

# Wertschöpfung und Beschäftigung durch Erneuerbare Energien in Brandenburg 2030

Langfassung



| i | ö | w

**GREENPEACE**

**Herausgeber:** Greenpeace e.V., Große Elbstraße 39, 22767 Hamburg, Tel. 040 – 306 18-0, Fax 040 – 306 18-100, E-Mail: [mail@greenpeace.de](mailto:mail@greenpeace.de), Internet: [www.greenpeace.de](http://www.greenpeace.de), Politische Vertretung Berlin, Marienstraße 19-20, 10117 Berlin, Tel. 030 – 30 88 99-0.

Die Studie wurde im Auftrag von Greenpeace durchgeführt vom Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW)  
Projektleitung: Dr. Bernd Hirschl

**V.i.S.d.P.:** Anike Peters

**Stand:** Januar 2012

Mark Bost, Timo Böther, Bernd Hirschl, Sebastian Kreuz, Anna Neumann, Julika Weiß

# Erneuerbare Energien Potenziale in Brandenburg 2030

Erschließbare technische Potenziale sowie  
Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte –  
eine szenariobasierte Analyse

Im Auftrag von Greenpeace e. V., Hamburg

Berlin, Januar 2012



i | ö | w

INSTITUT FÜR  
ÖKOLOGISCHE WIRTSCHAFTSFORSCHUNG

# 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

**Autoren (in alphabetischer Reihenfolge):**

Mark Bost  
Timo Böther  
Dr. Bernd Hirschl  
Sebastian Kreuz  
Anna Neumann  
Dr. Julika Weiß

**Unter Mitwirkung von:**

Hannes Kirchhoff  
David Hohenberger  
Katharina Heinbach

Die vorliegende Studie umfasst zwei verschiedene Teilstudien: im ersten Teil werden die Potenziale der erneuerbaren Energien in Brandenburg 2030 dargestellt, in Teil 2 werden die im ersten Teil ermittelten Szenariodaten hinsichtlich ihrer Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte in Brandenburg bewertet. Die Zusammenfassung gibt einen kurzen Überblick über die Ergebnisse beider Teilstudien. Redaktionsschluss dieser Studie war Anfang Januar 2012, noch vor dem Erscheinen der aktuellen Entwurfsfassung der Energiestrategie 2030 der Brandenburger Landesregierung. Die vorliegende Studie versteht sich als ein Diskussionsbeitrag zur Festlegung der Energiestrategie 2030 des Landes Brandenburg.

# Inhaltsverzeichnis

<b>0</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>11</b>
<b>1</b>	<b>Einführung.....</b>	<b>16</b>
1.1	Aktuelle Situation in Brandenburg.....	16
1.2	Politische Ziele zum Ausbau erneuerbarer Energien in Brandenburg („Energiesstrategie 2020“) ....	17
1.3	Zentrale Fragen und Methodik dieser Studie.....	18
	<b>Teil 1: Potenziale erneuerbarer Energien in Brandenburg.....</b>	<b>20</b>
<b>2</b>	<b>Nutzung erneuerbarer Energien 2010 .....</b>	<b>20</b>
2.1	Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien .....	20
2.1.1	Überblick Wärmebedarf und -bereitstellung .....	20
2.1.2	Biomasse (klein) .....	24
2.1.3	Wärmepumpen, oberflächennahe Geothermie .....	27
2.1.4	Solarthermie .....	29
2.1.5	Biomasseheiz-(kraft)werke .....	31
2.1.6	Biogas, Deponie- und Klärgas.....	32
2.1.7	Tiefe Geothermie .....	33
2.1.8	Gesamtschau Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien .....	33
2.2	Stromerzeugung und Stromverbrauch.....	34
2.2.1	Struktur der Stromerzeugung und Strombilanz .....	34
2.2.2	Strom aus erneuerbaren Energien .....	38
2.3	Verkehr/ Kraftstoffe .....	44
<b>3</b>	<b>Technologiespezifische Potenziale.....</b>	<b>45</b>
3.1	Allgemeines Vorgehen, Szenariokonstruktion und Methodik .....	45
3.2	Biomassepotenziale .....	46
3.2.1	Zentrale Biomasse-Potenzialstudien .....	47
3.2.2	Differenzierte Biomasse-Potenziale .....	48
3.2.3	Gesamtschau Biomassepotenzial Brandenburg 2030 .....	50
3.2.4	Nutzung der Biomassepotenziale im Strom- und Wärmebereich .....	51
3.3	EE-Wärmepotenziale .....	53
3.3.1	Wärmeverbrauchsentwicklung .....	53
3.3.2	Technische Potenziale EE-Wärme.....	53
3.3.3	Wärmeszenarien EE-0BK und EE-50BK.....	54
3.4	Stromerzeugungspotenziale .....	65
3.4.1	Windkraft.....	65
3.4.2	Photovoltaik .....	68
3.4.3	Strom aus Biomasse.....	72
3.4.4	Wasserkraft.....	73
3.4.5	Geothermie .....	73
3.4.6	Konventionelle Stromerzeugung .....	74
3.4.7	Versorgungssicherheit und Netzausbau.....	77

3.5	Potenziale Verkehr/ Kraftstoffe.....	83
<b>4</b>	<b>Gesamtschau und Fazit EE-Potenziale .....</b>	<b>84</b>
<b>Teil 2: Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte erneuerbarer Energien .....</b>		<b>93</b>
<b>5</b>	<b>Einführung zur Berechnung der Wertschöpfungseffekte.....</b>	<b>93</b>
<b>6</b>	<b>Zentrale Annahmen und Eingangsdaten.....</b>	<b>96</b>
6.1	Investitionskosten der EE-Technologien.....	96
6.2	Marktanalyse und Wirtschaftskennzahlen.....	97
6.2.1	Wind.....	99
6.2.2	Photovoltaik.....	100
6.2.3	Solarthermie.....	103
6.2.4	Biomasse, Biokraftstoffe und Biogas .....	104
6.2.5	Wärmepumpen .....	106
6.2.6	Wasserkraft.....	106
6.3	Bestand und Zubau erneuerbarer Energien in Brandenburg.....	107
6.4	Weitere Annahmen und Eingangsdaten .....	109
<b>7</b>	<b>Grundlegende methodische Aspekte .....</b>	<b>110</b>
7.1	Zur Definition der Wertschöpfung allgemein sowie auf Landesebene.....	110
7.2	Gewinne .....	111
7.3	Einkommen.....	111
7.4	Steuern .....	112
<b>8</b>	<b>Szenariobasierte Hochrechnungen für 2010, 2020 und 2030 .....</b>	<b>114</b>
8.1	Wertschöpfungseffekte.....	114
8.2	Beschäftigungseffekte .....	116
8.3	Ergebnistabellen und -grafiken für 2010, 2020 und 2030 .....	118
<b>9</b>	<b>Fazit und Interpretation der Ergebnisse.....</b>	<b>133</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>		<b>139</b>
<b>Anhang.....</b>		<b>146</b>
<b>10</b>	<b>Ergänzende Berechnungen zu den vermiedenen CO<sub>2</sub>-Emissionen und Brennstoffkosten.....</b>	<b>146</b>
10.1	Vermiedene CO <sub>2</sub> -Emissionen .....	146
10.2	Eingesparte Kosten für fossile Brennstoffimporte .....	148
<b>11</b>	<b>Umrechnungsfaktoren .....</b>	<b>151</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1:	Aufteilung der primären Heizungsenergie bei Neubauten im Land Brandenburg in den Jahren 2006 bis 2010 .....	23
Abb. 2.2:	Entwicklung der Strombilanz von Brandenburg .....	35
Abb. 2.3:	Entwicklung der Stromerzeugung in Brandenburg nach Energieträgern .....	36
Abb. 2.4:	Entwicklung des Stromverbrauchs in Brandenburg nach Sektoren .....	37
Abb. 2.5:	Entwicklung der installierten Leistung erneuerbarer Energieerzeuger in Brandenburg .....	38
Abb. 2.6:	Entwicklung der installierten Leistung erneuerbarer Energieerzeuger in Deutschland .....	39
Abb. 2.7:	Stromerzeugung in Brandenburg durch erneuerbare Energien 2007–2009 .....	42
Abb. 2.8:	Durchschnittliche Vollaststunden regenerativer Energieerzeugung in Brandenburg 2007–2009 .....	43
Abb. 3.1:	Erfolgter und angenommener Ausbau der Windkraft in Brandenburg .....	68
Abb. 3.2:	Erfolgter und angenommener PV-Ausbau .....	72
Abb. 3.3:	Gegenüberstellung der Szenarien EE-50BK und EE-0BK mit dem Status Quo (2010) für den Bereich der elektrischen Energieerzeugung in Brandenburg .....	76
Abb. 4.1:	Energieerzeugung durch erneuerbare Energien in 2010, gemäß „Energieszenario 2020“ (Zielszenario) sowie in den Szenarien EE-50BK und EE-0BK .....	88
Abb. 4.2:	Anteile erneuerbarer Energien in 2010 am Energieverbrauch, im Szenario EE-50BK und EE-0BK jeweils bezogen auf die Energieverbrauchsvariante „Effizienz“ .....	89
Abb. 4.3:	Anteile erneuerbarer Energien in 2010 am Energieverbrauch, im Szenario EE-50BK und EE-0BK jeweils bezogen auf die Energieverbrauchsvariante „Effizienz plus“ .....	89
Abb. 6.1:	Produktionskapazität der Solarmodulproduzenten in Brandenburg und Deutschland in den Jahren 2010 und 2011 .....	103
Abb. 8.1:	Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Strom erzeugender EE-Anlagen im JAHR 2010 in Tausend Euro, aufgeteilt nach Nettoeinkommen, Gewinnen und Steuern ...	119
Abb. 8.2:	Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Strom erzeugender EE-Anlagen im BASISJAHR 2010 in Tausend Euro, aufgeteilt nach Wertschöpfungsstufen .....	119
Abb. 8.3:	Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Wärme erzeugender EE-Anlagen im JAHR 2010 in Tausend Euro aufgeteilt nach Nettoeinkommen, Gewinnen und Steuern .....	120
Abb. 8.4:	Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Wärme erzeugender EE-Anlagen im JAHR 2010 in Tausend Euro, aufgeteilt nach Wertschöpfungsstufen .....	120
Abb. 8.5:	Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Strom erzeugender EE-Anlagen im Jahr 2020 (EE-50BK) in Tausend Euro, aufgeteilt nach Nettoeinkommen, Gewinnen und Steuern .....	122
Abb. 8.6:	Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Strom erzeugender EE-Anlagen im AHR 2020 (EE-50BK) in Tausend Euro, aufgeteilt nach Wertschöpfungsstufen .....	122
Abb. 8.7:	Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Wärme erzeugender EE-Anlagen im JAHR 2020 (EE-50BK) in Tausend Euro aufgeteilt nach Nettoeinkommen, Gewinnen und Steuern .....	123
Abb. 8.8:	Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Wärme erzeugender EE-Anlagen im JAHR 2020 (EE-50BK) in Tausend Euro, aufgeteilt nach Wertschöpfungsstufen .....	123
Abb. 8.9:	Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Strom erzeugender EE-Anlagen im Jahr 2030 (EE-50BK) in Tausend Euro, aufgeteilt nach Nettoeinkommen, Gewinnen und Steuern .....	125

Abb. 8.10:	Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Strom erzeugender EE-Anlagen im JAHR 2030 (EE-50BK) in Tausend Euro, aufgeteilt nach Wertschöpfungsstufen.....	125
Abb. 8.11:	Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Wärme erzeugender EE-Anlagen im JAHR 2030 (EE-50BK) in Tausend Euro aufgeteilt nach Nettoeinkommen, Gewinnen und Steuern .....	126
Abb. 8.12:	Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Wärme erzeugender EE-Anlagen im JAHR 2030 (EE-50BK) in Tausend Euro, aufgeteilt nach Wertschöpfungsstufen.....	126
Abb. 8.13:	Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Strom erzeugender EE-Anlagen im Jahr 2020 (EE-0BK) in Tausend Euro, aufgeteilt nach Nettoeinkommen, Gewinnen und Steuern .....	128
Abb. 8.14:	Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Strom erzeugender EE-Anlagen im JAHR 2020 (EE-0BK) in Tausend Euro, aufgeteilt nach Wertschöpfungsstufen.....	128
Abb. 8.15:	Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Wärme erzeugender EE-Anlagen im JAHR 2020 (EE-0BK) in Tausend Euro aufgeteilt nach Nettoeinkommen, Gewinnen und Steuern .....	129
Abb. 8.16:	Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Wärme erzeugender EE-Anlagen im JAHR 2020 (EE-0BK) in Tausend Euro, aufgeteilt nach Wertschöpfungsstufen.....	129
Abb. 8.17:	Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Strom erzeugender EE-Anlagen im Jahr 2030 (EE-0BK) in Tausend Euro, aufgeteilt nach Nettoeinkommen, Gewinnen und Steuern .....	131
Abb. 8.18:	Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Strom erzeugender EE-Anlagen im JAHR 2030 (EE-0BK) in Tausend Euro, aufgeteilt nach Wertschöpfungsstufen.....	131
Abb. 8.19:	Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Wärme erzeugender EE-Anlagen im JAHR 2030 (EE-0BK) in Tausend Euro aufgeteilt nach Nettoeinkommen, Gewinnen und Steuern .....	132
Abb. 8.20:	Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Wärme erzeugender EE-Anlagen im JAHR 2030 (EE-0BK) in Tausend Euro, aufgeteilt nach Wertschöpfungsstufen.....	132
Abb. 9.1:	Vergleich der Wertschöpfung der Szenarien in Brandenburg über alle erneuerbaren Energien-Technologien zwischen den Jahren 2010-2030.....	135
Abb. 9.2:	Vergleich der Beschäftigungseffekte der Szenarien in Brandenburg über alle erneuerbaren Energien-Technologien zwischen den Jahren 2010-2030.....	135

## Tabellenverzeichnis

Tab. 0.1:	Energieerzeugung erneuerbarer Energien in PJ im Jahr 2010 und 2030 .....	12
Tab. 0.2:	Wertschöpfung und Beschäftigungseffekte durch EE in Brandenburg .....	15
Tab. 2.1:	Nettowärmeerzeugung durch AGFW-Mitglieder und Nichtmitglieder im Jahr 2009.....	21
Tab. 2.2:	Energiequellen für die Erzeugung von Fernwärme in Brandenburg und Deutschland für das Jahr 2009.....	21
Tab. 2.3:	Anteil der Neubauten (Baufertigstellung 2010) mit einer EE-Primärheizung .....	23
Tab. 2.4:	Anteil der Neubauten (Baugenehmigung 2010 ) mit einer EE-Zweitheizung .....	24
Tab. 2.5:	Zubau und Bestand förderfähiger Biomasseheizungen in Brandenburg nach Biomasseatlas und LUGV.....	25
Tab. 2.6:	Entwicklung der Anlagenzahl in Brandenburg .....	28
Tab. 2.7:	Ausbaustand Solarthermieanlagen in Brandenburg.....	30
Tab. 2.8:	Ausbaustand der erneuerbaren Energien zur Wärmeerzeugung im Land Brandenburg für das Jahr 2010 .....	33

Tab. 2.9:	Ausbaustand der regenerativen Stromerzeugung in Brandenburg 2010 im Verhältnis zu Deutschland.....	40
Tab. 2.10:	Stromerzeugung in Brandenburg durch erneuerbare Energien 2007–2010.....	40
Tab. 2.11:	EE-Stromerzeugung in Brandenburg 2007 nach unterschiedlichen Quellen.....	41
Tab. 2.12:	Spezifische Stromerträge in Brandenburg (kWh je kW installierter Leistung).....	43
Tab. 3.1:	Biomassepotenziale 2030 Brandenburg .....	51
Tab. 3.2:	Thermische und elektrische Nutzung der Biomasse-Potenziale 2030.....	52
Tab. 3.3:	Abgeschätzte Entwicklung des Wärmeverbrauchs in Brandenburg bis 2030 nach Sektoren. ....	53
Tab. 3.4:	Annahmen zum Anteil der EE-Heizungen an den im Jahr 2030 neu installierten Heizungen im Gebäudebestand.....	56
Tab. 3.5:	EE-Wärmeerzeugung [PJ] im Gebäudebestand (Baualter bis 2010) nach den Szenarien EE-0BK und EE-50BK.....	56
Tab. 3.6:	Annahmen zum Anteil der EE-Heizungen an den von 2020 bis 2030 installierten Heizungen in Neubauten .....	57
Tab. 3.7:	EE-Wärmeerzeugung [PJ] in Neubauten (Baualter ab 2011) nach den Szenarien EE-0BK und EE-50BK.....	57
Tab. 3.8:	EE-Wärmeerzeugung [PJ] gesamten Gebäudebestand nach den Szenarien EE-0BK und EE-50BK.....	57
Tab. 3.9:	EE-Bereitstellung [PJ] im Bereich Prozesswärme nach den Szenarien EE-0BK und EE-50BK.....	60
Tab. 3.10:	Fernwärmeerzeugung 2030 in den beiden Szenarien EE-0BK und EE-50BK .....	62
Tab. 3.11:	Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien 2030 im Szenario EE-50BK (in PJ), Anteile bezogen auf Wärmebedarf Variante „Effizienz“.....	63
Tab. 3.12:	Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien 2030 im Szenario EE-0BK (in PJ), Anteile bezogen auf Wärmebedarf Variante „Effizienz“.....	64
Tab. 3.13:	Gasbedarf und Anteil aus erneuerbaren Energien 2030.....	64
Tab. 3.14:	Windkraft-Potenzial in Brandenburg aufgrund von Raumanalysen .....	67
Tab. 3.15:	Darstellung verschiedener Abschätzungen von PV-Potenzialen in Brandenburg .....	71
Tab. 3.16:	In Betrieb befindliche konventionelle Kraftwerke (>100 MW) in Brandenburg.....	75
Tab. 3.17:	Gesicherte Leistung des Kraftwerkparcs in Brandenburg bis 2030 .....	77
Tab. 3.18:	Gegenüberstellung der gesicherten Leistung Brandenburgs mit unterschiedlichen Energiebedarfs-Szenarien.....	78
Tab. 3.19:	Erschließbare unterirdische Speicherräume in Deutschland im Jahr 2050 .....	80
Tab. 3.20:	Wirkungsgrade für verschiedene Power-to-Gas-Verfahren .....	81
Tab. 4.1:	Endenergieverbrauch in den Varianten „Effizienz“ und „Effizienz plus“ in PJ.....	85
Tab. 4.2:	Energieerzeugung erneuerbarer Energien und Anteile am Energieverbrauch gemäß Szenario EE-50BK .....	86
Tab. 4.3:	Energieerzeugung erneuerbarer Energien und Anteile am Energieverbrauch gemäß Szenario EE-0BK .....	87
Tab. 5.1:	Untersuchte Wertschöpfungsketten der erneuerbaren Energien in Brandenburg .....	94
Tab. 5.2:	Wertschöpfungsstufen (allgemein) und Auswahl von Wertschöpfungsstufen einer PV-Anlage (Dach).....	95
Tab. 6.1:	Spezifische Investitionskosten der EE-Technologien für die Jahre 2010, 2020 und 2030.....	97
Tab. 6.2:	Klassifikation genutzter Wirtschaftszweige .....	99
Tab. 6.3:	Auswahl an Unternehmen der Windenergie-Branche in Brandenburg .....	100
Tab. 6.4:	Solarmodulproduzenten in Brandenburg im Jahr 2010.....	102
Tab. 6.5:	Kapazität der Solarmodulproduzenten in Brandenburg im Jahr 2010 .....	102
Tab. 6.6:	Auswahl wichtiger Produzenten solarthermischer Anlagen in Brandenburg.....	104

