekannt. Demnach sollen in den geplanten Heizkraftwerken Klingenberg I und II je 350.000 t und im Fernheizkraftwerk Märkisches Viertel 65.000 t Biomasse pro Jahr eingesetzt werden. Die Mitverbrennung von Biomasse in Kohlekraftwerken geschieht derzeit bereits in den HKW Klingenberg und Reuter West, eine Ausweitung auf die HKW Reuter C und Moabit wird vorbereitet (Buttgereit 2010). Diese Informationen konnten nicht mehr in die Berechnungen einbezogen werden, werden aber im Energiekonzept 2020 nachrichtlich erwähnt.

476.000 Mg für die neu geplanten Heizkraftwerke aus Berliner Quellen gedeckt werden könnte (ausgenommen der Berliner Stadtgüter).

Ferner wird davon ausgegangen, dass es einen Zubau an kleinen KWK-Anlagen auf Biomassebasis geben wird. Bislang sind in Berlin neben dem Heizkraftwerk Rudow acht solcher Anlagen installiert (Vattenfall Europe Transmission o. J.). Da nur für die Jahre 2006 bis 2008 Jahresendabrechnungen vorliegen, kann daraus kein Trend abgeleitet werden. Es wird davon ausgegangen, dass jährlich KWK-Anlagen mit einer elektrischen Leistung von 500 kW zugebaut werden und die thermische Energie in einem Nahwärmenetz eingespeist oder von Großabnehmern abgenommen wird.

Um aufzuzeigen, welche Wirkung von dem Bau des Biomasse-HKW am Standort Klingenberg ausgeht, ist sowohl das Referenz- als auch das Ausbauszenario mit und ohne das HKW berechnet worden. Die Ergebnisse der Referenzszenarien sind in Tab. 5.22 dargestellt.

Tab. 5.22: Endenergiebereitstellung aus Biomasse im Referenzszenario 2020, mit und ohne HKW am Standort Klingenberg

mit HKW Klingenberg [GWh]						
	Verbrennung		Vergärung		Anteil an Gesamtstrom-/Wärmebedarf	
	Strom	Wärme	Strom	Wärme	Strom	Wärme
Endogenes Potenzial: Biogene Reststoffe	393,6	700,7	62,1	76,5	3,9%	1,9%
Importe						
Flüssige Bioenergieträger	15,9	17,8	-	-	0,1%	0,04%
Hackschnitzel/Altholz	712,0	2.035,3	-	-	6,1%	5,1%
Gesamt	1.122	2.754	62	77	10,1%	7,0%
ohne HKW Klingenberg [GWh]						
	Verbrennung		Vergärung		Anteil an Gesamtstrom-/Wärmebedarf	
	Strom	Wärme	Strom	Wärme	Strom	Wärme
Endogenes Potenzial: Biogene Reststoffe	393,6	700,7	62,1	76,5	3,9%	1,9%
Importe						
Flüssige Bioenergieträger	15,9	17,8	-	-	0,1%	0,04%
Hackschnitzel/Altholz	260,5	680,8	-	-	2,2%	1,7%
Gesamt	670	1.399	62	77	6,2%	3,7%

Quelle: Eigene Berechnungen

Im Ausbauszenario wird die Reststoffverwertung für die energetische Verwertung optimiert. Im Gegensatz zum Referenzszenario verfolgt dieses Szenario noch ambitioniertere Ziele. Grundlage für

diese Betrachtung ist die weitgehende Ausschöpfung des Biomassepotenzials zur energetischen Nutzung aufgrund der Klimaschutzziele Berlins. Zielgröße sind „maximale Klimagutschriften“, also eine möglichst hohe CO₂-Vermeidung durch die Substitution fossiler Energieträger.

Die Veränderungen der Stoffstrombehandlungen im Ausbau-Szenario ergeben sich insbesondere durch eine weitere Erhöhung der Bioabfallerrfassung in den Außenbezirken. Hier werden im Vergleich zur gegenwärtigen Situation zusätzlich 94.000 Mg Bioabfälle erfasst (33.000 Mg aus dem Restabfall, 36.000 aus den Hausgärten (Eigenkompostierung) sowie 25.000 Mg aus dem Laubsack). Weiterhin wird unterstellt, dass rd. 35.000 Mg der krautigen Grünabfälle (Bezirksämter, GALA-Bau) der Vergärung zugeführt würden. Bei der Verwertungsalternative für Straßenkehricht (Mittelkornfraktion) würde sich der Anteil der thermischen Verwertung erhöhen. Daneben werden weitere Stoffströme in die thermische Bewertung umgelenkt.

Auch hier wird eine Untervariante ohne das Biomasse-HKW am Standort Klingenberg dargestellt. Anstelle des HKW wird davon ausgegangen, dass die Hälfte des notwendigen Imports für das HKW Klingenberg (ca. 175.000 t) in anderen KWK-Anlagen eingesetzt wird. Die Ergebnisse sind in Tab. 5.23 dargestellt.

Tab. 5.23: Endenergiebereitstellung aus Biomasse im Ausbauszenario 2020, mit und ohne HKW am Standort Klingenberg

mit HKW Klingenberg [GWh]						
	Verbrennung		Vergärung		Anteil an Gesamtstrom-/Wärmebedarf	
	Strom	Wärme	Strom	Wärme	Strom	Wärme
Endogenes Potenzial: biogene Reststoffe	403,9	849,7	89,4	111,7	4,9%	2,5%
Importe						
Flüssige Bioenergieträger	15,9	17,8	-	-	0,2%	0,1%
Hackschnitzel/Altholz	712,0	2.035,3	-	-	7,1%	5,3%
Gesamt	1.132	2.903	89	112	12,2%	7,8%
ohne HKW Klingenberg [GWh]						
	Verbrennung		Vergärung		Anteil an Gesamtstrom-/Wärmebedarf	
	Strom	Wärme	Strom	Wärme	Strom	Wärme
Endogenes Potenzial: biogene Reststoffe	403,9	849,7	89,4	111,7	4,9%	2,5%
Importe						
Flüssige Bioenergieträger	15,9	17,8	-	-	0,2%	0,05%
Hackschnitzel/Altholz	411,0	1.320,4	-	-	4,1%	3,4%
Gesamt	831	2.188	89	112	9,2%	6,0%

Quelle: Eigene Berechnungen

Von der ausgewiesenen Wärmeerzeugung wird bei 15,8 GWh aus flüssigen Bioenergieträger und 108,4 GWh aus Hackschnitzel/Altholz in beiden Szenarien eine Nutzung in einem Nahwärmenetz angenommen. Für die restliche Wärme aus der Verbrennung wird die Einspeisung in ein Fernwärmenetz unterstellt. Für die geplanten Vergärungsanlagen liegen keine Informationen über die Wärmenutzungskonzepte vor. Hier wird die Nutzung in einem Nahwärmenetz unterstellt.

Bei der in Nahwärmenetzen genutzten Wärme aus Biomasse wird angenommen, dass davon 75 % in Wohngebäuden genutzt wird. Die restlichen 25 % werden entsprechend ihres Anteils am Gesamtwärmebedarf der NWG auf diese aufgeteilt. Die Aufteilung ist in Tab. 5.27 für beide Szenarien dargestellt.

Tab. 5.24: Aufteilung der Wärmebereitstellung aus Biomasse für Nahwärmenutzung auf die Teilverbrauchssektoren im Referenz- und Ausbauszenario im Jahr 2020

	Prozentuale Aufteilung	Wärmebereitstellung im Referenzszenario [GWh _{th} /a]	Wärmebereitstellung im Ausbauszenario [GWh _{th} /a]
Gesamt	100 %	200.700	235.900
davon WG	75 %	150.525	176.925
davon NWG	25 %	50.175	58.975
davon ÖDL	11 %	22.077	25.949
davon Gewerbe	5 %	10.035	11.795
davon Handel	4 %	8.028	9.436
davon Industrie	5 %	10.035	11.795

Quelle: Berliner Energieagentur und eigene Berechnungen

5.3.1 Biogasimporte

Die Gasag plant laut Pressemeldungen, bis 2015 ca. 15 Biogasanlagen in Brandenburg zu errichten (Wetzel 2007) (bzw. 10 laut Studie „Nutzung von Biomasse in Berlin“ (ICU/ Witzenhausen-Institut 2009: 12)). Die erste Anlage in Rathenow ist bereits in Betrieb gegangen. Potenzialanalysen haben gezeigt, dass Bioerdgas bis 2030 einen Anteil am bundesweiten Erdgasabsatz von 10 % erzielen kann (Wuppertal-Institut 2005). Daher wurde für das Jahr 2020 die Annahme getroffen, dass der Biogasanteil im Erdgasnetz 7,5 % beträgt. Bei einem Erdgasverbrauch im Jahr 2020 in Höhe von 16.559 GWh (ohne Verkehr) ergeben sich daraus 1.242 GWh Biogas.

5.3.2 Biokraftstoffe (*im Rahmen der Studie nicht behandelt*)

Das Thema Biokraftstoffe wird im Rahmen dieser Studie in Abstimmung mit dem Auftraggeber nicht weiter behandelt, da hierzu gegenwärtig eine separate Untersuchung in der Berliner Senatsverwaltung läuft, deren Ergebnisse zum Abschluss der vorliegenden Studie jedoch noch nicht vorlagen. Ein ausgewähltes Ereignis zum Thema Biokraftstoffe, in welchem das endogene Potenzial Berlins eine Rolle spielt, sei an dieser Stelle erwähnt: Der Gasertrag der geplanten Vergärungsanlage der BSR in Spandau soll in der Fahrzeugflotte des Unternehmens eingesetzt werden. Der Energiegehalt der jährlichen Biogaserzeugung wurde auf 42 GWh ermittelt, mit denen fossiler Kraftstoff ersetzt werden kann.

5.4 Gesamtschau 2020

In den nachfolgenden Tabellen sind die Potenziale der Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien - mit und ohne Abzug des von Wärmepumpen verbrauchten Stroms - sowie die Anteile am gesamten Strom- und Wärmeverbrauch (Endenergieverbrauch) Berlins für Referenz- und Ausbau-Plus-Szenarien (jeweils mit und ohne Biomasse-HKW Klingenberg dargestellt. Abb. 5.8 und Abb. 5.9 zeigen die Anteile einzelner erneuerbarer Energien an den EE-Strom- bzw. Wärmepotenzialen 2020 in Referenz- und Ausbau-Plus-Szenarien.

In dieser Aufstellung sind das **ins Erdgasnetz eingespeiste Biogas** sowie die **Biokraftstoffe nicht enthalten**. Beim Erdgas (mit der angestrebten Biogasbeimischung in Höhe von 7,5 %, s.o.) findet eine Verwendung in verschiedenen Umwandlungstechnologien statt. Berücksichtigt man die von der BEA für das Berliner Energiekonzept ermittelten Anteile erdgasbefueter Kessel und BHKW, dann erhöhen sich die unten dargestellten EE-Anteile für das Ausbau- bzw. Zielszenario 2020 im Wärmebereich um 3,3 %, um Strombereich um 0,4 %.

Tab. 5.25: Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien 2020 in Berlin - Referenzszenario mit Biomasse-HKW Klingenberg

	Energieerzeugung	Anteil an EE-Strom/Wärme	Anteil am gesamten Strom-/Wärmeverbrauch
	[GWh]	[%]	[%]
PV	60	4,6 %	0,5 %
Biomasse	1.184	89,4 %	10,1 %
Wind	80	6,0 %	0,7 %
Summe Strom	1.324	100 %	11,3 %
Summe abzgl. Strom für Wärmepumpen	1.195		10,2 %
Solarthermie	65	1,8 %	0,2 %
Biomasse	3.140	84,9 %	7,8 %
Wärmepumpen	495	13,4 %	1,2 %
Tiefengeothermie	0	0 %	0 %
Summe Wärme	3.699	100 %	9,2 %
Summe Strom & Wärme	5.023	100 %	9,7 %
Summe abzgl. Strom für Wärmepumpen	4.894		9,4 %

Quelle: Eigene Berechnungen

Tab. 5.26: Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien 2020 in Berlin - Referenzszenario ohne Biomasse-HKW Klingenberg

	Energieerzeugung	Anteil an EE-Strom/Wärme	Anteil am gesamten Strom-/Wärmeverbrauch
	[GWh]	[%]	[%]
PV	60	6,9 %	0,5 %
Biomasse	732	83,9 %	6,2 %
Wind	80	9,2 %	0,7 %
Summe Strom	873	100 %	7,4 %
Summe abzgl. Strom für Wärmepumpen	744		6,3 %
Solarthermie	65	2,8 %	0,2 %
Biomasse	1.785	76,1 %	4,4 %
Wärmepumpen	495	21,1 %	1,2 %
Tiefengeothermie	0	0 %	0 %
Summe Wärme	2.345	100 %	5,8 %
Summe Strom & Wärme	3.217	100 %	6,2 %
Summe abzgl. Strom für Wärmepumpen	3.088		5,9 %

Quelle: Eigene Berechnungen

Tab. 5.27: Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien 2020 in Berlin - Ausbau-Plus-Szenario mit Biomasse-HKW Klingenberg

	Energieerzeugung	Anteil an EE-Strom/Wärme	Anteil am gesamten Strom-/Wärmeverbrauch
	[GWh]	[%]	[%]
PV	173	10,3 %	1,7 %
Biomasse	1.221	72,8 %	12,2 %
Wind	283	16,9 %	2,8 %
Summe Strom	1.678	100 %	16,8 %
Summe abzgl. Strom für Wärmepumpen (WP)/ Tiefengeothermie	1.486		14,9 %
Solarthermie	275	5,8 %	0,7 %
Biomasse	3.661	77,9 %	9,5 %
Wärmepumpen	730	15,5 %	1,9 %
Tiefengeothermie	35	0,7 %	0,1 %
Summe Wärme	4.701	100 %	12,2 %
Summe Strom & Wärme	6.379	100 %	13,2 %
Summe abzgl. Strom für WP/ Tiefengeothermie	6.187		12,8 %

Quelle: Eigene Berechnungen

Tab. 5.28: Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien 2020 in Berlin - Ausbau-Plus-Szenario ohne Biomasse-HKW Klingenberg

	Energieerzeugung	Anteil an EE-Strom/Wärme	Anteil am gesamten Strom-/Wärmeverbrauch
	[GWh]	[%]	[%]
PV	173	12,6 %	1,7 %
Biomasse	920	66,8 %	9,2 %
Wind	283	20,6 %	2,8 %
Summe Strom	1.377	100 %	13,8 %
Summe abzgl. Strom für Wärmepumpen (WP)/Tiefengeothermie	1.185		11,9 %
Solarthermie	275	6,9 %	0,7 %
Biomasse	2.946	73,9 %	7,7 %
Wärmepumpen	730	18,3 %	1,9 %
Tiefengeothermie	35	0,9 %	0,1 %
Summe Wärme	3.986	100 %	10,4 %
Summe Strom & Wärme	5.363	100 %	11,1 %
Summe abzgl. Strom für WP/ Tiefengeothermie	5.171		10,7 %

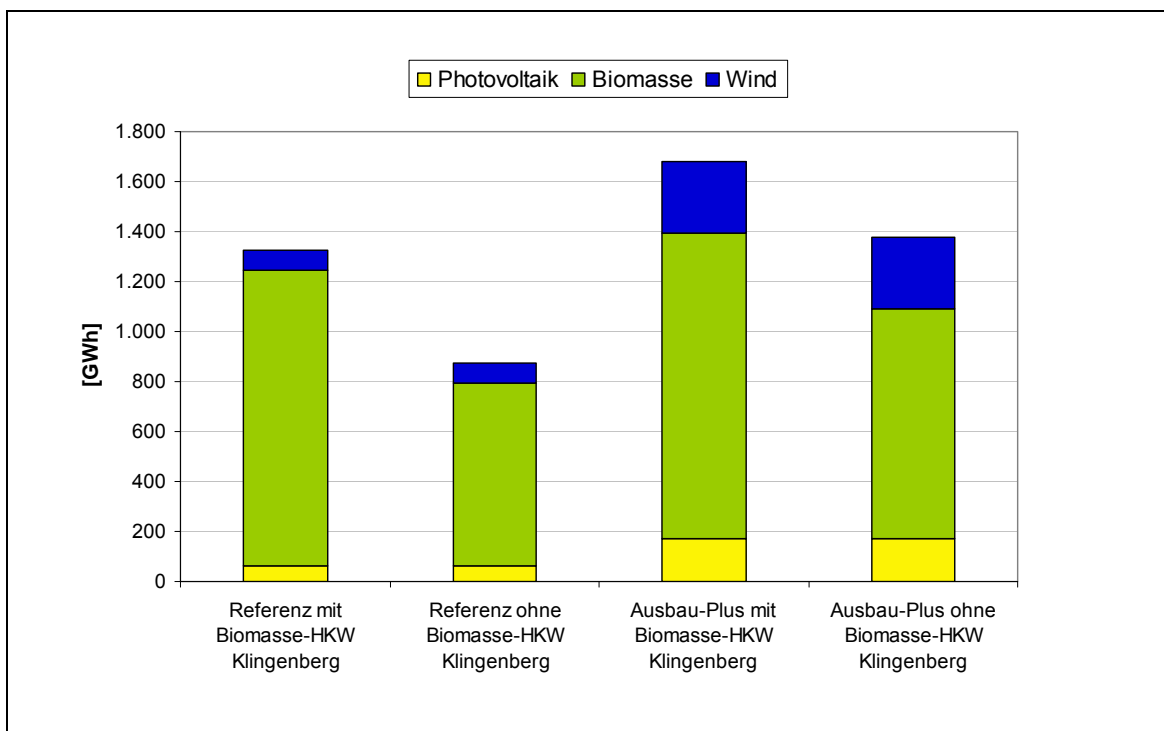


Abb. 5.8: Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Referenz- und Ausbau-Plus-Szenarien (mit und ohne Biomasse-HKW Klingenberg)

Quelle: eigene Berechnungen

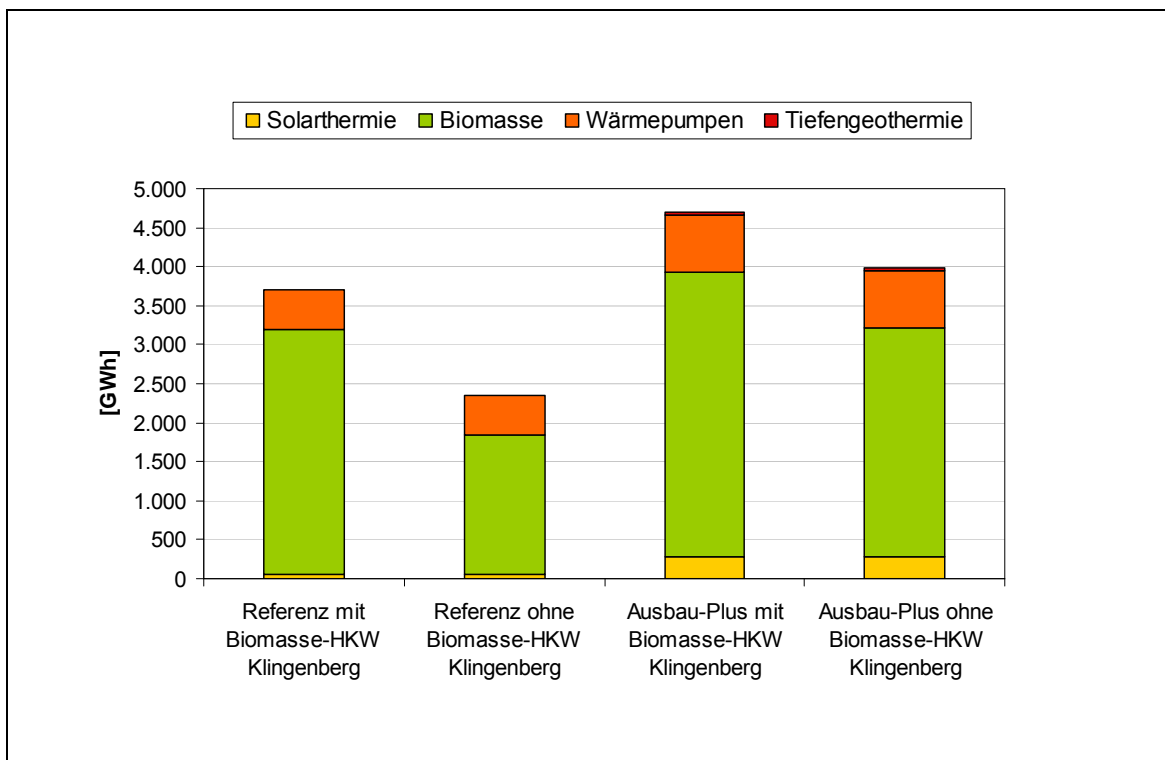


Abb. 5.9: Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien in Referenz- und Ausbau-Plus-Szenarien (mit und ohne Biomasse-HKW Klingenberg)

Quelle: eigene Berechnungen

6 Maßnahmen zur Erschließung der Potenziale bis 2020

Zur Erschließung der EE-Potenziale werden neben den bereits auf Bundesebene ergriffenen Maßnahmen ergänzende Aktivitäten notwendig sein. Dabei ist auf die besondere Situation in Berlin zu achten, die durch eine Reihe von spezifischen Merkmalen geprägt ist, die sich auch auf die Entwicklung der Erneuerbaren Energien auswirken werden. Dazu zählen

- die mit Abstand größte Einwohnerzahl
- die städtebauliche, soziale und industrielle Struktur,
- die geologischen Bedingungen und die geographische Lage,
- aber auch die Tatsache, dass das Land Berlin (im Unterschied zu München oder nun auch wieder Hamburg) über keinen eigenen kommunalen Energieversorger verfügt.

Weitere EE-relevante Aspekte betreffen grundlegende Eigenschaften urbaner Räume, wie z.B. die begrenzte Fläche und die damit verbundenen Auswirkungen auf den Anbau von Biomasse, die Nutzung von Windkraft etc.

Vor diesem Hintergrund werden nachfolgend zum einen Maßnahmen entwickelt, die den Status Quo des EE-Anbaus und der vorhandenen Maßnahmen aufgreifen und darauf aufbauen, zum anderen werden neue Ansätze vorgeschlagen, die einen verstärkten Ausbau ermöglichen sollen. Dabei steht hier explizit die Erschließung des EE-Potenzials in Berlin (einschließlich der Stadtgüter) im Vordergrund. Die weiterhin ergänzend notwendige Versorgung aus dem nahen und fernen Umland sowie ein diesbezüglich mögliches EE-Portfolio wird hier nur am Rande betrachtet. Wichtig ist zudem, dass der Ausbau der Erneuerbaren Energien eng gekoppelt sein muss mit einer übergreifenden Effizienz- und Energieversorgungsstrategie der Stadt. Eine Senkung des Energieverbrauchs führt automatisch zu höheren EE-Anteilen. Gleichzeitig muss die verstärkte Erzeugung aus EE-Anlagen abgestimmt sein mit der Entwicklung der restlichen Anlagenkapazitäten, dem Energiebedarf und der Energieinfrastruktur.

In diesem Kapitel werden für die einzelnen EE-Technologien Maßnahmen vorgeschlagen, mit denen die zuvor ermittelten Ausbauziele des „**Ausbau-Plus**“ **Szenarios** erreicht werden können. Neben den technologiespezifischen Maßnahmen gibt es einige, die übergreifenden Charakter haben. Dabei handelt es sich zum einen um Maßnahmen, die sich allgemein auf Gebäude beziehen und damit mehrere EE (sowie Energieeffizienz) betreffen, zum anderen um generelle Rahmenbedingungen zur Förderung erneuerbarer Energien, die das Land zusätzlich zu den Bundesmaßnahmen ergreifen sollte.

Die Entwicklung der Maßnahmen nimmt dabei die bisher durchgeführten bzw. begonnenen Maßnahmen des **Berliner Landesenergieprogramms (LEP)** und in diesem Kontext ergänzend durchgeführter Aktivitäten als Ausgangsbasis. Ausgehend von diesem Status Quo (Basis ist hier die Evaluierungsstudie von B. & S.U./ Ecologic (2009)) werden nun die weitergehenden Maßnahmen zur Erreichung der Ziele des skizzierten Ausbau-Plus-Szenarios beschrieben.

Die Maßnahmen werden hinsichtlich ihrer zeitlichen Frist bzw. Dringlichkeit unterteilt. Dabei werden prioritäre (Umsetzungsfrist binnen weniger Jahre) von mittel- bis längerfristigen Maßnahmen unterschieden. Daneben werden die Maßnahmen – soweit dies möglich ist - dahingehend be-

schrieben, ob sie einen eher niedriginvestiven Charakter aufweisen, z.B. können dies Maßnahmen zum Hemmnisabbau sein oder Marketingaktivitäten zur stärkeren Erschließung bestehender bundesweiter Fördermaßnahmen. Vereinzelt können auch investive Maßnahmen sinnvoll sein, wobei hier auf geringen Investitionsbedarf bzw. attraktive Finanzierungsmöglichkeiten geachtet wird, welche die Kommune möglichst gering belasten.

Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass im Rahmen dieser Studie keine genaue Wirkungsanalyse der vorgeschlagenen Maßnahmen erfolgen kann. Dies müsste in einem nachgelagerten Schritt erfolgen. Diesbezüglich wären z.B. das eingeschätzte Einsparpotenzial, die Betriebswirtschaftlichkeit, Investitionsaufwand, Kosten-Nutzen-Effekte, Effizienz und Treffsicherheit der Maßnahme etc. zu quantifizieren, um daraus eine Priorisierung und ggf. den genauen Maßnahmenzuschnitt abzuleiten. Die hier empfohlenen Maßnahmen werden entweder vor dem Hintergrund einer literaturbasier- ten Einschätzung von bisherigen Erfahrungen in anderen Kommunen bzw. Städten bewertet, oder sie erscheinen den Autoren als innovative, für die Berliner Situation geeignete Ansätze.

6.1 Solarenergie allgemein

Die Strom und Wärme erzeugenden Photovoltaik- bzw. Solarthermieanlagen können durch eine Reihe gemeinsamer Maßnahmen begünstigt werden, da sie erstens beide um ähnliche Dach- und Fassadenflächenpotenziale konkurrieren und zweitens als „Solartechnologien“ in der öffentlichen Wahrnehmung oftmals nicht getrennt und somit auch in Bezug auf Informationsmaßnahmen gemeinsam adressiert werden können. Die meisten Maßnahmen sind jedoch aufgrund unterschiedlicher technischer Gegebenheiten, verschiedener Akteursgruppen und Fördermechanismen spezifisch auf die Photovoltaik und die Solarthermie ausgerichtet.

Eine wichtige übergreifende Maßnahme ist der seit 2007 erstellte **solare Rahmenplan**, der das solarurbane Flächenpotential Berlins darstellt und somit Stadtentwicklungsmöglichkeiten vorgibt (siehe Abschnitt 4.1.1). Ferner gibt das Landesenergieprogramm Umsetzungsstrategien für die Nutzung der Solarenergie vor. Die Ziele des Landesenergieprogramms sind die Umsetzung von Vorzugslösungen für Solarenergie und KWK durch Festsetzung in der Bauleitplanung, die Novellierung des Berliner Energiespargesetzes, die Entwicklung des solaren Rahmenplans als sektoralen Stadtentwicklungsplan sowie die Erstellung von Umsetzungsstrategien für die Nutzung der Solarenergie. Die konkrete Umsetzung des Solaren Rahmenplans steht noch aus, bisher dient er de facto nur als Informationstool.

Die im solaren Rahmenplan ermittelten Potenziale können um gebäudespezifische Dacheignungsanalysen, wie sie durch den **Solaratlas** bereitgestellt werden, ergänzt werden. Dieser steht gegenwärtig für zwei Wohngebiete - Friedrichstraße in der City Ost und ein Wohngebiet in Lichterfelde⁵³ – zur Verfügung und visualisiert in einem drei- und zweidimensionalen Modell die Dacheignung sowie speziell für Photovoltaikanlagen die potenzielle Stromausbeute, CO₂-Einsparung und Investitionskosten für einzelne Gebäude.

- Maßnahme mit geringerer Priorität/Dringlichkeit (S1): **Ausweitung Solaratlas** – Es wird empfohlen, die Kartierung auszuweiten und das Instrument „Solaratlas“ weiterhin bzw. verstärkt zu bewerben. Eine Zusammenarbeit mit vorhandenen Geodaten-Informationssystemen wird emp-

⁵³ Forschungsprojekt SUN-AREA der FH Osnabrück unter Federführung der Berlin Partner GmbH.

fohlen (vgl. hierzu auch B. & S.U./ Ecologic 2009, 186 - 188). Allerdings hat das Instrument Solaratlas primär orientierenden Informationscharakter und ist allein nicht ausreichend, weshalb es hier eine vergleichsweise niedrige Priorität erhält.

Eine weitere übergreifende, laufende Aktivität ist das **Solaranlagenkataster**, mit dem versucht wird, alle PV- und Solarthermieanlagen in Berlin zu erfassen und den Know-How Transfer im Bereich solarer Energie zu fördern.

- **Maßnahme mit Priorität 1 (S2): Fortführung Solaranlagenkataster und Solarliga** - Das Kataster bietet, wie die obige Analyse in dieser Studie zeigt, bisher die genauesten Daten zur Solaranlagenutzung in Berlin (vgl. Abschnitt 2.3) und sollte daher zwingend weitergeführt werden, so lange keine anderen, vergleichbar genauen Informationsquellen vorliegen. Die Daten können auch die Basis für Marketingaktionen wie z.B. Wettbewerbe zwischen Bezirken oder Stadtteilen bilden, die – in Anlehnung an die Solarbundesliga – eingeführt und beworben werden könnten (**Solarliga Berlin**).