---

Tab. 6.7:	Auswahl von Unternehmen im Bereich Komponentenherstellung Biomasse/ Biokraftstoffe .....	105
Tab. 6.8:	Auswahl Brandenburger Unternehmen im Bereich Biogas .....	106
Tab. 6.9:	Annahmen für den Bestand und Zubau von EE-Anlagen in Brandenburg für die Jahre 2010, 2020 und 2030 .....	108
Tab. 7.1:	Anteile von Bund, Ländern und Kommunen an den Gemeinschaftssteuern.....	112
Tab. 8.1:	Hochgerechnete Wertschöpfung und direkte Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Brandenburg – JAHR 2010 .....	118
Tab. 8.2:	Hochgerechnete Wertschöpfung und direkte Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Brandenburg – EE 50-BK 2020.....	121
Tab. 8.3:	Hochgerechnete Wertschöpfung und direkte Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Brandenburg – EE 50-BK 2030.....	124
Tab. 8.4:	Hochgerechnete Wertschöpfung und direkte Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Brandenburg – EE-0BK 2020 (Energiewende) .....	127
Tab. 8.5:	Hochgerechnete Wertschöpfung und direkte Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Brandenburg – EE-0BK 2030 (Energiewende) .....	130
Tab. 9.1:	Wertschöpfung- und Beschäftigungseffekte der Szenarien im Vergleich .....	134
Tab. 10.1:	Energiebereitstellung aus EE in Brandenburg im Jahr 2010 und im Jahr 2030.....	147
Tab. 10.2:	Vermiedene CO <sub>2</sub> -Emissionen durch die Energiebereitstellung aus EE im Land Brandenburg 2010 und 2020 in 1000 t CO <sub>2</sub> .....	148
Tab. 10.3:	Einsparung fossiler Energieträger durch die Energiebereitstellung aus EE in Brandenburg 2010 und 2030 .....	149
Tab. 10.4:	Vermiedene fossile Brennstoffimporte in Brandenburg 2010 und 2030 in Mio. € .....	150

## Abkürzungsverzeichnis

AGFW	-	Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK
BHKW	-	Blockheizkraftwerk
B MWi	-	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
BWP	-	Bundesverband Wärmepumpe
DBFZ	-	Deutsches Biomasse Forschungszentrum
dena	-	Deutsche Energie-Agentur
DEWI	-	Deutsches Windenergie Institut
EE	-	Erneuerbare Energien
EFH	-	Einfamilienhaus
ETI	-	Energy Technologies Institute
EZFH	-	Ein- und Zweifamilienhäusern
GHD	-	Gewerbe Handel Dienstleistung e.V.
GZB	-	Internationale Geothermiezentrum Bochum
IE	-	Leipziger Institut für Energie
IER	-	Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung
inkl.	-	inklusive
inst.	-	installiert(e)
ISE	-	Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme
IWET	-	Ingenieur Werkstatt Energietechnik
KWK	-	Kraft-Wärme-Kopplung
LUGV	-	Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg
MAP	-	Marktanreizprogramm
MFH	-	Mehrfamilienhaus
MIL	-	Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft
MLUV	-	Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz Bran
MUGV	-	Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg
NawaRo	-	nachwachsende Rohstoffe
o. J.	-	ohne Jahr
tlw.	-	teilweise
v. a.	-	vor allem
WE	-	Wohneinheit
ZFH	-	Zweifamilienhaus

## Physikalische Größen und Einheiten

a	-	Jahr (lat.: anno)
FM	-	Festmeter
GWh	-	Gigawattstunde
kWh	-	Kilowattstunde
MW <sub>th</sub>	-	Megawatt (thermisch)
Nm <sup>3</sup>	-	Normkubikmeter
PJ	-	Petajoule
t <sub>atro</sub>	-	Tonne absolut trocken
TWh	-	Terrawattstunde



# 0 Zusammenfassung

Brandenburg ist ein traditionelles Energieland, das seit Jahrzehnten insbesondere auf Basis der fossilen Braunkohle große Mengen an Strom produziert und exportiert. Seit einigen Jahren ist Brandenburg aber auch zu einem der führenden Bundesländer bei der Nutzung erneuerbarer Energien geworden. So wurde das Land im November 2010 bereits zum zweiten Mal mit dem so genannten „Leitstern“ als „Bestes Bundesland Erneuerbare Energien“ ausgezeichnet. In der Energiestrategie 2020 aus dem Jahr 2002 verfolgte die Regierung das Ziel einer Reduzierung der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich zu 1990 um 40 % bis zum Jahr 2020 und um weitere 35 % (insgesamt also 75 %) bis zum Jahr 2030. Zur Erreichung dieser Ziele setzte die Brandenburger Regierung nicht nur auf die Steigerung der Energieeffizienz und die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien, sondern auch auf Braunkohlekraftwerke mit CO<sub>2</sub>-Deponierung (CCS).

Der deutlich schnellere Ausbau der erneuerbaren Energien (EE) in Brandenburg, die skeptischen Aussichten gegenüber der CCS-Option und nicht zuletzt auch die aktuellen Energiewende-Beschlüsse auf Bundesebene erfordern eine Aktualisierung der Energiestrategie Brandenburgs. Ein zentraler Diskussionspunkt ist dabei die zukünftige Rolle der Braunkohle. Wichtige Rahmenbedingungen für diese Diskussion sind die gegenwärtigen Erkenntnisse, dass Braunkohle-Grundlastkraftwerke aufgrund der geringen Flexibilität für eine von fluktuierenden EE-Technologien geprägte Strom- und Wärmeerzeugung nicht die geeignete komplementäre Technologie ist und zum zweiten die fehlende Akzeptanz für den breiten Einsatz der CCS-Technologie auch in Brandenburg. Damit stellt sich die Frage, mit welchen Veränderungen im Energiesystem Brandenburg seine angestrebten Reduktionsziele bis 2030 erreichen kann und will. Die vorliegende Studie geht vor diesem Hintergrund insbesondere der Frage nach, welche Rolle die erneuerbaren Energien im Energiesystem in Brandenburg im Jahr 2030 spielen können. Die Untersuchung gliedert sich dabei in zwei Teile: im ersten Teil werden die erschließbaren EE-Potenziale bis zum Jahr 2030 dargestellt, im zweiten Teil werden die daraus resultierenden Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte ermittelt.

## Erschließbare Potenziale 2030

Die Ermittlung der Potenziale erfolgte für **zwei Szenarien**: im Szenario „ambitionierter Ausbau erneuerbarer Energien, minus 50% Braunkohle“ (EE-50BK) wird davon ausgegangen, dass die Braunkohleverstromung bis 2030 um 50 % zurückgefahren wird, das Szenario EE-0BK („Energiewende“ bzw. „sehr ambitionierter Ausbau erneuerbarer Energien, minus 100% Braunkohle“) geht von einem kompletten Ausstieg aus der Braunkohleverstromung bis 2030 aus. In beiden Szenarien beschränkt sich die Betrachtung der Biomassepotenziale auf die endogenen Potenziale, d. h. solche, die in Brandenburg verfügbar sind. Biomasseimporte werden gegenwärtig zwar umfangreich eingesetzt und sind auch in Zukunft geplant, sie gehören jedoch erstens nicht zu den Brandenburger EE-Potenzialen und sind zweitens nach gegenwärtigen Erkenntnissen aus sozial-ökologischer Sicht kritisch zu bewerten, insbesondere wenn anderweitig nutzbare Biomasse eingesetzt wird.

Die bis 2030 erschließbaren Potenziale wurden getrennt für die Nutzungsbereiche Strom, Wärme und Kraftstoffe analysiert. Außerdem wurden zwei unterschiedliche Varianten bei der Entwicklung des Energieverbrauchs berücksichtigt: Die Variante „Effizienz“ (Reduktion des Endenergiebedarfs bis 2030 um 15 % gegenüber 2010) orientiert sich bis 2020 an den Zielen der Landesregierung,

darüber hinaus an bundesweiten Trendabschätzungen. Die Variante „Effizienz plus“ (Reduktion um 36 % gegenüber 2010) geht von einer deutlich stärkeren Reduktion entsprechend dem „Plan B“, einer Studie von Greenpeace, aus. Dabei wurde jeweils auf der Basis von Endenergieverbräuchen gerechnet, da diese für die Frage des tatsächlichen Energiebedarfs relevant sind. Je nach Energieträger unterscheidet sich der für die Bereitstellung des Endenergieverbrauchs erforderliche Primärenergieverbrauch, der zusätzlich die Verluste bei der Umwandlung berücksichtigt. Da bei erneuerbaren Energien Primär- und Endenergieverbrauch in der Regel identisch sind – wohingegen beispielsweise bei der Verstromung von Kohle aufgrund der Wirkungsgrade deutlich mehr Primärenergie eingesetzt werden muss – ist der Anteil der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch meist deutlich höher als am Primärenergieverbrauch.

Im **Jahr 2010** liegt der EE-Anteil an der Endenergie mit einer Erzeugung von 57 PJ bereits bei 19%. Während dieser Anteil bezogen auf den Stromverbrauch bereits 71 % erreicht, liegt er bezogen auf den Wärmeverbrauch bei nur 8 % und bei den Kraftstoffen bei nur 7 %. Die Stromerzeugung erfolgt vorwiegend durch Windenergieanlagen, Bioenergie und Solarenergie, die EE-Wärmebereitstellung erfolgt zu 91 % aus Biomasse.

**Tab. 0.1: Energieerzeugung erneuerbarer Energien in PJ im Jahr 2010 und 2030**

Quelle: Eigene Berechnungen

	2010	2030	
		EE-50BK	EE-0BK
	[PJ]	[PJ]	[PJ]
<b>Strom gesamt</b>	<b>38,2</b>	<b>107,7</b>	<b>135,7</b>
Solarenergie	2,0	15,7	19,8
Windenergie	27,4	82,8	104,2
Wasserkraft	0,1	0,2	0,3
Bioenergie	8,7	9,0	9,0
Tiefe Geothermie	0,0	0,0	2,4
<b>Wärme gesamt</b>	<b>13,0</b>	<b>46,2</b>	<b>48,7</b>
Solarenergie	0,4	5,3	5,9
Bioenergie	11,9	19,5	19,5
Geothermie/ Wärmepumpen	0,7	18,6	18,6
Tiefe Geothermie	0,1	2,8	4,8
<b>Kraftstoffe</b>	<b>6,0</b>	<b>7,8</b>	<b>7,8</b>
Biokraftstoffe	6,0	7,8	7,8
<b>EE Gesamt</b>	<b>57,2</b>	<b>161,6</b>	<b>192,2</b>
EE-Anteil am Endenergieverbrauch	19 %	64 % / 85 %	76% / 101 %

Die **Ergebnisse der Potenzialanalyse** zeigen, dass der **Endenergieverbrauch** von Brandenburg je nach Szenario und Effizienzvariante bis zum **Jahr 2030** mit einer Energiebereitstellung von 162 bzw. 192 PJ zu 64 % bis 101 % aus erneuerbaren Energien gedeckt werden könnte. Die EE-Stromerzeugung erreicht dabei bis 2030 Werte, die zwei- bis dreimal so hoch wie der Stromverbrauch in Brandenburg sind. Dagegen würden nach den Szenarien 2030 im Wärmebereich le-

diglich 38 % bis 47 % des Verbrauchs durch erneuerbare Energien gedeckt, im Kraftstoffbereich sogar nur 10 % bis 22 %.

Den größten Anteil an der erneuerbaren Energieerzeugung entfällt in beiden Szenarien auf die Windenergie. Neben den endogenen Biomassepotenzialen ist für die Stromerzeugung noch die Solarenergie von Bedeutung, für die Wärmeerzeugung die Energiebereitstellung mittels Wärmepumpen. Einen geringen Beitrag zur Strom- und Wärmebereitstellung könnte bis 2030 außerdem die tiefe Geothermie leisten.

Im Rahmen der Studie konnten keine Modellrechnungen für die zukünftige Entwicklung der Energiewirtschaft in Brandenburg durchgeführt werden. Die **Annahmen** zu den erschließbaren Potenzialen beruhen deshalb zum einen auf den technischen Potenzialen, die in Abhängigkeit von bestehenden Flächenkonkurrenzen ermittelt wurden. Zum anderen wurden ökonomische Aspekte und Akzeptanzfragen sowie technologische Entwicklungen bei der Abschätzung der Potenziale berücksichtigt. So wird beim Ausbau der erneuerbaren Energien im Strombereich davon ausgegangen, dass die ohne Restriktionen verfügbaren Flächen für Windenergie- und PV-Anlagen erst nach und nach und bis 2030 nicht vollständig erschlossen werden können. Außerdem wird angenommen, dass bei sinkenden Kosten der EE-Stromerzeugung und gleichzeitig steigenden Kosten der Braunkohleverstromung auch die ökonomischen Vorteile der fossilen Energieträger zukünftig sinken werden. Ein weiterer ehrgeiziger EE-Ausbau erfordert dabei nicht nur den Bau neuer Energieerzeugungsanlagen, sondern auch einen Umbau der Infrastruktur und des gesamten Kraftwerks-parks. So sind angesichts des vorwiegend fluktuierenden erneuerbaren Stroms zukünftig verstärkt flexible Kraftwerke, eine stärkere Regulierungsmöglichkeit von Angebot und Nachfrage sowie ein Ausbau der Speicherkapazitäten – auch auf Basis von Technologien wie Power-to-Gas – notwendig.

Im Wärmesektor geht die Studie bei den gebäudebezogenen Heizungen davon aus, dass der Anteil der erneuerbaren Energien beim Einbau eines neuen Heizungssystems nach und nach zusammen mit dem Sanierungsstandard steigt. Dies beruht unter anderem auf der Annahme, dass diese Heizungen in den nächsten Jahren bei steigenden fossilen Energiepreisen wirtschaftlicher werden. Angesichts beschränkter endogener Biomassevorkommen und hoher EE-Strompotenziale wird von einem starken Anstieg der installierten Wärmepumpen und Solarthermieanlagen und nur einem mäßigen Ausbau bei den Biomasseheizungen ausgegangen. Bezüglich der Fernwärmeversorgung wird die Zahl an Abnehmern konstant gehalten, da bereits heute Fernwärme in einigen Gemeinden Brandenburgs finanziell für die Abnehmer nicht attraktiv ist. Gleichzeitig erfolgt teilweise ein Umbau der Wärmenetze.

Während durch den stärkeren Rückgang der Braunkohleverstromung im Szenario EE-BK0 ein deutlich verstärkter EE-Stromausbau erfolgt bestehen im Wärmesektor kaum Unterschiede zwischen den beiden Szenarien. Dies beruht auf der Annahme, dass die gebäudebezogene Installation von EE-Heizungen unabhängig von der Braunkohlewirtschaft ist. Lediglich bei der Fernwärme wird davon ausgegangen, dass bei gleichbleibender Abnahme durch den Rückgang der Fernwärmebereitstellung mittels Braunkohle der Ausbau der erneuerbaren Energien zunimmt. Dieser forcierte Ausbau beruht aufgrund der ausgeschöpften Biomassepotenziale auf Solarthermieanlagen und tiefer Geothermie.

Der Ausbau der erneuerbaren Energien führt durch den Ersatz einer fossilen Energieerzeugung zu einer erheblichen **Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen**. Bereits für das Jahr 2010 ergibt sich in Brandenburg eine Einsparung von 9,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Emissionen durch die Energieerzeugung aus erneu-

erbaren Energien. Bei einem Ausbau entsprechend der beiden Szenarien steigt diese Einsparung bis 2030 auf 24,8 bzw. 30,0 Mio. t CO<sub>2</sub> an.

### **Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte**

Die Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte wurden auf der Basis landesspezifischer Eingangsdaten mithilfe eines Rechenmodells des IÖW ermittelt. Die Ermittlung der Wertschöpfung erfolgte für 15 dezentrale EE-Technologien mit jeweils vier aggregierten Wertschöpfungsstufen:

- Einmalige Effekte:
  - Produktion von Anlagen und Anlagenkomponenten
  - Planung, Installation, (teilweise) Grundstückskauf etc.
- Jährliche Effekte
  - Technische Betriebsführung (Wartung, Instandhaltung, teilweise Pacht etc.)
  - Betreibergesellschaft (finanzielle Betriebsführung, Gewinnermittlung)

Insgesamt ergab sich für Brandenburg im **Jahr 2010** eine Wertschöpfung durch erneuerbare Energien von annähernd 600 Mio. Euro, die insbesondere durch die Technologien mit einem hohen Anlagenbestand und vorhandene Produktionsstätten geprägt ist. Dies sind allen voran die Photovoltaik (234 Mio. Euro), gefolgt von der Windenergie (180 Mio. Euro) sowie Bioenergie (Biogas, feste Biomasse, Herstellung von Biokraftstoffen) (173 Mio. Euro).

Gemäß den Ausbauzahlen der Szenarien sowie Annahmen über die Entwicklung der Unternehmens- und Investitionsaktivitäten wird die Wertschöpfung deutlich ansteigen. Im Szenario EE-50BK würde durch die erneuerbaren Energien **2030** eine Wertschöpfung von 1,13 Mrd. Euro erzielt, im Szenario EE-0BK sogar 1,25 Mrd. Euro. Dies bedeutet ungefähr eine Verdoppelung der Wertschöpfung und entspricht rund 3 % der gesamten Wertschöpfung des Landes Brandenburg im Jahr 2010. Den größten Anteil mit zusammen mehr als 80 % stellen daran die Windenergie und Photovoltaik. Demgegenüber steigt die Wertschöpfung durch (endogene) Bioenergie nur mäßig. Während 2010 auf die Produktion von Anlagen und Komponenten 30 % der Wertschöpfung entfiel, liegt dieser Anteil 2030 nur noch bei rund 15 %. Den Großteil der Wertschöpfung im Jahr 2030 generieren die betriebsbezogenen Wertschöpfungsstufen. Im Unterschied zur zentralen Energiebereitstellung erfolgt diese Wertschöpfung in vielen verschiedenen Brandenburger Kommunen.

Im Jahr 2010 kann von einer Beschäftigtenzahl in den verschiedenen direkt mit erneuerbaren Energien beschäftigten Unternehmen in Brandenburg in Höhe von mind. 11.540 Vollzeitbeschäftigten ausgegangen werden. Dabei ist der Großteil der Beschäftigten im Bereich der Photovoltaik (53 %), Windenergie (21 %) und Biomasse (20 %) tätig. Gemäß der angenommenen zukünftigen Entwicklung in Brandenburg werden nach dem Szenario EE-50BK im Jahr 2030 voraussichtlich knapp 18.000 direkte Vollzeitbeschäftigte im EE-Bereich tätig sein, im Szenario EE-0BK sind es etwa 19.200. Der Großteil der Beschäftigten ist wiederum im Bereich der Photovoltaik, Windenergie und Biomasse zu erwarten. Die EE-Beschäftigtenzahlen entsprechen knapp 4 % der im Jahr 2030 insgesamt in Brandenburg erwarteten Zahl an Beschäftigten. Insgesamt waren im Jahr 2008 in der Energiewirtschaft rund 23.800 Beschäftigte tätig, davon rund 5.000 im Bereich der Braunkohlewirtschaft, mit rückläufiger Tendenz. Damit arbeiten bereits heute mehr als doppelt so viele Beschäftigte in den vielen verschiedenen EE-Unternehmen. Bis 2030 können sich deren Beschäftigtenzahlen fast verdoppeln. Auch hier gilt wie bei der Wertschöpfung, dass diese Beschäftigungseffekte nicht wie im Fall der Braunkohle regional gebündelt, sondern über das ganze Land verteilt erfolgen.

**Tab. 0.2: Wertschöpfung und Beschäftigungseffekte durch EE in Brandenburg**

Quelle: Eigene Berechnungen

EE-Sparten	2010		2030			
			EE 50-BK		EE-0BK	
	Wertschöpfung [Mio. Euro]	Beschäftigte	Wertschöpfung [Mio. Euro]	Beschäftigte	Wertschöpfung [Mio. Euro]	Beschäftigte
Windenergie	180	2.465	453	5.159	549	6.116
Photovoltaik	234	6.106	272	4.694	304	5.329
Biomasse	124	2.337	251	4.764	244	4.497
Kleine Wasserkraft	1	11	1	19	2	37
Solarthermie	4	127	16	519	18	556
Wärmepumpen	5	145	87	2.352	87	2.352
Biokraftstoffe	49	347	49	349	49	349
<b>Gesamt</b>	<b>595</b>	<b>11.540</b>	<b>1.129</b>	<b>17.857</b>	<b>1.252</b>	<b>19.237</b>

# 1 Einführung

## 1.1 Aktuelle Situation in Brandenburg<sup>1</sup>

Brandenburg ist ein traditionelles Stromerzeugungsland. Grund dafür sind vor allem die hohen Braunkohlevorkommen. Jährlich werden fast 40 Millionen Tonnen Braunkohle zur Stromversorgung für den Eigenbedarf des Landes und die Versorgung anderer Bundesländer und Nachbarstaaten verbrannt. Da die Stromerzeugung auf Braunkohlebasis je erzeugter Kilowattstunde die mit Abstand höchsten CO<sub>2</sub>-Emissionen verursacht, und Brandenburg zudem ein sehr dünn besiedeltes Land ist, ergeben sich daraus hohe CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Einwohner und eine besondere Verantwortung für den Klimaschutz.

Das Land Brandenburg strebt daher gegenüber dem Jahr 1990 die Reduzierung der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen um 40 % bis zum Jahr 2020 und um weitere 35 % bis zum Jahr 2030 an. Zur Erreichung dieser Ziele setzt die Brandenburger Regierung auf die Steigerung der Energieeffizienz, die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien, den Emissionshandel und zukünftig möglicherweise die Abscheidung und Deponierung von CO<sub>2</sub> aus Rauchgasen.

Nach ersten amtlichen Schätzungen wurde im Jahr 2009 in Brandenburg (ohne Berlin) schon 16 % des Primärenergieverbrauchs aus erneuerbaren Energien gedeckt. Es wurden im Land ca. 11,7 TWh Strom aus erneuerbaren Energieträgern erzeugt. Dies entsprach 2009 bei einem krisenbedingten Verbrauch in Höhe von 13,8 TWh Strom einem Anteil von 85 %. Den höchsten Anteil wies die Windkraftnutzung mit 7,2 TWh auf.

Eine weitere Besonderheit Brandenburgs, die auch beim Blick in die Zukunft eine wichtige Randbedingung darstellt, ist seine Größe und Einwohnerzahl. Brandenburg ist mit einer Fläche von rund 29.479 km<sup>2</sup> und 2.504.300 Einwohnern (ohne Berlin; Stand 30.11.2010; Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2010)) ein relativ dünn besiedeltes Flächenland – die Bevölkerungsdichte liegt bei 85 Einwohnern pro km<sup>2</sup>. Brandenburg umgibt Berlin mit seinen fast 3,5 Mio. Einwohnern und kann daher auch perspektivisch als Umlandregion die Versorgung eines Großteils des Energiebedarfs der Hauptstadt decken. Insofern wird nachfolgend in Bezug auf die Szenarioentwicklung auch die Perspektive der Metropolregion Berlin-Brandenburg eingenommen.

---

<sup>1</sup> Informationen und Daten nach Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (MUGV) unter [www.mugv.brandenburg.de](http://www.mugv.brandenburg.de) (30.07.2011)

## 1.2 Politische Ziele zum Ausbau erneuerbarer Energien in Brandenburg („Energiestrategie 2020“)

Eine wichtige Basis sowie Vergleichsgrundlage für die folgenden Abschätzungen bildet die „Energiestrategie 2020“ der Brandenburger Landesregierung. In der Energiestrategie 2020 des Landes Brandenburg werden drei explizite Ziele formuliert:

- Minderungsziel für energiebedingte Klimagase gegenüber 1990: bis 2020 Reduktion um 40 % bis 2030 Reduktion um weitere 35 %
- Ausbauziel für erneuerbare Energien: bis 2020 Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch auf 20 %<sup>2</sup>
- Minderungsziel für den Endenergieverbrauch gegenüber 2004: bis 2020 Senkung um 13 %<sup>3</sup>, das bedeutet Senkung um durchschnittlich ca. 1 %-Punkt pro Jahr “ (Scheps 2009, 6)

Den größten Anteil an der regenerativen Energiebereitstellung (Primärenergie) soll die Windenergie mit 46 % (55 PJ) einnehmen. Die Biomasse macht mit 49 PJ ca. 41 % aus, gefolgt von der Solarenergie mit 11 PJ (9 %). Der Rest stammt von Deponie- und Klärgasen, Wärmepumpen, Geothermie und Wasserkraft (Landesregierung Brandenburg 2008b, 37). Als Referenzszenario wird die Trendabschätzung der Prognos AG (Seefeldt et al. 2007) verwendet.

In dem Bericht der Landesregierung werden neben den Zielsetzungen auch konkrete Handlungsfelder aufgezeigt. Diese erstrecken sich über „Wirtschaft und Wissenschaft“, „Private Haushalte/Gebäude“, „Siedlungsstruktur und Stadtentwicklung“, „Öffentliche Einrichtungen“, „Verarbeiten des Gewerbe“, „Verkehr“, „erneuerbare Energien“, „Energiewirtschaft/Netzbetreiber“, „Energieerzeuger/Umwandlungssektor“ und „Übergreifende Maßnahmen“ (Landesregierung Brandenburg 2008b, 37).

Beim Ausbau der erneuerbaren Energien setzt die Landesregierung hauptsächlich auf die Nutzung von Wind-, Biomasse- und Solarenergie (Landesregierung Brandenburg 2008b, 46). Die **Windenergieleistung** soll durch Repowering und Ausweisung neuer Windeignungsgebiete auf 7,5 GW aufgestockt werden. Insgesamt müssen dafür mindestens 555 km<sup>2</sup> zusätzliche Flächen ausgewiesen werden (Landesregierung Brandenburg 2008b, 47). **Solarthermie** und **Photovoltaik** sollen weiterhin, aber nicht nur als kleine Anlagen auf Dächern sondern vermehrt auch auf landeseigenen Flächen installiert werden (Landesregierung Brandenburg 2008b, 47).

Bei der Nutzung von **Biomasse**, besonders in Biogasanlagen sollen bevorzugt Biomassen auf Brachen angebaut werden sowie Gülle und Abfälle energetisch verwertet werden. Die gewonnene Energie soll über KWK und durch die Verteilung von Biogas über das Erdgasnetz besser genutzt werden (Landesregierung Brandenburg 2008b, 47). Die Landesregierung bekennt sich außerdem zur **Kaskadennutzung der Biomasse** (Landesregierung Brandenburg 2008b, 48).

<sup>2</sup> Entspricht 120 PJ (Landesregierung Brandenburg 2008b, 37)

<sup>3</sup> Entspricht 39,8 PJ (Landesregierung Brandenburg 2008b, 36)

Die Bereitstellung von **Biokraftstoffen** soll neu überdacht werden; mittels Modelprojekten sollen Lösungsansätze zur Nutzung von Biokraftstoffen der zweiten Generation entwickelt werden um später ein nachhaltiges Upscaling zu ermöglichen (Landesregierung Brandenburg 2008b, 47–48).

Im Bereich **regenerativer Wärmeerzeugung** wird auf die Zusammenarbeit mit dem Fachverband Heizung, Klima, Sanitär sowie auf Förderprogramme auf Bundes- und Landesebene gesetzt. Die stärkere Ausrichtung des EEG auf regenerative Wärmenutzung wird unterstützt. Geothermische Potenziale werden vom LBGR veröffentlicht; Tiefe Geothermie wird speziell gefördert (Landesregierung Brandenburg 2008b, 48).

Die Energiestrategie des Landes Brandenburg wird gegenwärtig überarbeitet und bis zum Jahr 2030 fortgeschrieben; sie lag bei Fertigstellung dieser Studie noch nicht abschließend vor. Die vorliegende Studie ist ein Diskussionsbeitrag bis zur politischen Festlegung der neuen Brandenburger Energiestrategie.

## 1.3 Zentrale Fragen und Methodik dieser Studie

Im Vordergrund dieser Studie steht die übergreifende Frage, welche **Rolle die erneuerbaren Energien im Energiesystem in Brandenburg in technischer und (regional)ökonomischer Sicht im Jahr 2030** spielen können. Diese Leitfrage gliedert sich in zwei Teile, die aufgrund ihrer methodischen Spezifika und teilweise aufeinander aufbauenden Dateninputs in getrennten Teilstudien bearbeitet wurden. In den jeweiligen Teilstudien standen die folgenden Fragen im Vordergrund

**Leitfrage Teilstudie 1: Welche technischen Potenziale erneuerbarer Energien könnten bis 2030 unter Berücksichtigung der nachfolgenden Aspekte/ Restriktionen erschlossen werden?**

Zur Ermittlung der erschließbaren (technischen) Potenziale wurden methodisch zuvor sowohl theoretisch-technische sowie ökonomische Potenziale jeweils berücksichtigt, soweit hierzu für die verschiedenen Technologien und Bereiche Daten und Informationen vorlagen. Ebenso wurden die infrastrukturellen Voraussetzungen und Randbedingungen in Brandenburg bei den Strom-, Wärme- und Gasnetzen berücksichtigt. Darüber hinaus spielte insbesondere für die Bestimmung des möglichen Wärmebedarfs die Gebäudestruktur, der Sanierungsstand sowie erwartete Sanierungszyklen eine Rolle. Die Ermittlung des erschließbaren Potenzials baut zudem auf den politischen Zielvorgaben und Trends auf, die unter Berücksichtigung erwartbarer Entwicklungen den Referenzrahmen (bis 2020) vorgeben. Das methodische Vorgehen sowie die Datengrundlage und -Qualität variiert stark zwischen den einzelnen EE-Technologien bzw. den grob trennbaren Bereichen der Strom-, Wärme und Kraftstoffbereitstellung. Daher wird für genauere Angaben zur Methode und Datenquellen auf die jeweiligen nachfolgenden Kapitel verwiesen.

Beim Ergebnis von Teilstudie 1 handelt es sich somit um szenariobasierte erschließbare Potenziale für alle relevanten EE-Technologien. Diese Ergebnisse dienen als Grundlage für die zweite Teilstudie.

**Leitfrage Teilstudie 2: Welche regionalökonomischen Effekte, d. h. welche Wertschöpfung und welche Beschäftigungseffekte ergeben sich 2030 durch die Nutzung der ermittelten EE-Potenziale?**

Die Ermittlung der Wertschöpfung basiert auf einem vom IÖW entwickelten Modell (Hirschl et al. 2010), welches für den kommunalen Kontext konzipiert wurde und nun für die Anwendung im Bundesland Brandenburg erweitert wurde. Mit dem Modell können die direkten regionalökonomischen Effekte – die Wertschöpfung (Steuern, Gewinne, Einkommen) und die Beschäftigung - entlang der verschiedenen dezentralen EE-Wertschöpfungsketten ermittelt werden. Effekte durch Vorleistungen (z. B. Glasindustrie) und indirekte Effekte (z. B. Hallenbau, EE-Tourismus), bleiben hierbei ausgeblendet. Ebenso können mit dem Modell keine so genannten Nettoeffekte z. B. durch mögliche Kaufkraftverluste oder den Wegfall von Arbeitsplätzen in substituierten Bereichen ermittelt werden. Auf Basis der ermittelten direkten und Brutto-Effekte aus den Bereichen der erneuerbaren Energien können vergleichende Interpretationen der Ergebnisse zu anderen Zahlen aus der Energiewirtschaft oder anderen Sektoren vorgenommen werden.

# Teil 1: Potenziale erneuerbarer Energien in Brandenburg

## 2 Nutzung erneuerbarer Energien 2010

Eine wichtige Voraussetzung für die Erstellung von Szenarien ist die solide Datengrundlage für den Ist-Zustand. Aufgrund der großen Dynamik bei den meisten EE-Technologien ist es daher bedeutsam, den Ist-Zustand nicht nur auf die aktuell verfügbaren statistischen Datengrundlagen zu beziehen, da diese in der Regel bis zu mehrere Jahre alt sein können und zudem oftmals nicht in geeignet differenzierter Form aufbereitet vorliegen. Aus diesem Grund wurde versucht, den Nutzungsgrad der erneuerbaren Energien in Brandenburg für das Bezugsjahr 2010 (bis 31.12.2010) abzubilden, jeweils unterteilt in die Bereiche Wärme, Strom und Verkehr/ Kraftstoffe. Eine besondere Herausforderung stellte dies im Bereich Wärme sowie im Querschnittsbereich Biomasse dar, demgegenüber liegen im Bereich Strom insbesondere aufgrund der Datenverfügbarkeit gemäß EEG und der vergleichsweise geringeren Heterogenität des Marktes aktuelle Daten in hoher Qualität vor.

### 2.1 Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien

#### 2.1.1 Überblick Wärmebedarf und -bereitstellung

##### 2.1.1.1 Wärmebedarf gesamt und sektoral

Der Wärmebedarf in Brandenburg kann nicht direkt aus den Angaben der offiziellen Energiestatistik abgelesen werden, da dort nicht nach der Art der erzeugten Endenergie (Wärme, Kraftstoffe, Strom) unterteilt wird sondern nur nach den eingesetzten Energieträgern unterschieden wird. Der Wärmeenergiebedarf für das Jahr 2010 im Land Brandenburg erfolgt deshalb basierend auf der Abschätzung des Endenergieverbrauchs von PROGNOSE für Brandenburg (Seefeldt et al. 2007). Für die **privaten Haushalte** nennt PROGNOSE eine Abschätzung des Endenergiebedarfs für Warmwasser und Raumwärme, die 2010 bei **64,7 PJ** liegt. Für die Sektoren Industrie (87 PJ) und GHD (44,8 PJ) liegen lediglich Zahlen zum Endenergieverbrauch vor. Zur Ermittlung des Wärmeenergiebedarfs von **GHD** und der **Industrie** wird deshalb zusätzlich auf bundesweite Daten des B MWi (2011a) zum Wärmeanteil zurückgegriffen: Dieser liegt im GHD-Bereich bei 63,2 %, bei der Industrie sind es 72,4 %<sup>4</sup>. Damit ergibt sich ein Wärmebedarf in der brandenburgischen Industrie von 63,0 PJ und im GHD-Sektor von 28,3 PJ und damit zusammen ein Wärmeenergiebedarf in Höhe von **91,3 PJ**. Insgesamt lag der auf diese Weise ermittelte Wärmeenergiebedarf (Endenergie) in Brandenburg damit in 2010 bei **156 PJ**.

---

<sup>4</sup> Während man für den GHD-Bereich davon ausgehen kann, dass sich regionale Werte nicht sonderlich von bundesweiten Durchschnittswerten unterscheiden, kann es bei der Industrie durchaus deutliche regionale Unterschiede geben, je nach dem, wie viel Prozesswärme benötigt wird. Da jedoch keine regionalen Daten vorliegen wird auf die bundesweite Abschätzung zurück gegriffen.

## 2.1.1.2 Wärme- und Gasnetze

Nach Angabe der Arbeitsgemeinschaft für Wärme und Heizkraftwirtschaft (Tab. 2.1) wurden im Jahr 2009 in **Brandenburg 15,67 PJ als Fernwärme** bereitgestellt, davon 1,93 PJ in Heizwerken und 13,74 PJ in Heizkraftwerken (AGFW 2010, 21–22). Dies entspricht einem Anteil von 10 % der Wärmebereitstellung im Jahr 2010. Der überwiegende Teil der Fernwärme wurde zur Bereitstellung von Warmwasser und Heizenergie verwendet, lediglich 523 TJ und damit 3,5 % der Fernwärmedien 2009 der Bereitstellung von Prozesswärme (AGFW 2010, 21–35).

**Tab. 2.1: Nettowärmeerzeugung durch AGFW-Mitglieder und Nichtmitglieder im Jahr 2009**

Quelle: AGFW (2010, 21–22)

	<b>KWK</b>	<b>Heizwerke</b>	<b>Gesamt</b>
Einheit	PJ	PJ	PJ
Brandenburg	13,74	1,93	15,67
Deutschland	241,08	45,66	286,74

Wie in Tab. 2.2 für das Jahr 2009 dargestellt, teilt sich der Brennstoffeinsatz in den Heizwerken und Heizkraftwerken in Brandenburg überwiegend zwischen Erdgas und Braunkohle auf. Bei der Wärmebereitstellung in Heizwerken kommt zu 83 % Erdgas zum Einsatz, Heizkraftwerke werden zu 70 % mit Braunkohle befeuert. Müll, feste Biomasse und sonstige Energieträger stellen insgesamt 2 % des eingesetzten Brennstoffes (AGFW 2010, 21–35).

**Tab. 2.2: Energiequellen für die Erzeugung von Fernwärme in Brandenburg und Deutschland für das Jahr 2009**

Quelle: AGFW (2010, 21–35)

	<b>Brennstoffeinsatz</b>	<b>Steinkohle</b>	<b>Braunkohle</b>	<b>Heizöl</b>	<b>Erdgas</b>	<b>Müll</b>	<b>Biomasse</b>			<b>Sonstige</b>
							fest	flüssig	gasförmig	
Einheit	TJ	%	%	%	%	%	%	%	%	%
<b>Brandenburg</b>										
mit KWK	26.273	0	70	0	27	0	1	0	0	1
ohne KWK	2.195	0	3	9	83	0	5	0	0	0
Gesamt	28.468	0	65	1	31	0	1	0	0	1
<b>Deutschland</b>										
mit KWK	463.182	34	11	1	44	7	2	0	0	1
ohne KWK	54.087	6	1	7	67	15	2	0	0	2
Gesamt	517.269	31	10	2	46	8	2	0	0	1

Von den vom UBA gelisteten Kraftwerken mit einer *elektrischen* Leistung von über 100 MW koppeln in Brandenburg 12 Fernwärme aus, darunter 8 Braunkohlekraftwerke die alle zu den beiden Standorten Jänschwalde und Schwarze Pumpe gehören. Diese stellen 578 MW<sub>therm</sub> von insgesamt 999 MW<sub>therm</sub> der großen Kraftwerke bereit (UBA 2011). Die Differenz zur gesamten Anschlussleistung von 1,9 GW<sub>therm</sub> muss entsprechend durch kleinere KWK-Anlagen und Heizwerke abgedeckt werden.