Das Ziel, (deutlich) stärkere Ausbauraten im Solarbereich zu erzielen, ist von der Restriktion geprägt, dass die Installateure dieses Wachstum überhaupt sowie in einer ausreichenden Qualität umsetzen können. Wird das Wachstum früh durch Facharbeiter- bzw. Handwerker-mangel sowie in der Folge mangelnde Qualität begleitet, dann wird dies negative Effekte auf die Akzeptanz und somit zukünftige Wachstumsraten haben. Um die Voraussetzungen dafür ein nachhaltiges Beschäftigungswachstum bei gleichbleibender Qualität zu schaffen, ist eine verstärkte und verbesserte Aus- und Weiterbildung zwingend notwendig.

- **S3: Aus- und Weiterbildungsinitiative**. Die Qualifikation von Handwerkern, Architekten, Planern etc. ist zentral für den zukünftigen Ausbau und dessen Qualität. Hier kann Berlin entsprechende Angebote initiieren, beispielsweise zusammen mit der IHK und der Handwerkskammer oder freien Bildungsanbietern. Beispiele wie die SolarSchule Berlin sollten dementsprechend gefördert bzw. ausgeweitet werden.

Ebenso gab und gibt es eine Reihe übergreifender **Informations- und Marketingkampagnen** für Solartechnologie. Diesbezüglich ist insbesondere die „Woche der Sonne“ zu nennen, die vornehmlich auf die breite Öffentlichkeit zielt. Darüber hinaus gibt es technologiespezifische Kampagnen, insbesondere für die Solarthermie (s.u.). Es wird empfohlen, keine weiteren übergreifenden Kampagnen zum Thema Solartechnologie (also PV und Thermie) durchzuführen, sondern anwendungsbezogene Kampagnen z.B. zum Thema „Gebäudeenergieversorgung (Strom oder Wärme) mit erneuerbaren Energien“, damit nicht nur eine Technologie, sondern auch systemische Aspekte (z.B. der energetischen Gebäudesanierung und Energieversorgung) berücksichtigt werden können (siehe hierzu Einzelmaßnahmen bei PV und Thermie).

Eine Kampagne für eine „Solarhauptstadt Berlin“ wäre sicher ein wichtiges Signal nicht nur andere Städte in Deutschland und international, sondern auch ein Imagegewinn für Berlin selbst. Dafür wäre aber nicht nur eine konsequente Umsetzung der nachfolgend genannten kurzfristigeren Maßnahmen notwendig, um eine erhöhte Ausbaudynamik in der Stadt zunächst in Gang zu setzen. Ggf. sind für eine glaubwürdige „Solarhauptstadt“-Kampagne neben den unten vorgeschlagenen niedriginvestiven Maßnahmen perspektivisch auch stärkere investive Maßnahmen erforderlich. Hierzu könnten z.B. spezifische Förderprogramme wie ein „10.000-Dächer-Programm“ gehören, welches die Investitionsbedingungen für Solartechnologien ergänzend zu den bundesweiten Förderungen verbessert. Eine genaue Definition der Anforderungen an ein „Solarhauptstadt-Konzept“ wäre zu erarbeiten.

- **S4: Konzept und Kampagne „Solarhauptstadt Berlin“** – angesichts des gegenwärtig niedrigen Ausbaustandes der Solartechnologien und der prioritären Aufgabe eines verstärkten Ausbauwachses wird die Entwicklung eines Konzepts für eine Solarhauptstadt Berlin sowie einer diesbezüglichen Kampagne als erst mittelfristig relevant eingestuft (**Priorität 2**).

In Ergänzung zu den oben genannten übergreifenden Maßnahmen sollte ein spezifisches Informationsangebot aufgebaut werden, welches insbesondere die Vernetzung von Interessierten, Kunden und Anbietern fördert.

- **S5: Berliner Solarportal** mit folgenden Angeboten:
 - Verlinkung zu Informations- und Marketingkampagnen im Solarbereich.
 - Portal für PV-/Solarthermie-Dienstleister aus den Bereichen Planung, Installation, Forschung etc. (Novum für Berlin)
 - Informationen zu Technik, Anwendungsmöglichkeiten, Pilot- und Demonstrationsvorhaben etc. (aufbauend auf vorhandenen Seiten z.B. des Katasters)
 - Gebündelte Informationen aller relevanten Fördermaßnahmen und Beratungsangebote (Rückgriff/Verlinkung auf etablierte Berliner sowie bundesweite Angebote)

Zusätzlich zur Zusammenführung von Informationsangeboten in einem „Solarportal“ sollten auch die Verantwortlichkeiten sowie die Federführung für solche übergreifenden Maßnahmen an einer zentralen Stelle gebündelt werden. Eine solche Stelle sollte verantwortlich sein für die oben angesprochenen übergreifenden solarbezogenen Aufgaben sowie zusätzlich für technologiespezifische Aktivitäten, wie sie in den nachfolgenden Kapiteln noch erläutert werden.

- **S6: Eine Koordinierungsstelle Solarenergie** sollte die Ausführung bzw. Federführung für übergreifende wie auch spezifische Maßnahmen im Solarbereich übernehmen, z. B.:
 - Fortführung von Solaranlagenkataster und Solarliga (S1)
 - Durchführung von Kampagnen (z. B. „Solarhauptstadt Berlin“ (S4))
 - Betreiben eines Berliner Solarportals (S5)
 - Stärkung der Solardachbörse (S/PV1)
 - Förderung von Bürgersolaranlagen (S/PV3)

6.2 Photovoltaik

Neben den oben genannten übergreifenden Maßnahmen für Solartechnologien gibt es gegenwärtig bereits einige spezifische Maßnahmen für Photovoltaik. Um die laut Solarem Rahmenplan bestehenden hohen Potenziale an geeigneten Dach- und Fassadenflächen für die Nutzung von Photovoltaik in Berlin besser ausschöpfen zu können und gleichzeitig einen im Vergleich zu den letzten Jahren verstärkten Zubau in Gang zu setzen sind kontinuierliche und zusätzliche Maßnahmen im Bereich der Photovoltaik notwendig.

Das im Ausbau-Plus Szenario skizzierte Wachstum basiert auf der Annahme, dass die bundesweite Förderung - trotz möglicher Kürzungen - nach wie vor für viele Anlagen an geeigneten Standorten einen wirtschaftlichen Betrieb ermöglichen kann. Daher sollte der Fokus weniger auf zusätzlichen finanziellen Förderungen für Errichtung und Betrieb von PV-Anlagen liegen. Besonders wichtig scheint es dagegen, Hauseigentümer zur Nutzung ihrer vorhandenen Flächenpotenziale anzu-

regen und ein günstiges Investitionsklima für andere Investoren zu schaffen. Außerdem sollte die Stadt Berlin durch die Nutzung oder Verpachtung ihrer Liegenschaften eine Vorbildfunktion erfüllen. So könnten außerdem zusätzliche Einnahmen für die Stadt Berlin generiert werden.

Ein wichtiges bestehendes Instrument ist die **Solardachbörse**, welche privaten Investoren die Nutzung der Dächer öffentlicher Gebäude für PV-Anlagen anbietet. Die Solardachbörse konnte starke Zuwächse verzeichnen und die installierte Leistung von 296 kWp in 2006 auf 1.500 kWp in 2008 gesteigert werden. Besonders in 2008 konnte ein starkes Wachstum verzeichnet werden, was vor allem auf die Initiative „Solarstrompark Berliner Schulen“ zurückzuführen ist. Auf der Basis dieses Erfolgsbeispiels werden die folgenden prioritären Maßnahmen empfohlen:

- **S/PV1: Stärkung Solardachbörse** - Es sind verstärkt ähnliche Abkommen mit großen Investoren anzustreben um die Nutzung von PV großflächig zu gewährleisten. Zudem sollte (ggf. zusammen mit der BIM) eine umfassende Untersuchung der Dachflächen von Gebäuden in öffentlicher Hand durchgeführt werden (vgl. hierzu auch B. & S.U./ Ecologic 2009: 173-176). Die Pacht-/ Mietgebühren sind moderat zu halten, um die die Attraktivität für Investoren zu erhöhen; dies gilt insbesondere, wenn die PV-Vergütung wie angekündigt gesenkt wird. Darüber hinaus ist das Portal stärker zu bewerben.

Empfohlen wird jedoch auch, die Investitionen in PV-Anlagen durch die Stadt selbst deutlich auszuweiten sowie durch die Bürger – die in einer Stadt wie Berlin überwiegend über kein eigenes Dach, aber über gewisse Kapitalressourcen und Umweltmotive verfügen – zu unterstützen. Bei den zuletzt angesprochenen Bürgersolaranlagen werden Privatpersonen durch die Zahlung von Einlagen Gesellschafter einer gemeinschaftlich (meist in Form einer KG, GbR oder Genossenschaft) betriebenen PV-Anlage. Da der Hauptzweck solcher Projekte meist eher in der allgemeinen Förderung erneuerbarer Energien und des Bürgerengagements gesehen wird, verzichten Kommunen dabei oft auf Pachteinahmen bei der Nutzung kommunaler Flächen (DAKS 2006). Das Thema Berliner Bürgersolaranlagen wird durch das Leitprojekt der lokalen Agenda 21 „Sonne auf die Dächer“ bereits angegangen, welches die Aktivitäten des Solarvereins Berlin-Brandenburg bündelt und wodurch bereits 3 Berliner Bürgersolaranlagen realisiert werden konnten. Seit 2006 gab es jedoch keine Neuanlagen mehr, u.a. wg. zu geringem Investoreninteresse und Genehmigungsproblemen (B. & S.U./ Ecologic 2009, 176 - 178).

Es werden daher die folgenden Maßnahmen (Priorität 1) empfohlen:

- **S/PV2: Eigenrealisierung von PV-Projekten durch die Stadt Berlin** - Die Stadt Berlin sollte zunehmend selbst PV-Projekte durchführen und damit über die erzielten Stromerlöse selbst verfügen anstatt nur über die geringen Einnahmen aus Vermietung bzw. Verpachtung von (Dach-)Flächen. Um die Investitionen zu realisieren werden alternative Finanzierungsmodelle empfohlen, wie sie in anderen Kommunen bereits in Form von Stiftungen⁵⁴ oder Solarleasing erfolgreich angewendet werden.

54

Das Stiftungsmodell verbindet die Vorteile des Vermietungsmodells (Stadt muss kein eigenes Kapital aufwenden) mit denen der Eigenrealisierung (Stadt kann über Erlöse verfügen). Das Risiko ist mit dem des Beteiligungsmodells vergleichbar. So hat z.B. die Stadt Fürth einmalig ein Stiftungskapital von 500€ für den Aufbau von PV-Anlagen aufgebracht. Eine Betreibergesellschaft kümmert sich um Bau und Betrieb der Anlagen im Namen der Stiftung (i.d.R. eine angeschlossene GmbH, z.B. die Energiewende Oberland GmbH). Um zu investieren, nimmt die Stiftung Kredite auf. Nach einer Laufzeit von 20 bzw. 25 Jahren können die Anlagen kostenfrei in das Eigentum der Kommune übergehen. Über viele Jahre hinweg wird kontinuierlich Stiftungskapital aufgebaut, i.d.R. durch bürgerschaftliche Beteiligungen (in beiden Beispielstiftungen mindestens 500€) (Wraneschitz 2009a).

- **S/PV3: Förderung von Bürgersolaranlagen** – Die Stadt Berlin beteiligt sich aktiv an der Förderung von Bürgersolaranlagen durch
 - die bevorzugte Vermittlung von geeigneten Flächen an Betreiber solcher Anlagen
 - ggf. das Einrichten einer Koordinierungsstelle, welche die Vermittlung von Flächen und Investoren fördert (vgl. hierzu auch B. & S.U./ Ecologic 2009: 176-178)
 - den Verzicht bzw. die Reduktion von Einnahmen aus Vermietung/Verpachtung von Flächen

Ebenfalls relevant erscheint die Weiterführung der bisherigen Vernetzungsaktivitäten insbesondere im Bereich Forschung, wie sie durch das Berliner Netzwerke und das länderübergreifende Photovoltaik-Netzwerk von Unternehmen und wissenschaftlichen Einrichtungen in Berlin und Brandenburg gegeben ist. Letzteres will zudem Innovationsvorhaben und die Entwicklung vorwettbewerblicher Forschungsthemen vorantreiben, und die Internationalisierung sowie die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen stärken (B. & S.U./ Ecologic 2009, 45).

- **S/PV4: Initiierung/ Unterstützung von Vernetzungsaktivitäten** - Da beide o.g. Aktivitäten noch recht jung sind, werden diesbezüglich zusätzliche Vernetzungsaktivitäten **erst für die mittlere Frist** (bzw. nach einem gewissen Evaluationszeitraum) als relevant angesehen.

Da in Berlin die Photovoltaik nach wie vor nur sehr gering verbreitet ist und gleichzeitig die Integration von Photovoltaik bei vielen Gebäuden (gerade im Altbaubestand) und anderen Anwendungen eine technische, architektonische bzw. gestalterische Herausforderung darstellt, lohnt es sich, weitere Demonstrationsanlagen für die Verbreitung zu fördern. Zudem wird es in Zukunft viele weitere Anwendungsbereiche für die solare Stromerzeugung im Insel- oder Netzbetrieb geben, wie z.B. für Straßenbeleuchtung oder Elektromobilitätstankstellen. Die verstärkte Initiierung von Demonstrations- und Pilotanwendungen stärkt zudem den Forschungs- und Innovationsstandort Berlin im Solarbereich und ist ein wichtiger Baustein für eine mittelfristige Strategie zur „Solarhauptstadt“ Berlin.

- **S/PV5: Initiierung von Demonstrationsvorhaben** zu den Themengebieten (Auswahl):
 - gebäudeintegrierte PV-Lösungen, um die Verbreitung auch im Altbau und an Fassaden zu zeigen.
 - Kombi-Technologien für PV und Solarthermie (um die Technologie voranzubringen, da Berlin längerfristig nur über einen begrenzten Bedarf geeigneter Flächen verfügt)
 - Solarbetriebene Tankstellen für Elektroautos
 - Solarboote und ähnliche publikumswirksame Anlagen, um damit auch eine Breitenwirkung zu erzielen

Dabei muss Berlin nicht zwingend eine eigene, spezifische Förderung bzw. Finanzierungsbeteiligung auflegen, sondern kann sich gezielt und verstärkt um die Einwerbung von Bundesfördermitteln bemühen, vorhandene landeseigene Programme nutzen oder derartige Anlagen durch Kooperationen, PPP etc. in Partnerschaft errichten.

6.3 Solarthermie

Die bisherigen Maßnahmen des Landesenergieprogramms in den Bereichen Wohnen und Bauen, öffentlichen Einrichtungen und Industrie und Gewerbe fokussieren im Wesentlichen auf Energieeffizienz und Energiesparen. Einzelne Maßnahmen beziehen sich jedoch auf den Einsatz erneuerba-

rer Energien und Solaranlagen und betreffen daher auch die Solarthermie. Diese sind vor allem (siehe jeweils auch oben) der Solare Rahmenplan, das Solaranlagenkataster sowie das Konzept der Energiesparpartnerschaften, durch die bislang jedoch erst eine kleinere Solarthermieanlage realisiert wurde.

Daneben wurden spezielle Maßnahmen für Solarthermie entwickelt:

- **Kampagne „Solare Sanierung“**: richtete sich an Wohnungsunternehmen; Maßnahme ist bereits vorbei
- **Aktion „Wärme von der Sonne“**: richtete sich an die breite Öffentlichkeit; Maßnahme ist bereits vorbei
- **Initiative „Solarwärme plus“**: richtete sich an Handwerker und private Hausbesitzer; Maßnahme wurde nicht umgesetzt
- **Klimaschutzvereinbarung** zwischen dem Land Berlin und den BBB zum Einsatz von **Solaranlagen in Berliner Bädern**.

Bisher noch wenig adressiert sind also die privaten Hausbesitzer sowie das Handwerk, die als wesentliche Träger und Multiplikatoren eines beschleunigten Ausbaus der Solarthermie anzusehen sind. Obgleich schon vereinzelt Aktionen und Kampagnen liefen fehlt bisher ein gebündeltes Angebot an Informationen sowie weitere gezielte Image- und Marketingkampagnen.

Als **prioritäre, kurzfristige Maßnahmen** werden deshalb Angebote, die sich an private Eigentümer und das Handwerk richten sowie gezielte Informations- und Marketingmaßnahmen vorgeschlagen. Des Weiteren sollten Wege zur Umsetzung des solaren Rahmenplans gesucht werden. Daneben sind im Bereich der Nichtwohngebäude teilweise aufgrund der geringen Marktdurchdringung Demonstrationsprojekte mit begleitender Öffentlichkeitsarbeit notwendig. Noch in der Phase von Pilotprojekten ist die Nutzung von Solarthermie in Wärmenetzen unter Einsatz eines saisonalen Speichers, hier wird deshalb ebenfalls die Unterstützung erster Demonstrationsprojekte in Berlin empfohlen. Die vorgeschlagenen Maßnahmen sind größtenteils niedrig investiv, lediglich bei einer umfangreichen Förderung von Demonstrationsprojekten sowie einer Finanzierung der unabhängigen Beratungsangebote sind höhere Investitionssummen notwendig. Außerdem erfordert ein verstärkter Zubau von Solarthermie im öffentlichen Sektor Anfangsinvestitionen, die sich jedoch mittelfristig amortisieren oder ggf. über Contracting-Modelle finanziert werden können.

- **S/ST1: Umsetzung solarer Rahmenplan**: Im solaren Rahmenplan sind Stadtraumtypen ausgewiesen, die sich besonders gut für die Installation von Solarthermieanlagen eignen. Da im Mehrfamilienhausbestand diese Anlagen bereits heute wirtschaftlich betrieben werden können, wird empfohlen, dass nach Beseitigung weiterer wirtschaftlicher Hemmnisse („Investor-Nutzer-Dilemma“, siehe Maßnahmen Wärmebereitstellung) für diese Gebiete die Installation von Solarthermieanlagen beim Heizungsaustausch vorgeschrieben wird. Entsprechende „Solarverordnungen“ haben sich bereits in mehreren europäischen Städten als wirkungsvolles Instrument zum Ausbau der Solarthermie erwiesen (ESTIF 2007; PRO-STO o.J.). Bei einer entsprechenden Verordnung ist zu berücksichtigen, dass Ausnahmen für einen Teil der Gebäude aufgrund baulicher Hemmnisse (Denkmalschutz, Verschattung der Dächer, keine Dächer in Süd(-Ost/-West)-Richtung) gelten müssen. Außerdem sollten Ersatzmaßnahmen wie Fernwärmenutzung, Dämmung über den geltenden Standard hinaus und der Einsatz anderer Erneuerbarer Energien (z.B. auch PV-Anlagen) vorgesehen werden. Diese Maßnahme erzielt eine deutliche Wirkung, da rund ein Drittel der Mehrfamilienhäuser zu den prioritären Stadtraumtypen gehören.

- **S/ST2: Einrichtung eines unabhängigen Beratungsangebots für private Eigentümer** zur Nutzung von Solarthermie (ggf. könnte ein entsprechendes Angebot auch übergreifend zum Thema Nutzung erneuerbarer Energien angeboten werden); in Kooperation mit anderen Akteuren, z.B. Verbraucherzentralen, Grüne Liga, Handwerkskammer
- **S/ST3: Demonstrationsprojekte „öffentliche Gebäude“ und „solare Nahwärme“ :**
 - **Vorbildfunktion in öffentlichen Gebäuden.** Hier sollte die Nutzung von Solarwärme und –kälte in den Gebäudetypen, die sich für den Einsatz von Solarthermieanlagen eignen, forciert werden. So könnte beispielsweise im Rahmen der Energiesparpartnerschaften vorgeschrieben werden, dass die Nutzung von Solarthermie intensiv geprüft werden muss oder sogar deren Einsatz bei gegebener Wirtschaftlichkeit verpflichtend werden. Außerdem sollten Demonstrationsprojekte in öffentlichen Gebäuden auch zur Information und zum Marketing genutzt werden, beispielsweise durch Tage der offenen Tür, Kurzprofile auf der zentralen Internetplattform, etc.
 - **Pilotprojekt solare Nahwärmenutzung.** Solare Nahwärmenetze inklusive der Nutzung von saisonalen Speichern sollten in den nächsten Jahren im Rahmen von Pilotprojekten auch in Berlin zum Einsatz kommen, damit bis 2020 bereits lokale Erfahrungen in der Planung, Umsetzung und beim Betrieb solcher Systeme vorhanden sind. Dafür könnten sich Neubau- oder Sanierungsgebiete eignen. Begleitend sollte Öffentlichkeitsarbeit für diese „Solarkieze“ erfolgen.

Als **weniger prioritär** werden die folgenden Maßnahmen angesehen, die ebenfalls niedriginvestiv sind, außer bei einer umfangreichen finanziellen Förderung von Pilotanlagen im Bereich Prozesswärme. Die geringere Priorität leitet sich zunächst aus dem kurz- bis mittelfristig nur gering erschließbaren Potenzial ab.

- S/ST4: **Vernetzung:** Initiierung eines Netzwerks Solarthermie mit Akteuren aus dem Bereich Handwerk, Planung, Bau, Energie (ggf. durch eine Wiederbelebung der Solarkampagne Berlin)
- S/ST5: **Finanzielle Förderung von Solarthermieanlagen:**
 - ST5a: Weiterführung der Förderung der GASAG „Gas + Solarwärme XXL“; diese Maßnahme ist weniger prioritär, da die Wirtschaftlichkeit im Bereich von Großanlagen bereits oft gegeben ist und daher kein zentrales Hemmnis darstellt.
 - ST5b: Förderung von Pilotanlagen für den Einsatz im Bereich Prozesswärme in ausgewählten Industriezweigen. Da insgesamt in Berlin Prozesswärme einen vergleichsweise geringen Anteil am Wärmebedarf ausmacht wird diese Maßnahme als weniger prioritär angesehen. Eine Unterstützung in diesem Bereich könnte sich auch nur auf die Förderung von Planungsleistungen oder aber Öffentlichkeitsarbeit beschränken.

6.4 Windenergie

Im Ausbau-Plus-Szenario wird davon ausgegangen, dass neben der einen bestehenden Anlage erstens noch (wenige) weitere Großwindanlagen und zudem mehrere Kleinwindanlagen in Berlin errichtet werden. Die Voraussetzung dafür ist im Bereich der Großanlagen eine sehr anwohnersensible und sorgfältige Standortsuche. Der Vorteil der Errichtung von einigen Windkraftanlagen auf dem Stadtgebiet ist der vergleichsweise hohe Stromertrag und damit der Klimaschutzbeitrag, der damit erzielbar wäre. Bei den Kleinanlagen geht es zunächst um den Nachweis der Wirtschaftlichkeit und Anwendbarkeit für relevante Stadtraum- bzw. Gebäudetypen. Das Thema Kleinwind-

kraft ist gegenwärtig bereits Thema im **Berliner Netzwerke** (B. & S.U./ Ecologic 2009, 195 - 198). Vor diesem Hintergrund werden für die Erreichung der Ausbauziele die folgenden Maßnahmen empfohlen:

- **WI1: Ermittlung von geeigneten Standorten in Berlin für Großwindanlagen.** Für den Erfolg eines solchen Vorhabens erscheint auf Basis der bisherigen Erfahrungen die Kooperation von zuständigen Genehmigungsbehörden bzw. Senatsverwaltungen mit interessierten Planern / Betreibern sinnvoll.
- **WI2: Förderung von Pilot- und Demonstrationsvorhaben im Bereich der Kleinwindanlagen mit entsprechendem Monitoring und wissenschaftlicher Begleitung.** Dies dient dazu, erste Praxiserfahrungen zu sammeln. Die Finanzierung kann über geeignete Umwelt- bzw. Innovationsprogramme, Bundesförderprogramme oder in Kooperation mit interessierten Unternehmen erfolgen, so dass hierfür nicht zwingend eine Investition in ein spezifisches Förderprogramm nötig wäre. Parallel sollten angemessene Genehmigungsregelungen für Kleinwindanlagen in Berlin geschaffen werden, die im ersten Schritt den Betrieb von Demonstrationsanlagen ermöglichen und in der Folge ggf. eine breitere Nutzung.
- **WI3: Unterstützende Maßnahmen zur Erschließung der Potenziale im Gebiet der Berliner Stadtgüter.** Die in Brandenburg gelegenen Flächen der Berliner Stadtgüter GmbH weisen ein nennenswertes Potenzial für die Nutzung von Windkraft auf. Die geeigneten Flächen liegen jedoch außerhalb der ausgewiesenen Vorrangflächen. Hier wäre zu prüfen, ob im Zuge einer Überarbeitung der entsprechenden Regionalpläne auch Flächen der Berliner Stadtgüter für eine Ausweisung als Eignungsgebiete in Frage kommen bzw. inwieweit hier in Kooperation mit Brandenburger Verantwortlichen eine solche Ausweisung von Berliner Seite gefördert werden kann.

In zeitlicher Hinsicht weniger prioritär – weil dafür zunächst der Erfolg der Pilotanlagen abzuwarten ist – sind Maßnahmen zur Markteinführung der Kleinwind.

- **WI4. Schaffung von Investitionsanreizen zur Marktentwicklung von Kleinwindanlagen.** Bei positiven Praxiserfahrungen im Bereich von Kleinwindanlagen und Aussichten auf wirtschaftliche Anwendungsfelder könnte im zweiten Schritt -insbesondere bei Fehlen von bundesweiten Fördermechanismen (z.B. über das EEG) - ein diesbezüglich Förderprogramm erwogen werden.

6.5 Wasserkraft

Die Nutzung von Wasserkraft ist in Berlin an einigen Standorten technisch möglich, aufgrund der spezifischen Standortfaktoren (v. A. der sehr niedrigen Ausbaufallhöhen) und anderer Restriktionen könnten Wasserkraftanlagen in Berlin jedoch nur einen vergleichsweise geringen Beitrag zur Stromversorgung liefern. Die Standortnachteile führen auch zu fehlender Wirtschaftlichkeit der in Frage kommenden Anlagen, allerdings hängt dies von zukünftigen Preisentwicklungen und den im konkreten Fall kostenrelevanten Auflagen ab; diesbezüglich belastbare Aussagen müssten mit standortspezifische Gutachten gewonnen werden.

- **WA1: Standortgutachten Wasserkraft:** Daher wird als Maßnahme (mit geringerer Priorität) vorgeschlagen, für ausgewählte, relevante Standorte neuere Gutachten, die über das Wissen der vorhandenen Studie auch die aktuellen Rahmenbedingungen nach EEG und WRRL berücksichtigen, zu erstellen.

- **WA2: Pilotanlagen urbane Kleinwasserkraft** - Darüber hinaus (und im Zusammenhang mit den Gutachten) sollte geprüft werden, inwieweit sich Standorte in Berlin für die Errichtung innovativer Anlagenkonzepte bzw. Technologien zur Anwendung bei geringen Fallhöhen und zur Integration in bestehende Wehranlagen eignen (Wraneschitz 2009b). Derartige Projekte könnten z.B. in Kooperation mit Herstellern durchgeführt werden, die (auch in finanzielles) Eigeninteresse an der Durchführung solcher Leuchtturmprojekte mit Vorbildcharakter haben.

6.6 Geothermie und Wärmepumpen

Im Landesenergieprogramm 2006 – 2010 sind keine spezifischen Maßnahmen enthalten, die den Ausbau von Wärmepumpen (Umweltwärme, Erdwärme) oder der tiefen Geothermie betreffen. Einige der **übergreifenden Maßnahmen** adressieren neben anderen Erneuerbaren Energien auch die Belange der oberflächennahen Geothermie sowie von Wärmepumpen allgemein. Dies betrifft vor allem die Bereiche Forschung und Entwicklung:

- Durch das **NetzwerkE** werden unter anderem Veranstaltungen zu Wärmepumpen und tiefer Geothermie ausgerichtet.
- Im Rahmen des Programms zur Förderung von Forschung, Innovation und Technologie (**PROFIT**) sind auch Förderungen für Projekte der tiefen Geothermie möglich.

Darüber hinaus existieren einige Maßnahmen außerhalb des LEP:

- Als wichtigste Maßnahme, die außerhalb des LEP stattfindet, ist hier die Erstellung einer **Studie zu den Potenzialen der Geothermie** in Berlin zu nennen, beauftragt durch SenGUV, die in Zukunft eine wichtige Grundlage zum Ausbau der Geothermie darstellen wird. Die Studie wird voraussichtlich 2011 abgeschlossen.
- Die GASAG bietet im Rahmen des **Programms „Berlin verpflichtet“** eine Förderung von Gaswärmepumpen in Form von Feldtests und Bezuschussungen.
- Vattenfall fördert strombetriebene Wärmepumpen in Berlin mit einem **Sondertarif Wärmepumpen**.
- Wärmepumpen werden bundesweit durch das **Bafa gefördert**, sofern sie die Anforderungen an die Energieeffizienz erfüllen (Jahresarbeitszahlen).
- **Geothermie-Bohrungen** (tiefe Geothermie) werden durch die KfW Bankengruppe unter gewissen Voraussetzungen finanziell gefördert.

Die Bestandsaufnahme zeigt, dass es im Land Berlin neben der Wärmepumpen-Förderung von Gas- bzw. Stromversorgern und der laufenden Studie zu den Geothermipotenzialen keine weiteren Fördermaßnahmen gibt, die zur Erreichung eines weitergehenden Potenzials, wie es im Ausbau-Plus-Szenario beschrieben ist, notwendig wären. Das im Ausbau-Plus Szenario skizzierte Wachstum basiert auf der Annahme, dass bundesweite Förderungen für die tiefe Geothermie und für Wärmepumpen sowie die Angebote der Berliner Energieversorger für strom- und gasbetriebene Anlagen erhalten bleiben. Daher sollte der Fokus weniger auf zusätzlichen finanziellen Förderungen für Errichtung von Wärmepumpen liegen.