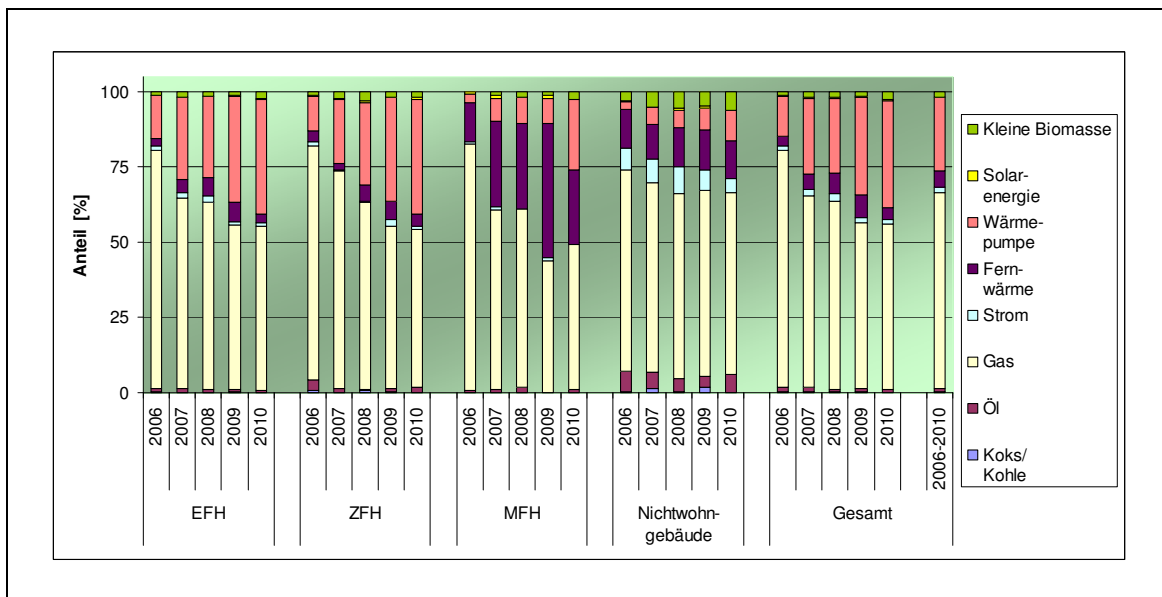
Das **Erdgasnetz** der diversen lokalen Gasnetzbetreiber in Brandenburg hat eine Länge von insgesamt 5.000 km mit 109.000 Ausspeisepunkten; im Jahr 2010 wurde eine Jahresarbeit in Höhe von 31,68 PJ (8,8 TWh) entnommen (Bundesnetzagentur 2011). Hinzukommen noch Teile der überregionalen Netze der Firmen E.ON edis AG und SpreeGas welche allerdings nur zu geringen Teilen in Brandenburg operieren. Falls alle Mittel- und Niederdruck-Ausspeisepunkte gleichzusetzen sind mit einem Erdgasanschluss für jeweils ein Gebäude, so besitzen 108.698 Gebäude einen solchen Anschluss, dies entspricht nur 17 % allein der rund 617.000 Wohngebäude in Brandenburg. Gleichzeitig haben 275.000 eigentümergegenutzte Wohneinheiten – dabei handelt es sich vorwiegend um EZFH - eine Gasheizung (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2009a, 19). Die Gesamtzahl der Gebäude am Gasnetz liegt damit deutlich höher als die Anzahl der Ausspeisepunkte; ein Grund hierfür kann eine nicht unerhebliche Anzahl von Gebäuden mit Flüssiggas sein.

### 2.1.1.3 Raumwärmebereitstellung und -nachfrage

Nach Angabe des Amtes für Statistik Berlin Brandenburg gab es 2009 im Land Brandenburg **1.277.930 Wohnungen**. Die Zahl der Wohngebäude lag bei 616.838, davon 446.295 Einfamilienhäuser (EFH), 82.131 Zweifamilienhäuser (ZFH) sowie 88.412 Mehrfamilienhäuser (MFH). Zur Zahl der Nichtwohngebäude liegen keine Angaben vor.

Daten zur verwendeten **Heizenergie** in Brandenburg liegen aus dem Mikrozensus im Jahr 2006 vor (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2009a). Danach wird mit 95 % der überwiegende Teil der Wohneinheiten vorwiegend mit Sammelheizung (Fern-, Block-, Zentral- oder Etagenheizungen) beheizt, nur etwa 5 % der Wohneinheiten mit Einzel- oder Mehrraumöfen. Unter den Sammelheizungen weisen die Fernwärme (30 %) und Gasheizungen (47 %) die größten Anteile auf. Deutlich geringere Anteile haben Ölsammelheizungen (13 %), der Rest entfällt auf Kohle- (1 %), Holz- (2 %) und Stromsammelheizungen (1 %). Im Bereich der Mehrfamilienhäuser – insbesondere bei mehr als 7 Wohneinheiten – hat die Fernwärme besonders hohe Anteile: In diesen größeren Mehrfamilienhäusern werden 86 % der Wohneinheiten mit Fernwärme beheizt. In Einfamilienhäusern sind es dagegen nur 2,4 % der Wohneinheiten, in Zweifamilienhäusern 3,4 %. Die Öfen werden vor allem mit Kohle (2 %), Strom (1 %) und Holz (1 %) beheizt und befinden sich vor allem in Einfamilienhäusern sowie kleinen Mehrfamilienhäusern.

Eine Auswertung der 2006 bis 2010 in **Neubauten** installierten primären Energiequelle zeigt, dass besonders bei Ein- und Zweifamilienhäusern Gasheizungen zunehmend durch Wärmepumpen verdrängt werden. Mehrfamilienhäuser sind nach wie vor durch einen hohen Fernwärmeanteil gekennzeichnet während bei Nichtwohngebäuden immer noch Öl- und sogar Stromheizungen eine Rolle spielen (s. Abb. 2.1). Insgesamt wurden 5 % der in den Jahren 2006 bis 2010 neugebauten Wohngebäude (4,5 % der Ein- und Zweifamilienhäuser und 31 % der Mehrfamilienhäuser) sowie 14 % der Nichtwohngebäude mit Fernwärme versorgt (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2008a; 2009b; 2007a; 2006; 2010a; 2011a)



**Abb. 2.1: Aufteilung der primären Heizungsenergie bei Neubauten im Land Brandenburg in den Jahren 2006 bis 2010**

Quelle: Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2008a; 2009b; 2007a; 2006; 2010a; 2011a)

Die folgende Tabelle zeigt den Anteil der 2010 errichteten Gebäude mit einer EE-Hauptheizung. Dabei dominieren Wärmepumpen im Ein- und Zweifamilienhausbereich sowie insgesamt in den Wohngebäuden. Biomasse- und Solarthermieanlagen haben dagegen bei den Hauptheizungen einen insgesamt geringen Anteil.

**Tab. 2.3: Anteil der Neubauten (Baufertigstellung 2010) mit einer EE-Primärheizung**

Quelle: Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2011b)

	Wärmepumpen	Biomasse	Solarthermie
Wohngebäude			
- EFH	38,0 %	2,3 %	0,4 %
- ZFH	38,4 %	1,9 %	0,5 %
- MFH	23,5 %	2,5 %	0,0 %
Nichtwohngebäude	9,8 %	6,3 %	0,0 %

Für das Jahr 2010 existiert eine genauere Aufschlüsselung, die neben der primären auch eine **sekundäre Heizungsquelle** berücksichtigt (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2011c). Die Daten zeigen, dass immerhin die Hälfte der Neubauten mit einer zweiten Heizungsanlage genehmigt wurde. Dabei handelt es sich vorwiegend um Solarthermieanlagen sowie Biomasseheizungen, die insbesondere in Wohngebäuden installiert wurden. In den Nichtwohngebäuden weist dagegen nur jeder vierte Neubau eine Sekundärheizung auf.

**Tab. 2.4: Anteil der Neubauten (Baugenehmigung 2010 ) mit einer EE-Zweitheizung**

Quelle: Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2011c)

	Wärmepumpen	Biomasse	Solar
Wohngebäude	3,9 %	12,7 %	29,5 %
- EFH/ZFH	4,0 %	12,9 %	29,8 %
- MFH	1,4 %	6,5 %	20,3 %
Nichtwohngebäude	3,1 %	4,2 %	11,2 %
Gebäude gesamt	3,8 %	11,9 %	27,8 %

Addiert man primäre und sekundäre Heizungsquellen so wurden 2010 bei den Neubauten in rund 42 % der Ein- und Zweifamilienhäuser Wärmepumpen, in 15 % Biomasseheizungen und in 30 % Solarthermieranlagen installiert. Bei den Mehrfamilienhäusern hatten 25 % eine Wärmepumpe, 9 % eine Biomasseheizung und immerhin noch 20 % eine Solarthermieranlage. Von den Nichtwohngebäuden wurden rund 12 % mit einer Wärmepumpe, 18 % mit einer Biomasseheizung und 28 % mit einer Solarthermieranlage beheizt. Der Gesamtanteil der Gebäude mit EE-Heizung kann auf der Basis dieser Zahlen nicht ausgewiesen werden, da die EE-Heizungen auch kombiniert genutzt werden können.

#### 2.1.1.4 Prozesswärme

Neben Raumwärme und Warmwasser spielt in Gewerbe und Industrie noch die Prozesswärme eine wichtige Rolle. Dazu gehört die Wärme, welche für technische Prozesse, gewerbliche oder industrielle Nutzung eingesetzt wird – auf unterschiedlichem Temperaturniveau. Für den Prozesswärmebedarf liegen keine landesspezifischen Daten vor. Abgeschätzt werden kann der Prozesswärmebedarf lediglich über bundesweite Anteile am Endenergieverbrauch der einzelnen Sektoren. So beträgt der Anteil der Prozesswärme am Endenergieverbrauch des GHD-Sektors laut B MWi (2011a) 8,1 %, bei der Industrie sind es dagegen 63,9 %. Damit beträgt der **Prozesswärmebedarf im Jahr 2010 59,2 PJ**, davon 3,6 PJ im Bereich GHD und 55,6 PJ in der Industrie.

Angaben zur Energieerzeugung liegen insgesamt nicht vor. Allerdings wurden im Jahr 2009 in Brandenburg 523 TJ und damit 3,5 % der Fernwärme zur Bereitstellung von Prozesswärme verwendet (AGFW 2010, 21–35). Dies macht lediglich einen Anteil von knapp 1 % der abgeschätzten Prozesswärme aus.

#### 2.1.2 Biomasse (klein)

Die Datengrundlage für kleine Biomasseheizungen stellt vor allem die Erhebung im Rahmen der Förderung durch das Marktanreizprogramm (MAP) - dar. Im Jahr 2010 waren nach Angaben des LUGV in Brandenburg **3.750 kleine, moderne Biomasseheizungen** installiert (LUGV 2011). Den Zubau der Jahre 2001-2010 kann dem Biomasseatlas entnommen werden (s. Tab. 2.5), der für diesen Zeitraum eine Zahl von 3.622 neuinstallierten Anlagen (BAFA-gefördert) angibt (Urbschat 2011). Der **Zubau im Jahr 2010** lag nach LUGV bei **179 Anlagen** (LUGV 2010; LUGV 2011).

**Tab. 2.5: Zubau und Bestand förderfähiger Biomasseheizungen in Brandenburg nach Biomasseatlas und LUGV**

Quellen: Urbschat (2011) und LUGV (2010; 2011)

Jahr	Zubau nach Biomasseatlas	Bestand nach LUGV	zurückgerechneter Bestand
2000			72
2001	246		318
2002	86		404
2003	57		461
2004	287		748
2005	667		1415
2006	755		2170
2007	326		2496
2008	491		2987
2009	584	3571	
2010		3750	

Ein Großteil der zwischen 2001 und 2010 in Brandenburg installierten Anlagen hat eine Leistung von unter 45 kW (89,0 %), gut die Hälfte ist sogar kleiner als 25 kW (Urbschat 2011). Bei den Anlagen handelt es sich überwiegend um Anlagen zur **Verfeuerung von Scheitholz**. Diese stellen 73,6 % der errichteten Anlagen dar; 25,1 % nutzen Pellets und nur 1,3 % verbrennen Hackschnitzel (Urbschat 2011). Bei den Pelletheizungen lag bundesweit der Anteil der Pelletkessel mit 54 % etwas höher als der der Pelletöfen (46 %) (eigene Berechnungen nach Langniß et al. 2010; BMU 2010a). Die Biomasseheizungen wurden überwiegend in **Privathaushalten** (94,6 %) installiert, daneben gibt es v. a. Nutzer aus dem Bereich Handel und Gewerbe (4,6 %). Nur vereinzelt wurden dagegen Anlagen von öffentlich-rechtlichen Nutzern, Kontraktoren oder Freiberuflern installiert (Urbschat 2011).

Nach Biomasseatlas können 5,4 % der Biomasseanlagen aufgrund der Investorengruppen (Handel/Gewerbe, öffentlich/rechtliche und Landwirtschaft) den Nichtwohngebäuden zugeordnet werden (durchschnittliche Anlagengröße dieser Gruppe ist 44,5 kW) (Urbschat 2011). Bei einer Gesamtanzahl von 3.750 modernen kleinen Biomasseheizungen im Jahr 2010 (LUGV 2011) ergeben sich also 203 Anlagen in Nichtwohngebäuden. Es wird davon ausgegangen, dass Biomasseheizungen bis zu einer Größe von 25 kW<sup>5</sup> den Ein- und Zweifamilienhäusern (EZFH) zuzuschreiben sind. Dies sind 31,1 % der im Biomasseatlas erfassten Anlagen. Damit wird die Zahl der Biomasse-

<sup>5</sup> EZFH in Brandenburg haben eine durchschnittliche Größe von 96,49 m<sup>2</sup>/WE, MFH von 59,7m<sup>2</sup>/WE (Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH et al. 2006b, 10). Multipliziert man diese Werte mit dem durchschnittlichen spezifischen Wärmeverbrauch von 166,2 kWh/m<sup>2</sup>a bei EZFH und 148,5 kWh/m<sup>2</sup>a bei MFH zuzüglich dem Energieverbrauch für Warmwasser, welcher in der Studie über einen spezifischen Verbrauch von 20 kWh/m<sup>2</sup>a berechnet wurde erhält man den Jahreswärmeverbrauch bei EZFH in Höhe von 17.966 kWh und bei MFH 74.942,9 kWh/a. Teilt man diese Werte durch die Vollaststundenzahl von 1.800 h/a nach (LUGV 2011) so erhält man durchschnittliche Heizungsgrößen pro Wohnung in Höhe von 10 kW bei EZFH und 41,63 kW bei MFH. 25 kW entsprechen dann einem großen Zweifamilienhaus mit zwei Wohnungen mit jeweils 144 m<sup>2</sup>.

seanlagen in EZFH auf 1.166 abgeschätzt, die Zahl der Anlagen in Mehrfamilienhäusern entsprechend auf 2.381 Anlagen.

Das LUGV nimmt an, dass eine moderne Biomasseheizung im Land Brandenburg eine durchschnittliche Leistung von  $30 \text{ kW}_{\text{therm}}$  besitzt (LUGV 2011), was weitgehend der durchschnittlich zugebauten Leistung nach Biomasseatlas entspricht<sup>6</sup>. Damit ergibt sich bei einem Anlagenbestand von 3.750 eine **installierte Leistung** von  $112,5 \text{ MW}_{\text{therm}}$  und ein Leistungszubau von  $5,37 \text{ MW}_{\text{therm}}$  durch die im Jahr 2010 installierten 179 Anlagen. Der jährliche Wärmeertrag errechnet sich aus der installierten Leistung multipliziert mit der durchschnittlichen Volllaststundenzahl, die nach Angaben des LUGV für Brandenburg im Schnitt bei 1.800 h/a liegt (LUGV 2011). Damit beträgt der **jährliche Wärmeertrag 0,73 PJ** ( $202,5 \text{ GWh}_{\text{therm}}$ ). Dies entspricht 0,47 % des Wärmebedarfs in Brandenburg im Jahr 2010.

Neben den modernen Biomasseheizungen existieren außerdem zahlreiche **konventionelle holzbetriebene Kleinf Feuerungsanlagen**. Die Zahl der kleinen Holzheizungen lag im Jahr 2006 im Land Brandenburg bei 256.204 Anlagen, davon 255.933 Anlagen mit einer Leistung von unter 100 kW (Bilke et al. 2006; und Fischer 2006; zitiert nach Kenkmann 2010, 22). Der allergrößte Teil dieser Anlagen wurde mit Scheitholz beheizt (255.593), alleine 222.262 stückholzbetriebene Anlagen lagen im Leistungsbereich bis 15 kW (Kenkmann 2010, 22). Gemäß einer vom ETI beauftragten Studie werden für alle 256.204 Anlagen 440.900 Festmeter (FM) Holz verbraucht (Bilke et al. 2007; zitiert nach Murach et al. 2008a, 2). Dies entspricht einem Heizwert von 3,79 PJ Holzenergieverbrauch<sup>7</sup>. Auf der Basis von Werten einer Studie des IE Leipzig lässt sich eine Wärmebereitstellung in Höhe von 2,56 PJ abschätzen<sup>8</sup>. Wenn davon die Wärmebereitstellung durch die bis 2006 installierten modernen Biomasseheizungen (mit oben genannten Rechengrößen 0,33 PJ) abgezogen wird erzeugen Kamine, Kachel- und Kaminöfen mit **2,23 PJ** im Jahr (ausgehend von keinem weiteren Zubau seit 2006) rund dreimal soviel Wärme wie die modernen Biomasseheizungen.

Insgesamt liegt damit der Anteil der kleinen Biomasseanlagen am Wärmeverbrauch in Brandenburg bei 1,9 %. Dieser Anteil ist gering im Vergleich zum Bundesdurchschnitt, wo in privaten

<sup>6</sup> Nach Angabe des Biomasseatlas beläuft sich die in den Jahren 2001 bis 2010 zugebaute Leistung auf  $106 \text{ MW}_{\text{therm}}$  (Urbschat 2011). Daraus ergibt sich für die Werte aus dem Biomasseatlas (2001-2010) einer durchschnittlichen Leistung von  $29,5 \text{ kW}_{\text{therm}}$  pro Anlage.

<sup>7</sup> Brandenburgischer Wald besteht zu 73 % aus Kiefern (Kenkmann 2010, 7). Gerechnet wird deshalb für diesen Anteil mit dem Energiegehalt von Kiefern und 27 % von Buche: Nach LWF Bayern (2007) liegt die Trockenmasse bei 431 kg je FM für Kiefer und 558 kg je FM bei Buche; der Heizwert beträgt 5,20 kWh/kg für Kiefern und 5,00 kWh/kg für Buchen.

<sup>8</sup> Gemäß einer Studie des IE aus dem Jahr 2004 stehen in den neuen Bundesländer die zusätzlichen Feuerungsanlagen im folgenden Verhältnis: 9,5 % offene Kamine, 30,1 % „Holz- und Kohleöfen“, 21,6 % Beistellherde und 38,8 % „Kamine und Kachelöfen“. Außerdem wird genannt, dass Holz- und Kohlekamine im Mittel mit 490 Volllaststunden bei einem Nutzungsgrad von 75 % und mittlerer Leistung von 7 kW betrieben werden. Kachelöfen weisen einen ähnlichen Nutzungsgrad und Leistung auf, werden aber mit 570 Volllaststunden betrieben. Offene Kamine werden im Durchschnitt 43 Mal im Jahr mit einer durchschnittlichen Ladung von 10 kg gefeuert, bei Beistellherden beträgt die Ladung nur 5 kg, allerdings werden diese 82 Mal im Jahr befeuert. Für alle Öfen wird ein feuchtes Mischholz angenommen (Heizwert 14,9 MJ/kg). Auf Grundlage dieser Daten wird der jährliche Holzbedarf pro Anlage für Holz- und Kohleöfen auf 1.300 kg, für Kachel- und Kaminöfen auf 1.100 kg und für offene Kamine und Beistellherde auf 400 kg beziffert (IE 2004, 28). Verrechnet mit den Anteilen der jeweiligen Technologie in den neuen Bundesländern ergibt sich daraus, dass Öfen in den neuen Bundesländern einen Anteil von 87 % am jährlichen Holzverbrauch haben. Verrechnet man dies mit dem Nutzungsgrad für Öfen von 75 % (nach IE 2004) und ca. 20 % für offene Kamine (Dieter Wolf und Kati Jagnow 2009, 1) und nimmt an, dass der Wert für Beistellherde auch bei 20 % liegt ergibt sich ein durchschnittlicher Wirkungsgrad von 68 %.

Haushalten insgesamt 58 TWh Wärme und damit 4,4 % des Gesamtwärmeverbrauchs (2009: 1.310 TWh nach BMU (2010b)) durch Biomasseanlagen in privaten Haushalten erzeugt wurde (Vohrer 2011, 6).

### 2.1.3 Wärmepumpen, oberflächennahe Geothermie

Wärmepumpen kommen in Deutschland hauptsächlich zur Raumheizung und Warmwasserbereitstellung im häuslichen Bereich zum Einsatz. Im gewerblichen Bereich dienen sie bisher ebenfalls vorwiegend der Brauchwassererwärmung und Beheizung (Platt et al. 2010). Jedoch würden sie sich darüber hinaus auch zur Bereitstellung von Niedertemperaturprozesswärme eignen: So kommt eine Studie des IER (Lambauer et al. 2008) zu dem Ergebnis, dass durch die bestehende Technologie 8,9 % des Endenergiebedarfs der Industrie durch die Bereitstellung von Raum- und Brauchwasserwärme sowie Niedertemperaturprozesswärme mittels Wärmepumpen gedeckt werden könnte<sup>9</sup> (Stand 2006).

Die Datenlage hinsichtlich der Anzahl an Wärmepumpen in Brandenburg ist deutlich schlechter als bei den Biomasseheizungen. Ein Grund hierfür ist, dass die Daten auf der Basis des MAP bei Wärmepumpen nur eine geringe Aussagekraft haben, da diese erst ab dem 1.1.2008 gefördert werden und auch im Jahr 2008 die Förderquote nur bei 28 % lag (Platt et al. 2010, 60). Das LUGV schätzt ausgehend von einer Erhebung im Jahr 2007 (7.600 Anlagen) den Anlagenbestand von Heizungs-Wärmepumpe im Land Brandenburg im Jahr 2010 auf 10.360 Anlagen ab (LUGV 2011). Alleine die nach Daten des Amt für Statistik Berlin-Brandenburg in den Jahren 2008-2010 installierten Wärmepumpen in Neubauten liegt jedoch höher als der vom LUGV angenommene Zubau: So wurden in den Jahren 2008 bis 2010 4.311 Gebäude mit Wärmepumpen als primärer Heizungsquelle errichtet (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2007b; 2008b; 2009c; 2011b). Hinzu kommen Anlagen im Wohngebäudebestand, zu denen für Brandenburg keine Daten vorliegen. Die Zahl wird basierend auf dem bundesweiten Anteil der Wärmepumpen an den neuinstallierten Heizungen im Bestand (2005 bis 2009) und der Heizungs austauschrate in den neuen Bundesländern in diesen Jahren (IWU/BEI 2010, 89–90) auf 577 installierte Wärmepumpen pro Jahr abgeschätzt: Damit ergibt sich eine Gesamtzahl der installierten Wärmepumpen im Land Brandenburg im Jahr 2010 von **13.642 Wärmepumpen** (vgl. nachfolgende Tabelle). Die Entwicklung der Anlagenzahl vor 2007 wurde über die vom BWP (2011) genannten Zubauraten für 2005 und 2006 abgeschätzt<sup>10</sup>.

<sup>9</sup> Es wird dort eine Ausgangstemperatur von 70 °C angenommen. Bei Anhebung auf 100 °C könnten 15 % des Endenergiebedarfs und damit 30 % des Nutzwärmebedarfs bereit gestellt werden.

<sup>10</sup> Vernachlässigt werden hier Brauchwasserwärmepumpen. Zwar wurde 2008 nach einer Studie des Geothermiezentrums Bochum noch fast ein Viertel der in Deutschland installierten Wärmepumpe für die Bereitstellung von Brauchwasser genutzt, aber seit 2005 gibt es nur noch eine sehr geringe Anzahl an Neuinstallationen solcher Anlagen (Platt et al. 2010, 36). Deshalb spielen sie für die aktuelle und zukünftige Entwicklung nur eine geringe Rolle.

**Tab. 2.6: Entwicklung der Anlagenzahl in Brandenburg**

Quellen: Müller (2009), LUGV (2010; 2011), Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2008a; 2009b; 2010a; 2011a) und eigene Berechnungen

	LUGV: Bestand	BWP: Zubau	AS-B-BB: Zubau im Neubau	IÖW: abgeschätzter Zubau im Altbau	IÖW: Bestand
2004					3.036
2005		1.311			4.347
2006		1.236			5.583
2007	7.600	76	1.440	577	7.600
2008		1.875	1.289	577	9.466
2009	9.574		1.426	577	11.469
2010	10.360		1.596	577	13.642

Über die Anlagengrößenverteilung in Brandenburg liegen keine Daten vor. Bei Heizwärmepumpen in Deutschland insgesamt kann festgestellt werden, dass die durchschnittliche Anlagenleistung durch eine Steigerung der Energieeffizienz der Gebäude in den letzten Jahren deutlich abnahm (Platt et al. 2010, 40). Da auch keine Aufteilungen nach Investoren zur Verfügung stehen, wird für die Aufteilung der Anlagen nach Gebäudegruppen auf die Anteile bei den Neubauten zurückgegriffen<sup>11</sup>. Damit ergeben sich folgende Anteile der Wärmepumpen im Gebäudebestand: EZFH: 90 %, MFH: 5 % und Nichtwohngebäude 5 %. Insgesamt (Neubau und Bestand) erhält man so bei einer Gesamtanlagenanzahl in Höhe von 13.642 Wärmepumpen im Jahr 2010 13.027 in EZFH, 260 in MFH und 345 in Nichtwohngebäuden. Der allergrößte Teil der Wärmepumpen wurde damit in ein Ein- und Zweifamilienhäusern installiert.

Bei den installierten Wärmepumpen handelt es sich fast ausschließlich um **Strom-Wärmepumpen**. Gas-Wärmepumpen, die eine deutlich höhere Energieeffizienz als strombetriebene aufweisen, sind derzeit vor allem im großen Leistungsbereich verfügbar. Für den Einsatz in Ein- und Zweifamilienhäusern befinden sie sich im Feldteststadium. Es gibt für Brandenburg keine genaue Aufschlüsselung des Bestandes nach **Wärmequellen**. Auf Bundesebene waren von den knapp 270.000 bis Ende 2008 installierten Heizwärmepumpen etwa 153.000 (57 %) Sole-Wasser-, ca. 87.000 (33 %) Luft-Wasser- und ungefähr 26.400 (10 %) Wasser-Wasser-Wärmepumpen (Platt et al. 2010, 28 ff.). Bei den durch das MAP geförderten Neuinstallationen im Jahr 2010 wa-

<sup>11</sup> Für die Jahre 2006 bis 2010 fielen bei den fertig gestellten Gebäuden mit Wärmepumpen als primärer Heizenergiequelle 97,8 % auf EZFH, 0,5 % auf MFH sowie 1,6 % auf Nichtwohngebäude. Damit wurden bei 26 % der neugebauten EZFH, bei 0,09 % neugebauten MFH und bei 6 % der neugebauten Nichtwohngebäude eine Wärmepumpe errichtet (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2006; Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2007a; Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2008a; Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2009b; Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2010a; Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2011a). Die übrigen 3.956 im Gebäudebestand installierten Anlagen werden mit einem Faktor gewichtet. Der Faktor ergibt sich aus dem Anteil dieses Gebäudetyps, bei dem im Neubau eine Wärmepumpe installiert, multipliziert mit dem Anteil des Gebäudetyps am Gebäudebestand. Dafür wird der Anteil der Nichtwohngebäude am Gesamtgebäudebestand auf 17 % (mittlerer Anteil der Nichtwohngebäude am Neubau in den neuen Bundesländern in den Jahren 1993 und 2009 nach (Statistisches Bundesamt 2009). Der Anteil der EFZH ist damit 0,72, der der MFH 0,12.

ren 53 % Sole-Wasser-Wärmepumpen, 36 % Luft-Wasser-Wärmepumpen und 9 % Wasser-Wasser-Wärmepumpen (BMU 2010a). In Brandenburg hatten Sole-Wasser-Wärmepumpen mit 54 % zumindest bei den Neubauten im Jahr 2010 (Baugenehmigungen) einen ähnlichen Anteil wie bundesweit (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2010b; 2011c). Damit wird für Brandenburg bei den installierten Anlagen von den bundesweiten Werten nach Platt et al. (Platt et al. 2010, 28 ff.) ausgegangen.

Die **installierte Leistung** in Brandenburg wird über die Anlagenanzahl abgeschätzt, wobei von einer durchschnittlich installierten Leistung von  $8 \text{ kW}_{\text{th}}$  ausgegangen wird<sup>12</sup>. Damit liegt die installierte Leistung bei  $109,14 \text{ MW}_{\text{th}}$ . Ausgehend von 1.800 Volllaststunden im Jahr (LUGV 2011) liegt die **Heizwärmemenge** damit bei  $0,707 \text{ PJ}$  (bzw.  $196,45 \text{ GWh}$ ). Dies entspricht  $0,45 \%$  der insgesamt benötigten Wärmemenge von  $156 \text{ PJ}$  (s. Kapitel 2.1.1). Die benötigte Strommenge für den Betrieb der Wärmepumpen kann über die Jahresarbeitszahl (JAZ) berechnet werden. Ausgehend von Werten von 3,4 für Sole-Wasser-Wärmepumpen, 4,5 für Wasser-Wasser-Wärmepumpen und 3,0 für Luft-Wasser-Wärmepumpen (vgl. Hirschl et al. 2011a) sowie von der oben dargestellten Aufteilung lag der jährliche Stromverbrauch der Wärmepumpen 2010 damit bei  $0,209 \text{ PJ}$  bzw.  $58 \text{ GWh}_{\text{el}}$ .

Ausgehend von einem bundesweiten Anlagenbestand von 375.000 Wärmepumpen (Zahlen für 2008 nach Platt et al. (2010), Zubau 2009 und 2010 nach BWP (2011)) kann eine Heizwärmemenge von  $34,1 \text{ PJ}$  abgeschätzt werden. Dies entspricht  $0,47 \%$  der Gesamtwärmeerzeugung im Jahr 2009 ( $4.710 \text{ PJ}$  nach BMU (2010b)) und damit recht genau dem Anteil in Brandenburg.

## 2.1.4 Solarthermie

Das Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg schätzt die Anzahl der Solarthermieanlagen in Brandenburg im Jahr 2010 auf **24.290** (LUGV 2011). Von diesen wurden allein 1.860 (dies entspricht  $7,7 \%$  des Bestands) im Jahr 2010 installiert (LUGV 2010). Nach Angaben des Solaratlas wurden im Zeitraum von Januar 2001 bis Februar 2011 insgesamt 18.947 solarthermische Anlagen in Brandenburg installiert (Grundner 2011). Im Folgenden wird von dem Bestand 2009 und 2010 gemäß der Daten des LUGV ausgegangen, als Zubauzahlen werden bis 2009 die Daten des Solaratlas übernommen (s. Tab. 2.8).

<sup>12</sup> Das LUGV rechnet mit einer Leistung von  $7 \text{ kW}_{\text{th}}$  pro Anlage (LUGV 2010; LUGV 2011) Dieser Wert erscheint sehr gering, da beispielsweise eine Studie des GZB auf Bundesebene für das Jahr 2008 eine durchschnittliche Leistung von  $13 \text{ kW}_{\text{th}}$  ermittelt (Platt et al. 2010). Nach Aussage des MUGV bezieht sich der Wert  $7 \text{ kW}_{\text{th}}$  auf eine typische Anlagengröße bei EFH, in denen in Brandenburg in den Jahren 2006 bis 2009  $97,8 \%$  der Wärmepumpen in Neubauten installiert wurden. Allerdings lagen  $5 \%$  der Wohnungen, die mit Wärmepumpen beheizt werden (227 von 4.627), in Mehrfamilienhäusern, hinzu kommen Nichtwohngebäude mit Wärmepumpen und Anlagen im Bestand, so dass im Folgenden mit dem etwas höheren Wert von  $8 \text{ kW}_{\text{th}}$  gerechnet wird.

**Tab. 2.7: Ausbaustand Solarthermieanlagen in Brandenburg**

Quellen: LUGV (2010; 2011) und Grundner (2011)

	<b>Solaratlas</b>	<b>LUGV</b>	<b>IÖW</b>
<b>Datum</b>	<b>Zubau</b>	<b>Bestand</b>	<b>berechneter Bestand</b>
2001	1.714		5.675
2002	1.164		6.839
2003	1.571		8.410
2004	2.079		10.489
2005	1.751		12.240
2006	2.751		14.991
2007	1.789		16.780
2008	3.080		19.860
2009	2.570	22.430	22.430
2010		24.290	24.290

Die in Brandenburg zwischen 2001 und 2010 installierten solarthermischen Anlagen haben zu 63 % eine Kollektorfläche von weniger als 10 m<sup>2</sup>; nur sehr wenig Anlagen (4,4 %) haben eine Größe von über 20 m<sup>2</sup> (Grundner 2011). Fast 98 % aller in den Jahren 2001 bis 2010 installierten solarthermischen Anlagen werden den privaten Haushalten zugeordnet (Grundner 2011). Damit ist in Brandenburg wie insgesamt in Deutschland die Anzahl von Solarthermieanlagen im gewerblichen Bereich noch sehr gering (Stryi-Hipp et al. 2007). Ein Problem für den Einsatz von Solarthermie in zahlreichen Nichtwohngebäuden 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). Auch solar unterstützte Nahwärmenetze, teilweise mit saisonalen Speichern, befinden sich in Deutschland noch im Entwicklungs- und Demonstrationsstadium (Stryi-Hipp et al. 2007). Die Leitstudie des BMU für den Ausbau der erneuerbaren Energien geht davon aus, dass der Einsatz von Solarkollektoren in Nahwärmenetzen erst im Zeitraum nach 2020 als eingeführte Technologie zu betrachten ist (BMU 2008).

Aus den Daten des Solaratlas geht hervor, dass die Investoren für solarthermische Anlagen zu 97,7 % den privaten Haushalten zuzuschreiben sind, lediglich 2,3 % der Anlagen (mit einer Durchschnittsgröße von 14,5 m<sup>2</sup>) sind damit den Nichtwohngebäuden zuzuschreiben (Grundner 2011). Bei einer Anlagenzahl in Höhe von 24.290 für 2010 ergeben sich somit 559 solarthermische Anlagen in Nichtwohngebäuden und 23.731 Anlagen in Wohngebäuden. Die Anlagen auf den Nichtwohngebäuden werden des Weiteren aufgeteilt auf Ein- und Zweifamilienhäusern (bis zu einer Kol-

lektorfläche von 20 m<sup>2</sup>) und Mehrfamilienhäuser<sup>13</sup>. Nach der Aufteilung der im Solaratlas aufgeführten Anlagen sind 95,6 % der Anlagen auf Wohngebäuden den Ein- und Zweifamilienhäusern und 4,4 % den Mehrfamilienhäusern zuzuschreiben (Grundner 2011). Somit lässt sich die Zahl der solarthermischen Anlagen auf Ein- und Zweifamilienhäusern im Jahr 2010 auf 23.216 und auf Mehrfamilienhäusern auf 1.073 Anlagen abschätzen.

Multipliziert man die Anlagenzahl von 24.290 mit der durchschnittlichen Fläche von 9,17 m<sup>2</sup>, die sich aus den Daten des Solaratlas ergeben (Grundner 2011), so erhält man eine **installierte Fläche von 222.739 m<sup>2</sup>** für den Stand 2010<sup>14</sup>. Der Flächenzubau im Jahr 2010 betrug bei 1.860 neuinstallierten Anlagen entsprechend 17.056 m<sup>2</sup>. Im Vergleich zu anderen Bundesländern war der Ausbaustand damit nach einer Studie der Agentur für erneuerbare Energien, die (ausgehend von einer Kollektorfläche von 232.877 m<sup>2</sup>) von 92 m<sup>2</sup> pro 1000 Einwohnern im Jahr 2008 in Brandenburg ausgeht, im Vergleich zum Bundesdurchschnitt gering (Agentur für Erneuerbare Energien 2010, 20).

Der Großteil der Anlagen in Brandenburg wird zur Warmwasserbereitung (53,8 %) sowie zur Raumheizung bzw. Heizungsunterstützung (46,1 %) verwendet (Grundner 2011). Seit 2006 überwiegen Anlagen zur Heizungsunterstützung, während der Anteil der Anlagen zur alleinigen Warmwasserbereitstellung zurück geht. Nur insgesamt 26 (0,1 %) der in Brandenburg zwischen 2001 und 2011 installierten solarthermischen Anlagen dienen der Bereitstellung von Prozesswärme (Grundner 2011). Keine Daten gibt es zu Anlagen zur solaren Kühlung in Brandenburg. Diese sind jedoch insgesamt bisher wenig verbreitet, u. a. da die Kosten höher als die der konventionellen Systeme sind (Henning 2005). So waren in Deutschland bis 2007 nur 23 entsprechende Anlagen installiert (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 2007).

Der jährliche **Wärmeertrag** wird über die Kollektorfläche und den spezifischen Wärmeertrag berechnet. Letzterer liegt nach LUGV bei einer spezifischen Leistung von 0,5 kW<sub>th</sub>/m<sup>2</sup> und 890 Volllaststunden im Jahr bei 445 kWh<sub>th</sub>/m<sup>2</sup>·a (LUGV 2010). Der jährliche Wärmeertrag beläuft sich damit auf **99,1 GWh<sub>th</sub> (0,36 PJ)** im Jahr 2010. Dies entspricht 0,24 % des Wärmebedarfs von 156 PJ (siehe Kapitel 2.1.1) und ist geringer als der bundesweite Anteil von 0,4 % im Jahr 2008 (BMU 2010c, 9).

## 2.1.5 Biomasseheiz-(kraft)werke

Den höchsten Anteil der EE-Wärme stellen bisher **Biomasseheizkraftwerke** und **Biomasseheizwerke** bereit. Insgesamt gab es im Jahr 2010 nach Angaben des LUGV 17 Biomasseheizkraftwerke mit thermischer Nutzung und weitere 15 Biomasseheizwerke mit einer Leistung von min. 1 MW, wobei die Zahl im Vergleich zu 2009 noch gestiegen ist (LUGV 2010; LUGV 2011). Basierend auf

<sup>13</sup> In einer Studie des ISE für das BMU wird für EFH bei der Nutzung der Solarthermie eine Anlagengröße von 4 m<sup>2</sup> Kollektorfläche, bei reiner Trinkwassererwärmung bis 14 m<sup>2</sup> mit Heizungsunterstützung angegeben (ISE 2008, 95). Für die Aufteilung zwischen EZFH und MFH sind diese Annahmen sehr robust, da ohnehin 95 % der Anlagen kleiner als 18 m<sup>2</sup> sind.