Zentrale Maßnahmen sind jedoch finanzielle Förderungen von und Forschung zu den neueren Technologien wie Gaswärmepumpen und tiefe Geothermie. Bei Gaswärmepumpen ist die Erreichung der Marktreife und kleinerer Anlagengrößen für Ein- und Zweifamilienhäuser förderungswürdig. Auch der Einsatz von Wärmepumpen in Nichtwohngebäuden, der derzeit nur vereinzelt erfolgt,

kann durch gezielte Maßnahmen wie Demonstrations- und Marketingprojekte vorangetrieben werden. Gleiches gilt für Projekte der tiefen Geothermie. Der vermehrte Einsatz von Luftwärmepumpen in den vergangenen Jahren zeigt außerdem, dass Privathaushalte, Wohnungsbaugesellschaften sowie auch Unternehmen, die bislang wenig adressiert werden, bei der Wahl nach geeigneten, effizientesten und ökologischen Technologien unterstützt werden sollten. Dementsprechend werden die folgenden Maßnahmen vorgeschlagen:

- **GW1: Standorterkundungen für tiefe Geothermie** - Dies beinhaltet Investitionen in Probebohrungen und geophysikalische Explorationen sowie ggf. Maßnahmen zur Absicherung von Fündigkeitsrisiken, falls die bundesweiten Möglichkeiten hierzu nicht ausreichen oder weitergeführt werden.
- **GW2: Wärmepumpenkampagne inklusive Verbreitung einer Wärmepumpencheckliste.** Diese sollte private Gebäudeeigentümer sowie Wohnbaugesellschaften bei der Entscheidung für ein geeignetes, effizientes und nachhaltiges Wärmepumpensystem für spezifische Gebäude unterstützen und auch die Problematik der Gesamtsystemeffizienz sowie der ökologischen Nachteile von Luftwärmepumpen aufgreifen.⁵⁵
- **GW3: Aus- und Weiterbildungsinitiative.** Für einen schnellen Ausbau der oberflächennahen Geothermie müssen in den nächsten Jahren weitere Fachkräfte gewonnen werden. Entsprechend ist die Qualifikation von Handwerk und Planern zentral für den zukünftigen Ausbau und dessen Qualität, die auch eine Beratung bezüglich der zu erreichenden Energieeffizienz des Gesamtsystems (siehe GW2) umfasst. Hier kann Berlin entsprechende Angebote zusammen mit der IHK und der Handwerkskammer initiieren.
- **GW4: Demonstrationsprojekte, insbesondere in öffentlichen Gebäuden:** Die Vorbildfunktion öffentlicher Gebäude zur Nutzung von Sole/Wasser-Wärmepumpen sowie Energiepfehlanlagen sollte stärker genutzt werden (Pilotprojekte inkl. Marketing). Dies gilt in gleichem Maße für mögliche Projekte zur tiefen Geothermie.
- **GW5: Förderung Wärmepumpen für Nicht-Wohngebäude inkl. Beratung und Machbarkeitsstudie.** Insbesondere Nicht-Wohngebäude weisen auf Grund eines teilweise vorhandenen hohen Kühlungsbedarfs im Sommer eine Eignung für Wärmepumpen und Energiepfehlanlagen auf. Der effiziente und nachhaltige Einsatz von Erdwärme bzw. der Wärmespeicherfähigkeit der Erde ist jedoch mit genauer und individueller Planung verbunden. Eine spezifische Förderung vom Einsatz von oberflächennaher Geothermie in Nichtwohngebäuden gekoppelt an eine Beratung und die Erstellung einer Machbarkeitsstudie (verbunden mit entsprechenden Maßnahmen der Öffentlichkeitsarbeit) würde Dynamik in das in Berlin bislang noch wenig genutzte Einsatzgebiet bringen.

Erst für die **mittlere bis längere Frist** stellen sich weitere Anforderungen insbesondere für die Nutzung der mittleren bis tiefen Geothermieanwendungen. Um hier ein größeres Potenzial zu erschließen wird es möglicherweise nötig sein, zunächst die wasserrechtlichen Rahmenbedingungen

⁵⁵ Eine vergleichbare Checkliste wurde bspw. von der Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen erstellt. Eine solche Aktivität könnte gleichzeitig den Absatz von Luft-Wärmepumpen regulieren, die zwar geringere Investitionskosten aufweisen und daher oft gewählt werden, deren systemische Effizienz sie jedoch nur in seltenen Fällen empfehlenswert macht (vgl. Wärmepumpencheckliste unter <http://www.verbraucherzentrale-rlp.de/mediabig/92521A.pdf>).

zu prüfen und ggf. anzupassen. Hierzu wird ggf. bereits die gegenwärtig laufende Studie konkrete Hinweise liefern. Perspektivisch wird bei zunehmenden Mengen auch die Frage der Integration der geothermischen Wärme in das Fernwärmenetz eine Rolle spielen.

- **GW6: Überprüfung/Anpassung der wasserrechtlichen Rahmenbedingungen**
- **GW7: Öffnung der Fernwärmenetze** - Längerfristig ist eine Öffnung der Fernwärmenetze für Wärme aus Geothermie anzustreben. Hierzu ist ggf. eine Untersuchung zu erforderlichen technischen und strukturellen Änderungen der Fernwärmenetze bei steigendem Anteil dezentraler Wärmeeinspeisung aus Geothermie notwendig. Dies betrifft zum einen die Nutzung von Heizwärme aus tiefer Geothermie. Aber auch die Potenziale zur Umnutzung des Netzes für die so genannte kalte Fernwärme auf Niedertemperaturbasis ist zu prüfen.

6.7 Bioenergie

Im Landesenergieprogramm wird das Potenzial biogener Abfälle hervorgehoben, dessen Nutzung energetisch noch weiter optimiert werden kann. Hierzu zählt insbesondere der Bau von Vergärungsanlagen. Daneben können durch die Mitverbrennung von Biomasse in Kohlekraftwerken oder eigenen Biomassekraftwerken CO₂-Einsparungen erzielt werden. Der Ausbau von Biomasseheizkraftwerken ist von VE in der Energiestrategie aufgenommen und durch die Planung, am Standort Klingenberg und im Märkischen Viertel Biomasseheizkraftwerk zu errichten, konkretisiert worden. Planungen für den Bau von Vergärungsanlagen sind z.T. auch schon weit vorangeschritten. Konkrete Maßnahmen gab es zwar nicht, dennoch hat der öffentliche Diskurs die genannten Planungen im Bereich Bioenergie begünstigt. Bei der Nutzung von Biomasse in kleinerem Umfang, d.h. in Holzpelletkesseln, Scheitholzvergäsern und Holzhackschnitzel-Heizungen, ist die Anzahl der Anlagen zunehmend (Aussagen nur auf Basis der BAFA geförderten Anlagen). Von 2006 bis 2008 konnte die installierte Leistung von 1936 kW auf 5881 kW gesteigert werden.

Das übergeordnete Ziel bei der Bioenergienutzung in Berlin sollte die effiziente Nutzung des begrenzt verfügbaren, endogenen Bioenergiepotenzials sein. Dazu zählt insbesondere

- die konsequente Energiebereitstellung in Kraft-Wärme-Kopplung, weil die Umwandlungstechnik einen hohen Nutzungsgrad aufweist und Berlin über eine vergleichsweise gute Infrastruktur zur Nutzung der Abwärme verfügt
- die Vergärung möglicher Reststoffe anstatt Kompostierung.

Als prioritäre Maßnahmen werden empfohlen:

- **BM1: Ausbau der geplanten Vergärungs- und Biomasseanlagen vorantreiben**
Die 1. Maßnahme aus dem LEP ist weiter zu verfolgen und der Ausbau der Anlagen voranzutreiben. Dabei sollte bei den Vergärungsanlagen zwingend auf den Einbau von Methanminderungseinrichtungen geachtet werden, um diffuse Methanemissionen zu verhindern, die zu erwartende CO₂-Minderungen (über-)kompensieren können.
- **BM2: Monitoring Importströme und Nachhaltigkeitsanforderungen für große Importmengen.** Um den Anteil der Biomasse darüber hinaus zu steigern, wird Berlin auch größere Mengen an Biomasse importieren müssen. Eine Umlandversorgung mit Rohstoffen ist dabei für Städte grundsätzlich normal. Allerdings sollte aus Klimaschutz- und Effizienzsicht die Menge an importierter Biomasse gesteuert und darauf hingewirkt werden, dass sie überwiegend in einem ver-

tretenen Einzugsradius beschafft wird. Zudem sollte darauf hingewirkt werden, dass die importierte Biomasse Nachhaltigkeitsansprüchen genügt. Als Orientierung kann hier die NachhaltigkeitsVO für Kraftstoffe dienen.

- **BM3: Erhöhung des endogenen Biomassepotenzials.** Das Berliner Biomassepotenzial ist stark eingeschränkt, doch bieten die **Flächen der Berliner Stadtgüter** die Möglichkeit, durch den Anbau von Energiepflanzen das Potenzial zu vergrößern. Wegen der geringen Umweltbelastung und teilweise positiven Umwelteffekten bieten sich hier Kurzumtriebsplantagen (KUP) an, auch weil das Holz in den geplanten Hackschnitzelanlagen gut verwertet werden könnte. Bisherige Studien zu KUP lassen die Erzielung positiver Umwelteffekte vermuten (siehe u.a. unter www.dendrom.de), allerdings sind hier insbesondere die Auswirkungen auf den Wasserhaushalt kritisch zu prüfen. Für die Realisierung eines Energiepflanzen- bzw. KUP-Anbaus könnte eine Kooperations- bzw. Klimaschutzvereinbarung zwischen Senat und der Stadtgüter GmbH geschlossen werden.
Im innerstädtischen Bereich ist zu prüfen, inwieweit eine **Ausweitung städtischer Grünflächen** erfolgen kann (z.B. ehemaliger Flughafen Tempelhof). Hierdurch könnte nicht nur das endogene Biomasse-Potenzial vergrößert, sondern auch das Stadtklima und die Lebensqualität verbessert werden, was angesichts der Klimawandelprognosen für die Stadt Berlin von zunehmender Bedeutung sein kann.
- **BM4: Erhöhung der Biomassenutzung im Gebäudebereich.** Die Nutzung kleiner Biomasseanlagen kann, wie die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen zeigen, heute schon wirtschaftlich sein. Der zögerliche Ausbau in den letzten Jahren deutet demgegenüber darauf hin, dass noch Hemmnisse bestehen. Um diese zu beseitigen, kann die Verbreitung z.B. durch **Pilotanlagen im Nichtwohngebäude-Bereich** oder durch **Intensivierung der Ausbildung und Beratung** vorangetrieben werden.
Allerdings ist nur der Ausbau moderner schadstoffarmer und effizienter Anlagen zuzulassen, um insbesondere Feinstaubproblematik zu begrenzen. Daher wird vorgeschlagen, den **Ersatz alter Biomasseöfen durch eine moderne Zentralheizung oder eines effizienten Einzelofens zu fördern**. Kriterium für den Erhalt der Förderung ist die Stilllegung eines Ofens einerseits und die Erfüllung der Voraussetzungen des Marktanreizprogramms andererseits.

6.8 Bereich Wärmebereitstellung / gebäudebezogene Heizungssysteme

Während der Einsatz Erneuerbarer Energien im Neubau durch das EEWärmeG bundesweit bereits geregelt wird, existieren für den Gebäudebestand in Berlin keine Regelungen bzw. Verpflichtungen. Die Förderung beschränkt sich in diesem Bereich auf eine begrenzte Bezuschussung freiwilliger EE-Maßnahmen durch das Marktanreizprogramm. Gerade im Bestand liegen jedoch auf Grund der großen Gebäudezahl die größten CO₂-Einsparpotenziale. Nach EEWärmeG können die Bundesländer EE-Wärme-Nutzungspflichten für den Gebäudebestand einführen. Dies war für Berlin mit dem Entwurf eines Klimaschutzgesetzes während der Erstellung dieser Studie in der Diskussion.

Gerade im Mehrfamilienhausbestand bestehen spezifische Investitionshemmnisse gegenüber dem Einsatz von Erneuerbaren Energien. Ein zentrales Hemmnis ist dabei das so genannte **Investor-Nutzer-Dilemma**. Der Einsatz von Erneuerbaren Energien ist meist mit hohen Investitionskosten verbunden, die durch den Eigentümer (Vermieter) getragen werden. Von den geringeren Betriebs-

kosten nach Energieeffizienzmaßnahmen bzw. durch die Entkopplung von zunehmenden Öl- und Gaspreisen durch den Einsatz von Erneuerbaren Energien profitieren jedoch die Mieter, so dass für die Vermieter trotz Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen kein Anreiz für eine Umsetzung besteht, so lange die Investitionskosten oder der Einsparnutzen nicht adäquat umgelegt werden (Ekardt/ Heitmann 2009).

Ein wichtiger Anreiz bzw. eine Transparenzmaßnahme in Richtung einer Aufwertung des energetischen Zustands eines Mietwohngebäudes wurde in Berlin bereits umgesetzt, in dem in die Berechnung des **Mietspiegels** Energieverbrauchskennwerte eingehen.⁵⁶ So wirkt ein niedriger Verbrauch wohnwerterhöhend und kann damit zu einer höheren Miete führen.

- **GB1: Einbeziehung Erneuerbarer Energien-Anlagen in den Berliner Mietspiegel**
Erneuerbare Energien sollten im Berliner Mietspiegel berücksichtigt werden, so dass sich auch EE-Anlagen wohnwerterhöhend auswirken

Um die **EE-Potenziale bis 2020 auch im Mietwohngebäudebereich** heben zu können, sind jedoch weitere Maßnahmen zu entwickeln, die insbesondere das Investor-Nutzer-Dilemma beseitigen oder begrenzen.

- **GB2: Initiativen zur Beseitigung des Investor-Nutzer-Dilemmas**
Eine Reihe von Regelungen betrifft dabei die Bundesebene, weshalb sich das Land Berlin für dementsprechende gesetzliche Änderungen einsetzen sollte. Vieles ist dabei auf die Mietvorschriften nach BGB zurückzuführen. Möglichkeiten, die diesbezüglich in Erwägung zu ziehen sind:
 - **Duldungspflicht des Mieters beim Einbau von EE-Anlagen**
Um mögliche Mietminderungen sowie Rechtsschutz auf Unterlassung zu vermeiden, könnte eine Duldungspflicht des Mieters erlassen werden. Diese besteht nach § 554 Abs. 2 BGB bislang nicht, da nicht alle EE-Maßnahmen energiekostensparende Maßnahmen darstellen. Zur Beseitigung der bestehenden Rechtsunsicherheit wäre eine gesetzliche Klarstellung, dass EE-Maßnahmen unter § 554 Abs. 2 BGB fallen und somit eine Duldungspflicht besteht, notwendig (Ekardt/ Heitmann 2009).
 - **Mieterhöhungen beim Einbau von EE-Anlagen**
§ 559 Abs.2 BGB ermöglicht eine Mieterhöhung für umgesetzte Energieeffizienzmaßnahmen, unter Umständen jedoch nicht für den Einbau EE-Anlagen, um 11 % der aufgewendeten Kosten. Problematisch dabei ist auch, dass der Mieter nicht zwingend geringere Ausgaben durch den Einsatz erneuerbarer Energien hat. Das Ziel sollte deshalb eine Situation sein, die „dem Vermieter einerseits kurzfristige, sicherere Gewinnoptionen geben und so den Klimaschutz verbessern kann“ sowie „klarere ökologische Konturierungen und zugleich eine gewisse Kostengünstigkeit für den Mieter“ (Ekardt/ Heitmann 2009, S. 8).
 - In diesem Zusammenhang wäre auch eine **Vereinfachung und Vereinheitlichung der Anforderungen an die Ankündigung von Modernisierungsmaßnahmen** in § 554 Abs. 3 BGB zu prüfen.
 - Ein wichtiger Hebel für die Senkung der Investitionskosten stellt auch eine erhöhte **steuerliche Absetzbarkeit der Kosten** für den Vermieter und Eigenheimbesitzer dar. Diesbe-

⁵⁶ http://www.berliner-mieterverein.de/aktuell/mietspiegel-2009/mietspiegel2009_20609.pdf

zöglich wäre eine Klarstellung im Einkommenssteuergesetzes (EStG) bezüglich der Absetzbarkeit der Investitionskosten zu empfehlen (Ekardt/ Heitmann 2009)

6.9 Weitere übergreifende Maßnahmen zur Förderung erneuerbarer Energien

Erneuerbare Energien werden überwiegend durch Instrumente auf Bundesebene gefördert, während die Bundesländer sich seit Einführung des EEG, MAP, EEWärmeG etc. – wenn überhaupt – auf komplementäre bzw. (z.B. regional- oder zielgruppenspezifisch) ergänzende Förderungen konzentriert haben. Im Fall des EEWärmeG hat der Gesetzgeber den Ländern ermöglicht, weitergehende Anforderungen zu formulieren, die den Gebäudebestand einbeziehen und damit eine deutlich größere Hebelwirkung auf die Erneuerbaren auszuüben.

- **EE1:** In diesem Zusammenhang ist eine Initiative zur Einführung eines **Berliner Klimaschutzgesetzes** oder einer vergleichbaren gesetzlichen Regelung ausdrücklich zu begrüßen. Einzelne der oben genannten Maßnahmen wären auch in einem solchen Gesetz integrierbar.
- **EE2:** Weitergehende übergreifende Maßnahmen sind die **Förderung von F&E** sowie von **Innovationsnetzwerken**, so wie sie gegenwärtig bereits erfolgt und auch in Zukunft weiterverfolgt werden sollte.

Ein wichtiges Beispiel für die Förderung von energierelevanter Forschung und Entwicklung in Berlin ist der Aufbau des **Netzwerke**, um Berliner Unternehmen der Energieeffizienz- und Erneuerbare-Energien-Branche zu stärken. Ziel des Netzwerkes sind die Identifizierung, Entwicklung und Bekanntmachung von Berliner Konzepten, Produkten und Dienstleistungen, die Initiierung von Leuchtturmprojekten, Stärkung der Berliner Unternehmen der Energieeffizienzbranche sowie die Hebung von Energieeffizienzpotentialen auf der Nachfrageseite von Unternehmen. Zu den Themenschwerpunkten der Berliner Netzwerke gehören u. A. Photovoltaik, Solarthermie, Biomasse, kleine Windenergieanlagen und Abwärmenutzung.⁵⁷ Die Energietechnik ist eines der fünf Zukunftsfelder der gemeinsamen **Innovationsstrategie der Länder Berlin und Brandenburg**. Diese Zukunftsfelder sind für das größte regionale Wirtschaftswachstum der letzten Jahre verantwortlich und sollen durch Kooperationen wie Netzwerke oder Cluster ihr Innovationspotenzial noch besser nutzen können. Im Bereich Energietechnik sollen u.a. die thematischen Handlungsfelder „Photovoltaik“ und „erneuerbare Energien und innovative Felder“ (z. B. solares Kühlen, Biokraftstoffe der 2. Generation, Tiefengeothermie und Windenergie) fokussiert werden.⁵⁸

- **EE3:** Eine andere Art der Branchenförderung ist die Förderung der **gezielten Ansiedelung von EE-Unternehmen in Gewerbe- und Industrieparks**, wie das Beispiel der Wirtschaftsförderung Berlin-Marzahn zeigt, die einen „Clean Tech Business Park“ speziell für solche Unternehmen errichten will.

⁵⁷ <http://www.berliner-netzwerk-e.de/>

⁵⁸ <http://www.innovatives-brandenburg.de/de/2742.aspx>

- **EE4:** Eine weitere übergreifende Fördermaßnahme ist der Bezug von – vorrangig in Berlin bzw. „regional“ erzeugter – Ökoenergie. Daher sollte bei der zukünftigen Bezugsplanung von **Ökostrom** durch die öffentliche Hand nicht nur auf ökologische Kriterien (Wirkung auf EE-Neuanlagenbau), sondern ggf. auch auf lokale bzw. regionale Erzeugung geachtet werden. Perspektivisch sollte der Ökoenergiebezug auch auf nennenswerte Anteile von **Ökowärme** und **Biogas** ausgeweitet werden. Konzepte für die verstärkte Nutzung von Ökostrom sind insbesondere bei verstärkter Nutzung von Elektromobilität zu entwickeln (siehe hierzu z.B. den Maßnahmenvorschlag S/PV6).

Wie eingangs im Maßnahmenteil erläutert, konnte im Rahmen dieser Studie keine genaue **Wirkungsanalyse und Detaillierung der vorgeschlagenen Maßnahmen** vorgenommen werden. Eine solche Untersuchung wird jedoch dringend empfohlen, damit die Maßnahmen auch hinsichtlich ihrer ökonomischen Implikationen priorisiert werden können, wobei hier auch mittel- bis längerfristige regionalwirtschaftliche Vorteile gegenüber höheren Investitionskosten abzuwägen sind (Kosten-Nutzen-Erwägungen) und gleichzeitig alternative Finanzierungsmöglichkeiten zu prüfen sind, wie sie oben für den Solarbereich skizziert wurden.

Eine zweite wichtige Maßnahme mit längerfristiger Wirkung betrifft die ebenfalls oben bereits angesprochene Frage einer grundlegenden Umgestaltung des Berliner Energie-Infrastrukturnetzes – insbesondere Fern- und Nahwärme – wenn sich auf längere Sicht der Wärmebedarf drastisch reduziert und sich damit die Frage der **Wirtschaftlichkeit von dezentraler Energieerzeugung vs. zentraler, leitungsgebundener Versorgung** neu stellt. Dieser Konflikt entwickelt sich gegenwärtig und auch bis zum Zeitraum 2020 bereits in ersten Grundzügen, wird jedoch voraussichtlich erst deutlich später von großflächiger Bedeutung sein. Dennoch müssen bereits vorher Wege aufgezeigt werden, wann, wo und ob es Grenzen der dezentralen Energieversorgung in kleinen Leistungsbereichen bzw. zentralen, leitungsgebundenen Versorgung hinsichtlich zu geringer Wärmemengen gibt. Neben der Frage möglicher technisch-ökonomischer Szenarien ist die Frage der Wege dorthin relevant, um bereits frühzeitig in diesem hochinvestiven Bereich richtige Weichenstellungen vornehmen zu können.

Drittens sind die **erschließbaren EE-Potenziale aus dem Umland** und hinsichtlich der **Stromversorgung auch aus einem fernerem Einzugsgebiet** zu thematisieren. Die Frage der Umlandversorgung mit Biomasse ist bereits mit der Maßnahme BM2 angesprochen, dennoch ist hier die Entwicklung eines Gesamtkonzepts ratsam. Bei der Frage der EE-Stromversorgung können mit der Beteiligung von Berliner Energieanbietern an Anlagen außerhalb Berlins (und außerhalb Deutschlands) perspektivisch deutlich höhere EE-Stromanteile bis hin zur 100%-Versorgung möglich werden. Ein Beispiel dafür bietet die Stadt München, die auf Basis eines politischen Beschlusses ihren Stadtwerken eine „Ausbauoffensive Erneuerbare Energien“ vorgeschrieben hat, nach der bis 2015 alle rund 800.000 Münchner Privathaushalte versorgt werden sollen, bis 2025 soll der gesamte Münchner Strombedarf (7,5 Milliarden Kilowattstunden) mit Ökostrom gedeckt werden. Dafür sollen rund 9 Mrd. Euro investiert werden, u. a. in regionale Geothermie-, Biomasse- und Wasserkraft-Anlagen, nationale Beteiligungen an On- und Offshore-Windparks (bereits erfolgt) sowie internationale Beteiligungen an solarthermischen Kraftwerken („Andasol III“, bereits erfolgt). Ein solcher Ansatz wäre auf die Berliner Situation mit mehreren Energieanbietern, die nicht in kommunaler Hand sind, zu übertragen und nach entsprechenden Umsetzungsmöglichkeiten zu suchen.

Aus diesen Überlegungen leiten sich die folgenden Maßnahmen ab, von denen die erste kurzfristige, die zweite und dritte mittelfristige Bedeutung haben.

- **EE5: ökonomische Wirkungsanalyse und Detaillierung der vorgeschlagenen Maßnahmen**

- **EE6: Studie zur Frage der Wirtschaftlichkeit von dezentraler Energieerzeugung vs. zentraler, leitungsgebundener Versorgung** bei längerfristig (deutlich) sinkendem Wärmebedarf. Hierbei ist auch das Thema kalte Fernwärme mit zu berücksichtigen.
- **EE7: Studie zur Steigerung des überregionalen EE-Angebots in Berlin durch Beteiligungen** der Stadt und/ oder durch Berliner Energieversorgungsunternehmen

6.10 Übersicht Maßnahmen erster und zweiter Priorität

Tab. 6.1 **Prioritäre Maßnahmen zur Förderung erneuerbarer Energien in Berlin**

Quelle: Eigene Zusammenstellung

<i>Nr.</i>	<i>Kurztitel</i>
Übergreifende Maßnahmen Solarenergie	
S2	Fortführung Solaranlagenkataster und Solarliga
S3	Aus- und Weiterbildungsinitiative
S5	Berliner Solarportal
S6	Koordinierungsstelle Solarenergie
Photovoltaik	
S/PV1	Stärkung Solardachbörse
S/PV2	Eigenrealisierung von PV-Projekten durch die Stadt Berlin
S/PV3	Förderung von Bürgersolaranlagen
S/PV5	Initiierung von Demonstrationsvorhaben
Solarthermie	
S/ST1	Umsetzung solarer Rahmenplan
S/ST2	Einrichtung eines unabhängigen Beratungsangebots für private Eigentümer
S/ST3	Demonstrationsprojekte „Öffentliche Gebäude“ und „solare Nahwärme“
Windenergie	
WI1	Ermittlung von geeigneten Standorten in Berlin für Großwindanlagen
WI2	Förderung von Pilot- und Demonstrationsvorhaben im Bereich der Kleinwindanlagen mit entsprechendem Monitoring und wissenschaftlicher Begleitung
WI3	Unterstützende Maßnahmen zur Erschließung der Potenziale im Gebiet der Berliner Stadtgüter
Geothermie und Wärmepumpen	
GW1	Standorterkundungen für tiefe Geothermie
GW2	Wärmepumpenkampagne inklusive Verbreitung einer Wärmepumpencheckliste
GW3	Aus- und Weiterbildungsinitiative
GW4	Demonstrationsprojekte, insbesondere in öffentlichen Gebäuden
GW5	Förderung Wärmepumpen für Nicht-Wohngebäude inkl. Beratung und Machbarkeitsstudie

Bioenergie	
BM1	Ausbau der geplanten Vergärungs- und Biomasseanlagen vorantreiben
BM2	Monitoring Importströme und Nachhaltigkeitsanforderungen für große Importmengen
BM3	Erhöhung des endogenen Biomassepotenzials
BM4	Erhöhung der Biomassenutzung im Gebäudebereich
Wärmebereitstellung/ gebäudebezogene Heizungssysteme	
GB1	Einbeziehung Erneuerbarer Energien-Anlagen in den Berliner Mietspiegel
GB2	Initiativen zur Beseitigung des Investor-Nutzer-Dilemmas
Übergreifende Maßnahmen zur Förderung erneuerbarer Energien	
EE1	Einführung eines Berliner Klimaschutzgesetzes
EE2	Förderung von F&E und Innovationsnetzwerken
EE3	Gezielte Ansiedelung von EE-Unternehmen in Gewerbe- und Industrieparks
EE4	Bezug von Ökostrom, Biogas und Ökowärme
EE5	ökonomische Wirkungsanalyse und Detaillierung der vorgeschlagenen Maßnahmen

Tab. 6.2: Maßnahmen zur EE-Förderung in Berlin mit geringerer Priorität/ Dringlichkeit

Quelle: Eigene Zusammenstellung

<i>Nr.</i>	<i>Kurztitel</i>
Übergreifende Maßnahmen Solarenergie	
S1	Ausweitung Solaratlas
S4	Konzept und Kampagne „Solarhauptstadt Berlin“
Photovoltaik	
S/PV4	Initiierung/ Unterstützung von Vernetzungsaktivitäten
Solarthermie	
S/ST4	Vernetzung
S/ST5 (a&b)	Finanzielle Förderung von Solarthermieanlagen
Windenergie	
WI4	Schaffung von Investitionsanreizen zur Marktentwicklung von Kleinwindanlagen
Wasserkraft	
WA1	Standortgutachten Wasserkraft
WA2	Pilotanlagen urbane Kleinwasserkraft
Geothermie und Wärmepumpen	
GW6	Überprüfung/Anpassung der wasserrechtlichen Rahmenbedingung
GW7	Öffnung der Fernwärmenetze
Übergreifende Maßnahmen zur Förderung erneuerbarer Energien	
EE6	Studie zur Frage der Wirtschaftlichkeit von dezentraler Energieerzeugung vs. zentraler, leitungsgebundener Versorgung und Berücksichtigung der Wärmebedarfsentwicklung sowie Potenziale kalter Fernwärme
EE7	Studie zur Steigerung des überregionalen EE-Angebots in Berlin durch Beteiligungen der Stadt und / oder Berliner EVU

7 Literaturverzeichnis

- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2007): Energie- und CO₂-Bilanz im Land Berlin 2004. Statistischer Bericht E IV 4 - j/04; Potsdam, <http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/>.
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2008a): Energie- und CO₂-Bilanz in Berlin 2005. Statistischer Bericht E IV 4 - j/05; Potsdam.
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2008b): Statistischer Bericht 2008 - Baufertigstellungen, Bauüberhang, Bauabgang in Berlin 2008. <http://www.statistik-berlin-brandenburg.de> (24.11.2009).
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2009): Energie- und CO₂-Bilanz in Berlin 2006. Statistischer Bericht E IV 4 - j/06; Potsdam, <http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/>.
- Arbeitsgemeinschaft DLR/ifeu/WI (2004): Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland; Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- ASUE [Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.] (2002): Gaswärmepumpen; <http://www.asue.de> (27.11.09).
- Auer, Falk/ Schote, Herbert (2008): Feldtest Elektro – Wärmepumpen; <http://energie-effizientes-haus.de> (27.11.09).
- AWP [Arbeitsgemeinschaft Wärmepumpen] (2007): Wärmepumpenheizungsanlage mit Erdwärmesonden. <http://www.fws.ch> (24.11.2009).
- B. & S.U./ Ecologic [Beratungs- und Servicegesellschaft Umwelt
- Institute for International and European Environmental Policy] (2009): Evaluierung Landesenergieprogramm Berlin 2006 - 2010; [Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz]: Berlin.
- Baumann, M./ Laue, H.-J. et al. (2007): Wärmepumpen - Heizen mit Umweltenergie; Karlsruhe.
- BEA [Berliner Energieagentur] (2009): Energiekonzept 2020 - Annahmen. Internes Arbeitspapier.
- BEE [Bundesverband Erneuerbare Energien] (2009): Dynamische Simulation der Stromversorgung in Deutschland nach dem BEE-Szenario „Stromversorgung 2020“. Hintergrundpapier zur Studie von Fraunhofer IWES im Auftrag des BEE; 15. September 2009, Berlin, www.stromversorgung2020.de (28.11.2009).
- Berliner Bäder-Betriebe/ Land Berlin (2009): Klimaschutzvereinbarung im Rahmen des Landesenergieprogrammes Berlin 2006 – 2010; www.berlin.de (17.11.2009).
- Berliner Senatsverwaltung [Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz Berlin] (o. J.): Der Berliner Heizspiegel - Vergleichen Sie Ihren Heizenergieverbrauch. <http://www.heizspiegel-berlin.de>.
- Berner, Joachim (2007): Mit Sonne baden. In: Sonne Wind & Wärme, Nr. 7, S. 54-57.
- Biermayr, Peter/ Cremer, Clemens et al. (2007): Bestimmung der Potentiale und Ausarbeitung von Strategien zur verstärkten Nutzung von erneuerbaren Energien in Luxemburg; [Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung
- Energy Economics Group TU Wien
- BSR-Sustainability]: Karlsruhe.
- Bine Informationsdienst (2008a): Geothermie. In: basisEnergie, Nr. 8, S. 1-4, <http://www.bine.info> (27.11.09).
- BINE Informationsdienst (2008b): Große Solarwärmeanlagen für Gebäude: Sonne liefert warmes Wasser und unterstützt die Raumheizung; BINethemeninfo; Volume I/2008).
- Biokraftstoffe Brandenburg [Kompetenznetzwerk Mineralölwirtschaft/Biokraftstoffe Brandenburg-Berlin] (o. J.): Die Mineralölwirtschaft und Biokraftstoffindustrie in der Hauptstadtregion Berlin-Brandenburg; <http://www.biokraftstoffe-brandenburg.de>.
- Blum, Philipp/ Campillo, Gisela et al. (2009): CO₂ savings of ground source heat pump systems – A regional analysis. In: Renewable Energy, Nr. S. 122–127.
- BMBVBS [Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung] (2009): Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand. 30. Juli 2009.
- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit] (2006): Innovation durch Forschung. Jahresbericht 2005 zur Forschungsförderung im Bereich der erneuerbaren Energien; Bonn, www.bmu.de (9.6.2007).

- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit] (2008a): Ausbaustrategie Erneuerbare Energien vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas - „Leitstudie 2008“; <http://www.bmu.de> (27.11.09).
- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit] (2008b): Erneuerbare Energien in Zahlen - Nationale und internationale Entwicklung; Berlin, <http://www.erneuerbare-energien.de> (12.12.2008).
- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit] (2008c): Weiterentwicklung der Ausbaustrategie Erneuerbare Energien. Leitstudie 2008; www.erneuerbare-energien.de (17.11.2009).
- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit] (2009a): Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2008. Stand April 2009. Daten des Bundesumweltministeriums zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2008 (vorläufige Zahlen) auf der Grundlage der Angaben der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat); www.erneuerbare-energien.de (17.11.2009).
- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit] (2009b): Erneuerbare Energien in Zahlen. Nationale und Internationale Entwicklung. Stand Juni 2009; Berlin, www.erneuerbare-energien.de (02.10.2009).
- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit] (2009c): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland - Leitszenario 2009.
- BNetzA [Bundesnetzagentur] (2009): EEG-Statistikbericht 2007; Bonn, <http://www.bundesnetzagentur.de>.
- Bredel-Schürmann, Stefan (2009): Persönliche Mitteilung; 09.12.09.
- Brenner, Gunther [TU Clausthal] (2009): Technisches Potenzial vertikaler Windenergieanlagen; Workshop Akzeptanz und Potenzial kleiner vertikaler Windenergieanlagen – Ergebnisse eines interdisziplinären BMU-Forschungsprojekts, 23. 9. 2009, Halle.
- Broek, Kai-Uwe [Airon GmbH & Co. KG] (2009): Kleinwindkraftanlagen im städtischen Bereich; 2. BWE Kleinwindanlagen Symposium, 17. 10. 2009, Kassel, <http://www.wind-energie.de> (28. 11. 2009).
- Brozio, Sybille/ Zeidler, Mirella et al. [FH Eberswalde] (2008): Die Nutzung von Bodenschätzungsdaten zur Modellierung von landwirtschaftlicher Biomasse; Vortrags- und Exkursionstagung zur Bodenschätzung - AG Bodenschätzung und Bodenbewertung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 11. - 12. 9. 2008, Weimar, <http://www.fh-eberswalde.de>.
- Brugmann, Johannes (2006): Planung von Luft/Wasser-Wärmepumpen für Altbauten. In: KI Luft- und Kältetechnik, Nr. 42, S. 192-197.
- BSR [Berliner Stadtreinigung] (o. J.-a): Deponiegasverwertung Schwanebeck. <http://www.bsr.de> (02.07.2009).
- BSR [Berliner Stadtreinigung] (o. J.-b): Zentrale Einrichtungen, Werke, Deponien und Werkstätten. <http://www.bsr.de> (01.07.2009).
- BSW [Bundesverband Solarwirtschaft] (2007): Export wird zum Zugpferd der deutschen Solarwirtschaft. www.solarwirtschaft.de (24.07.2007).
- BSW [Bundesverband Solarwirtschaft] (2009a): Hintergrundpapier zur Intersolar 2009. www.solarwirtschaft.de (02.10.2009).
- BSW (2009b): Statistische Zahlen der deutschen Solarwärmebranche (Solarthermie); [Bundesverband Sozialwirtschaft e. V.].
- Bundesamt für Energie (o.J.): Die Wärmepumpe: Unerschöpfliche Wohlfühlwärme aus Luft und Erde; Zürich, <http://www.bfe.admin.ch> (27.11.09).
- Bundesverband Wärmepumpe e.V. (2009): In.Zukunft.Wärme.Pumpe. <http://www.waermepumpe.de> (24.11.2009).
- Buttgereit, Reinhold (2010): Pläne für die Biomassenutzung und - beschaffung von Vattenfall in Berlin; Fachgespräch zu den umwelt- & entwicklungspolitischen Implikationen von Holzimporten aus Afrika (08.12.2010) Berlin.
- BVKW [Bundesverband Kleinwindanlagen] (2009): Positionspapier - Kosten/Nutzen. <http://cms.bundesverband-kleinwindanlagen.de> (28. 11. 2009).
- BWB [Berliner Wasserbetriebe] (o. J.): Klärwerke. <http://www.bwb.de> (01.07.2009).
- BWE [Bundesverband WindEnergie e.V.] (2008): Statistiken der Länder. Stand 31.12.2008, <http://www.wind-energie.de> (02.07.2009).
- BWE [Bundesverband WindEnergie e.V.] (o. J.): Der Landesverband Berlin-Brandenburg. <http://www.wind-energie.de> (2.07.2009).
- DAKS [Die alternative Kommunalpolitik Sachsens e. V.] (2006): Bürger machen Energie: Bürgerkraftwerke - ein Handlungsleitfaden; <http://www.buerger-kraftwerke.de>.
- Dena [Deutsche Energie-Agentur] (o. J.): Gutes Klima im Regierungsviertel: Energiekonzept Spreebogen. <http://www.thema-energie.de/> (01.07.2009).
- DGS [Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V.] (2008): Leitfaden Solarthermische Anlagen; Berlin.

- Dimplex (2009): Projektierungs- und Installationshandbuch. Wärmepumpen für Heizung und Warmwasserbereitung; <http://www.dimplex.de> (27.11.09).
- DIW/ ZSW [Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung Berlin, Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Stuttgart] (2007): Vergleich der Bundesländer: Best Practice für den Ausbau Erneuerbarer Energien - Indikatoren und Ranking; <http://www.unendlich-viel-energie.de>.
- Ebert, Marcel/ Bohnenschäfer, Werner (2008): Vollkostenvergleich Heizsysteme: Informationen für Verbraucher vom IE Leipzig; [Leipziger Institut für Energie GmbH]: Leipzig.
- EEG (2008): Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich und zur Änderung damit zusammenhängender Vorschriften; <http://www.bglportal.de>.
- Ekardt, Felix/ Heitmann, Christian (2009): Energetische Sanierung im Altbestand und das EEWärmeG: Kann das Investor-Nutzer-Dilemma ökologisch-sozial aufgelöst werden? <http://www.jura.uni-rostock.de> (10.12.09).
- Endelmann, Thomas [Bundesverband Kleinwindanlagen] (2009): Interview zu Chancen und Möglichkeiten von Kleinwindanlagen.
- Enseling, Andreas (2003): Leitfaden zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Energiesparinvestitionen im Gebäudebestand; [Institut für Umwelt und Wohnen]: www.iwu.de (04.03.2009).
- ESTIF [European Solar Thermal Industry Federation] (2007): Best practice regulations for solar thermal; www.estif.org.
- ethanol-tanken.com (2009): Betriebstankstellen in Planung. <http://www.ethanol-tanken.com> (02.07.2009).
- Everding, Dagmar (Hrsg.) (2007): Solarer Städtebau - Vom Pilotprojekt zum planerischen Leitbild; Stuttgart.
- Everding, Dagmar/ Karl, Christian et al. [Ecofys GmbH Nürnberg] (2006): Solarer Rahmenplan Berlin.
- Fahun, Joachim (2009): Jeder fünfte Berliner könnte sauberen Strom bekommen. In: Berliner Morgenpost, S. <http://www.morgenpost.de>.
- Faninger, Gerhard (2007): Aktueller Stand der Wärmepumpen-Technik in Österreich; <http://www.uni-klu.ac.at> (27.11.09).
- Fernheizkraftwerk Märkisches Viertel (2009): Unser Biomasseprojekt. <http://www.fernwaerme-mv.de> (01.10.2009).
- Fest, Phillip [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit] (2009): Genehmigungsverfahren von Kleinwindanlagen; 2. BWE Kleinwindanlagen Symposium, 17. 10. 2009, Kassel, <http://www.wind-energie.de> (28. 11. 2009).
- FFU [Forschungsstelle für Umweltpolitik, Freie Universität Berlin] (2007): Zukünftiger Ausbau erneuerbarer Energieträger unter besonderer Berücksichtigung der Bundesländer - Anlagenband; Berlin, <http://www.erneuerbare-energien.de>.
- FH Osnabrück (o. J.): Forschungsprojekt SUN-AREA: Standortanalyse für Photovoltaik-Anlagen durch hochauflösende Sensoren in der Fernerkundung, Entwicklung eines Solarpotenzial-Dachkatasters; <http://www.al.fh-osnabrueck.de>.
- FHW-Neukölln (o. J.): FHW-Fernwärme. Im Heizwerk. <http://www.fhw-neukoelln.de> (01.07.2009).
- forsa, Gesellschaft für Sozialforschung und statistische Analysen/ RWI Essen, Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (2006): Erhebung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte für das Jahr 2005. Endbericht. Forschungsprojekt Nr. 15/06 des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi).
- Freie Hansestadt Bremen (2008): Aktionsprogramm Klimaschutz 2010; <http://www.umwelt.bremen.de>.
- GASAG (2009): Entwicklung der Baugenehmigungen in Berlin seit 2006.
- GD NRW [Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen] (2004): Erdwärme nutzen: Geothermiestudie liefert Planungsgrundlage. <http://www.gd.nrw.de> (5. 6. 2009).
- Genske, Dieter D./ Jödecke, Thomas et al. [FH Nordhausen / Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)] (2009): Nutzung städtischer Freiflächen für erneuerbare Energien - Ein Projekt des Forschungsprogramms "Experimenteller Wohnungs- und Städtebau" (ExWoSt) des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR).
- Geothermische Energie (2003): Deutschlands erster Geothermischer Strom! www.geothermie.de (24.11.2009).
- Geothermische Vereinigung (2008): Forschungsbedarf Geothermie. <http://www.geothermie.de> (24.11.2009).

- GL Berlin-Brandenburg [Gemeinsame Landesplanungsabteilung Berlin-Brandenburg] (1996): Erlaß des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung zur landesplanerischen und naturschutzrechtlichen Beurteilung von Windkraftanlagen im Land Brandenburg (Windkrafterlaß des MUNR) vom 24.05.1996. <http://gl.berlin-brandenburg.de> (02.07.2009).
- GL Berlin-Brandenburg [Gemeinsame Landesplanungsabteilung Berlin-Brandenburg] (2007): Landesentwicklungsprogramm 2007. Hauptstadtregion Berlin-Brandenburg. <http://gl.berlin-brandenburg.de> (02.07.2009).
- GLBerlin-Brandenburg [Gemeinsame Landesplanungsabteilung Berlin-Brandenburg] (2009): "Windkrafterlass 2009" - Gemeinsamer Erlass des Ministeriums für Infrastruktur und Raumordnung und des Ministeriums für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz vom 16. Juni 2009; <http://gl.berlin-brandenburg.de>.
- Gorris, Verena (2009): Persönliche Mitteilung; 13.11.09.
- gtai [Germany Trade and Invest]] (2009): Europäische Solarwärme-Branche trotz der Wirtschaftskrise. www.gtai.de (02.10.2009).
- Guigas, Michael (2006): Große Solarthermieanlagen: Optimierung der solaren Deckungsrate durch Einbindung in Nahwärmenetze und Wärmespeicher. In: (Hrsg.): Forschung und Innovation für eine nachhaltige Energieversorgung; Berlin; S.
- Haas, Reinhard/ Biermayr, Peter et al. (2006): Technologien zur Nutzung Erneuerbarer Energieträger - wirtschaftliche Bedeutung für Österreich; Akronym "Erneuerbare aus und in Österreich"; [für die Wirtschaftskammer Österreich]: Wien.
- Hantsch, Stefan/ Moidl, Stefan [Interessengemeinschaft Windkraft Österreich] (2007): Das realisierbare Windkraftpotenzial in Österreich bis 2020 - Kurzstudie; <http://www.igwindkraft.at>.
- Hecking, Benedikt/ Russ, Christel et al. (2007): Einsatz von Wärmepumpen im Gebäudebestand - Übersicht und erste Ergebnisse aus einem Feldtestmonitoring; <http://www.wp-im-gebaeudebestand.de> (27.11.09).
- Hennecke, Klaus (2005): Solare Prozesswärme für Industrie, Meerwasserentsalzung und Solarchemie. www.fv-sonnenenergie.de (19.07.07).
- Henning, Hans-Martin (2005): Solare Kühlung und Klimatisierung - Belüftung und Wärmerückgewinnung. www.fv-sonnenenergie.de (19.07.07).
- Hirschl, Bernd (2002): Marktentwicklung Ökostrom. In: Hirschl, Bernd/ Hoffmann, Esther et al. (Hrsg.): Markt- und Kostenentwicklung erneuerbarer Energien. 2 Jahre EEG - Bilanz und Ausblick; Berlin; S. 223-243.
- Hofer, P./ Kirchner, A. et al. (2007): Wärmepumpen und Strombedarf zur Wärmeherzeugung. <http://www.bosy-online.de> (24.11.2009).
- Huenges, Ernst (2009): Persönliche Mitteilung; 08.12.09.
- IBA Hamburg (2008): Klimafaktor Metropole - Klimaschutzkonzept Erneuerbares Wilhelmsburg; <http://www.iba-hamburg.de>.
- ICU/ Witzenhausen-Institut [Ingenieurconsulting Umwelt und Bau/ Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH] (2009): Nutzung von Biomasse in Berlin: Endbericht - Kurzfassung; <http://www.berlin.de>.
- ICU / Witzenhausen-Institut [Ingenieurconsulting Umwelt und Bau/ Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH] (2009): Nutzung von Biomasse in Berlin: Endbericht - Kurzfassung; <http://www.berlin.de>.
- IEA (2002): World Energy Outlook; OECD / IEA, Paris.
- ifeu [Institut für Energie- und Umweltforschung GmbH] (2004): CO2-Minderungskonzept für die Stadt Augsburg - Auszug aus dem Endbericht; <http://www2.augsburg.de>.
- ifeu [Institut für Energie- und Umweltforschung GmbH] (2008a): Energie und Klimaschutzkonzept für die Stadt Frankfurt am Main 2008 - Vorläufiger Endbericht im Auftrag der Stadt Frankfurt am Main; <http://www.ifeu.de>.
- ifeu [Institut für Energie- und Umweltforschung GmbH] (2008b): Energiekonzept Mainz 2005-2015: Energie und Verkehr; <http://www.ifeu.de>.
- ifeu/ arrhenius [Institut für Energie- und Umweltforschung gGmbH / arrhenius Institu für Energie- und Klimapolitik] (2007): Das Steinkohle-Kraftwerk Hamburg Moorburg und seine Alternativen (im Auftrag des Bund für Umwelt und Naturschutz e. V.); <http://www.ifeu.org>.
- IVU Traffic Technologies/ Land Brandenburg et al. [IVU Traffic Technologies AG, Ministerium für Wirtschaft des Landes Brandenburg, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin] (o. J.): Portal Geothermie; <http://www.geo-brandenburg.de> (22. 5. 2009).
- IWR [Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien] (2009): Erste Elektro-Tankstelle von Vattenfall in Berlin eröffnet - Feldversuch für Elektrofahrzeuge gestartet. <http://www.iwr.de> (02.07.2009).
- IWR [Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien] (o. J.): Biodieseltankstellen in Deutschland. www.iwr.de (01.07.2009).

- IWU [Institut Wohnen und Umwelt GmbH] (2008): Wirtschaftlichkeit energieeinsparender Maßnahmen im Bestand vor dem Hintergrund der novellierten EnEV; Darmstadt.
- IWU/ Öko-Institut et al. [Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Öko-Institut, Steinmüller / Sustainability Management Consulting] (2002): Klimaschutzkonzept für die Wissenschaftsstadt Darmstadt; <http://www.iwu.de>.
- IZW e.V. (2009): Deutschland: Wärmepumpen. <http://www.hp-summit.de> (24.11.2009).
- Jacobs, Stefan (2009): Wind aus den Rädern genommen. In: Tagesspiegel, S. <http://www.tagesspiegel.de>.
- Kaltschmitt, M./ Streicher, W. et al. (2006): Erneuerbare Energie – Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte; Leipzig.
- Kaltschmitt, Martin/ Andreas, Wiese et al. (Hrsg.) (2003a): Erneuerbare Energien - Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte; 3. Auflage; Berlin, Heidelberg, New York.
- Kaltschmitt, Martin/ Merten, Dieter et al. (2003b): Energiegewinnung aus Biomasse - Externe Expertise für das WBGU-Hauptgutachten 2003 "Welt im Wandel: Energiewende zur Nachhaltigkeit"; <http://www.wbgu.de>.
- Kaltschmitt, Martin/ Müller, Markus [Institut für Energetik und Umwelt] (2005): Stand der geothermischen Strom- und Wärmeerzeugung in Deutschland. <http://www.ie-leipzig.com>.
- Kirschner, Bernd (2009): Klimaschutz und Wirtschaftlichkeit in der Wohnungswirtschaft; Berliner Energietage, 05.05.2009, Berlin.
- klima:aktiv (o.J.): Solare Kühlung. www.solarwärme.at (26.11.2009).
- Klinski, Stefan/ Buchholz, Hanns et al. [im Auftrag des Umweltbundesamtes] (2007): Entwicklung einer Umweltstrategie für die Windenergienutzung an Land und auf See - UBA-Texte Climate Change 06/07; <http://www.umweltdaten.de>.
- Koldehoff, Werner B./ Urbschat, Christoph (2007): Aktuelle Markt- und Branchentrends für Solarwärme. Beitrag zum Branchen- und Exportforum Erneuerbare Energien am 17.4.2007. www.german-renewable-energy.com (1.08.2007).
- Kraftwerks- und Anlagenbau AG [im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz des Landes Berlin] (1992): Potentialstudie der nutzbaren Wasserkraft im Land Berlin.
- Kranz, S./ Bartels, J. et al. (2008): Wärme- und Kältespeicherung in Aquiferen. In: -brr- Fachmagazin für Brunnen- und Leitungsbau, Nr. 07+08/2009, S. 34-43.
- Kröger, Uwe [Bundesverband Kleinwindanlagen] (2009): Schriftliche Auskünfte zu Einsatzmöglichkeiten und Wirtschaftlichkeit von Kleinwindanlagen.
- Lambauer, J./ Fahl, U. et al. (2008): Industrielle Großwärmepumpen - Potenziale, Hemmnisse und Best-Practice Beispiele. <http://www.ier.uni-stuttgart.de> (24.11.2009).
- Langniß, Ole/ Böhnisch, Helmut et al. (2006): Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung Erneuerbarer Energien (Marktanreizprogramm) im Zeitraum Januar 2004 bis Dezember 2005; Stuttgart, Straubing.
- Lecheler, Stefan (2005): Geothermie: Was ist das? Eine Einführung von Stefan Lecheler. <http://www.alea-consulting.de>.
- Limberg (2009): Persönliche Mitteilung; 09.09.09.
- Mantau, U./ Sörgel, C. (2006): Holz-Brennstoffverbrauch in Privathaushalten. In: BFH-Nachrichten, Nr. 4/2006, S.
- Märkische Allgemeine (2009): Q-Cells hat Pachtvertrag für Solarpark auf Spandauer Seite unterschrieben. In: S. <http://www.maerkischeallgemeine.de>.
- Meyer, Jens-Peter (2007a): Auf der Schwelle zum Markt. In: Sonne Wind & Wärme, Nr. S.
- Meyer, Jens-Peter (2007b): Sonnenwärme von der Stange. In: Sonne Wind & Wärme, Nr. 3, S. 50-66.
- Meyer, Jens-Peter (2008): Hindernisse überwiegen. In: Sonne, Wind & Wärme, Nr. S. 50-52.
- Meyer, Nils I. (2003): European schemes for promoting renewables in liberalised markets. In: Energy Policy, Nr. 31/2003, S. 665-676.
- Morhart, Alexander (2009): Die Sonne im Netz. In: Sonne Wind & Wärme, Nr. S. 48-51.
- Nast, Michael/ Lehr, Ulrike et al. (2009): Ergänzende Untersuchungen und vertiefende Analysen zu möglichen Ausgestaltungsvarianten eines Wärmegesetzes. Endbericht; www.erneuerbare-energien.de (17.11.2009).
- Nitsch, J./ Trieb, F. (2000): Potentiale und Perspektiven regenerativer Energieträger; [Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. Abteilung Systemanalyse und Technikbewertung]; Gutachten im Auftrag des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Stuttgart.

- Nitsch, Joachim (2007): Leitstudie 2007 "Ausbaustrategie Erneuerbare Energien" Aktualisierung und Neubewertung bis zu den Jahren 2020 und 2030 mit Ausblick bis 2050; Untersuchung im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, <http://www.bmu.de>.
- ÖIR [Österreichisches Institut für Raumordnung] (2009): REGIO Energy. <http://www.regioenergy.at/> (22. 5. 2009).
- Öko-Institu & Partner (2004): Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse; Verbundprojekt gefördert vom BMU im Rahmen des ZIP, Projektträger: FZ Jülich.
- Öko-Institut (2004): Kommunale Strategien zur Reduktion der CO₂-Emissionen um 50% am Beispiel der Stadt München - Endbericht im Auftrag der Landeshauptstadt München; <http://www.muenchen.de>.
- Öko-Institut (2007): Klimaschutz-Strategie der Stadt Freiburg - Abschlussbericht: Szenarien und Maßnahmenplan (Version 3.3); <http://www.oeko-institut.de>.
- Paschen, Herbert/ Oertel, Dagmar et al. [Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag] (2003): Möglichkeiten geothermischer Stromerzeugung in Deutschland - Sachstandsbericht; <http://www.tab.fzk.de>.
- Pehnt, Martin [Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg] (2009): Marktsituation, Wirtschaftlichkeit, Umweltverträglichkeit, Förderung; Workshop Akzeptanz und Potenzial kleiner vertikaler Windenergieanlagen – Ergebnisse eines interdisziplinären BMU-Forschungsprojekts, 23. 9. 2009, Halle.
- Potsdamer Neueste Nachrichten (2008): Schadenersatz statt Windkraftträder? Stahnsdorf droht eine Klage, Stadtgüter kündigen aber Kompromissbereitschaft an. In: S. <http://www.pnn.de>.
- PRO-STO (o.J.): STO Datenbank. In: Nr. S.
- Prognos AG (2009): Begleittext zur Studie "Energietrends 2020 für Haushalte". <http://www.prognos.com> (24.11.2009).
- Projektgruppe Solarthermie (2008): Förderkonzept „Solarthermie2000plus“. Status der bewilligten Anlagen, Nutzwärmekosten. Stand: 31.12.2008. www.solarthermie2000plus.de (02.10.2009).
- Röben, Jürgen (2003): Wärmerückgewinnung mit Wärmepumpen im Schwimmbad; <http://www.ihks-fachjournal.de> (27.11.09).
- Russ, Christel (2009): Monitoring - Wärmepumpen im Gebäudebestand; Volume <http://www.guetesiegel-erdwaerme.at>.
- RWE [RWE AG] (o. J.): Holzheizkraftwerk Berlin-Neukölln/Gropiusstadt. <https://www.rwe.com> (01.07.2009).
- Sanner, B. (2008): Potenziale und Möglichkeiten der Erdwärmenutzung: Oberflächennahe Geothermie, Klimatisierung, Energiespeicherung. <http://www.ubeg.de> (24.11.2009).
- Sasse, C./ Kuhn, C. (2007): Thermische Nutzung von Gründungsbauwerken zum Heizen und Kühlen von Bürogebäuden. <http://www.igs.bau.tu-bs.de> (27.11.09).
- Sasse, Christian/ Schnürer, Herdis et al. (2006): Wärme- und Kältespeicherung im Gründungsbereich energieeffizienter Bürogebäude; Thermische Energiespeicherung - mehr Energieeffizienz zum Heizen und Kühlen, Freiburg, <http://www.enob.info> (27.11.09).
- Schnauß [Vattenfall] (2009): Persönliche Mitteilung; Berlin.
- Schüwer, D./ Fishedick, M. (2008): MINI-Technologiefolgenabschätzung Gas-Wärmepumpe. <http://www.ifeu.de> (24.11.2009).
- Senat Hamburg (2007): Hamburger Klimaschutzkonzept 2007-2012; <http://www.klima.hamburg.de>.
- Senat Hamburg (2008): Fortschreibung des Hamburger Klimaschutzkonzepts 2007-2012; <http://www.klima.hamburg.de/>.
- SenGUV [Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz Berlin] (2008a): Entwicklung der erneuerbaren Energien. <http://www.berlin.de/sen/umwelt> (02.07.2009).
- SenGUV [Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz] (2008b): Erdwärmenutzung in Berlin - Leitfaden für Erdwärmesonden und Erdwärmekollektoren mit einer Heizleistung bis 30 kW außerhalb von Wasserschutzgebieten; <http://www.berlin.de> (27.11.09).
- SenGUV [Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz Berlin] (2009): Siedlungsabfallwirtschaft in Berlin. www.berlin.de/sen/guv (01.07.2009).
- SenGUV [Berliner Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz] (o. J.): Klimaschutzvereinbarung im Rahmen des Landesenergieprogramms Berlin 2006 bis 2010; <http://www.berlin.de>.
- SenGUV/DGS [Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz Berlin/Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie Berlin] (2009): Solaranlagenkataster-Berlin. <http://www.solarkataster.de> (01.10.2009).