<sup>14</sup> Nach Angaben von Solaratlas wurden im Zeitraum Januar 2001 bis Februar 2011 insgesamt 173.753 m<sup>2</sup> Kollektorfläche installiert, wobei von einer durchschnittlichen Fläche von 8 m<sup>2</sup> ausgegangen wird (LUGV 2010).

Daten des MLUV sowie einer Studie des ETI konnte im Jahr 2007 das Projekt DENDROM 22 Biomasseheizwerke in Brandenburg ermitteln (Murach et al. 2008a), während MLUV/LUA auch 2006 nur 14 Heizwerke zählte (Scheps 2009). Da die Statistik demnach auch zum damaligen Zeitpunkt nicht alle Anlagen erfasste gehen wir in der vorliegenden Studie von der höheren Zahl aus.

Die Wärmebereitstellung aus Biomasseheiz-(kraft)werken betrug nach Angaben des LUGV (2011) im Jahr 2010 insgesamt 6,87 PJ, wovon allein 6,52 PJ auf die Heizkraftwerke entfallen. Davon ausgehend, dass die thermische Leistung in den sieben nicht erfassten Heizwerken dem Durchschnitt der übrigen Biomasseheizwerke entspricht erhöht sich die Wärmebereitstellung insgesamt auf **7,03 PJ**.

Den Brennstoffbedarf für die existierenden Biomasseheiz-(kraft)werke beziffert die ETI (o. J.) auf 1,5 Mio.  $t_{\text{atro}}$  im Jahr. Dabei handelt es sich hauptsächlich um Altholz und Restholz der Holzverarbeitenden Industrie (ETI o. J.). Nach Daten der AGFW belieferten fünf Heizwerke sowie ein Heizkraftwerk 2009 Fernwärmenetze mit Wärme (AGFW 2010, 21–35). Der Großteil der Biomasseheiz-(kraft)werke wird dagegen zur Prozesswärmebereitstellung und für die industrielle Nutzung eingesetzt.

## 2.1.6 Biogas, Deponie- und Klärgas

Insgesamt waren in Brandenburg im Jahr 2010 190 **Biogasanlagen** mit einer elektrischen Leistung von 120 MW installiert (LUGV 2011). Diese stellten im Jahr 2010 3,13 PJ Strom bereit. Ausgehend von Annahmen zu bundesweit durchschnittlichen Wärmeanteilen von Biogasanlagen vom DBFZ (2010, 39) (BHKW-Wirkungsgrade: 45 % thermisch, 38 % elektrisch; durchschnittlichen Wärmenutzungsgrad: 45 %) läge die Wärmeerzeugung im Jahr 2010 bei 1,67 PJ. Allerdings weist die ETI darauf hin, dass in den meisten vorhandenen Biogasanlagen in Brandenburg die Wärme ungenutzt bleibt, da aufgrund fehlender Industrie und ländlicher Besiedelung an den Anlagenstandorten kaum Möglichkeiten zur Nutzung der Wärme bestehen (ETI o.J.). Entsprechend wird in der vorliegenden Studie von einer Nutzung von lediglich einem Fünftel der oben berechneten Wärmeerzeugung ausgegangen, also **0,33 PJ**.

Zu berücksichtigen ist außerdem, dass Biogas inzwischen nicht nur direkt vor Ort in Strom und Wärme umgewandelt wird sondern auch aufbereitet und in das **Gasnetz eingespeist** wird. So gab es nach Angaben der dena (2010a) bis Ende 2010 in Brandenburg bereits 4 Biogaseinspeiseanlagen mit einer Einspeisung von 4.870 m<sup>3</sup> Biomethan je Stunde. Weitere 9 Anlagen sind in Bau oder Planung mit einer zusätzlichen Kapazität von 6.500 m<sup>3</sup>/h. Das DBFZ (2011) nennt für Deutschland insgesamt eine Einspeisung von 280 Mio. Nm<sup>3</sup> pro Jahr (entspricht 32.000 Nm<sup>3</sup> pro Stunde) und schätzt die entsprechend eingespeiste Menge in 2010 auf 2,53 TWh. Überträgt man diesen Umrechnungsfaktor auf Brandenburg so würden durch die vorhandenen Anlagen 0,39 TWh im Jahr (**1,4 PJ**) und inkl. der in Planung und Bau befindlichen 0,90 TWh/a (**3,2 PJ**) Gas zur Verfügung gestellt. Ausgehend vom Einsatz in BHKW entspricht dies 2010 einer Wärmebereitstellung von 0,63 PJ.

Neben den Biogasanlagen existieren in Brandenburg noch 38 **Deponie- und Klärgasanlagen**, die im Jahr 2010 nach Angaben des LUGV (2011) insgesamt **0,97 PJ** Wärme bereitstellten. Diese werden gemäß dem Geltungsbereich des EEG in der vorliegenden Studie auch als erneuerbare Energieträger berücksichtigt.

## 2.1.7 Tiefe Geothermie

Des Weiteren werden in Brandenburg zwei **Tiefengeothermieanlagen** zur Fernwärmeerzeugung eingesetzt: Eine in Prenzlau (seit 1994) und eine in Neuruppin (seit 2007) (GtV-BV Geothermie 2010). Diese stellten 2010 zusammen **0,05 PJ** Wärme bereit (LUGV 2011).

## 2.1.8 Gesamtschau Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien

Insgesamt beträgt damit der Anteil der erneuerbaren Energien an der **Wärmebereitstellung** in Brandenburg im Jahr 2010 gut 8 %. Den größten Anteil davon liefert die Biomasse, vor allem in großen Heizwerken und Heizkraftwerken sowie in konventionellen Biomasseheizungen. Dagegen ist der Anteil moderner gebäudeintegrierter EE-Heizungsanlagen (Solarthermie, Wärmepumpen, moderne kleine Biomasseheizungen) mit 1,19 % insgesamt noch sehr gering.

**Tab. 2.8: Ausbaustand der erneuerbaren Energien zur Wärmeerzeugung im Land Brandenburg für das Jahr 2010**

Quelle: eigene Berechnungen bzw. LUGV (2011)

	<b>IÖW: Anlagenzahl</b>	<b>IÖW: Wärme- bereitstel- lung [PJ]</b>	<b>IÖW: Anteil Gesamt- wärme</b>	<b>LUGV: Anlagenzahl</b>	<b>LUGV: Wärme- bereitstel- lung [PJ]</b>
Biomasse klein	3.750	0,73	0,47 %	3.750	0,69
Konv. Holz	255.933	2,23	1,43 %	-	-
Biomasse-HKW	17	6,52	4,18 %	17	6,52
Biomasse-HW (> 1 MW)	22	0,51	0,33 %	15	0,35
Deponie- und Klärgasanlagen	39	0,97	0,62 %	39	0,97
Biogasanlagen	190	0,33	0,21 %		
Solarthermie	24.290	0,36	0,23 %	24.290	0,25
Wärmepumpen	13.642	0,71	0,45 %	10.360	0,45
Tiefengeothermie	2	0,05	0,03 %	2	0,05
Biogaseinspeisung	4	0,63	0,40 %	-	-
<b>Summe</b>	<b>297.889</b>	<b>13,0</b>	<b>8,36 %</b>	<b>38.473</b>	<b>9,28</b>

Der Anteil der erneuerbaren Energieträger an der Bereitstellung von **Fernwärme** ist nach Angaben der AGFW und des Länderarbeitskreises Energiebilanzen gering. So betrug der Anteil von Bio-

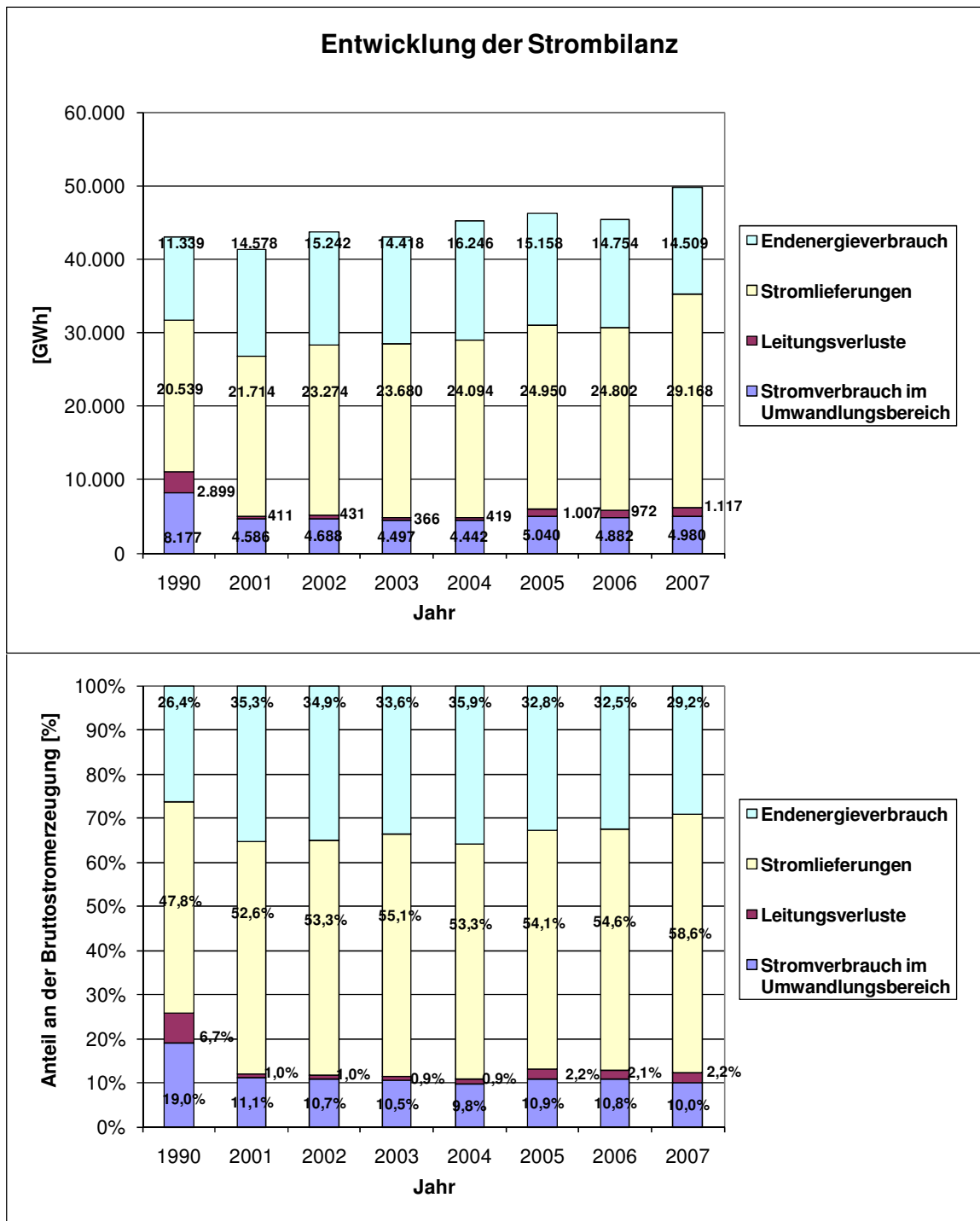
masse an der Fernwärmebereitstellung 2009 laut AGFW in Brandenburg 1 % (also rund 0,16 PJ). Nach Daten des LAK Energiebilanzen (2011a; 2011b) lag der EE-Anteil an der Fernwärmeerzeugung mit 0,14 PJ im Jahr 2007 bei nur 0,7 %. Diese geringen Anteile resultieren insbesondere aus dem geringen Anteil der Biomasseheiz-(kraft)werke, die Wärme in das Fernwärmenetz einspeisen.

## 2.2 Stromerzeugung und Stromverbrauch

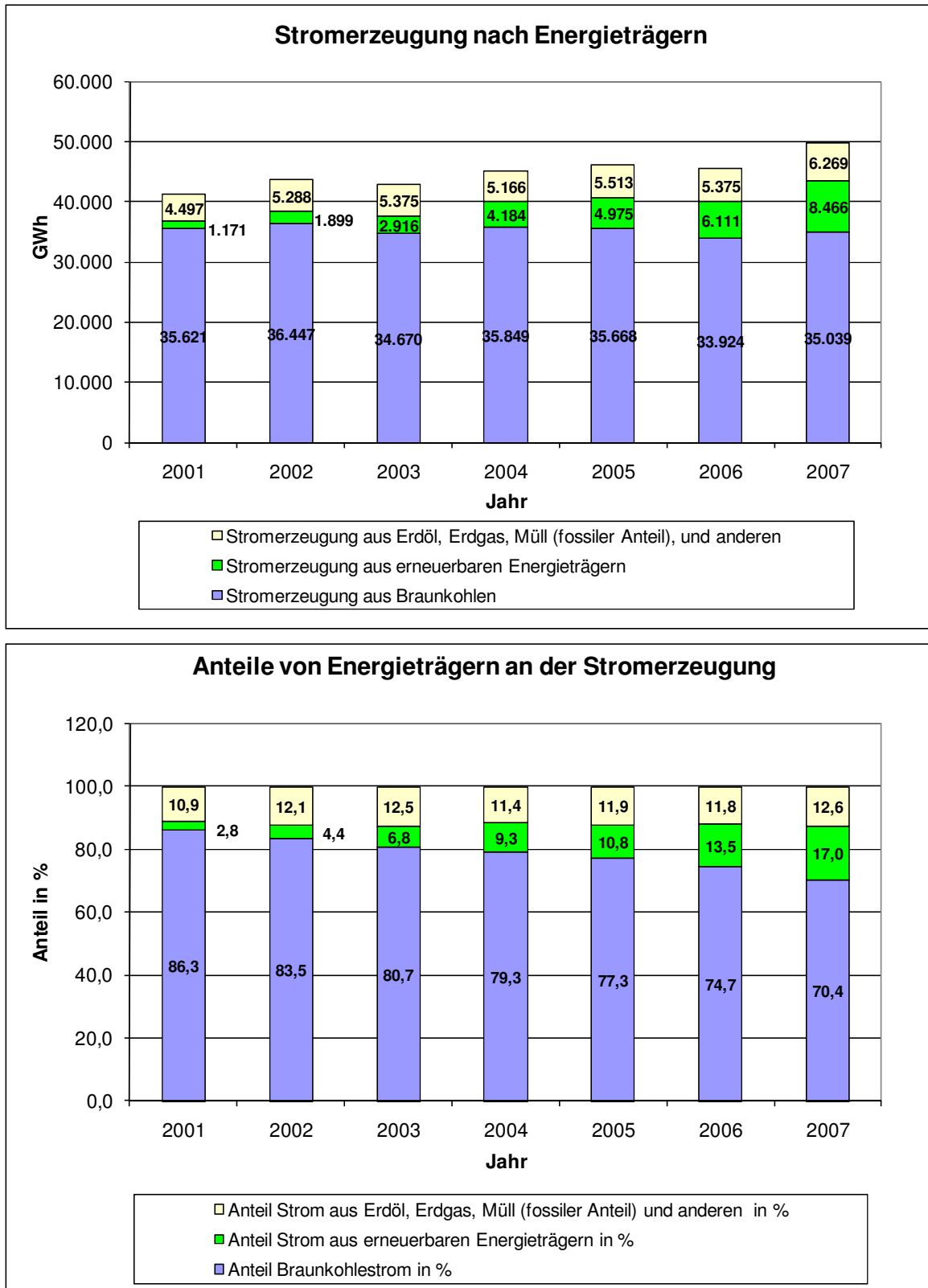
### 2.2.1 Struktur der Stromerzeugung und Strombilanz

Aufgrund seiner großen Braunkohlevorkommen spielt in Brandenburg traditionell die Verstromung aus diesem fossilen Energieträger eine wichtige Rolle. Der hiesige Kraftwerkspark produziert weit mehr Energie, als Brandenburg selbst benötigt, sodass über die Hälfte des erzeugten Stroms exportiert werden (vgl. Abb. 2.2). Rund 10 % der Bruttostromerzeugung von rund 50.000 GWh/a werden bereits im Umwandlungsbereich verbraucht, während die Leitungsverluste gut 2 % betragen. Tendenziell ist der Endenergieverbrauch in Brandenburg in den letzten Jahren leicht zurückgegangen und lag im Jahr 2007 bei etwa 14.500 GWh, was 29,2 % der Bruttostromerzeugung im Land betrug. Gleichzeitig stieg die Stromerzeugung insgesamt und somit vor allem der Strom-Export fast kontinuierlich an. Abb. 2.3 zeigt, dass dieser Ausbau der Stromerzeugung vor allem durch den Ausbau erneuerbarer Energieträger erreicht wurde, während die Braunkohleverstromung relativ konstant blieb und nur um etwa 2 % um einen Mittelwert von 35.317 GWh/a schwankte. Durch diesen Trend sank der Anteil der Braunkohle an der Stromerzeugung von 86 % im Jahr 2001 auf gut 70 % im Jahr 2007.

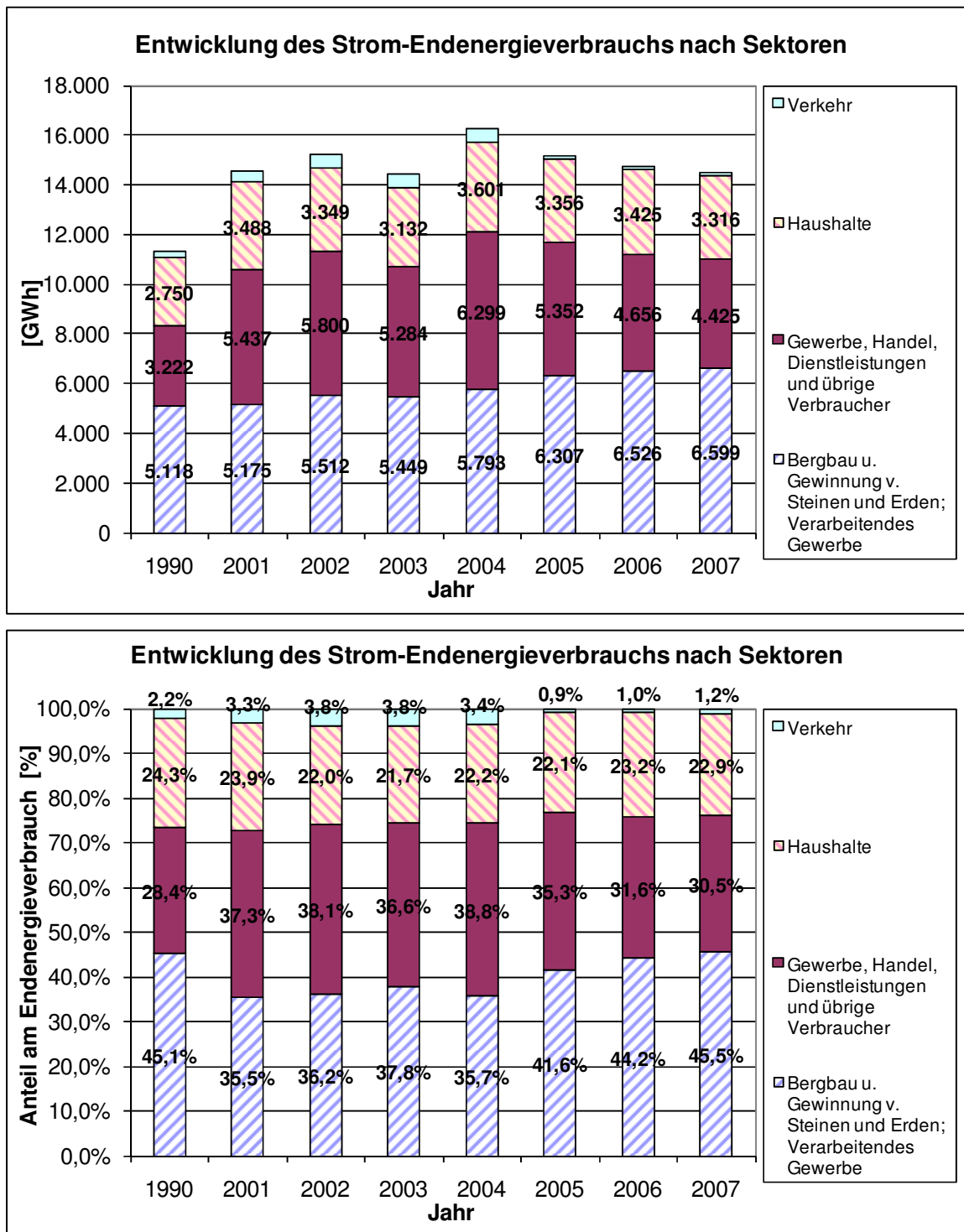
Abb. 2.4 zeigt die Entwicklung des Verbrauchs elektrischer Endenergie in Brandenburg. Der Stromverbrauch ist vor allem im Gewerbe seit 2004 stark rückläufig. Während der Stromverbrauch bei den Haushalten ebenfalls rückläufig ist, ist bei der Industrie ein Anstieg des Verbrauchs zu verzeichnen. Der Verkehr spielt beim Stromverbrauch in Brandenburg mit einem Anteil von etwa 1 % nur eine untergeordnete Rolle.