- SenStadt [Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin] (2005): 8.02.1 Versorgungsanteile der einzelnen Energieträger. Digitaler Umweltatlas Berlin, 08.02 Überwiegende Heizungsarten 2000 (Ausgabe 2005), <http://www.stadtentwicklung.berlin.de> (01.07.2009).
- SenStadt [Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin] (2007): Flächennutzungsplan Änderung, Aufhebung Textliche Darstellung Nr. 5, Lfd. Nr. 06/05. <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen> (02.07.2009).
- SenStadt [Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin] (2008a): 06.07 Stadtstruktur (Ausgabe 2008). Digitaler Umweltatlas Berlin: 06.07 Stadtstruktur 2005 (Ausgabe 2008), <http://www.stadtentwicklung.berlin.de> (01.07.2009).
- SenStadt [Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin] (2008b): 08.06 Solare Flächenpotenziale (Ausgabe 2008). Digitaler Umweltatlas Berlin: 06.07 Stadtstruktur 2005 (Ausgabe 2008), <http://www.stadtentwicklung.berlin.de> (01.07.2009).
- SenStadt [Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin] (2008c): Flächennutzungsplan Berlin. Arbeitskarte, aktueller Stand, <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen> (02.07.2009).
- SenStadt [Senatsverwaltung für Stadtentwicklung] (o. J.): 04.03 Bodennahe Windgeschwindigkeiten. Digitaler Umweltatlas Berlin, <http://www.stadtentwicklung.berlin.de> (01.07.2009).
- SenStadt [Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin] (o. J.): Energiebericht 1997-2000, Energie- und Klimaschutzpolitik in Berlin.
- Solkav Swiss AG (o.J.): Solarabsorber in Kombination mit einer gasmotorbetriebenen Wärmepumpe; <http://www.pressebox.de> (27.11.09).
- SPD-Hennickendorf (2009): Solarstrom von ehemaliger Kippe - Bernauer Firma will Anlage an der B1/5. <http://spdnet.sozi.info/brandenburg/mol/hennickendorf/> (11. 11. 2009).
- Stadt Heidelberg/ ifeu [Amt für Umweltschutz, Gewerbeaufsicht und Energie, Stadt Heidelberg/ Institut für Energie- und Umweltforschung GmbH] (2006): Klimaschutzkonzept Heidelberg 2004; Fortschreibung des Handlungsorientierten kommunalen Konzepts zur Reduktion von klimarelevanten Spurengasen für die Stadt Heidelberg 1992, <http://www.heidelberg.de>.
- Staiß, Frithjof (2007): Jahrbuch Erneuerbare Energien 2007; Stiftung Energieforschung Baden-Württemberg (Hrsg.), Radebeul.
- Staiß, Frithjof/ Schmidt, Maike et al. [Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW)] (2007): Vorbereitung und Begleitung der Erstellung des Erfahrungsberichtes 2007 gemäß § 20 EEG; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit <http://www.erneuerbare-energien.de> (01.07.2009).
- Statistisches Landesamt Berlin (2005): Energiebilanz für Berlin 2003 in spezifischen Mengeneinheiten; <http://www.statistik-berlin.de>.
- Steyer, Claus-Dieter (2009): Geschäft mit der Sonne. In: Tagesspiegel, S. <http://www.tagesspiegel.de>.
- Stoltenberg Energie GmbH (2006): Wärmepumpen in Hallen- und Freibädern. In: Nr. S.
- Stryi-Hipp, Gerhard/ Schnauss, Martin et al. [Bundesverband Solarwirtschaft e.V.] (2007): GroSol. Studie zu großen Solarthermieanlagen; BSW Berlin.
- Tagesspiegel (2006): Abwasser heizt die Sporthalle auf. Kreuzberger Modell zapft die Kanalisation an. Tagesspiegel online, 22.08.2006, <http://www.tagesspiegel.de> (02.07.2009).
- Tagesspiegel (2009): Versuch mit Wasserstoffbussen verpufft. Tagesspiegel online, 08.03.2009, <http://www.tagesspiegel.de> (02.07.2009).
- Thoma, Michael (2009): Solarenergie in Schwimmbädern. Erfahrungsbericht der Berliner Bäder-Betrieben. Expertenforum Solarenergie DGS 2009. www.dgs.de (17.11.2009).
- Thürmer, Andreas (2008): Der Beitrag der Abfallwirtschaft für die Berliner Klimapolitik; 7. Fachkonferenz zur Abfallwirtschaft in der Region Brandenburg-Berlin, 20.11.2008, Berlin.
- UBA [Umweltbundesamt] (2007): Elektrische Wärmepumpen – eine erneuerbare Energie? Dessau, <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3192.pdf> (27.11.09).
- umweltplan [umweltplan projekt GmbH] (2008): Nutzungspotenziale für Windenergie und Freiflächen Photovoltaik auf Eigentumsflächen der Berliner Stadtgüter GmbH.
- UnternehmensGrün (2008): Potentialabschätzung 100% Strom aus Erneuerbaren Energien in der Metropolregion Rhein-Neckar bis 2030; <http://unternehmensgruen.de>.
- Uphoff, Harald (2009): Interview zu Potenzialen und Wirtschaftlichkeit der Wasserkraftnutzung in Deutschland; August 2009.

- v. Tengg-Kobligk, Dietrich (2009): Interview zur Windenergienutzung in Berlin und auf Flächen der Berliner Stadtgüter GmbH; November 2009, Bernau.
- Vach, Frank (2008): Informationen zum Bau der ersten Berliner Windenergieanlage. <http://www.berlin.de> (02.07.2009).
- Vach, Frank (2009): Interview zur Windenergienutzung in Berlin und auf Flächen der Berliner Stadtgüter GmbH; November 2009, Bernau.
- Vattenfall [Vattenfall Europe Berlin AG] (2009a): Bezirk Spandau und Vattenfall sparen 3.300 Tonnen CO₂ ein. Landschaftspflegeholz wird im Heizkraftwerk Reuter als Brennstoff genutzt. Pressemitteilung, 25.03.2009, <http://www.pressrelations.de> (02.07.2009).
- Vattenfall [Vattenfall Europe Berlin AG] (2009b): Strom und Fernwärme für Berlin: Energiekonzept von Vattenfall. <http://www.vattenfall.de> (01.07.2009).
- Vattenfall [Vattenfall Europe Berlin AG] (o. J.): Biomasse erzeugt klimaneutral Energie. <http://www.vattenfall.de> (01.07.2009).
- Vattenfall Europe Transmission (o. J.): EEG Jahresabrechnung. <http://www.vattenfall.de> (01.10.2009).
- VDI (2000): VDI 2067 Blatt 1. Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Grundlagen und Kostenberechnungen; Ingenieure, Verein Deutscher.
- Wagner, U./ Held, A. et al. (2009): Energiewirtschaftliche Bewertung der Wärmepumpe in der Gebäudeheizung, Zusammenfassung der Studie. <http://www.waermepumpe.de> (24.11.2009).
- Wedewardt, Marec (2009): Persönliche Mitteilung; 09.09.09.
- Welt online (2009): Weihnachtsbäume beheizen 700 Berliner Haushalte ein Jahr lang. <http://www.welt.de> (24. 11. 2009).
- Wenzelides, Marcus; Hagemann, Heiko; Schulte, Andreas (2006): Mobilisierbare Holzpotenziale geringer als erwartet. Ergebnisse einer Pilotstudie für Nordrhein-Westfalen zeigen nur sehr begrenzte Reserven an Dendromasse - Teil 1. In: Holz-Zentralblatt, Nr. 38, S. 1090.
- Wetzel, Daniel (2007): Zehn Prozent Biogas für Berlin. Der Berliner Energieversorger Gasag will in großem Stil Biogas in sein Berliner Leitungsnetz einspeisen. Berliner Morgenpost online, 11.11.2007, <http://www.morgenpost.de> (02.07.2009).
- Witt, Andreas (2007): Wärmepumpen plus Solarthermie. In: Solarthemen, Nr. 252, S. 3.
- Wraneschitz, Heinz (2009a): Stiftung soll Solaranlagen finanzieren. In: Solarthemen:kom, Nr. Herbst 2009, S. 4.
- Wraneschitz, Heinz (2009b): Wasserkraft zum Nachrüsten. In: Solarthemen, Nr. 313, S.
- Wuppertal Institut / Siemens [Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH / Siemens AG] (2009): Sustainable Urban Infrastructure: Ausgabe München - Wege in eine CO₂-freie Zukunft; <http://w1.siemens.com>.
- ZSW/ Fraunhofer ISI [Zentrum für Sonnenenergie und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg, Fraunhofer Institut Systemtechnik und Innovationsforschung] (2004): Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien (Marktanreizprogramm) im Zeitraum Januar 2002 bis August 2004; <http://www.zsw-bw.de>.

8 Anhang

8.1 Potenzialermittlungsmethoden – Eine Literaturlauswertung

8.1.1 Potenzialermittlungsmethoden im Bereich Solarenergie

In Städten besteht trotz des meist geringen (bzw. zur Energiegewinnung nutzbaren) Freiflächenanteils ein großes Potenzial zur Nutzung der Solarenergie für die Wärmeerzeugung in Solarthermie-Kollektoren oder die Stromerzeugung mit Photovoltaikanlagen. Dafür kommen vor allem oft ungenutzte und quasi „unsichtbare“ Dachflächen, aber auch Fassadenflächen in Frage. Bei Nutzung Letzterer sind jedoch in stärkerem Ausmaß Verschattungseffekte sowie städtebauliche und architektonische Aspekte (z. B. Denkmalschutz) zu berücksichtigen.

Im Allgemeinen sind zur Ermittlung solarer Potenziale im urbanen Raum komplexe, konkret auf den Betrachtungsraum bezogene Analysen notwendig. Dabei müssen neben der lokalen Sonneneinstrahlung Aspekte der Gebäude- und Siedlungsstruktur beachtet werden. In den meisten bisher angewandten Potenzialermittlungsmethoden werden aus den verfügbaren Dachflächen, abhängig von Standortfaktoren wie Ausrichtung, Beschattung, Dachneigung etc., spezifische technische Potenziale ermittelt (vgl. z. B. Kaltschmitt und Wiese, Quaschnig (beide zitiert in Everding (2007), SUN-AREA (FH Osnabrück (FH Osnabrück o. J.) und Everding (2007)). Dazu können beispielsweise Laserscan-Daten und GIS-Funktionen wie im Projekt SUN-AREA für die Stadt Osnabrück herangezogen werden (FH Osnabrück o. J.) Zur weiteren Eingrenzung der so ermittelten Dachflächenpotenziale können im Anschluss technische, wirtschaftliche und baukulturelle (z. B. Denkmalschutz) Aspekte mit einbezogen werden. Everding ermittelte auf diese Weise so genannte solarurbane Gütezahlen bzw. solarurbane Flächenpotenziale (Everding 2007). Eine auf der Einteilung in Stadtraumtypen basierende Ermittlung des so genannten „solarurbanen Flächenpotenzials“ wurde mit dem „Solaren Rahmenplan“ für Berlin bereits durchgeführt (Everding et al. 2006) und dient in dieser Studie als Grundlage für eigene Abschätzungen.

Eine Ausweitung der Solarenergienutzung ist Bestandteil zahlreicher **Energie- und Klimaschutzkonzepte**. Viele der Konzepte beschränken sich dabei jedoch lediglich auf die pauschale Angabe von Ausbauzielen, ohne die vorhandenen Potenziale methodenbasiert zu ermitteln bzw. ohne die (ggf. dahinter liegenden) Methoden anzugeben.

- Beispielsweise wird im Energie- und Klimaschutzkonzept für die Stadt Frankfurt am Main eine Verfünfachung der Solarthermie-Anlagen und eine Verdreifachung der installierten solaren elektrischen Leistung im Zeitraum von 2005-2015 vorgeschlagen (ifeu 2008a: 31).
- In der Klimaschutz-Strategie der Stadt Freiburg wird im analysierten „Fokus Stadt“ Szenario ohne Erläuterungen davon ausgegangen, „dass sich die installierte Leistung zwischen 2005 und 2030 auf dann knapp 20 MWp verdreifachen lässt“ (Öko-Institut 2007: 28).
- In der Studie „Kommunale Strategien zur Reduktion der CO₂-Emissionen um 50 % am Beispiel der Stadt München“ werden erneuerbaren Energien in Städten nur geringe Potenziale zugeschrieben, nur die Photovoltaik sei „praktisch unbegrenzt [...] einsetzbar“ (Öko-Institut 2004: 104).

Nur für zwei der hier untersuchten Energie- bzw. Klimaschutzkonzepte wird eine Potenzialermittlung durchgeführt:

- In der Studie „Das Steinkohle-Kraftwerk Hamburg Moorburg und seine Alternativen“ (ifeu/ arrhenius 2007) wird das solare Stromerzeugungspotenzial (Solarthermie wird nicht betrachtet) anhand von verfügbaren Dach- und anderen versiegelten Verkehrs- und Industrieflächen (nach Daten der Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt 2004), der durchschnittlichen solaren Einstrahlung sowie unterschiedlicher Systemwirkungsgrade (nach einer häufig zitierten Diplomarbeit von Marr und Wehner 2005) abgeschätzt.
- In der „Potenzialabschätzung 100 % Strom aus Erneuerbaren Energien in der Metropolregion Rhein-Neckar bis 2030“ wird bezüglich einer Potenzialabschätzung für Solarenergie auf Studien für Berlin (solarer Rahmenplan), Fürth und Osnabrück („Sun Area“, siehe oben) verwiesen. Diese Methoden wurden für die Region jedoch nicht angewandt, sondern es erfolgte eine vorsichtige Abschätzung auf Basis der Osnabrücker Daten. Zusätzlich werden Potenziale für Freiflächenanlagen aus pauschalen Annahmen über den Anteil an landwirtschaftlichen und bereits versiegelten Flächen abgeleitet (UnternehmensGrün 2008: 12f).

8.1.2 Potenzialermittlungsmethoden im Bereich Biomasse / biogene Reststoffe

Einen guten Überblick über mögliche Vorgehensweisen zur Potenzialermittlung für verschiedene Biomassearten und –quellen bietet eine Studie von Kaltschmitt et al. für das WBGU-Hauptgutachten 2003 (Kaltschmitt et al. 2003b). Vorgehensweise und wichtige Parameter zur Abschätzung des technischen Potenzials je Energieträger werden für verschiedene Quellen im Folgenden stichwortartig aufgeführt:

Halmgutartige Biomasse, (Rückstände, Nebenprodukte, (Kaltschmitt et al. 2003b: 13ff))

- Statistische Angaben über Flächennutzung
- Hochrechnung des durchschnittlichen spezifischen Biomasseaufkommens pro Fläche für jeden Quellentyp (z.B. Friedhof, Straßenrand)
- Berücksichtigung konkurrierender Nutzung
- Schätzung des energetisch verwertbaren Anteils des Gesamtaufkommens je Quellentyp und / oder Energieträger
- Berechnung des Ertrags nach mittlerem Heizwert des jeweiligen Energieträgers (z. T. differenziert nach Quellentyp)

Holzartige Biomasse (Rückstände, (Kaltschmitt et al. 2003b: 17ff))

- Waldflächen, verfügbare Einschlagszahlen, mittlere, regional unterschiedliche Holzzuwächse
- Abfallquoten und Verbrauch der Holzverarbeitenden Industrie
- Volumen Gebrauchtholz
- Schätzung des energetisch verwertbaren Anteils des Gesamtaufkommens je Quellentyp und / oder Energieträger
- Berechnung des Ertrags nach einem mittleren Heizwert des Energieträgers je Quellentyp

Biogassubstrate aus Rückständen (Kaltschmitt et al. 2003b: 24ff)

- Sämtliche organische Stoffströme, die grundsätzlich für eine Biogaserzeugung verwendet werden können
- Betriebe mit Tierbestandszahlen unter 20 werden nicht berücksichtigt
- Ernteerträge sowie Korn-Stroh-Verhältnisse bzw. Frucht-Reststoff-Verhältnisse für geeignete Energieträger werden quantifiziert
- Für eine Biogaserzeugung verfügbarer Anteil wird quantifiziert
- Produktions- und Abfallmengen der Jahre 1998/1999 der Bierherstellung, der Produktion und Verarbeitung von Früchten, Weinkeltereien, Brennereien, der Milchproduktherstellung, Schlachthöfen, Fleischverarbeitung und Zuckerindustrie
- Einbeziehung organischer Haushaltsabfälle
- Ermittlung der technisch gewinnbaren Gasmenge auf Basis von Durchschnittswerten des spezifischen organischen Trockensubstanzgehaltes und des spezifischen Gasertrages
- aus Biogaserzeugungspotenzial und des zugrunde gelegten Heizwertes

Klärgas (Kaltschmitt et al. 2003b: 31)

- Abwasser- und Klärschlammaufkommen der öffentlichen und industriellen Abwasserreinigung
- Berechnung des Klärgaspotenzials auf Basis des Abwasserdurchsatzes aller Klärschlammstabilisierungsanlagen (ab 10 000 angeschlossenen Einwohnern)
- Ermittlung eines technischen Energieträgerpotenzials anhand eines zugrunde gelegten Heizwertes

Deponiegas (Kaltschmitt et al. 2003b: 32)

- Kein technisches Potenzial, sondern Abschätzung zukünftiger Nutzung
- Anhand existierender abfallrechtlicher Rahmenbedingungen und Anlagentechnik Voraussage von Nutzungsverläufen der nächsten Jahre
- Berechnung zukünftiger Nutzung auf Grundlage der Nutzungsquoten vergangener Jahre und geschätzter Schwachgasanteile
- Ertragsberechnung anhand eines zugrunde gelegten Heizwertes

Energiepflanzen (Kaltschmitt et al. 2003b: 33ff)

- Fläche, die für Energieproduktion zur Verfügung steht, ist direkt abhängig vom Flächenbedarf für die Nahrungsmittelerzeugung / anderer konkurrierender Flächennutzungsansprüche
- Berücksichtigung zukünftiger und bereits für die Energieproduktion genutzter Stilllegungsflächen aus der Nahrungsmittelproduktion
- Separate Berechnung der technischen Energiepotenziale nach Energiepflanzen: Getreideganzpflanzen, Miscanthus (Chinaschilf), Kurzumtriebsplantagen:
- Pflanzenölgewinnung: Winterraps, Saat/ha, Ölausbeute, Korn-Stroh-Verhältnis, Bergequote, Wassergehalt ergeben Energieträgerpotenzial hochgerechnet auf zur Verfügung stehende Fläche

- Festbrennstoffgewinnung: Mischanbau – Getreidepflanzen, Energiegräser, Kurzumtriebsplantagen – Ableitung eines Energieträgerpotenzials hochgerechnet auf zur Verfügung stehende Fläche, Energieträgerpotenzial
- Biogasgewinnung: Zwei-Kulturen-System, hochgerechnet auf zur Verfügung stehende Fläche, Biomasseaufkommen, Gasertrag, Heizwert, Energieträgerpotenzial
- Gesamtpotenzial wird auf Basis eines Anbaumixes für die ermittelte Fläche berechnet

Ein wissenschaftliches Modell für die Ermittlung regionaler Biomassepotenziale insbesondere aus der Landwirtschaft hat die FH Eberswalde entwickelt. Hier werden basierend auf Geodaten und mit Hilfe eines Biomasse-Ertragsmodells regionale Biomassepotenziale ermittelt. Wichtige Inputparameter für das Modell sind beispielsweise Landnutzungsdaten (Ackerflächen), Jahresniederschläge, sowie Acker- bzw. Bodenzahlen als Faktoren für die Ertragsfähigkeit eines Standortes. Das Modell liefert regional differenzierte Ergebnisse für eine standortangepasste Fruchtfolge, Erträge der Fruchtarten, Erträge der Koppelprodukte und Ernterückstände, sowie die Trockenmasseerträge pro Hektar und bezogen auf die Ackerfläche einer Region (Brozio et al. 2008).

Biomasse als erneuerbare Energie wird in eine Vielzahl der untersuchten **Energie- und Klimaschutzkonzepte** einbezogen. Wie im Bereich der Solarenergie werden jedoch auch hier in vielen Fällen nur Ausbauempfehlungen gegeben.

- Beispielsweise wird im „Energie- und Klimaschutzkonzept für die Stadt Frankfurt am Main 2008“ eine Verdreifachung (im Vergleich zu 2005) des Holzeinsatzes in Privathaushalten sowie die Ersetzung von 10 % der in HKW eingesetzten Kohle durch Biomasse in den nächsten 10 Jahren vorgeschlagen (ifeu 2008a: 31f).
- In der Klimaschutz-Strategie der Stadt Freiburg wird im "Fokus Stadt"-Szenario unterstellt, „dass ab 2015 20 % des Gasbedarfs des WVK sowie 33 % des Gasbedarfs des BHKW Landwasser auf Biogas umgestellt werden“. Dieses würde hauptsächlich „außerhalb der Stadtgrenzen erzeugt“, dazu wären Importe, auch überregional, erforderlich (Öko-Institut 2007: 27).

Auch in vielen anderen Energie- und Klimaschutzkonzepten wird im Bereich Biomasse auf das Umland verwiesen – wofür teilweise auch Potenzialermittlungen durch- oder aufgeführt werden.

- So werden etwa für die „Metropolregion Hamburg“ Biomassepotenziale abgeschätzt (ifeu/ arrhenius 2007: 67),
- für München wird auf vorhandene Potenzialstudien (Öko-Institut 2004: 101ff)
- und für Mainz auf die Planung einer Strategie zur optimalen Nutzung der Ressourcen aus Stadt und Umland verwiesen (ifeu 2008a: 88).
- Im „Klimaschutzkonzept für die Wissenschaftsstadt Darmstadt“ wird das Wärmeerzeugungspotenzial des ungenutzten Restholzes aus den Darmstädter Forsten aufgeführt (IWU et al. 2002: 35).
- In der „Potenzialabschätzung 100 % Strom aus Erneuerbaren Energien in der Metropolregion Rhein-Neckar bis 2030“ erfolgt die Ermittlung von Biomassepotenzialen über Flächenverteilung, prozentuale Anteile (z. B. Anbau schnell wachsender Hölzer im Kurzumtrieb auf 5 % der landwirtschaftlichen Flächen), durchschnittliche Energiegehalte, durchschnittliches Aufkommen biogener Abfälle pro Einwohner und die durchschnittliche Energiegewinnung bei der Verstromung (UnternehmensGrün 2008: 8ff).

8.1.3 Potenzialermittlungsmethoden im Bereich Windenergie

Elementare Grundlage für die Abschätzung von Windenergiepotenzialen ist die standortbezogene **Ermittlung durchschnittlicher Windgeschwindigkeiten** auf Nabenhöhe. Dazu können verfügbare Windkarten genutzt werden, jedoch muss dabei beachtet werden, dass Topographie und Oberflächenbeschaffenheit lokale Geschwindigkeiten stark verändern können (Kaltschmitt et al. 2003a: 327).

Zweites wichtiges Kriterium ist das **Ausmaß verfügbarer Flächen**. Dazu werden im Maximalfall ohne Betrachtung von Restriktionen sämtliche landwirtschaftliche Flächen gezählt (DIW/ ZSW 2007: 45). Bei Berücksichtigung von Ausschluss- bzw. Nichteignungsgebieten werden in der Regel Siedlungs-, Naturschutz- und Hochgebirgsgebieten abgezogen (z.B. in Kaltschmitt et al. 2003a: 326), ebenso wie aus technischer bzw. rechtlicher Sicht problematische Gebiete (Verband der Elektrizitätswerke Österreich (VEÖ) 1997, zitiert in Hantsch/ Moidl 2007: 23). Darüber hinaus sind gültige Abstandsregelungen zu beachten (Klinski et al. 2007: 10f).

Die Abschätzung des **Stromerzeugungspotenzials** erfolgt im Allgemeinen über durchschnittliche Volllaststunden pro Jahr. Diese können anhand gemittelter Windgeschwindigkeiten oder der Auslastung bereits im Gebiet vorhandener Anlagen (z. B. DIW/ ZSW 2007: 45) sowie für ausgewählte Referenzanlagen oder eine durchschnittliche Anlagenleistung (z. B. Kaltschmitt et al. 2003a: 328) ermittelt werden. In einer vom UBA in Auftrag gegebenen Studie wird außerdem auf eine mögliche Begrenzung der Nabenhöhe im Rahmen von zukünftiger Regionalplanung und kommunaler Bauleitplanung hingewiesen (Klinski et al. 2007: 11).

Die Nutzung von effizienten **Windenergieanlagen ist in Städten** durch rechtliche (z. B. Lärmschutz) und planerische (Flächennutzungspläne) Rahmenbedingungen sowie mangelnde Akzeptanz der Bevölkerung oft erheblichen Einschränkungen unterworfen. **Kleinwindanlagen** (meist mit Vertikalachsenrotoren) könnten diesbezüglich eine Alternative in urbanen Räumen darstellen. Jedoch führen die rauen Oberflächen in Stadtgebieten (Hauskanten, Dächer etc.) oft zu Verwirbelungen, die eine Nutzung der Windenergie erschweren. Außerdem werden Kleinwindanlagen heute als noch nicht wirtschaftlich bewertet (Genske et al. 2009: 14f).

Der Bereich Windenergie wird lediglich in 5 der 14 betrachteten Energie- und Klimaschutzkonzeptstudien behandelt, grundsätzlich ist ihr Einsatz in Städten aufgrund der genannten Restriktionen nur selten vorgesehen.

- Die Studie „Das Steinkohle-Kraftwerk Hamburg Moorburg und seine Alternativen“ zitiert bezüglich der in der „Metropolregion Hamburg“ nutzbaren Windenergie Potenzialermittlungen von DEWI und Bundesverband WindEnergie und nimmt zusätzlich eigene Abschätzungen über angenommene Zuwachsraten und Möglichkeiten für Repowering vor (ifeu/ arrhenius 2007).
- Im „Aktionsprogramm Klimaschutz 2010“ der Hansestadt Bremen werden Ausbaupotenziale ohne jegliche Erläuterung angegeben (Freie Hansestadt Bremen 2008: 8ff).

Oft werden jedoch – analog zu anderen EE-Bereichen – nur oder vor allem Empfehlungen für den Ausbau der Windenergienutzung ausgesprochen,

- beispielsweise im „Klimaschutzkonzept Erneuerbares Wilhelmsburg“ (IBA Hamburg 2008: 13).
- Im Rahmen der Potenzialabschätzung für die „Metropolregion Rhein-Neckar“ wird zwar auf eine Potenzialermittlung des Metropolverbandes hingewiesen, diese jedoch nicht näher betrach-

tet. Stattdessen wird lediglich die Errichtung eines Windparks vorgeschlagen – und starke Kritik an den geringen Flächen der ausgewiesenen Vorranggebiete für die Windenergienutzung („Verhinderungsplanung“) geübt (UnternehmensGrün 2008: 13ff).

- Im Fall von Augsburg wird ebenfalls der Bau eines Windparks vorgeschlagen, dafür werden jedoch zusätzlich Windmessungen und konkrete Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen gefordert (ifeu 2004: 147).

8.1.4 Potenzialermittlungsmethoden im Bereich Wasserkraft

Da die Nutzung Lauf- und Speicherwasserkraft zur Energieerzeugung bereits lange Tradition hat, existiert eine sehr detaillierte Unterteilung nach verschiedenen Potenzialarten, die bereits vielfach ermittelt wurden. Das theoretische Potenzial kann wie folgt ermittelt werden:

- als Flächenpotenzial (Niederschlags- oder Abflussflächen - oberste Potenzialgrenze), berechnet über Niederschlag (ggf. abzüglich Verdunstung und Versickerung) und Höhenunterschied (zu dem Punkt, an dem das Wasser das betrachtete Gebiet verlässt),
- oder als Linienpotenzial von erfassten Fließgewässern (über mittlere jährliche Abflüsse und Höhenunterschiede bis zum nächsten Vorfluter oder Verlassen des Untersuchungsgebietes).

Das Stromerzeugungspotenzial kann unter Abzug der bereits genutzten Potenziale über durchschnittliche jährliche Regelarbeitsvermögen abgeschätzt werden (Kaltschmitt et al. 2003a: 372ff).

Die Nutzung der Wasserkraft ist in vielen Städten aufgrund geographischer, hydrologischer, aber auch rechtlicher Gegebenheiten meist von untergeordneter Bedeutung. Da vorhandene Potenziale oft bereits größtenteils erschlossen sind, konzentrieren sich Maßnahmen häufig auf Ausbau und Reaktivierung bereits bestehender Standorte.

- So wird beispielsweise im CO₂-Minderungskonzept der Stadt Augsburg eine Steigerung der Stromerzeugung aus Wasserkraft um 20 % bei Reaktivierung und Ausbau bestehender Wasserkraftwerke für möglich gehalten und auf Potenzialerhebungen in einer Projektarbeit an der FH Augsburg Bezug genommen (ifeu 2004: 144).
- In der Studie für München wird ein zusätzliches Potenzial durch Reinvestitionen in bereits bestehende Wasserkraftwerke in der Höhe von 5-10 % der heutigen Nutzung abgeschätzt. Zusätzlich werden einzelne Neubauprojekte vorgeschlagen, die in der Vergangenheit von den Stadtwerken aus Kostengründen nicht weiter verfolgt wurden (Öko-Institut 2004: 216).
- Für Berlin wurde eine entsprechende Potenzialermittlung bereits 1992 durch die Kraftwerks- und Anlagenbau AG durchgeführt (siehe auch Abschnitt 4.5).

8.1.5 Potenzialermittlungsmethoden im Bereich Geothermie (Wärmepumpen, tiefe Geothermie)

Eine Abschätzung des Potenzials für horizontale Erdwärmekollektoren ist über die Ermittlung nutzbarer Freiflächen (d.h. ohne Straßen, Gebäude etc.) möglich. Dabei wird in der Regel eine 1,5-2-fach so große Fläche im Vergleich zu der zu beheizenden Fläche benötigt. Eine Verringerung des Flächenbedarfs gegenüber horizontal verlegten Kollektoren kann durch die Nutzung von Grabenkollektoren erreicht werden (ca. 2 m Grabenlänge pro kW Heizleistung, vgl. (Kaltschmitt et al.

2003a: 396). In Berlin werden jedoch nahezu ausschließlich vertikale Erdwärmesonden eingesetzt, die einen deutlich geringeren Flächenbedarf aufweisen.

Die Grundlage für die Ermittlung des durch Erdwärmesonden und Wärmepumpen grundsätzlich nutzbaren oberflächennahen Geothermiespotenzials bilden Angaben über vorherrschende Temperaturen sowie den geologischen und hydrogeologischen Aufbau des Untergrundes (Art und Mächtigkeit der Gesteine, Grundwasserstand und -fließverhältnisse). Über spezifische Entzugsleistungen für verschiedene Untergründe kann anschließend ein mögliches Nutzungspotenzial berechnet werden (Genske et al. 2009: 17ff). Entsprechende Informationen dienen beispielsweise zur Erstellung von Karten durch den Geologischen Dienst NRW, die die geothermische Ergiebigkeit in verschiedenen Tiefenschichten darstellen. Diese wurden in Form von CD-Roms für private Bauherren bzw. Planungs-, Architektur- und Ingenieurbüros veröffentlicht (GD NRW 2004).