**Abb. 2.2: Entwicklung der Strombilanz von Brandenburg**  
 Quelle: Eigene Abbildung nach Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2010c).



**Abb. 2.3: Entwicklung der Stromerzeugung in Brandenburg nach Energieträgern**  
 Quelle: Eigene Abbildung nach Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2010c).

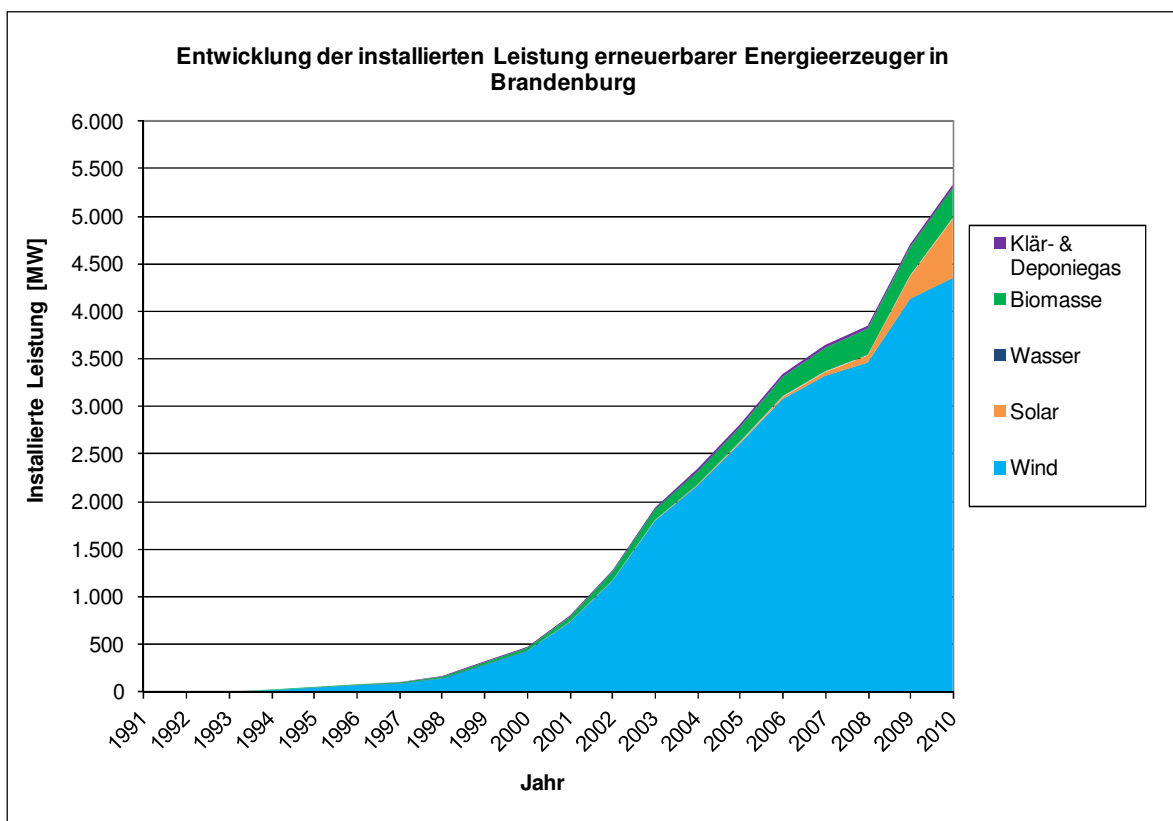


**Abb. 2.4: Entwicklung des Stromverbrauchs in Brandenburg nach Sektoren**  
 Quelle: Eigene Abbildung nach Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2010c).

## 2.2.2 Strom aus erneuerbaren Energien

Bedingt durch die attraktive Einspeisevergütung für erneuerbare Energien gemäß EEG kam es in den letzten Jahren zu einem starken Ausbau erneuerbarer Energieerzeuger (vgl. Abb. 2.5). Betrachtet man den Zeitraum 2000 bis 2010, so lässt sich feststellen, dass der EE-Ausbau in Brandenburg besonders dynamisch war. So hat sich die installierte EE-Leistung in 10 Jahren von damals 480 MW auf knapp 5200 MW Ende 2010 mehr als verzehnfacht, während im gesamten Bundesgebiet dagegen nur etwa eine Vervielfachung bzw. ohne Berücksichtigung der Wasserkraft eine Versechsfachung stattgefunden hat.

Besonders rasant hat sich dabei die Windkraft entwickelt, welche 2010 knapp 82 % der gesamten installierten EE-Leistung ausmachte und lange Zeit (2000–2008) sogar mehr als 90 % der EE-Kapazitäten stellte. Daneben spielen in Brandenburg vor allem Solarenergie (11,6 %) und Biomasse (6,6 %) eine größere Rolle im EE-Mix, während der Anteil von EEG-Biogas (0,6 %) und Wasserkraft (0,1 %) an der installierten EE-Leistung nur eine untergeordnete Rolle spielen, was im Bundesdurchschnitt deutlich anders aussieht.

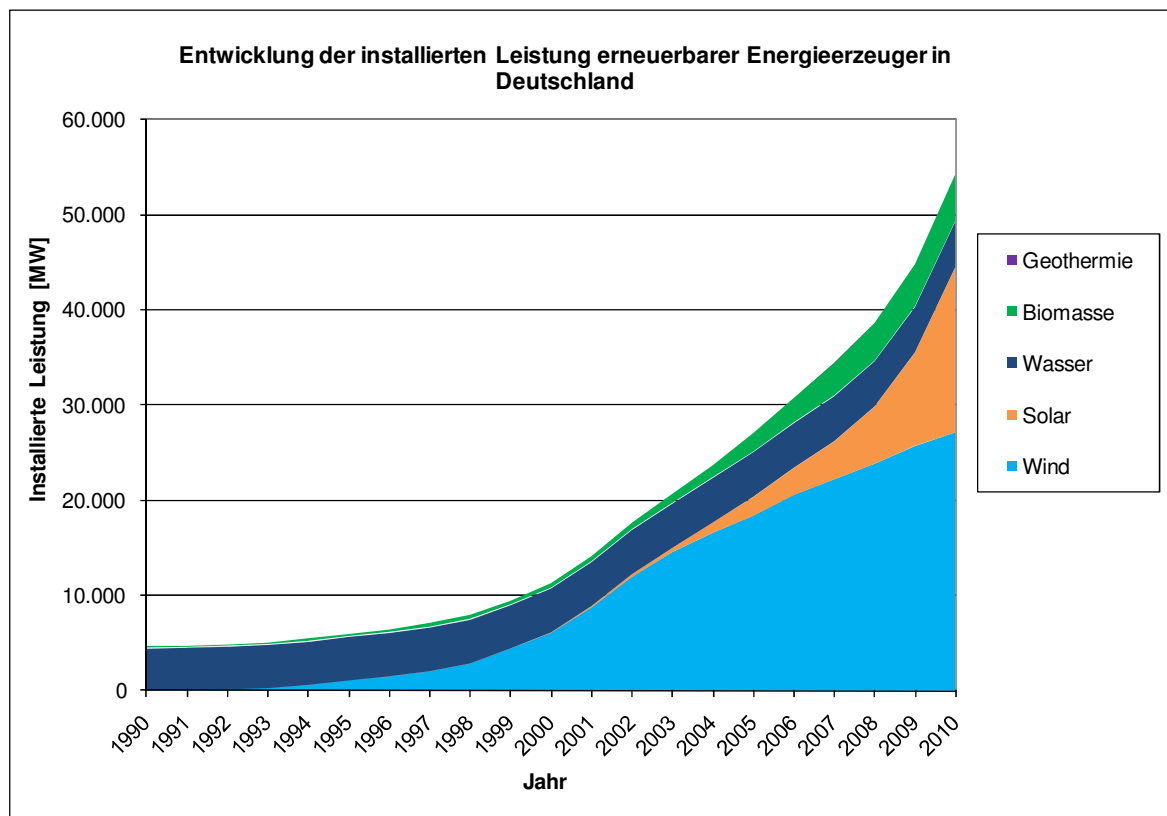


**Abb. 2.5: Entwicklung der installierten Leistung erneuerbarer Energieerzeuger in Brandenburg**

Quelle: Eigene Abbildung nach 50 Hertz (2011a).

Vergleicht man den EE-Ausbau in Brandenburg mit dem in Gesamtdeutschland, so wird abermals die verhältnismäßig große Bedeutung der Windkraft deutlich (vgl. Abb. 2.6 und Tab. 2.9). So belief

sich 2010 der Anteil der in Brandenburg installierten Windleistung auf knapp 16 % der bundesweit installierten Windleistung. Demgegenüber ist der Anteil der brandenburgischen Solar-Leistung mit ca. 3 % an der gesamtdeutschen Solarleistung nur sehr gering ausgeprägt, und das obwohl in Brandenburg ein Großteil der deutschen PV-Produktionskapazitäten sitzt. Der PV-Ausbau findet jedoch aufgrund der besseren Strahlungsverhältnisse nach wie vor überwiegend im Süden Deutschlands statt. Beinahe zu vernachlässigen ist in Brandenburg aufgrund mangelnder Höhendifferenzen die Wasserkraft.



**Abb. 2.6: Entwicklung der installierten Leistung erneuerbarer Energieerzeuger in Deutschland**

Quelle: Eigene Abbildung nach 50 Hertz (2011b).

**Tab. 2.9: Ausbaustand der regenerativen Stromerzeugung in Brandenburg 2010 im Verhältnis zu Deutschland**

Quelle: Eigene Darstellung nach 50 Hertz (2011b) und AGEE-Stat (2011).

	Wind	Biomasse inkl. Biogas	Solar	Wasser
Installierte Leistung in Brandenburg 2010 [ MW]	4.354	354	620	4,4
Anteil an der inst. EE-Leistung in Brandenburg	81,6 %	6,6 %	11,6 %	0,1 %
Anteil an der inst. EE-Leistung in Deutschland	16 %	7 %	3 %	0,1 %

Betrachtet man, wie viel elektrische Energie tatsächlich durch die verschiedenen erneuerbaren Energien erzeugt wurde, so trugen 2009 mit 6.089 GWh (74 %) vor allem die Windenergie und mit 1.820 GWh (22 %) die Biomasse zur EE-Stromerzeugung bei, während der Anteil von Biogas (2,1 %), Solarenergie (1,7 %) und Wasserkraft (0,2 %) nur sehr gering war (vgl. Tab. 2.10 und Abb. 2.7). Die gesamte EE-Stromerzeugung in Brandenburg betrug 2010 etwa 10.453 GWh, was etwa 70 % des elektrischen Endenergiebedarfs von Brandenburg (ohne Berlin) entspricht.

**Tab. 2.10: Stromerzeugung in Brandenburg durch erneuerbare Energien 2007–2010**

Quelle: Eigene Darstellung nach 50 Hertz (2011b) und LUGV (2011).

Energieträger	Stromerzeugung [ GWh]				Anteil [%]		
	2007	2008	2009*	2010**	2008	2009	2010
Biomasse	1.211	1.554	1.820	2.035	19,8 %	22,3 %	20,6%
Gas	174,3	159,2	173	220	2,0 %	2,1 %	2,1%
Solar	23,1	43,0	140	552	0,5 %	1,7 %	5,2%
Wasser	19,0	15,0	15	27	0,2 %	0,2 %	0,3%
Wind	6.079	6.089	6.061	7.619	77,5 %	74,3 %	71,9%
<b>Summe</b>	<b>7.507</b>	<b>7.860</b>	<b>8.209</b>	<b>10.453</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100%</b>

Die Werte für 2007 und 2008 basieren auf der EEG-Abrechnung von 50 Hertz (2011).  
 \*) Die Werte für 2009 basieren z. T. auf Angaben des LUGV (2011) und liegen um etwa 0,6 % über denen von 50 Hertz (2011).  
 \*\*) Die Abschätzung für 2010 basiert auf der installierten Leistung gem. 50 Hertz (2011) und den durchschnittlichen Volllaststunden der Jahre 2007-2009, wobei der Zubau in 2010 nur zu 50 % einfließt.

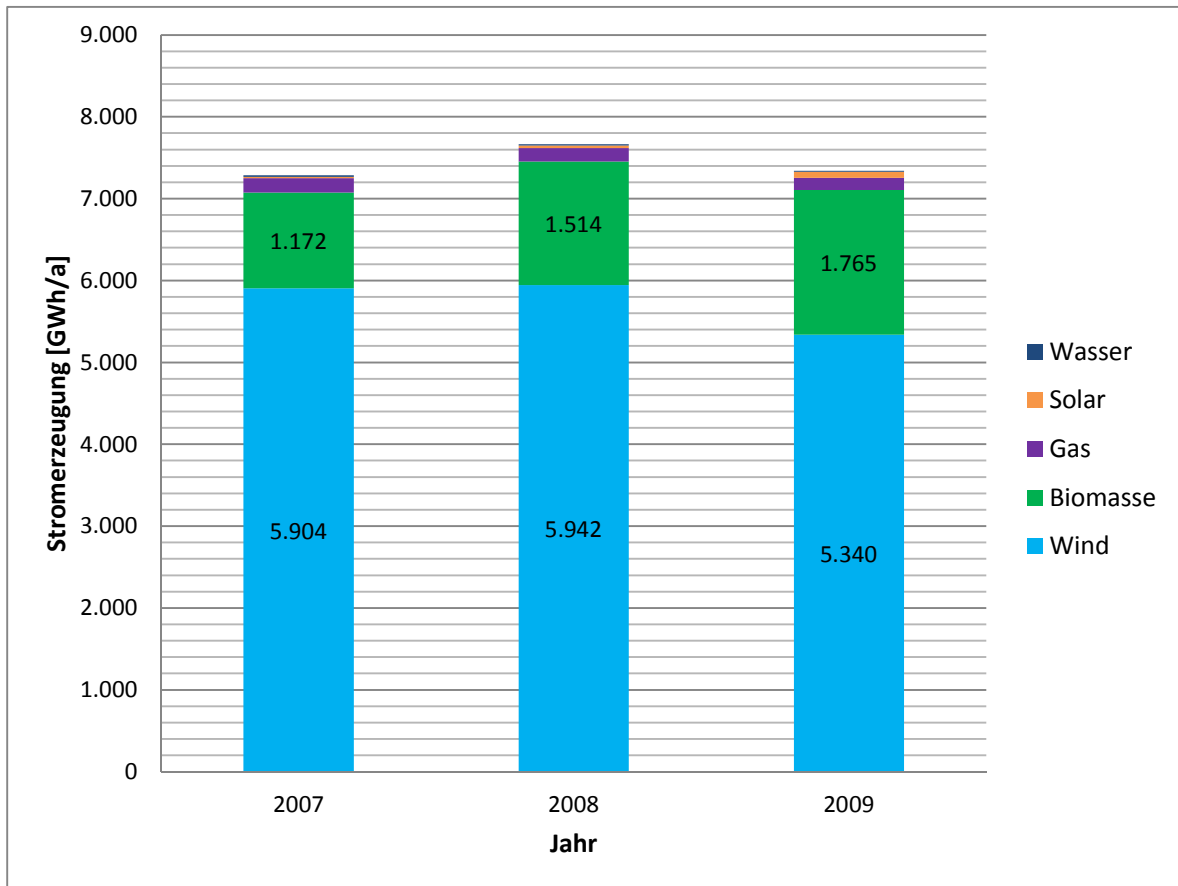
Es ist anzumerken, dass es bei den Daten zur EE-Stromerzeugung durchaus Abweichungen zwischen unterschiedlichen Quellen gibt. Tab. 2.11 stellt dies beispielhaft anhand der Daten für die EE-Stromerzeugung in Brandenburg für das Jahr 2007 dar. So weist das EEG-Anlagenregister (50 Hertz 2011a) mit 7.507 GWh knapp 13 % weniger EE-Stromerzeugung aus, als die Energiebilanz des Statistischen Landesamtes. Besonders erstaunlich ist, dass die Energiebilanz trotzdem eine um 23 % geringere Stromerzeugung aus Wasserkraft ausweist als nach EEG vergütet wurde. Gleichzeitig weist sie 57 % mehr Strom aus Biomasse, Bio-, Klär- und Deponiegas aus, als die EEG-Abrechnung, was evtl. auf die im EEG nicht erfasste Zufeuerung von Biomasse in konventio-

nellen Kraftwerken oder auf die Einspeisung von Biogas ins Erdgasnetz und dessen nicht EEG-vergütete Verstromung zurückzuführen sein könnte. Die Stromerzeugungsdaten aus Solar- und Windenergie stimmen dagegen in beiden Quellen recht gut überein. Da sich die beschriebenen Widersprüche nicht aufklären ließen bleibt festzuhalten, dass alle Quellen mit Unsicherheiten in der Größenordnung um 10 % verbunden sein können.

**Tab. 2.11: EE-Stromerzeugung in Brandenburg 2007 nach unterschiedlichen Quellen**

Quelle: Eigene Darstellung nach 50 Hertz (2011b) und Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2010c).