Um gegenseitige Beeinflussungen zu vermeiden, sollten gewisse Mindestabstände zwischen Erdwärmesonden eingehalten werden, z. B. 15 m bei einer Sondenlänge von 80 m (Sanner 2008, zitiert in Genske et al. 2009: 18). Zusätzlich sind bei Potenzialermittlungen Einschränkungen durch Wasserschutzgebiete und Georisiken (wie Hohlräume im Gestein) zu beachten (GD NRW 2004), ab 100 m Tiefe greift außerdem das deutsche Bergrecht (Genske et al. 2009: 18). In Berlin kommt der Berücksichtigung von Wasserschutzgebieten besonders große Bedeutung zu, da hier Grundwasser zur Trinkwasserversorgung genutzt wird. Für Berlin und Brandenburg steht als Erstinformation für die oberflächennahe Geothermienutzung bereits eine interaktive Karte der Wasserschutzgebiete und Schutzzonen zur Verfügung (IVU Traffic Technologies et al. o. J.).

Da die mit Hilfe von Wärmepumpen gewonnene Erdwärme nicht über größere Entfernungen transportiert werden kann, ist jedoch weniger die Abschätzung des grundsätzlich nutzbaren Wärmepotenzials, sondern eher die Ermittlung des langfristigen Bedarfspotenzials von Interesse. So wird etwa im Projekt „REGIO Energy“ im Rahmen des österreichischen Forschungsprogramms „Energie der Zukunft“ (ÖIR 2009) zunächst der Wärmebedarf über eine Einteilung des Bestandes in 24 Gebäudeklassen bestimmt. Auf dieser Basis erfolgt die Berechnung eines technischen Potenzials für das vor Ort effizienteste Wärmequellsystem (Wasser, Boden oder Luft) mit Hilfe entsprechender Jahresarbeitszahlen für Wärmepumpen. Im zweiten Schritt erfolgt die Abschätzung des „reduzierten technischen Potentials“, dabei wird eine minimale Jahresarbeitszahl von 3 als Kriterium für den Raumwärmebereich angenommen. Daraus resultiert, dass die Nutzung von Luftwärme nicht sinnvoll erscheint.

Exkurs Tiefengeothermische Stromerzeugung: Wichtigstes Kriterium für die Nutzung tiefer Geothermie zur Stromerzeugung ist ein ausreichender Wärmeinhalt im betrachteten Gesteinsvolumen. Potenzialermittlungen für Deutschland fanden beispielsweise im Rahmen der Erstellung eines Gutachtens durch das Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB, (Paschen et al. 2003)) statt. In diesem Bericht sind u. a. zwei verschiedene Methoden zur Abschätzung des technischen Potenzials enthalten. Wichtige Parameter der Methode nach Jung et al. 2002 (zitiert in Paschen et al. 2003: 106ff) sind z. B. Wärmeinhalt [J], spezifische Wärmekapazität des Gesteins [J / kg K], Dichte des Gesteins [kg / m³], Temperatur des Gesteins [°C], Temperatur an der Erdoberfläche [°C] sowie ein Gewinnungsfaktor, der mittels eines Geometrie- und einen Temperaturfaktors und des Wirkungsgrades bei der Stromerzeugung berechnet wird. Im TAB-Gutachten werden u. a. technische Potenziale für Heißwasser-Aquifere und kristalline Gesteine des norddeutschen Beckens – in dem auch Berlin gelegen ist – abgeschätzt (Paschen et al. 2003: 26ff, 37ff). Für Berlin ist laut Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz (SenGUV) ebenfalls eine Studie zu den tiefen Geothermie-Potenzialen in Arbeit.

In den untersuchten **Energie- und Klimaschutzkonzeptstudien** werden Geothermie-Potenziale lediglich in der Fortschreibung des Klimaschutzkonzepts für Hamburg behandelt:

- Es sollen geowissenschaftliche Fachdaten des Geologischen Landesamtes aus dem Jahr 2007 über einen Webdienst zur Ersteinschätzung des oberflächennahen Geothermiepotenzials zur Verfügung gestellt werden, Machbarkeitsstudien für die Nutzung der Tiefengeothermie sind geplant (Senat Hamburg 2008: 42, 119).
- Das Klimaschutzkonzept „Erneuerbares Wilhelmsburg“ enthält Informationen über eine entsprechende Probebohrung in einem Hamburger Gewerbegebiet (IBA Hamburg 2008: 13).
- Im Klimaschutzkonzept Heidelberg wird vorgeschlagen, 3 % der Haushalte durch Erdwärme zu versorgen (Stadt Heidelberg/ ifeu 2006: 76)
- In der Potenzialabschätzung für die „Metropolregion Rhein-Neckar“ erfolgt die Berechnung des Stromerzeugungspotenzials beim Bau einer pauschal festgelegten Anzahl von Anlagen zur Nutzung der Tiefengeothermie (UnternehmensGrün 2008: 18).

8.1.6 Potenzialermittlungsmethoden im Bereich sonstige erneuerbare Energien

Zu den „sonstigen“ Erneuerbaren Energien werden häufig die im EEG mit erfassten Klär- und Deponiegasanlagen gezählt, wohingegen das (ebenfalls durch EEG geförderte) Grubengas weder eine Erneuerbare Energie darstellt noch weitere nennenswerte Potenziale aufweisen dürfte. Außerdem werden oftmals – im Kontext der Wärmepumpen - auch Abwärme und Abwasserwärmepotenziale im Rahmen der Erneuerbaren Energien behandelt. Darüber hinaus gibt es einige Maßnahmenempfehlungen in den Energie- und Klimaschutzkonzepten, welche den Bezug von Ökostrom bzw. Strom aus erneuerbaren Energien im Allgemeinen adressieren. Beispiele hierzu aus den ausgewerteten Studien sind die folgenden:

- Eine Bestandsaufnahme sowie ein Handlungskonzept für Klärgasnutzung wird in der „Potenzialabschätzung 100 % Strom aus Erneuerbaren Energien in der Metropolregion Rhein-Neckar bis 2030“ gefordert (UnternehmensGrün 2008: 9).
- Im Klimaschutzkonzept „Erneuerbares Wilhelmsburg“ wird das Projekt "Klimahäuser Haulander Weg" vorgestellt, das eine Wärmerückgewinnung und Stromerzeugung aus Abwasser und Fäkalien beinhaltet (IBA Hamburg 2008: 25).
- Eine Erhöhung des Ökostrombezugs, v. a. in öffentlichen Liegenschaften wird in mehreren Studie gefordert (z. B. Stadt Heidelberg/ ifeu 2006: 73; IWU et al. 2002: 22; ifeu 2008a: 40; 2004: 149f).
- Einen Schritt weiter gehen ifeu/arrhenius in der Studie „Das Steinkohle-Kraftwerk Hamburg Moorburg und seine Alternativen“: Zusätzlich zu Potenzialen in Hamburg bzw. der Metropolregion werden der Hansestadt bevölkerungsanteilig 2 % des in Deutschland erwarteten Stromaufkommens aus Offshore-Windkraft und des mit vertretbarem Aufwand zu importierenden Solarstromes aus der Mittelmeerregion zugeordnet (ifeu/ arrhenius 2007: 70).

8.2 Berechnungsverfahren

8.2.1 Berechnung langfristiges Potenzial Geothermie:

Zunächst wurde eine durchschnittliche Bohrtiefe der Sonden von 75 m angenommen, da in Berlin nur bis zu einer Tiefe von 100 m und stellenweise auch nur weniger tief gebohrt werden darf (Sen-GUV 2008b). Beim Einsatz von Erdsonden muss ein Mindestabstand eingehalten werden. Dieser beträgt nach Sanner 2008 bei einer Tiefe von 75m ca. 15 m. Pro Sonde wird demnach eine Fläche von 176,7 m² (Kreisfläche) benötigt. Hiermit wurde basierend auf den Nettobauflächen der Stadtraumtypen eine maximale Anzahl an Sonden berechnet.

Aufgrund des Untergrundes in Berlin (Sand, Kies, Geschiebemergel) wurde eine spezifische Entzugsleistung von 50 W/m Sondenlänge angenommen⁵⁹. Mit folgender Gleichung (AWP 2007) kann basierend auf dem Wärmeleistungsbedarf eines Gebäudes die Sondenlänge berechnet werden.

$$\text{Sondenlänge} = \frac{\text{Wärmeleistungsbedarf (W)} - \frac{\text{Wärmeleistungsbedarf (W)}}{\text{COP bei BO/W35}}}{\text{Sondenentzugsleistung (40 - 50 W/m)}}$$

Unter der Annahme einer COP⁶⁰ von 4,2 und einer maximalen Sondenlänge von 75 m werden zwei Sonden benötigt, um ein Gebäude (EFH) mit einem Heizleistungsbedarf von 8 kW zu versorgen. Dabei ist zu beachten, dass bei der Auslegung der Wärmepumpe mögliche Sperrzeiten der Energieversorger berücksichtigt werden. Bei einer Berücksichtigung von vier Stunden, erhöht sich die notwendige Wärmeleistung der Wärmepumpe 8 kW auf 9,6 kW (Tages-Heizwärmebedarf von 192 kWh). Bei 1700 Volllaststunden pro Jahr ergibt sich eine Heizwärmebereitstellung von 16,3 MWhth pro Anlage. Dieser Wert wurde mit der Anzahl der Wärmepumpen (zwei Sonden entsprechen einer Wärmepumpe) multipliziert, so dass die theoretische Heizwärmebereitstellung pro Stadtraumtyp ergibt. Für den Stromverbrauch wurde eine Leistung von 2,5kWel (vgl. Hofer et al. 2007 S.11) angenommen.

In den Mehrfamilienhausgebieten wurde ähnlich vorgegangen. Es wurde angenommen, dass sechs Erdsonden eine Wärmepumpe mit einer Leistung von 30 kWth speisen. Bei 2000 Volllaststunden pro Jahr ergibt sich eine Heizwärmebereitstellung von 60 MWhth. Dieser Wert wurde mit der Anzahl der Wärmepumpen (sechs Sonden entsprechen einer Wärmepumpe) multipliziert, so dass die theoretische Heizwärmebereitstellung pro Stadtraumtyp ergibt. Für den Stromverbrauch wurde eine Leistung von 10kWel (vgl. Hofer et al. 2007 S.11) angenommen.

⁵⁹ Nach VDI-Richtlinie 4640 ist bei Erdwärmesonden und bei 1800 Jahresbetriebsstunden mit durchschnittlichen Wärmeentzugsleistungen von etwa 50 W/m Sondenlänge zu rechnen.

⁶⁰ Die COP (Coefficient of performance, Leistungszahl) beschreibt den thermischen Wirkungsgrad einer Wärmepumpen bei einem bestimmten Temperaturgefälle und gibt das Verhältnis zwischen der abgegebenen Wärmeleistung zur aufgenommenen Antriebsleistung an (Baumann et al. 2007).

8.2.2 Berechnung theoretischer Potenziale im Bereich Wasserkraft

Die Bestimmung des theoretischen Linienpotenzials erfolgte unter Verwendung der mathematischen Formel:

$$P_{\text{theo}} = 9,81 * MQ * \Delta h$$

Mit:

MQ = mittlerer Abfluss [m³/s]

Δh = Höhendifferenz [m]

Für alle 7 Gewässer erfolgte jedoch eine Berechnung des technischen Potenzials an den Staustufen über Ausbau-Wassermengen⁶¹ und Ausbau-Fallhöhen sowie Wirkungsgrade für Wasserkraftanlagen.

Das nutzbare Energiepotenzial wurde über folgende Formel berechnet:

$$P_{\text{el}} = QA * h_{\text{FA}} * \eta_{\text{ges}} * UF$$

Mit:

P_{el} = elektrische Leistung [kW]

QA = Ausbaudurchfluss [m³/s]

h_{FA} = Ausbau-Fallhöhe = Bruttofallhöhe (h_{QAbrutto}) - 0,1 [m]

η_{ges} = Gesamtwirkungsgrad [-]:= 0,81 bei $h_{\text{FA}} > 1\text{m}$, = 0,65 bei $h_{\text{FA}} < 1\text{m}$

UF = Umrechnungsfaktor = 9,8 = $g * \rho / 1000$ [kg/m²*s]

Weitere wichtige mathematische Formeln zur Berechnung von Ausbaudurchfluss QA, h_{QAbrutto} und der Jahresarbeit A [kWh/a] sind in Tab. 8.1 zusammengestellt.

⁶¹ Ausbauwassermenge QA = mittlerer Abfluss * Faktoren für verschiedene Gewässerarten

Tab. 8.1: Berechnungsformeln für Ausbaudurchfluss, Bruttoabfallhöhe und Jahresarbeit
Eigene Zusammenstellung nach Kraftwerks- und Anlagenbau AG (1992)

	Formel Nr.	Berechnung	Anmerkungen
QA wenn Dauerabflusslinie vorhanden	1	$QA = Q_{90\text{Tage}}$	$Q_{90\text{Tage}}$ = Abfluss, der an mindestens 90 Tagen überschritten wird
QA wenn Dauerabflusslinie nicht vorhanden	2	$QA = MQ$	Für normale Flussläufe
	3	$QA = MQ * 1,25$	Für regulierte Gewässer
	4a	$QA = MQ * 1,1$	Gewässer mit Abwasserableiter aus Klärwerken wenn hydrolog. Angaben vorhanden
	4b	$QA = MQ_{\text{geschätzt}} * 1,1$	Gewässer mit Abwasserableiter aus Klärwerken wenn hydrolog. Angaben nicht vorhanden
$h_{QA\text{Brutto}}$	5	aus vorliegenden Hauptzahlen der Wasserstände	
$h_{QA\text{Brutto}}$ wenn Wasserstände nicht vorliegen	6	vor Ort gemessene/ geschätzte Fallhöhe	
Jahresarbeit A bei vorhandenen Dauerabflusszahlen	7	partielle Berechnung der Arbeit bezogen auf Dauerabflusslinie	Dauerabflusszahlen mit Ausbaugröße $Q_{90\text{Tage}}$ und h_{FA}
Jahresarbeit A bei nicht vorhandenen Dauerabflusszahlen	8	$A = P_{el} * 0,75 * 8200$	0,75=Minderungsfaktor für typische Abflussdauerlinie, 8200=verfügbare h/a bei natürlichen Gewässern
	9	$A = P_{el} * 8400$	P_{el} =auf MQ bezogenes Potenzial, ist aufgrund des konstanten Abflusses der Klärwerke nicht id. Mit Ausbauleistung der WKA. Kontinuierl. Klarwassermengenabfluss wird mit 75 % der Schluckwassermenge berücksichtigt.

8.3 Berechnung der Wirtschaftlichkeit von EE-Heizungsanlagen – Methoden, Annahmen und Ergebnisse

8.3.1 Berechnungsmethodik und Annahmen

Bei der Berechnung der Wirtschaftlichkeit wird davon ausgegangen, dass sich eine Maßnahme rechnet („wirtschaftlich“ ist), wenn die Investition der Maßnahme für einen gewissen Zeitraum betrachtet nicht teurer ist als die Einsparung, die mit der Maßnahme erzielt werden kann (Enseling 2003). Die Berechnung der Wirtschaftlichkeit erfolgt in der vorliegenden Studie nach der **Annuitätenmethode**, die als dynamisches Verfahren auf der Kapitalwertmethode basiert. Dabei werden die laufenden Kosten auf den Zeitpunkt der Investition abgezinst oder aber die Investitionskosten entsprechend aufgezinst. Mittels der Annuitätenmethode werden daraus jährliche Kosten ermittelt. Bei der Heizung werden unterschiedliche Heizungssysteme hinsichtlich ihrer Vollkosten miteinander verglichen. Eine genaue Beschreibung der Annuitätenmethode sowie den Berechnungen der verschiedenen Kostenblöcke sind in Anhang I zu finden.

Die Ergebnisse hängen stark von den getroffenen **Annahmen** ab. Hinsichtlich zentraler Annahmen wie der Nutzungsdauer, der Inflationsraten, des Kalkulationszinssatzes etc. wird auf eine Studie des IE Leipzig (Ebert/ Bohnenschäfer 2008) zurückgegriffen, die sich auf die Methode nach der VDI Richtlinie (VDI 2000) stützt (siehe Tab. 8.2 und Anhang). Als Betrachtungsdauer ist dort ein Zeitraum von 20 Jahren festgelegt, der der minimalen mittleren Nutzungsdauer der meisten Heizungssysteme entspricht. Bei der Investition wird in diesen Berechnungen davon ausgegangen, dass diese aus Eigenmitteln finanziert wird, wobei der gewählte Zinssatz (in Anlehnung an die IE Vollkostenrechnung) bei 6 % liegt. Hier ist als Alternative eine Finanzierung mit Förderzuschüssen des Marktanzreizprogramms des Bundesministeriums für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle [bafa] (2009) (vgl. Anhang III) zu betrachten.

Tab. 8.2: Finanzwirtschaftliche Annahmen

Quelle: IE Leipzig (Ebert/ Bohnenschäfer 2008, 12)

Finanzwirtschaftliche Annahmen	Größe	Einheit
Betrachtungszeitraum [T]	20	a
Arbeitsstundensatz	38	€/h
Kalkulationszinssatz [q]	6	%
Mehrwertsteuer	19	%
Inflationsrate kapitalgebundene Zahlungen [r_K]	2	%
Inflationsrate verbrauchsgebundener Zahlungen [r_V]	2	%
Inflationsrate betriebsgebundene Zahlungen [r_B]	2	%
Inflationsrate Zahlungen für Instandsetzung [r_{In}]	2	%

8.3.1.1 Referenzgebäude

Die Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen ist nicht nur von der Berechnungsmethode und den getroffenen Annahmen sondern auch von den Gebäudedaten (Energieverbrauch vorher, energetischer Zustand, Geometrie, etc.) abhängig. Deshalb werden die Berechnungen für einzelne **Referenzge-**

bäude durchgeführt. Als Referenzgebäude werden Gebäude mit unterschiedlicher Größe berücksichtigt. Bei den Heizungsanlagen werden außerdem Gebäude im sanierten Zustand (entsprechend Neubau) und unsanierte Bestandsgebäude betrachtet. Als Referenzgebäude bieten sich solche an, für die bereits Angaben zu den Kosten der Sanierungsmaßnahmen vorliegen.

Tab. 8.3: Referenzgebäude für Maßnahmen im Bereich Wärmeversorgung

Quelle: IE Leipzig (Ebert/ Bohnenschäfer 2008, 1 ff.) * Berechnet aus vorhandenen Angaben

Gebäudetyp	EFH Bestand	EFH Neubau	MFH Bestand	MFH Neubau
Gebäudenutzfläche	130 m ²	130 m ²	430 m ²	430 m ²
Bewohner	3 Pers.	3 Pers.	15 Pers.	15 Pers.
Wärmeschutzstandart	Bestand	Neubau nach EnEV	Bestand	Neubau nach EnEV
Spezifischer Heizwärmebedarf	130 kWh/m²	58 kWh/m²	100 kWh/m²	51 kWh/m²
Heizwärmebedarf	16.900 kWh/a	7.540 kWh/a	43.000 kWh/a	21.930 kWh/a
Warmwasserbedarf	1.895 kWh/a	1.895 kWh/a	9.477 kWh/a	9.477 kWh/a
Nutzenergiebedarf Gesamt	18.795 kWh/a	9.435 kWh/a	52.477 kWh/a	31.407 kWh/a
Normheizlast	12 kW	6 kW	34 kW	20 kW

8.3.1.2 Betrachtete Maßnahmen

Die Wirtschaftlichkeitsanalyse wurde für die Einfamilien- und Mehrfamilienhäuser für ausgewählte Heizungssysteme durchgeführt. Dabei wurden die derzeit angewandten EE-Versorgungssysteme mittels einer Literatur- und Internetrecherche ermittelt. Basierend darauf wurden die Versorgungssysteme übernommen, die das IE Leipzig in einer Studie untersucht (Ebert/ Bohnenschäfer 2008), da es sich bei diesen um die wichtigsten Technologien in Ein- und Mehrfamilienhäusern handelt. Hinsichtlich der Kosten der Investitionen und des Betriebs konnte somit auf die Angaben dieser Studie zurück gegriffen wird.

Tab. 8.4: Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsberechnung untersuchte Versorgungssysteme
 Quelle: IE (Ebert/ Bohnenschäfer 2008)

Versorgungssystem	Energiequelle	Technik	Energieträger	Spezifikation
	Biomasse	Pelletkessel	Holzpellets	Gebäudezentralheizung
	Biomasse und Solarthermie	Pelletkessel und Flachkollektor	Holzpellets und Solarwärme	Gebäudezentralheizung, Brauch- und Heizwasserunterstützung
	Wärmepumpen	Sole-/Wasser- Wärmepumpe	Wasser	
		Luft-/Wasser- Wärmepumpe	Luft	
	Fossile (Referenz)- Technologien	Gas-Brennwertkessel	Erdgas	Gebäudezentralheizung
		Öl-Brennwertkessel	Erdöl	Gebäudezentralheizung
	Fossile (Referenz)- Technologien und Solarthermie	Gas-Brennwertkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	Erdgas und Solarwärme	Gebäudezentralheizung, Brauch- und Heizwasserunterstützung
		Öl-Brennwertkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	Erdöl und Solarwärme	Gebäudezentralheizung, Brauch- und Heizwasserunterstützung

Um die Wirtschaftlichkeit von Heizsystemen vergleichen zu können muss nicht nur der Nutzen der Heizungsanlage, also die notwendige Nutzenergie, bekannt sein, sondern auch der zu deren Bereitstellung notwendige Aufwand. Bezieht man den zusätzlichen Aufwand in den verschiedenen Bedarfsbereichen (Nutzenübergabe, Verteilung und Erzeugung) auf die Bedarfswerte so ergeben sich **Aufwandszahlen**. Definiert werden die spezifischen Aufwandszahlen dabei als Kehrwert des Nutzungsgrads von Heizkessel, Wärmeverteilung und –übergabe bzw. als Kehrwert der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen. Obwohl die Investition in Wärmeverteilung sowie Wärmeübergabe außerhalb der Systemgrenzen liegen, müssen die jeweiligen Aufwandszahlen dennoch bei der Bestimmung des Endenergieverbrauchs berücksichtigt werden.

Die Aufwandszahl für die **Wärme- oder Nutzenübergabe** vom Heizkörper an den zu beheizenden Raum ergibt sich aus dem Verhältnis der von den Heizflächen (Plattenheizkörper oder Fußbodenheizung) abgegebenen Wärme zum jeweiligen Heizwärmebedarf des Gebäudes. Da bei der **Wärmeverteilung** vom Wärmeerzeuger (Heizkessel, Wärmepumpe) zum Nutzenübergabesystem (Plattenheizkörper, Fußbodenheizung) Verluste nicht gänzlich zu vermeiden sind, wird auch hier eine Aufwandszahl herangezogen. Diese beschreibt das Verhältnis vom Energieaufwand der Verteilung zum Energieaufwand der Nutzenübergabe. Die Aufwandszahl für die **Wärmeerzeugung** ist definiert durch den Quotienten aus der zugeführten Brennstoffenergie bzw. elektrischen Energie und der an die Wärmeverteilung übertragenen Wärmemenge und ist somit äquivalent zum Kehrwert des Nutzungsgrads. Die Aufwandszahlen der jeweiligen Gebäude sind detailliert in Anhang II aufgeführt.

8.3.1.3 Variable Kosten: Energiepreisentwicklung und Kostendegressionen

Eine wichtige Größe für die Abschätzung der Wirtschaftlichkeit von Heizungssystemen im Vergleich sind die zukünftigen Energiekosten. Zur Entwicklung der Energiekosten existieren unterschiedliche Szenarien. In der vorliegenden Studie wird auf die Werte der BMU-Leitstudie zum Ausbau der erneuerbaren Energien zurückgegriffen (Nitsch 2007, 49ff.), die Angaben zum Anstieg der Kosten für Öl, Erdgas und Strom macht. Verwendet wird die Variante B, die von einem mäßigen Anstieg der Energiepreise ausgeht. Die Energiepreise enthalten dabei bereits Aufschläge, die aus dem Emissionshandel resultieren. Angesetzt wird die mittlere Preisentwicklung über den gesamten Zeitraum, da bei der Vollkostenrechnung ein Zeitraum von 20 Jahren betrachtet wird.

Tab. 8.5: Reale jährliche Preisanstiege für Preispfad B (mäßiger Anstieg) nach BMU-Leitstudie

Quelle: (Nitsch 2007)

	2005 - 2020	2020 – 2030	2005 - 2030
Strom	1,82%	0,66%	1,35%
Rohöl	2,09%	1,36%	1,80%
Erdgas	3,07%	2,07%	2,66%

Für die Entwicklung der Preise von Holzpellets wird davon ausgegangen, dass diese nicht im selben Maß wie fossile Energieträger von der Rohstoffknappheit auf den weltweiten Energiemärkten sowie insbesondere vom CO₂-Aufschlag betroffen sind, andererseits die Preise aber auch bei Holzpellets anziehen, wenn die Preise für fossile Energieträger steigen. Deshalb wird für den Betrachtungszeitraum von einem im Vergleich zu Erdgas halb so hohen Preisanstieg bei den Holzpellets ausgegangen. Dies entspricht über den Betrachtungszeitraum 1,33 % (real).

Zusätzlich wird bei zunehmender Marktdurchdringung der erneuerbaren Energien von einer **Kostendegression** ausgegangen. Die Kostendegression von Investitionen in erneuerbare Energien Technologien im Wärmebereich ist beeinflusst von Lerneffekten und Skalenerträge. Die möglichen Kostenentwicklungen sind stark davon abhängig in welcher Phase der Entwicklung sich die Technologie befindet und welche Menge bereits produziert sind bzw. potentiell produziert werden. Aus diesem Grund unterscheiden sich die Entwicklungsdynamiken der einzelnen Technologien.

Verschiedene Studien prognostizieren die Kostendegression von **solarthermischen Anlagen** bzw. die zugrundeliegenden Lernfaktoren. Die am weitesten reichenden Prognosen sind die von der Arbeitsgemeinschaft DLR/ifeu/WI (2004). Die Angaben hängen stark von der unterstellten kumulierten installierten Leistung auf dem Weltmarkt ab. Die Abschätzung der installierten Leistungen basieren vor allem auf den Szenarien des World Energy Assessments der United Nations und des World Energy Councils (WEA 2000) sowie des World Energy Outlooks 2002 der IEA (2002). Die Studie nimmt für Solarkollektoren eine Kostendegression von 38% bis 2020 gegenüber den Kosten in 2000 an - bei einem Lernfaktor von 0,9⁶². Die unterstellten Lernfaktoren bewegen sich im Bereich anderer Studien (z.B. Nitsch/ Trieb 2000). Der Bundesverband Solarwirtschaft e.V. schätzt

⁶² Lernfaktoren zeigen an, wie sich die Kosten bei einer Verdoppelung des kumulierten Marktvolumens entwickeln (d.h. ein Lernfaktor von 0,9 prognostiziert eine Kostenreduktion von 10% bei einer Verdoppelung des Marktvolumens).

die Investitionskostendegression von Solarthermie-Anlagen für den Zeitraum 1990 bis 2008 auf rund 40% und prognostiziert bis 2020 sogar eine Absenkung der Kosten um etwa 66% gegenüber den Werten von 1990 (BSW 2009b). Die angenommenen Kostendegressionen in den verschiedenen Quellen lassen sich interpolieren und auf den Referenzzeitraum 2008 bis 2020 übertragen. Die Werte des BSW (2009b) liegen dann bei einer Kostendegression von 43%. Eine genauere Spezifizierung der Technologie nehmen DLR/ifeu/WI (2004) vor: Deren Annahmen entsprechen für den genannten Zeitraum einer Kostendegression der Solarkollektoren von 27%, für die Warmwasserbereitung von 32% und für die solare Heizungsunterstützung von 36%. Die Angaben der Kostendegressionen der letzten beiden Systeme enthalten bereits den Speicher und die Montage, nicht enthalten sind die Planungskosten. Die Werte sind etwas konservativer als die des BSWs. Dies entspricht der Argumentation von Biermayr et al. (2007), die ein Abschwächung der Kostendegression von Flachkollektoren gegenüber der Entwicklung bis 2004 (35% Kostensenkung seit 1990) erwarten. Vor diesem Hintergrund wird in der folgenden Analyse eine Kostendegression von solarthermischen Anlagen zur Warmwasserbereitung von 32% im Zeitraum von 2008 bis 2020 für alle Komponenten angenommen. Damit wird implizit unterstellt, dass auch die Planung und die Installation der Anlagen eine Degression von 32% erfährt. Dies kann wiederum vor dem Hintergrund der Argumentation von Biermayr et al. (2007) gerechtfertigt werden, die weitere Kostensenkungspotenziale vor allem im Bereich der Transaktionskosten der Installation sehen.

Für die Kostendegression von **Wärmepumpen** sind kaum Informationen erhältlich. Studien zu EE-Technologien in Luxemburg (Biermayr et al. 2007) und Österreich (Haas et al. 2006) sehen keine signifikante Kostenreduktion für Geothermie allgemein. Für die Geothermie zur Wärmeerzeugung in Deutschland bestätigt die Arbeitsgemeinschaft DLR/ifeu/WI (2004) diese Aussage. Gesonderte Angaben zu Luft-Wärmepumpen liegen nicht vor. Auf Grund der relativ einfachen Technik sind im Bereich der Wärmepumpen voraussichtlich nur geringe Kostendegressionen zu erwarten. Vor diesem Hintergrund wird in der weiteren Analyse eine **Kostendegression von 6% für die Sole-Wasser-Wärmepumpen** unterstellt, da diese basierend auf der Analyse von Biermayr et al. (2007) eine höhere Kostendegression erfahren als die Luft-Wärmepumpen. Für letztere wird keine Kostendegression angenommen. Die Kostendegression bezieht sich auf den Wärmeerzeuger, die Wärmequellenanlage, den Speicher sowie die Installation.

Für **Holzpelletkessel** ermitteln das Öko-Institut und Partner (2004) Kostendegressionen von rund 80% bis 2050⁶³. Die Lernfaktoren in den unterschiedlichen Studien liegen auf vergleichbarem Niveau, so dass diese Werte als relativ robust angesehen werden können. Eine Interpolation der Kostentwicklung basierend auf den Angaben des Öko-Instituts zeigt eine **Kostendegression für Holzpelletkessel von 11% von 2008 bis 2020** bezogen auf die Gesamtinvestitionen. Dieser Wert stimmt mit qualitativen Aussagen von Biermayr et al. (2007) und Nitsch und Trieb (2000) überein, die Biomasse als bereits ausgereift ansehen und aus diesem Grund von geringen Kostensenkungspotenzialen ausgehen. Eine Detaillierung der in dieser Angabe enthaltenen Komponenten wird nicht unternommen.

Vor diesem Hintergrund obiger Diskussion werden in der weiteren Analyse der Wirtschaftlichkeit die folgenden Annahmen zu der Kostendegression der EE-Anlagen unterstellt. Für die fossilen

⁶³ Für Biomasse allgemein bzw. feste Biomasse-Anlagen sehen Biermayr et al. (2007) und Nitsch und Trieb (2000) 80 - 90% Kostendegression von 2000 bis 2020. In einem ähnlichen Bereich liegen die Werte der Arbeitsgemeinschaft DLR/ifeu/WI (2004).

Technologien werden keine Kostendegressionen angenommen, da es sich dabei bereits heute um Standardtechnologien mit hoher Nachfrage handelt.

Tab. 8.6: Angenommene Kostendegressionen für EE-Anlagen

Quelle: Eigene Zusammenstellung

	Kostendegression 2008 – 2020 [%]	Kostendegression p.a. [%]	Enthaltene Komponenten
Solarthermie	32	2,7	Wärmeanlage inkl. Speicher und Installation
Sole-Wärmepumpen	6	0,5	Wärmeerzeuger, Wärmeanlage, Speicher und Installation
Holzpellet Kessel	11	0,9	Wärmeerzeuger und Speicher

8.3.1.4 Ergebnisse des Kostenvergleichs

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung basiert auf einem Vergleich der Entwicklung von jährlichen Kosten für Heizungssysteme, die zum Betrachtungszeitpunkt neu installiert werden.

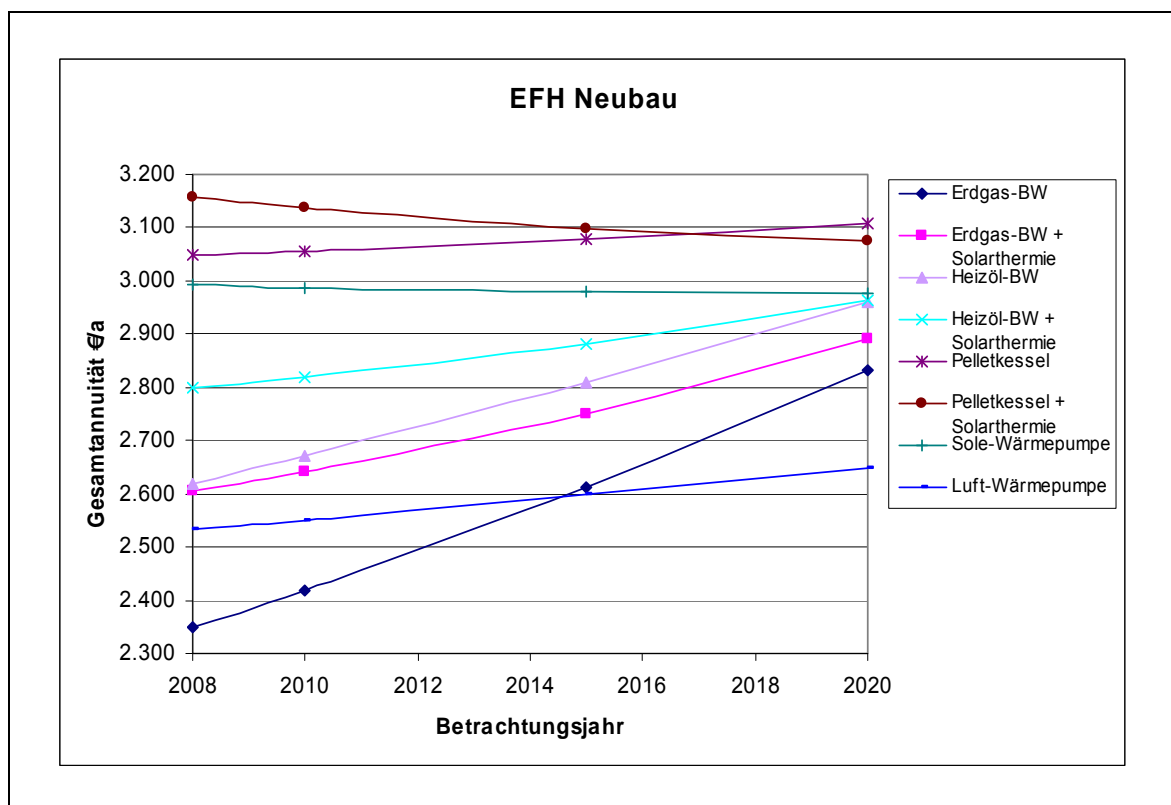


Abb. 8.1: Entwicklung der Annuitäten für Heizungssysteme in neugebauten Einfamilienhäusern

Quelle: eigene Berechnung

Der Gas-Brennwertkessel ist heute das mit Abstand kostengünstigste Heizungssystem in neugebauten Einfamilienhäusern und bleibt dies trotz des stärksten Energiepreisanstiegs auch, mit Ausnahme der Luft-Wärmepumpe, bis 2020 gegenüber allen Alternativen. Nur letztere wird in 2015 auf Grund der speziellen Stromtarife für Wärmepumpen wirtschaftlicher als der Gas-Brennwertkessel. Schon heute ist diese Technologie auch kostengünstiger als der Einsatz von Öl-Heizsystemen. Solarthermieanlagen in Kombination mit fossilen Energieträgern erreichen dagegen die Wirtschaftlichkeit bis 2020 nicht, obschon die zusätzliche Nutzung von Solarthermie zu den Öl-Kesseln in 2020 lediglich die gleichen Kosten wie der ausschließliche Einsatz von Öl verursacht. Der Einsatz von Solarthermie zusätzlich zu Holz-Pelletanlagen wird in 2017 bereits lohnender als ein Holz-Pelletkessel allein. Trotzdem bleibt die Nutzung von Pelletkesseln bis 2020 die kostenintensivste Variante. Dagegen erreicht die Sole-Wärmepumpe in 2020 das gleiche Kostenniveau wie Öl-Heizungen.

Auf Grund des höheren Energiebedarfs in bestehenden Einfamilienhäusern zeigt die Wirtschaftlichkeitsanalyse ein anderes Muster.

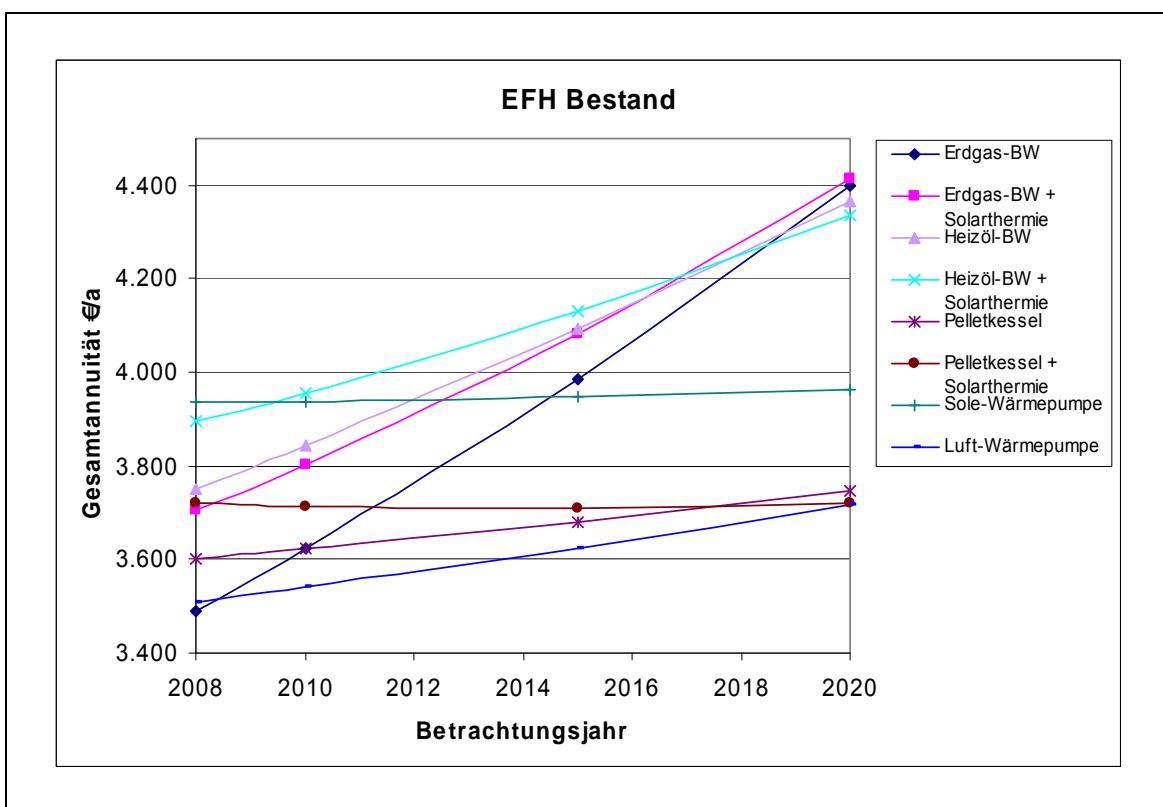


Abb. 8.2: Entwicklung der Annuitäten für Heizungssysteme in bestehenden Einfamilienhäusern

Quelle: eigene Berechnung

Der Einsatz von erneuerbaren Energien in Heizsystemen wird deutlich früher attraktiv als in neugebauten Einfamilienhäusern was im starken Kostenanstieg der fossilen Energieträger und ihrem erhöhtem Verbrauch begründet ist. Dies ist im Besonderen der Fall für Luft-Wärmepumpen und für Holzpelletkessel (im Vergleich zu Öl-Heizungen), für die sich der Einsatz bereits heute rentiert. 2010 werden Pelletkessel auch im Vergleich zu Gas-Brennwertkesseln attraktiver und 2012 auch die Kombination aus Pelletkesseln und solarthermischen Anlagen. In Kombination mit fossilen

Energieträgern bleibt die solarthermische Heizunterstützung jedoch noch bis 2018 für Öl bzw. bis 2020 für Gas unwirtschaftlich. Sole-Wärmepumpen erreichen 2015 die Wirtschaftlichkeit, obgleich sie dennoch höhere Kosten als die anderen EE-Anlagen verursachen. Auf Grund der Kostendegression der Holzpelletanlagen in Kombination mit einer solarthermischen Anlage und eines ähnlichen Energiepreisanstiegs wie bei den Wärmepumpen erreichen erstere in 2020 das gleiche Kostenniveau wie die Luft-Wärmepumpen. Damit stellen beide Technologien in 2020 die deutlich kostengünstigsten Varianten dar.

In den neugebauten Mehrfamilienhäusern ist bereits heute der Einsatz solarthermischer Anlagen zusätzlich zu den fossilen Heizungssystemen deutlich wirtschaftlicher auf Grund der Energiepreissteigerungen und der Kostendegression.

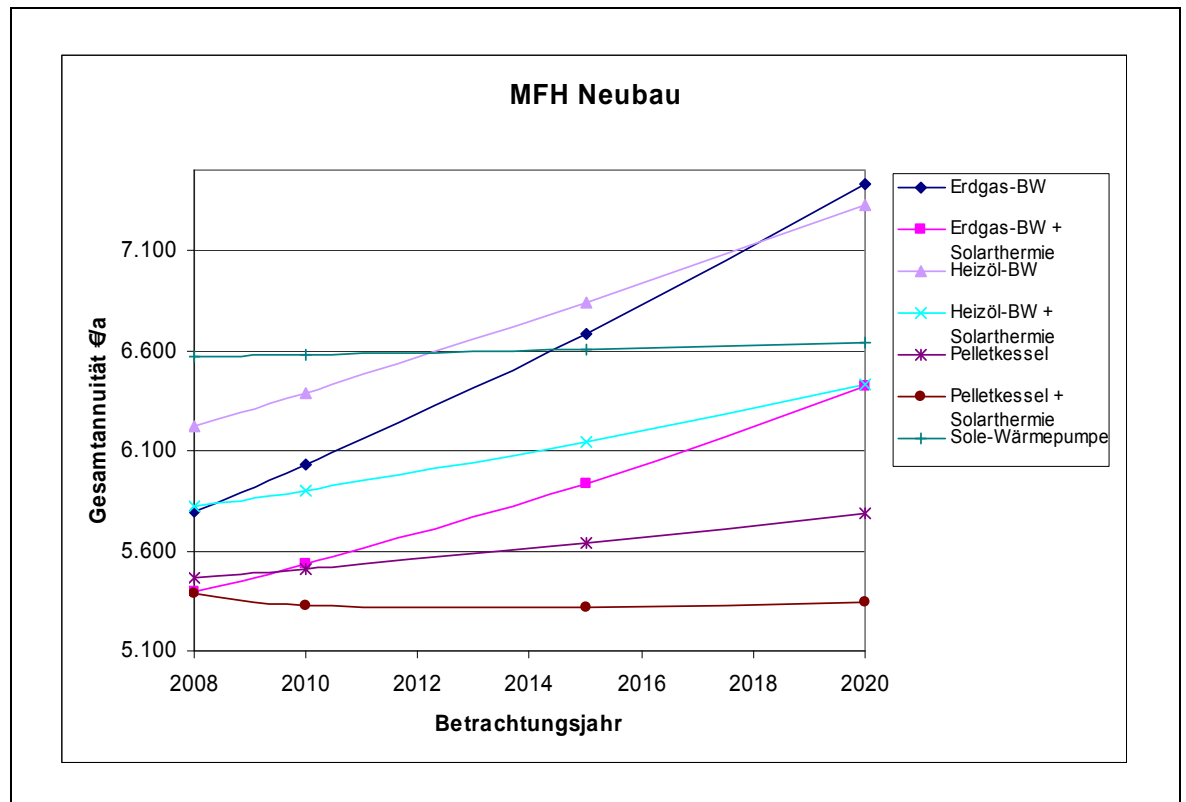


Abb. 8.3: Entwicklung der Annuitäten für Heizungssysteme in neugebauten Mehrfamilienhäusern

Quelle: eigene Berechnung

So ist bereits ab heute die Kombination von Holzpelletanlagen mit der zusätzlichen Nutzung von Solarthermie auch gegenüber der Einzelanlage die kostengünstigste Variante. Als am wenigsten rentable EE-Technologie stellt sich die Sole-Wärmepumpe dar, obschon auch sie 2013 gegenüber Öl und 2015 gegenüber Erdgas wirtschaftlich wird. Damit sind ab spätestens 2015 alle EE-Technologien wirtschaftlich. Am deutlich günstigsten bleiben jedoch bis 2020 die Holzpellet-Kessel mit und ohne solarthermischer Unterstützung, gefolgt von der Solarthermie in Kombination mit fossilen Heizkesseln.

Ein vergleichbare Struktur zeigt sich für bereits bestehende Mehrfamilienhäuser. Wieder sind und bleiben Holzpelletkessel die mit Abstand rentabelste Heizvariante. Die zusätzliche Nutzung von Solarthermie kann die Kosten sogar weiter senken. Auch in Kombination mit konventionellen Heizanlagen ist der Einsatz von Solarthermie bereits heute deutlich kostengünstiger als die Einzelanlage. Die Sole-Wärmepumpe ist für den Einsatz im Bestand sehr viel kostengünstiger als in neugebauten Mehrfamilienhäusern und erreicht auch im Vergleich mit Gas bereits 2009 die Wirtschaftlichkeit. Ab 2010 bzw. 2013 ist diese Technologie auch rentabler als die Kombination von Solarthermie mit fossilen Heizsystemen.

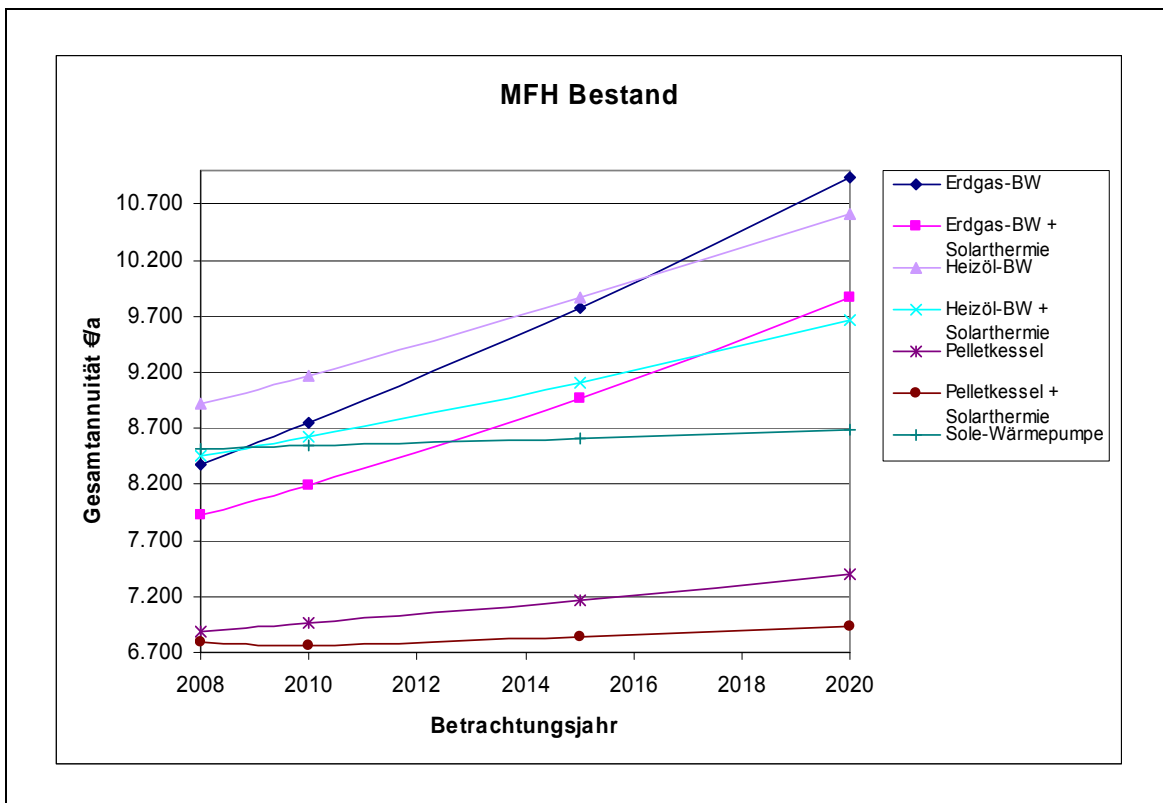


Abb. 8.4: Entwicklung der Annuitäten für Heizungssysteme in bestehenden Mehrfamilienhäusern

Quelle: eigene Berechnung

Die Wirtschaftlichkeitsanalyse von Heizsystemen zeigt, dass unter den getroffenen Annahmen bereits heute in fast allen Wohngebäuden EE-Anlagen wirtschaftlich betrieben werden können. Bis 2020 steigen die Kosten für die Nutzung der fossilen Referenzsysteme deutlich an, so dass dann in allen Gebäuden EE-Anlagen – in der Regel deutlich – kostengünstiger sind. Dabei ist der Einsatz von EE-Heizsystemen unabhängig von der Gebäudeart im Bestand sehr viel früher wirtschaftlich als in Neubauten, was auf den geringeren Verbrauch in letzteren zurückzuführen ist. Zudem zeigt sich, dass EE-Anlagen in Mehrfamilienhäusern im Vergleich zu Einfamilienhäusern deutlich attraktiver sind. So sind für Mehrfamilienhäuser bereits heute die Solarthermie und Holzpelletkessel wirtschaftlicher als die Referenzsysteme. Sole-Wärmepumpen werden in bestehenden Mehrfamilienhäusern bereits 2009, in Neubauten jedoch erst 2015 wirtschaftlich. Damit sind in Mehrfamilienhäusern bis 2020 alle EE-Technologien wirtschaftlicher als konventionelle Energien. Für Einfamilienhäuser ist dies weniger eindeutig. Im Vergleich bleibt die Solarthermie in Einfamilienhäusern in

Kombination mit Erdgas bis nach 2020 unrentabel. Für die bestehenden Einfamilienhäuser wird die solarthermische Unterstützung von Öl-Heizungen 2018 marginal kostengünstiger als eine reine Öl-Heizung bleibt jedoch teurer als Gas-Heizungen. Zwar sind Pelletkessel in bestehenden Einfamilienhäusern bereits ab 2010 rentabel, mit Solarthermie jedoch erst ab 2012. In neugebauten Einfamilienhäusern ist somit bis 2020 jedoch lediglich die Luft-Wärmepumpe attraktiv. In bestehenden Einfamilienhäusern erreichen die Wärmepumpen und Pelletkessel mit und ohne Solarthermie die Wirtschaftlichkeit.

Bei den Ergebnissen ist zu berücksichtigen, dass das betrachtete Referenz-Mehrfamilienhaus zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit kleiner als viele Mehrfamilienhäuser in Berlin ist. Dies ändert jedoch vermutlich nichts an der Tendenz der Ergebnisse, da eine Auswertung zu größeren EE-Anlagen ergab, dass die Kosten bei größeren Anlagen eher geringer sind – wobei dies wohl auch für die fossilen Referenzsysteme gilt. Keine Aussagen können basierend auf der Literatur zur Wirtschaftlichkeit von EE-Anlagen im Bereich der Nichtwohngebäude getroffen werden.

8.3.1.5 Wirtschaftlichkeit von größeren EE-Anlagen zur Wärmeerzeugung

Mittels der Vollkostenanalyse wurden lediglich die Kosten von Heizungssystemen in Ein- sowie kleineren Mehrfamilienhäusern untersucht. Noch weniger Daten existieren zu den Kosten von größeren EE-Anlagen sowie zu den entsprechenden fossilen Referenzsystemen, da sich die Heizungssysteme und deren Kosten je nach Gebäudegröße und Nutzungsart deutlich unterscheiden. Im Folgenden erfolgt deshalb basierend auf aktuellen Studien und Literatur eine Abschätzung zur Wirtschaftlichkeit von größeren EE-Anlagen.

Solarthermische Großanlagen (GSTA) können nicht nur in Wohngebäuden, sondern auch im Nicht-Wohnungsbau eingesetzt werden. Dabei ist darauf zu achten, dass auch im Sommer (regelmäßig) Warmwasser nachgefragt wird. Insbesondere Schulen (Sommerferien), aber auch Gewerbe und öffentliche Einrichtungen ohne oder mit geringem Warmwasserbedarf (z.B. Büros) eignen sich deshalb weniger für den Einsatz von Solarwärme (BINE Informationsdienst 2008b). Die spezifischen Kosten für den Einbau von GSTA sind sehr unterschiedlich und hängen von den Voraussetzungen, den Nutzungsarten und den Rahmenbedingungen ab (Stryi-Hipp et al. 2007). Hinzu kommen „fehlende Standardisierung und geringe Erfahrungen der Investoren, Anbieter, Planer und Installateure“ (Stryi-Hipp et al. 2007: 17). So lagen die Kosten der Modellanlagen des Projekts Solarthermie-2000 zwischen 400 und 900 Euro je m² Kollektorfläche (inkl. Umsatzsteuer und Planung). Die flächengewichteten mittleren Kosten der geförderten Anlagen liegen bei 673€/m² Kollektorfläche, wovon knapp ein Drittel auf die Kollektoren selber entfällt (Stryi-Hipp et al. 2007). Dem gegenüber liegt der durchschnittliche Preis der durch das Marktanzreizprogramm geförderten Solarthermieanlagen zwischen 2001 und 2005 bei 697 Euro/m² (Flachkollektoren) bzw. 1.127 Euro/m² (Vakuurröhrenkollektoren). Die spezifischen Anlagenkosten nehmen mit der Größe deutlich ab: So waren im Jahr 2005 die durchschnittlichen Kosten von kleinen Anlagen (< 20m²) mit 700-800 Euro/m² fast doppelt so hoch wie bei größeren Anlagen (> 40 m²), die bei 400-450 Euro/m² lagen (Stryi-Hipp et al. 2007). Außerdem sind Solarthermieanlagen, die bei Neubauten von Anfang an eingeplant werden, kostengünstiger als Nachrüstungen im Bestand (BINE Informationsdienst 2008b).

Neben den Investitionskosten sind die laufenden Kosten zu berücksichtigen: Für die Instandhaltung von Solarthermieanlagen sind Kosten von 1,0-1,5 % der Investitionskosten anzusetzen, der Hilfsenergiebedarf liegt bei rund 1 kWh Strom je 40-50 kWh Wärme (BINE Informationsdienst 2008b). Laut DGS (2008, 7-41) wird dieser Wert für die Instandsetzung in der Praxis jedoch nicht erreicht. Die DGS hält die Kopplung der Kosten an die Kollektorgröße für geeigneter und gibt als

Richtwert 3,50 €/m² an. Die verbrauchsgebundenen Zahlungen beschränken sich im Wesentlichen auf Hilfsenergie für die Regelung und die Pumpen. Übliche Ansätze in der Praxis liegen zwischen 2 und 5% des Solarertrags. Die Betriebskosten beziehen sich auf Bedienpersonal oder Versicherung der Anlagen. Während das Erstere nicht vonnöten ist bei Solarthermischen Anlagen, kommt Letzteres in der Praxis noch nicht zum Einsatz. Die Betriebskosten werden aus diesem Grund gering sein (DGS 2008).

Eine Betrachtung der Wärmegestehungskosten für einige Beispiele in der Praxis zeigt, dass solarthermische Großanlagen nicht sehr standardisiert sind und ihre Wirtschaftlichkeit stark von der spezifischen Situation abhängig ist. So lagen die Wärmegestehungskosten von solarthermischen Anlagen in einigen Studentenwohnheimen in einer Größenordnung von 0,08–0,14 €/kWh für Flachkollektoren und bei 0,24 €/kWh für einen Vakuumröhrenkollektoren.⁶⁴

In einer weiter gefassten Analyse auch anderer großer Solarthermieanlagen zeigt sich eine große Bandbreite möglicher Wärmegestehungskosten. Diese rangieren in einem Bereich von 0,08 – 0,34 €/kWh.⁶⁵ Langniß et al. (2006) ermitteln für Röhren- oder Flachkollektoren (2004/2005) zwischen 0,15 und 0,20 €/kWh. Lecheler (2005) gibt einen Rahmen von 0,15 – 0,25 €/kWh an, Kaltschmitt und Müller (2005) Kosten bis etwa 0,28 €/kWh. Für einige solarthermische Anlagen in den Studentenwerken sind die Anlagen mit 8 bzw. 10 Cent/kWh schon nah an der Wirtschaftlichkeit. Für ein Mehrfamilienhaus (Tulbeckstr. München, s. Abschnitt 2.3) zeigt sich, dass der Einbezug der Förderung eine große Rolle spielt (bei einer 30% Förderung reduzieren sich die Wärmegestehungskosten von 15 auf 10 Cent/kWh).

Zur Nutzung von oberflächennaher **Geothermie** in Großwohnsiedlungen oder größeren Gebäuden sind Informationen zu Projekten oder Wirtschaftlichkeitsanalysen nicht ausreichend detailliert verfügbar, um eine den solarthermischen Großanlagen vergleichbare Überschlagsrechnung vorzunehmen. Vor diesem Hintergrund kann nur ein Vergleich der existierenden Literatur vorgenommen werden. Für die oberflächennahe Geothermie geben Kaltschmitt und Müller (2005) und Lecheler (2005) Wärmegestehungskosten von etwa 0,10 €/kWh an, wobei unklar bleibt auf welchen sich dieser Wert bezieht. Für Einfamilienhäuser gibt der BDEW einen Wärmegestehungskostenkorridor von 0,12 – 0,13 €/kWh an.

In Großwohnsiedlungen und größeren Nichtwohngebäuden kommen **Biomasseanlagen** meist als BHKW vor. Aus diesem Grund wird hier keine weitere Wirtschaftlichkeitsbetrachtung dieser Anlage vorgenommen, da sie in der Regel aufgrund ihrer Förderung über das EEG wirtschaftlich betrieben werden können.

⁶⁴ Für die Ermittlung der Wärmegestehungskosten der Praxisbeispiele werden einige vereinfachende Annahmen getroffen. Es werden keine Betriebskosten angenommen. Die Laufzeit der Anlagen wird genau wie der Betrachtungszeitraum mit 20 Jahren angenommen, so dass weder Ersatzbeschaffungen noch Restwerte zu berücksichtigen sind. Als Verbrauchskosten wird pauschalierend nur die Hilfsenergie berücksichtigt. Es wird 1 kWh Hilfsenergie pro 40-50kWh erzeugter Wärme angesetzt (hier der Mittelwert: 45 kWh). Die Instandsetzungskosten werden mit 1% der Investitionskosten angenommen. Dies ist eine vereinfachte Annahme. Es kann gezeigt werden, dass die Annahme von Instandsetzungskosten von 3,50 €/m² Kollektorfläche eine bessere Näherung bietet. Auf Grund fehlender Informationen zu den Kollektorflächen kann dieser Wert jedoch nur teilweise verwendet werden. Weitere Annahmen betreffen die Inflationsrate (2%), den Zinssatz (6%) und den Strompreis für Hilfsenergie (0,191 €/kWh).

⁶⁵ Die Werte verstehen sich ohne Fördermittel und beziehen sich auf Studentenwohnheime in Chemnitz, Leipzig, Zwickau und Freiburg sowie auf eine Plattenbausiedlung in Gera und mehrere MFH in Berlin und in München.

Den Wärmegestehungskosten der EE-Anlagen stehen die Wärmegestehungskosten **fossiler Anlagen** in Großwohnsiedlungen gegenüber. Kaltschmitt und Müller (2005) zeigen, dass die Wärmegestehungskosten von Erdgas- und Heizöl-Brennwertkesseln in Kleinf Feuerung bei etwa 0,07 und 0,08 €/kWh liegen. Im Heizkostenspiegel Berlin sind für das Jahr 2008 Kosten- und Energiekennwerte für verschiedene Energieträger angegeben (Berliner Senatsverwaltung o. J.). Daraus ergeben sich durchschnittliche Wärmekosten von 7,5 bzw. 6,7 ct/kWh für Erdgas und Heizöl für Berlin. Zu beachten ist, dass die Kostenkennwerte nur die Brennstoffkosten berücksichtigen. Heiznebenkosten (Betriebsstrom, Wartung, Abrechnung) sind ebenso wenig berücksichtigt wie die Investitionen (Berliner Senatsverwaltung o. J.). Unter zusätzlicher Berücksichtigung der Annuität der Installation eines neuen Brennwertkessels sind diese Angaben noch um etwa einen ct/kWh zu niedrig.⁶⁶ Eine überschlägige Rechnung des Anteils der Investitionskosten an den Gesamtkosten basierend auf der Wirtschaftlichkeitsrechnung des IE Leipzigs (Ebert/ Bohnenschäfer 2008) zeigt für Erdgas- und Heizöl Brennwert-Kessel Anteile von 12 % und 15% respektive.⁶⁷ Damit ist ein Aufschlag von etwa einem ct/kWh an Investitionskosten auf die oben angeführten Energiekosten angemessen.

⁶⁶ Diese Berechnung beruht auf Investitionskosten von ca. 16.000 € wie vom IWU (2008, 14) für einen Gas-Brennwert Kessel für obiges Mehrfamilienhaus dargestellt. Weitere Annahmen sind ein Zinssatz von 6%, eine Preissteigerung von 2%, Instandsetzungskosten von 1% der Investitionskosten sowie einer Amortisationszeit von 20 Jahren.

⁶⁷ Die Berechnung basiert auf einem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren und unterstellt die Energiepreise des IE Leipzigs (Ebert/ Bohnenschäfer 2008) von 2008, einen Energiepreisanstieg von 1% für Erdgas, eine Inflation von 2% und einen Zinssatz von 6%.

8.3.2 Anhänge zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit

8.3.2.1 Anhang I: Berechnungsmethode

Bei der Berechnung der Wirtschaftlichkeit wird davon ausgegangen, dass sich eine Maßnahme rechnet („wirtschaftlich“ ist), wenn die Investition der Maßnahme für einen gewissen Zeitraum betrachtet nicht teurer ist als die Einsparung, die mit der Maßnahme erzielt werden kann (Enseling 2003). Die Berechnung der Wirtschaftlichkeit erfolgt nach der **Annuitätenmethode**, die als dynamisches Verfahren auf der Kapitalwertmethode basiert. Dabei werden die laufenden Kosten auf den Zeitpunkt der Investition abgezinst oder aber die Investitionskosten entsprechend aufgezinst. Mittels der Annuitätenmethode werden daraus jährliche Kosten ermittelt. Alternativ können die Kosten auch je Einheit eingesparter Energie ausgewiesen werden, so dass die Wirtschaftlichkeit ab einem äquivalenten Energiepreis gegeben ist. Bei der Heizung werden unterschiedliche Heizungs-systeme hinsichtlich ihrer Vollkosten miteinander verglichen

Für den Vollkostenvergleich werden die Kosten in Anlehnung an die VDI Richtlinie VDI 2067 (VDI 2000) in drei verschiedene Gruppen eingeteilt:

- kapitalgebundene Kosten
- verbrauchsgebundene Kosten
- betriebsgebundene Kosten

Kapitalgebundene Kosten

Die kapitalgebundenen Kosten beinhalten alle Kosten für die Planung, Anschaffung, Instandsetzung sowie für eventuell zu beachtende Ersatzinvestitionen (IE 2008).

Der Betrachtungszeitraum beträgt 20 Jahre. Ist die Lebensdauer der Anlage höher als der Betrachtungszeitraum, so muss der Restwert in die Berechnung mit einbezogen werden. Umgekehrt müssen bei einer kürzeren Lebensdauer von Anlagenkomponenten Kosten für Ersatzbeschaffungen berücksichtigt werden (VDI 2000).

Die Annuität der kapitalgebundenen Auszahlungen ergibt sich aus folgender Gleichung:

$$A_{N,K} = (A_0 + A_1 + A_2 + \dots A_N - R_W) * a + \frac{f_K}{100} * A_0 * ba_{IN}$$

$A_{N,K}$	Annuität der kapitalgebundenen Zahlungen in €/a
A_0	Investitionsbeitrag in €
$A_{1,2,\dots,n}$	Barwert der ersten, zweiten, ..., n-ten Ersatzbeschaffung
R_W	Restwert
A	Annuitätsfaktor
f_k	Faktor für die Instandsetzung in % des Investitionsbetrages im Jahr

ba_{IN} Preisdynamischer Annuitätsfaktor für Instandsetzungszahlungen

Die Barwerte der Ersatzbeschaffungen ergeben sich aus folgender Gleichung:

$$A_1 = A_0 * \frac{r^{(1*T_N)}}{q^{(1*T_N)}}, \quad A_2 = A_0 * \frac{r^{(2*T_N)}}{q^{(2*T_N)}} \quad \dots \quad A_n = A_0 * \frac{r^{(n*T_N)}}{q^{(n*T_N)}}$$

Durch lineare Abschreibung des Investitionsbetrags bis zum Ende des Betrachtungszeitraums wird der Restwert ermittelt. Ist der Zeitraum der Nutzungsdauer T_N größer als der Betrachtungszeitraum T, so werden statt des (Anfangs-)Investitionsbetrags die Ersatzinvestitionen linear abgeschrieben.

$$R_W = \underbrace{A_0 * r^{(n*T_N)}}_{\substack{\text{Preis zum} \\ \text{Beschaffungs} \\ \text{zeitraum}}} * \underbrace{\frac{(n+1)*T_N - T}{T_N}}_{\substack{\text{Lineare Abschreibung}}} * \underbrace{\frac{1}{q^T}}_{\substack{\text{Abzinsung} \\ \text{auf Anfangs-} \\ \text{zeitpunkt}}}$$

- T_N Nutzungsdauer der Anlagenkomponente in Jahren
- T Betrachtungszeitraum in Jahren
- q Zinsfaktor
- r Preisänderungsfaktor
- n Anzahl der Ersatzbeschaffungen innerhalb des Betrachtungszeitraums

Der Annuitätsfaktor ergibt sich aus der Gleichung:

$$a = \frac{q^T * (q - 1)}{q^T - 1} = \frac{q - 1}{1 - q^{-T}}$$

Geht man davon aus, dass sich für die laufenden Auszahlungen innerhalb des Betrachtungszeitraums Preisänderungen ergeben, so müssen diese mit dem preisdynamischen Annuitätsfaktor multipliziert werden:

$$ba_{IN} = b_{IN} * a$$

$$ba_V = b_V * a$$

$$ba_B = b_B * a$$

Dieser preisdynamische Annuitätsfaktor ergibt sich durch die Ermittlung der Annuität des Barwertfaktors b. Der Barwertfaktor wird dabei durch folgende Gleichung berechnet:

$$b = \frac{1 - \left(\frac{r}{q}\right)^T}{q - r}$$

Für $r = q$ gilt $b = T/q$.

Verbrauchs-/Bedarfsgebundene Kosten

Unter verbrauchsgebundenen Kosten werden die Kosten für den bereitgestellten Energieträger zusammengefasst (VDI 2000). Diese setzen sich aus den Grundkosten und Arbeitspreiskosten sowie den Hilfsenergiekosten zusammen (Ebert/ Bohnenschäfer 2008).

Die Gleichung nach denen die verbrauchsgebundenen Kosten ermittelt werden ist folgende:

$$A_{N,V} = A_{V1} * ba_V$$

$A_{N,V}$ Annuität der verbrauchsgebundenen Zahlungen

A_{V1} verbrauchsgebundene Zahlungen im ersten Jahr

ba_V preisdynamischer Annuitätsfaktor für verbrauchsgebundene Zahlungen

Betriebsgebundene Auszahlungen

Die betriebsgebundenen Zahlungen setzen sich aus den Kosten für Bedienung, Wartung und Inspektion zusammen (Ebert/ Bohnenschäfer 2008). Auch diese Zahlungen werden von Änderungen, unter anderem durch ein verändertes Lohnniveau, beeinflusst (VDI 2000). Unter Berücksichtigung von Preisänderungen ergibt sich folgende Gleichung:

$$A_{N,B} = A_{B,1} * ba_B$$

$A_{N,B}$ Annuität der betriebsgebundenen Zahlungen in €

A_{B1} betriebsgebundene Zahlungen im ersten Jahr

ba_B preisdynamischer Annuitätsfaktor für betriebsgebundene Zahlungen

Gesamtkosten

Die Annuität der Gesamtkosten ergibt sich aus der Addition der einzelnen Kosten:

$$A_{N,G} = A_{N,K} + A_{N,V} + A_{N,B}$$

8.3.2.2 Anhang II: Aufwandzahlen

Tab. 8.7: Aufwandzahlen EFH

Quelle: Eigene Zusammenstellung nach (Ebert/ Bohnenschäfer 2008)

EFH - Neubau					
Heizsystem	Aufwandzahlen Raumwärme			Aufwandzahlen Warmwasser	
	Übergabe	Verteilung	Erzeugung	Verteilung	Erzeugung
Erdgas-Brennwertkessel	1,02	1,01	0,98	1,42	1,13
Erdgas-Brennwert-Kessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	1,02	1,01	0,98	1,42	1,13
Heizöl-Brennwert-Kessel	1,02	1,01	1,03	1,42	1,16
Heizöl-Brennwert-Kessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	1,02	1,01	1,03	1,42	1,16
Holz-Pellet-Kessel	1,02	1,01	1,25	1,42	1,5
Holz-Pellet-Kessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	1,02	1,01	1,25	1,42	1,5
Sole/Wasser-Wärmepumpe	1,02	1,01	0,19	1,42	0,4
Luft-Wasser-Wärmepumpe	1,02	1,01	0,25	1,42	0,41
EFH - Bestand					
Heizsystem	Aufwandzahlen Raumwärme			Aufwandzahlen Warmwasser	
	Übergabe	Verteilung	Erzeugung	Verteilung	Erzeugung
Erdgas-Brennwertkessel	1,02	1,03	1	1,42	1,13
Erdgas-Brennwert-Kessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	1,02	1,03	1	1,42	1,13
Heizöl-Brennwert-Kessel	1,02	1,03	1,04	1,42	1,16
Heizöl-Brennwert-Kessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	1,02	1,03	1,04	1,42	1,16
Holz-Pellet-Kessel	1,02	1,03	1,25	1,42	1,5
Holz-Pellet-Kessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	1,02	1,03	1,25	1,42	1,5

Sole/Wasser-Wärmepumpe	1,02	1,03	0,24	1,42	0,4
Luft-Wasser-Wärmepumpe	1,02	1,03	0,29	1,42	0,41

Tab. 8.8: Aufwandzahlen MFH

Quelle: Eigene Zusammenstellung nach (Ebert/ Bohnenschäfer 2008)

MFH - Neubau					
Heizsystem	Aufwandzahlen Raumwärme			Aufwandzahlen Warmwasser	
	Übergabe	Verteilung	Erzeugung	Verteilung	Erzeugung
Erdgas-Brennwertkessel	1,02	1,01	0,98	1,42	1,13
Erdgas-Brennwert-Kessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	1,02	1,01	0,98	1,42	1,13
Heizöl-Brennwert-Kessel	1,02	1,01	1,03	1,42	1,16
Heizöl-Brennwert-Kessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	1,02	1,01	1,03	1,42	1,16
Holz-Pellet-Kessel	1,02	1,01	1,25	1,42	1,5
Holz-Pellet-Kessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	1,02	1,01	1,25	1,42	1,5
Sole/Wasser-Wärmepumpe	1,02	1,01	0,19	1,42	0,36

MFH - Bestand					
Heizsystem	Aufwandzahlen Raumwärme			Aufwandzahlen Warmwasser	
	Übergabe	Verteilung	Erzeugung	Verteilung	Erzeugung
Erdgas-Brennwertkessel	1,02	1,01	1	1,42	1,13
Erdgas-Brennwert-Kessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	1,02	1,01	1	1,42	1,13
Heizöl-Brennwert-Kessel	1,02	1,01	1,04	1,42	1,16
Heizöl-Brennwert-Kessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	1,02	1,01	1,04	1,42	1,16
Holz-Pellet-Kessel	1,02	1,01	1,25	1,42	1,5
Holz-Pellet-Kessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	1,02	1,01	1,25	1,42	1,5

Sole/Wasser-Wärmepumpe	1,02	1,01	0,23	1,42	0,36
------------------------	------	------	------	------	------

8.3.2.3 Anhang III: Förderung

Tab. 8.9: Förderungen im Rahmen des Marktanreizprogramms (MAP) für den Bestand (Angaben in Euro)

Quelle: IE Leipzig (Ebert/ Bohnenschäfer 2008); aktualisiert auf der Basis von BAFA-Angaben (www.bafa.de; Oktober 2009)

Heizsystem	EFH	MFH
Erdgas-Brennwertkessel		
Erdgas-Brennwert-Kessel und solare Warm-Wasser-Bereitung		
Basisförderung Solarkollektor bis 40 m ² bzw. EFH auch größer (60 €/m ² Kollektorfläche, mindestens 410 €)	410	1.080
Bonusförderung Kesseltausch (375 €)	375	375
Heizöl-Brennwert-Kessel		
Heizöl-Brennwert-Kessel und solare Warm-Wasser-Bereitung		
Basisförderung Solarkollektor bis 40 m ² bzw. EFH auch größer (60 €/m ² , mindestens 410 €)	410	1.080
Bonusförderung Kesseltausch (375 €)	375	375
Holz-Pellet-Kessel		
Basisförderung Pellet-Kessel (36 €/kW, mindestens 2500 €)	2.500	2.500
Holz-Pellet-Kessel und solare Warm-Wasser-Bereitung		
Basisförderung Pellet-Kessel (36 €/kW, mindestens 2500 €)	2.500	2.500
Basisförderung Solarkollektor bis 40 m ² bzw. EFH auch größer (60 €/m ² , mindestens 410 €)	410	1.080
Kombiförderung Solar und Biomasse (750 €)	750	750
Sole/Wasser-Wärmepumpe		
Basisförderung Sole/Wasser Wärmepumpe (20 €/m ² WFL, max. 3000 €/WE; MFH max. 15% Nettoinvestitionskosten)	2.600	6.990
Luft-Wasser-Wärmepumpe		
Basisförderung Luft/Wasser Wärmepumpe (10 €/m ² WFL, max. 1500 €/WE; MFH max. 10% Nettoinvestitionskosten)	1.300	/

Tab. 8.10: Förderungen im Rahmen des MAP für Neubauten (Angaben in Euro)

Quelle: IE Leipzig (Ebert/ Bohnenschäfer 2008); aktualisiert auf der Basis von BAFA-Angaben (www.bafa.de; Oktober 2009)

Heizsystem	EFH	MFH
Erdgas-Brennwertkessel		
Erdgas-Brennwert-Kessel und solare Warm-Wasser-Bereitung		
Basisförderung Solarkollektor bis 40 m ² bzw. EFH auch größer (60 €/m ² Kollektorfläche, mindestens 410 €)	410	1.080
Heizöl-Brennwert-Kessel		
Heizöl-Brennwert-Kessel und solare Warm-Wasser-Bereitung		
Basisförderung Solarkollektor bis 40 m ² bzw. EFH auch größer (60 €/m ² , mindestens 410 €)	410	1.080
Holz-Pellet-Kessel		
Basisförderung Pellet-Kessel (36 €/kWh, mindestens 2500 €)	2.500	2.500
Holz-Pellet-Kessel und solare Warm-Wasser-Bereitung		
Basisförderung Pellet-Kessel (36 €/kWh, mindestens 2500 €)	2.500	2.500
Basisförderung Solarkollektor bis 40 m ² bzw. EFH auch größer (60 €/m ² , mindestens 410 €)	410	1.080
Kombiförderung Solar und Biomasse (750 €)	750	750
Sole/Wasser-Wärmepumpe		
Basisförderung Sole/Wasser Wärmepumpe (10 €/m ² WFL, max. 2000 €/WE; MFH max. 10% Nettoinvestitionskosten)	1.300	3.400
Luft-Wasser-Wärmepumpe		/
Basisförderung Luft/Wasser Wärmepumpe (5 €/m ² WFL, max. 850 €/WE; MFH max. 10% der Nettoinvestitionskosten)	650	/

8.3.2.4 Anhang IV: Investitionskosten der Versorgungssysteme

Tab. 8.11: Investitionskosten im EFH-Neubau (ohne MWSt.)

Quelle: IE 2008 (Ebert/ Bohnenschäfer 2008, 15)

Heizsystem	Wärmeerzeuger inkl. Regelung und Zubehör [€]	Wärmequelleanlage inkl. Zubehör [€]	Puffer/Warmwasserspeicher [€]	Schornstein [€]	Anschlusskosten [€]	Tank/Brennstofflager (inkl. Zubehör) [€]	Installation [€]	Summe [€]
Erdgas-Brennwertkessel	3.000	0	0	400	1.400	0	600	5.400
Erdgasbrennwertkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	3.200	1.900	1.300	400	1.400	0	800	9.000
Heizöl-Brennwertkessel	3.300	0	600	1700	0	1.250	700	7.550
Heizöl-Brennwertkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	3.500	1.900	1.300	1700	0	1.250	900	10.550
Holz-Pellet-Kessel	7.700	0	1.600	1700	0	3.800	800	15.600
Holz-Pelletkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	7.900	1.900	1.600	1700	0	3.800	1.000	17.900
Sole-/Wasser- Wärmepumpe	9.800	5.500	1.600	0	0	0	500	17.400
Luft-/Wasser- Wärmepumpe	12.400	0	1.600	0	0	0	500	14.500

Tab. 8.12: Investitionskosten im EFH-Bestand (ohne MWSt.)

Quelle: IE 2008 (Ebert/ Bohnenschäfer 2008, 16)

Heizsystem	Wärmeerzeuger inkl. Regelung und Zubehör [€]	Wärmequelleanlage inkl. Zubehör [€]	Puffer/Warmwasserspeicher [€]	Schornstein [€]	Anschlusskosten [€]	Tank/Brennstofflager (inkl. Zubehör) [€]	Installation [€]	Summe [€]
Erdgas-Brennwertkessel	3.000	0	0	400	1400	0	600	5.400

Erdgasbrennwertkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	3.200	1.900	1.300	400	1.400	0	800	9.000
Heizöl-Brennwertkessel	3.300	0	600	1.700	0	1.250	700	7.550
Heizöl-Brennwertkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	3.500	1.900	1.300	1.700	0	1.250	900	10.550
Holz-Pellet-Kessel	8.100	0	1.600	1.700	0	4.200	800	16.400
Holz-Pelletkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	8.300	1.900	1.600	1.700	0	4.200	1.000	18.700
Sole-/Wasser-Wärmepumpe	11.500	9.000	1.600	0	0	0	500	22.600
Luft-/Wasser- Wärmepumpe	14.200	0	1.600	0	0	0	500	16.300

Tab. 8.13: Investitionskosten im MFH-Neubau (ohne MWSt.)

Quelle: IE 2008 (Ebert/ Bohnenschäfer 2008, 17)

Heizsystem	Wärmeerzeuger inkl. Regelung und Zubehör [€]	Wärmequelleanlage inkl. Zubehör [€]	Puffer/Warmwasserspeicher [€]	Schornstein [€]	Anschlusskosten [€]	Tank/Brennstofflager (inkl. Zubehör) [€]	Installation [€]	Summe [€]
Erdgas-Brennwertkessel	3000	0	1700	700	1400	0	900	7.700
Erdgasbrennwertkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	3600	4000	2200	700	1400	0	1200	13.100
Heizöl-Brennwertkessel	3300	0	1700	2400	0	2700	1100	11.200
Heizöl-Brennwertkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	3900	4000	2200	2400	0	2700	1400	16.600
Holz-Pellet-Kessel	9600	0	2500	2400	0	5000	1200	20.700
Holz-Pelletkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	10200	4000	2500	2400	0	5000	1500	25.600
Sole-/Wasser-Wärmepumpe	19500	14000	2500	0	0	0	700	36.700

Tab. 8.14: Investitionskosten im MFH-Bestand (ohne MWSt.)

Quelle: IE 2008 (Ebert/ Bohnenschäfer 2008, 18)

Heizsystem	Wärmeerzeuger inkl. Regelung und Zubehör [€]	Wärmequelleanlage inkl. Zubehör [€]	Puffer/Warmwasserspeicher [€]	Schornstein [€]	Anschlusskosten [€]	Tank/Brennstofflager (inkl. Zubehör) [€]	Installation [€]	Summe [€]
Erdgas-Brennwertkessel	3.500	0	1.700	700	1.400	0	900	8.200
Erdgasbrennwertkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	4.100	4.000	2.200	700	1.400	0	1.200	13.600
Heizöl-Brennwertkessel	3.600		1.700	2.400	0	4.300	1.100	13.100
Heizöl-Brennwertkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	4.200	4.000	2.200	2.400	0	4.300	1.400	18.500
Holz-Pellet-Kessel	10.700	0	2.800	2.400	0	6.100	1.200	23.200
Holz-Pelletkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	11.300	4.000	2.800	2.400	0	6.100	1.500	28.100
Sole-/Wasser- Wärmepumpe	22.800	21.000	2.800	0	0	0	700	47.300

8.3.2.5 Anhang V: Betriebsgebundene Kosten

8.3.2.5.1 Hilfsenergiebedarf

Tab. 8.15: Hilfsenergiebedarf EFH-Neubau (Fußbodenheizung)

Quelle: IE 2008 (Ebert/ Bohnenschäfer 2008, 21)

Heizsystem	Hilfsenergiebedarf [kWh/a]
Erdgas-Brennwertkessel	641
Erdgasbrennwertkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	751
Heizöl-Brennwertkessel	641
Heizöl-Brennwertkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	751
Holz-Pellet-Kessel	767
Holz-Pelletkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	880
Sole-/Wasser- Wärmepumpe	703
<u>Luft-/Wasser- Wärmepumpe</u>	512

Tab. 8.16: Hilfsenergiebedarf EFH-Bestand (Plattenheizkörper)

Quelle: IE 2008 (Ebert/ Bohnenschäfer 2008, 22)

Heizsystem	Hilfsenergiebedarf [kWh/a]
Erdgas-Brennwertkessel	471
Erdgasbrennwertkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	582
Heizöl-Brennwertkessel	471
Heizöl-Brennwertkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	582
Holz-Pellet-Kessel	600
Holz-Pelletkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	711
Sole-/Wasser- Wärmepumpe	534
<u>Luft-/Wasser- Wärmepumpe</u>	343

Tab. 8.17: Hilfsenergiebedarf MFH-Neubau (Fußbodenheizung)

Quelle: IE 2008 (Ebert/ Bohnenschäfer 2008, 23)

Heizsystem	Hilfsenergiebedarf [kWh/a]
Erdgas-Brennwertkessel	993
Erdgasbrennwertkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	1.144
Heizöl-Brennwertkessel	993

Heizöl-Brennwertkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	1.144
Holz-Pellet-Kessel	1.449
Holz-Pelletkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	1.600
Sole-/Wasser- Wärmepumpe	1.255

Tab. 8.18: Hilfsenergiebedarf MFH-Bestand (Plattenheizkörper)

Quelle: IE 2008 (Ebert/ Bohnenschäfer 2008, 24)

Heizsystem	Hilfsenergiebedarf [kWh/a]
Erdgas-Brennwertkessel	765
Erdgasbrennwertkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	916
Heizöl-Brennwertkessel	765
Heizöl-Brennwertkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	916
Holz-Pellet-Kessel	1.221
Holz-Pelletkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	1.372
Sole-/Wasser- Wärmepumpe	1.027

8.3.2.5.2 Wartungs- und Inspektionskosten

Tab. 8.19: Wartungs- und Inspektionskosten EFH

Quelle: IE 2008 (Ebert/ Bohnenschäfer 2008, 26)

Heizsystem	Wartungskosten [€/a]
Erdgas-Brennwertkessel	100
Erdgasbrennwertkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	130
Heizöl-Brennwertkessel	150
Heizöl-Brennwertkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	180
Holz-Pellet-Kessel	220
Holz-Pelletkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	250
Sole-/Wasser- Wärmepumpe	50
Luft-/Wasser- Wärmepumpe	50

Tab. 8.20: Wartungs- und Inspektionskosten MFH

Quelle: IE 2008 (Ebert/ Bohnenschäfer 2008, 27)

Heizsystem	Wartungskosten [€/a]
Erdgas-Brennwertkessel	100
Erdgasbrennwertkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	130
Heizöl-Brennwertkessel	150
Heizöl-Brennwertkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	180

Holz-Pellet-Kessel	220
Holz-Pelletkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	250
Sole-/Wasser- Wärmepumpe	50

8.3.2.5.3 Gebühren Schornsteinfeger

Tab. 8.21: Gebühren Schornsteinfeger EFH

Quelle: IE 2008 (Ebert/ Bohnenschäfer 2008, 28)

Heizsystem	Schornsteinfegergebühren [€/a]
Erdgas-Brennwertkessel	17
Erdgasbrennwertkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	17
Heizöl-Brennwertkessel	55
Heizöl-Brennwertkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	55
Holz-Pellet-Kessel	120
Holz-Pelletkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	120
Sole-/Wasser- Wärmepumpe	0

Tab. 8.22: Gebühren Schornsteinfeger MFH

Quelle: IE 2008 (Ebert/ Bohnenschäfer 2008, 28)

Heizsystem	Schornsteinfegergebühren [€/a]
Erdgas-Brennwertkessel	20
Erdgasbrennwertkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	20
Heizöl-Brennwertkessel	60
Heizöl-Brennwertkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	60
Holz-Pellet-Kessel	180
Holz-Pelletkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung	180
Sole-/Wasser- Wärmepumpe	0

8.3.2.6 Anhang VI: Nutzungsdauer und Instandsetzungsfaktor

Tab. 8.23: Nutzungsdauer und Instandsetzungsfaktor der Heizungssysteme und deren Komponenten

Quelle: VDI (2000)

	Rechnerische Nutzungsdauer in Jahren	Instandsetzungsfaktor in % [f _K]
Erdgas-Brennwert-Kessel		
Wärmeerzeuger (Heizkessel)	18	1,5
Pufferspeicher (Warmwasserspeicher)	25	1
Schornstein	50	1
Anschluss	50	1

Installation	20	0
Erdgas-Brennwertkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung		
Wärmeerzeuger (Heizkessel)	18	1,5
Pufferspeicher (Warmwasserspeicher)	25	1
Schornstein	50	1
Solarkollektor (Flachkollektor) (Wärmequellenanlage)	25	1
Anschluss	50	1
Installation	20	0
Heizöl-Brennwert-Kessel		
Wärmeerzeuger (Heizkessel)	18	1,5
Pufferspeicher (Warmwasserspeicher)	25	1
Schornstein	50	1
Installation	20	0
Brennstofflager	30	1
Heizöl-Brennwert-Kessel und solare Warm-Wasser-Bereitung		
Wärmeerzeuger (Heizkessel)	18	1,5
Pufferspeicher (Warmwasserspeicher)	25	1
Schornstein	50	1
Solarkollektor (Flachkollektor) (Wärmequellenanlage)	25	1
Anschluss	50	1
Installation	20	0
Brennstofflager	25	1
Holz-Pelletkessel		
Wärmeerzeuger (Heizkessel)	20	1,5
Pufferspeicher (Warmwasserspeicher)	25	1
Schornstein	50	1
Installation	20	0
Brennstofflager	30	1
Holz-Pelletkessel und solare Warm-Wasser-Bereitung		
Wärmeerzeuger (Heizkessel)	20	1,5
Pufferspeicher (Warmwasserspeicher)	25	1
Schornstein	50	1
Solarkollektor (Flachkollektor) (Wärmequellenanlage)	25	1
Anschluss	50	1

Installation	20	0
Brennstofflager	30	1
Sole/Wasser Wärmepumpe		
Wärmeerzeuger (Wärmepumpe)	20	3
Wärmequelle (Erdkollektor)	25	1
Pufferspeicher (Warmwasserspeicher)	25	1
Installation	20	0
Luft/Wasser Wärmepumpe		
Wärmeerzeuger (Wärmepumpe)	20	3
Pufferspeicher (Warmwasserspeicher)	25	1
Installation	20	0

GESCHÄFTSTELLE BERLIN

MAIN OFFICE

Potsdamer Straße 105

10785 Berlin

Telefon: + 49 – 30 – 884 594-0

Fax: + 49 – 30 – 882 54 39

BÜRO HEIDELBERG

HEIDELBERG OFFICE

Bergstraße 7

69120 Heidelberg

Telefon: + 49 – 6221 – 649 16-0

Fax: + 49 – 6221 – 270 60

mailbox@ioew.de

www.ioew.de