Energieträger	EEG	Energiebilanz	Bilanz/EEG
Biomasse/Biogas [ GWh]	1.211	2.174	157,0 %
Klär- & Deponiegas [ GWh]	174,3		
Solar [ GWh]	23,1	22,8	98,6 %
Wasser [ GWh]	19,0	14,7	77,4 %
Wind [ GWh]	6.079	6.104	100,4 %
Sonstige [ GWh]	0	150	
<b>Summe [ GWh]</b>	<b>7.507</b>	<b>8.466</b>	<b>112,8 %</b>

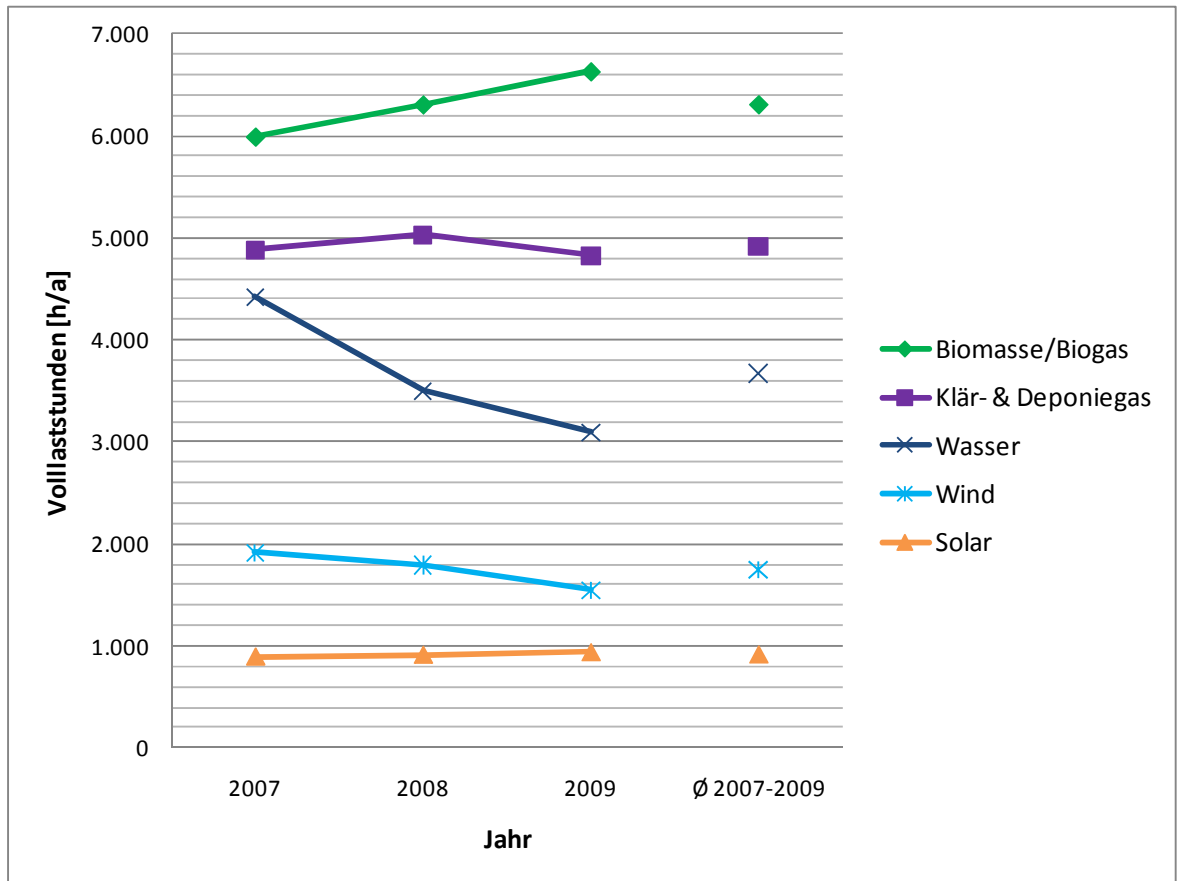


**Abb. 2.7 Stromerzeugung in Brandenburg durch erneuerbare Energien 2007–2009**

Quelle: Eigene Abbildung nach 50 Hertz (2011b).

Auffällig ist, dass die Stromerzeugung aus Windkraft trotz weiteren Zubaus an installierter Leistung in den Jahren 2007-2009 rückläufig war. Dies ist vor allem auf rückläufige spezifische Erträge zurückzuführen – die Jahre 2008 und 2009 waren in Brandenburg von rückläufiger Windintensität geprägt (vgl. Tab. 2.12 und Abb. 2.8). Laut DEWI (2011) hätten die 2.952 Windkraftanlagen, die in Brandenburg Ende 2010 eine installierte Leistung von 4.400 MW zusammenbrachten, das Potenzial, 42,8 % des Nettostromverbrauchs in Brandenburg zu decken, wenn der durchschnittliche Windenergieertrag der Jahre 2003–2009 gemäß IWET zugrunde gelegt wird.

Auch die Erträge der Wasserkraft waren in diesem Zeitraum rückläufig, während Biogas und Solarenergie relativ konstante Erträge lieferten. Signifikant gesteigert wurden die spezifischen Erträge demgegenüber bei der Biomasse, wo sie knapp 6.500 kWh/(kW a) im Vergleich zu den anderen erneuerbaren auch mit Abstand auf dem höchsten Niveau liegen.



**Abb. 2.8: Durchschnittliche Volllaststunden regenerativer Energieerzeugung in Brandenburg 2007–2009**

Quelle: Eigene Abbildung nach 50 Hertz (2011b).

**Tab. 2.12: Spezifische Stromerträge in Brandenburg (kWh je kW installierter Leistung)**

Quelle: Eigene Darstellung nach 50 Hertz (2011b).

Strom-Ertrag [kWh/(kW a)]				Mittelwert	
Energieträger	2007	2008	2009	2007-2009	
Biomasse	5.221	5.870	6.474	5.855	±10,7 %
Gas	4.130	4.416	4.213	4.253	±3,5 %
Solar	841	844	868	851	±1,8 %
Wasser	3.451	3.097	2.646	3.065	±13,2 %
Wind	1.838	1.714	1.474	1.675	±11,0 %
<b>Mittelwert</b>	<b>3.096</b>	<b>3.188</b>	<b>3.135</b>	<b>3.140</b>	<b>±1,5 %</b>

## 2.3 Verkehr/ Kraftstoffe

Die Anzahl der gemeldeten Kraftfahrzeuge belief sich in Brandenburg im Jahr 2011 auf 1,57 Millionen. Davon entfielen 1,3 Millionen auf PKW, 108.285 auf LKW, 39.103 auf Zugmaschinen und 97.476 auf Krafträder. Der Schienenverkehr des VBB (S-Bahn und Regionalverkehr) beförderte 2009 knapp 425.000 Fahrgäste, der übrige öffentliche Personennahverkehr gut 133.000. Im Jahr 2009 wurden knapp 24 Mio. t Güter mit der Eisenbahn, ca. 2,7 Mio. t durch die Binnenschifffahrt und ca. 34.400 Mio. t Güter auf der Straße befördert (Summe aus Empfang und Versand) (MIL 2011). Im gewerblichen Flugverkehr wurden 6,8 Mio. Fluggäste befördert (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2011d).

Im **Jahr 2007** wurden laut Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz für das Land Brandenburg ca. 28,6 PJ Otto-kraftstoffe, 37,8 PJ Dieselmotorkraftstoffe, 5,7 PJ Fluggastturbinenkraftstoff, knapp 0,5 PJ Flüssiggas, 0,16 PJ Gase, 5,3 PJ Biomasse und 0,6 PJ Strom im Verkehrssektor eingesetzt (Endenergieverbrauch) (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2010d). Bei der eingesetzten Biomasse ist davon auszugehen, dass es sich um Biokraftstoffe handelt. Somit hatte Biomasse einen Anteil von ca. 6,7 % am Endenergieverbrauch im Verkehrsbereich.

Im Jahr 2007 wurden laut MUGV 548.000 t Biodiesel bei einer Produktionskapazität von 580.000 t/a hergestellt (MUGV 2011). Bei einem Heizwert von 37,2 MJ/kg ergibt sich dadurch ein Energieinhalt von ca. 20,4 PJ. Damit handelte es sich 2007 beim Land Brandenburg um einen Nettoexporteur. Der Biokraftstoffproduzent Verbio erzeugte in seiner Anlage in Schwedt im Jahr 2010 156 Mio. l Bioethanol (VERBIO 2011), das entspricht bei einem Heizwert von 21,17 MJ/l einem Energieinhalt von 3,3 PJ. Umfangreichere und ggf. aktuellere Daten zu Biodiesel- und Bioethanolverbrauch und -produktion sind für Brandenburg nicht verfügbar. Jedoch geht PROGNOSE in ihrem Bericht „Grundlagen für die Fortschreibung der Energiestrategie Brandenburg“ (Seefeldt et al. 2007) davon aus, dass im Jahr 2010 6 PJ Energie im Verkehrssektor aus Biokraftstoffen stammen. Dieser Wert erscheint anhand des für 2007 verfügbaren Wertes aus der Energiebilanz plausibel und wird daher im Folgenden verwendet.

## 3 Technologiespezifische Potenziale

### 3.1 Allgemeines Vorgehen, Szenariokonstruktion und Methodik

In diesem Kapitel werden die Potenziale erneuerbarer Energien in den zentralen Nutzungsbereichen Strom, Wärme und Verkehr/Kraftstoffe separat analysiert. Zusätzlich wird die Biomasse hinsichtlich ihrer Potenziale betrachtet, da sie in allen Nutzungsbereichen eine wichtige Rolle spielt und somit u. a. Nutzungskonkurrenzen, aber auch Synergien zu beachten sind. Bei der Betrachtung der Biomassepotenziale konzentrieren wir uns hier ausschließlich auf die endogenen Potenziale, d. h. solche, die in Brandenburg verfügbar sind.

Die Ermittlung der Strom- und Wärme-Potenziale erfolgt in den folgenden zwei Szenarien, welche gemäß der geltenden bundespolitischen Rahmenbedingungen einen weiterhin starken Ausbau der erneuerbaren Energien vorsehen und zusätzlich unterschiedliche Annahmen zur künftigen Rolle der Braunkohle in Brandenburg treffen:

1. **Szenario EE-50BK:** Die Braunkohleverstromung wird bis 2030 um 50 % zurückgefahren. Die mögliche Abschaltung des Braunkohlekraftwerks Jänschwalde würde dies bereits übertreffen, da es zu etwa zwei Drittel zur Braunkohlestromerzeugung beiträgt. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass eine Abschaltung des Kraftwerks blockweise gestaffelt erfolgt (die jeweils ältesten Blöcke werden 2020 bzw. 2030 außer Betrieb genommen), während das Kraftwerk Schwarze Pumpe zunächst auch über 2030 hinaus in Betrieb bleibt.
2. **Szenario EE-0BK („Energiewende“):** In diesem Szenario wird Jänschwalde bis 2020 zur Hälfte stillgelegt, bis 2030 aber ein kompletter Ausstieg aus der Braunkohleverstromung angenommen. Der EE-Ausbau wird in diesem Szenario noch etwas dynamischer angenommen, als dies bereits im Szenario EE-50BK der Fall ist.

Von der Erstellung bzw. Benennung eines Referenzszenarios wird in Anbetracht des noch weit entfernten Zeithorizonts in dieser Studie abgesehen. Wir betrachten hier als „Referenzfall“ die politisch angestrebten Ziele bis 2020. Ein längerer Zeithorizont wird gegenwärtig zwar von Regierungsseite erarbeitet, stand aber bei Erstellung dieser Studie noch nicht zur Verfügung. Nach 2020 sind sowohl der politische „Status Quo“ sowie Trends und bereits heute absehbare Entwicklungen nicht mehr sinnvoll für eine Fortschreibung geeignet, weshalb auf eine Ausweisung dieses Referenzfalls neben den angenommenen Szenarien verzichtet wird.

Die beiden Szenarien unterscheiden sich im Wärmebereich im Wesentlichen bei der Ausgestaltung der Fernwärmeversorgung, da hier insbesondere die Frage nach dem Rückgang der Braunkohle-Verstromung von Interesse ist. Vor diesem Hintergrund wird im Szenario EE-0BK der komplette Ausstieg aus der Fernwärmeerzeugung mit Braunkohle und ein entsprechend ehrgeizigerer Ausbau der EE-Fernwärme angenommen. Demgegenüber geht im Szenario EE-50BK die Fernwärmeerzeugung aus Braunkohle bis 2030 nur auf die Hälfte des Werts von 2010 zurück.

Anders als im Wärmebereich erfolgt für den Strommarkt keine technologieübergreifende Ausweisung der technischen Potenziale, sondern diese erfolgt für die jeweiligen EE-Technologien ge-

trennt. Es werden die Ziele der Landesregierung im Rahmen der Energiestrategie 2020 den technischen und ggf. theoretischen Potenzialen gegenübergestellt. Auf dieser Basis werden die Szenarien entwickelt, wobei sich das Szenario EE-50BK für 2020 weitgehend an den Zielen der Landesregierung orientiert. Das Szenario EE-0BK weist demgegenüber noch einen ambitionierteren Ausbau aus, welcher sich u. a. an der Verfügbarkeit bzw. Erschließbarkeit der Potenziale und bisher erfolgten Ausbauraten orientiert sowie weitere aktuelle Studienergebnisse mit diesem Zeithorizont einbezieht.

Mit dem zunehmenden Ausbau insbesondere der fluktuierenden EE-Stromerzeugung aus Wind und Sonne wird auch deren Systemintegration zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit zunehmend wichtiger. Dies betrifft einerseits den Aus- und Umbau der Energienetze und andererseits Verfahren zur Speicherung der Energie. Eine Vielzahl innovativer Verfahren zur Netzintegration befindet sich derzeit in der Entwicklung und Erprobung. Welche Verfahren sich letztendlich zu welchem Grad in der Praxis durchsetzen werden, hängt stark von der weiteren technischen und wirtschaftlichen Entwicklung dieser Verfahren ab und lässt sich derzeit noch nicht abschließend prognostizieren, weshalb in den Szenarien diesbezüglich auch keine konkreten Annahmen getroffen wurden. Kapitel 3.4.7 (S. 77) gibt jedoch einen Überblick zu diesem Aspekt und den vielversprechendsten technischen Ansätzen sowie deren Potenzialen.

Die Ermittlung der Biomassepotenziale sowie die Entwicklung bei den Kraftstoffen erfolgen demgegenüber szenarienunabhängig, da hier davon ausgegangen wird, dass die unter gewissen Restriktionen erschließbaren technischen Potenziale im Jahr 2030 bereits ausgeschöpft werden und sich somit bereits in den Vorjahren keine wesentlichen quantitativen Veränderungen mehr ergeben. Maßgebliche Randbedingung für die Formulierung der Biomasseszenarien ist zudem, dass wir diese nur für die endogenen, d.h. die in Brandenburg erzeugten Biomassen ermitteln. Durch Biomasse-Importe, die jedoch in beliebiger Höhe stattfinden können und sich damit nicht sicher quantifizieren lassen, ließen sich die Werte für die EE-Energieerzeugung noch erhöhen. Allerdings handelte es sich dabei nicht im engeren Sinne um Brandenburger Potenziale, zusätzlich muss die Nachhaltigkeit solcher Importe kritisch bewertet werden.

## 3.2 Biomassepotenziale

Brandenburg ist mit 85 Einwohnern pro km<sup>2</sup> im Vergleich zum bundesdeutschen Durchschnitt von 229 EW/ km<sup>2</sup> ein relativ dünn besiedeltes Bundesland. Entsprechend steht dem Bundesland ein hohes Flächenpotenzial zur Verfügung, das auch für die Erzeugung erneuerbarer Energie genutzt werden kann. Der Bioenergie kommt neben der Windenergie bereits heute große Bedeutung zu, da der Primärenergieträger Biomasse sehr vielfältig und flexibel einsetzbar ist. Die endogenen Biomassepotenziale sind aufgrund von Flächenverfügbarkeit, Konkurrenz mit Nahrungs- und Futtermitteln etc. jedoch begrenzt. Der Einsatz von Biomassekonversionstechnologien kann zwar unter Hinzuziehung externer Biomasse beliebig hohe Anteile erzielen. Allerdings ist bereits heute die Biomasse in vielen Regionen knapp und daher die Konkurrenz um den Rohstoff bereits gegeben. Zudem stehen zunehmend die Nachhaltigkeitsprobleme importierter Biomasse im Fokus. Vor diesem Hintergrund fokussieren wir in dieser Studie bei der Biomassenutzung in Brandenburg ausschließlich auf die endogenen Potenziale. Ausgangspunkt für die Analyse sind dabei primär vorhandene Potenzialabschätzungen für Brandenburg, da eigene Erhebungen im Rahmen dieser Studie nicht vorgenommen werden konnten.

### 3.2.1 Zentrale Biomasse-Potenzialstudien

Relevante Quellen für die Ermittlung der Biomassepotenziale in Brandenburg sind v. a. folgende:

Der **Biomasseaktionsplan 2010** wurde vom MLUV zur Konkretisierung der Energiestrategie 2020 im Bereich der Biomasse entwickelt. Er stellt wichtige gesetzliche Grundlagen, die Ausgangsbasis in Brandenburg sowie Zielsetzungen und Umsetzungsmaßnahmen im Bereich der Biomasse vor. Laut Biomasseaktionsplan sollte die energetische Biomassenutzung von 25,1 PJ im Jahr 2003 auf 30 PJ 2010 anwachsen. Biomassepotenziale werden nicht genauer aufgeschlüsselt, sondern lediglich hoch aggregiert angegeben. Demnach beträgt, beruhend auf einer GIS-basierten Berechnung der Fachhochschule Eberswalde, das wirtschaftlich nutzbare Biomassepotenzial 130 PJ pro Jahr (MLUV 2006).

Jochen **Möller** (Möller 2003) führte für seine Dissertation mit dem Titel „Möglichkeiten und Grenzen der Nutzung erneuerbarer Energieträger am Beispiel des Landes Brandenburg“ keine eigenen Berechnungen im Bereich der Biomasse durch, sondern gibt Ergebnisse aus Veröffentlichungen des Ministeriums für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg (MLUV, aus dem Jahr 2000) und dem Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (aus dem Jahr 1997) wieder. Die Biomassepotenziale werden in den Kategorien „feste Biomasse“, „Pflanzenöl“ und „gasförmige Biomasse“, also nach Art der Energieträger dargestellt.

Carsten **Linke** aus dem Referat Klimaschutz, umweltbezogene Energiepolitik, Emissionshandel und erneuerbare Energien des **MLUV** stellte **2007** im Rahmen der 2. Sitzung des Nachhaltigkeitsrats u. a. Potenzialabschätzungen im Bereich erneuerbarer Energien vor (Linke 2007). Dabei wurden Potenziale landwirtschaftlicher und forstwirtschaftlicher Biomasse, sowie von Deponie- und Klärgas quantifiziert.

Das Unternehmen **PROGNOS** wurde im Jahr **2007** vom Land Brandenburg beauftragt die Entwicklung der erneuerbaren Energien nach Verabschiedung der „Energiestrategie 2020“ zu untersuchen und mit Trendabschätzungen für den Energieverbrauch im Land Brandenburg die Basis für die „Fortschreibung der Energiestrategie“ zu liefern. Zur Potenzialermittlung für die erneuerbaren Energien wurden ebenfalls keine eigenen Berechnungen angestellt, sondern theoretische Potenziale sowie bis zum Jahr 2020 mögliche erschließbare Potenziale aus „einem internen Positionspapier aus dem MLUV“ übernommen (Seefeldt et al. 2007, 77).

Die im Jahr **2010** von Tanja Kenkmann erarbeitete und vom Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (MUGV) veröffentlichte **Biomassestrategie** (Kenkmann 2010) wurde zur Aktualisierung des Biomasseaktionsplans aus dem Jahr 2006 (siehe oben), sowie zur Konkretisierung und Untersetzung der Energie- und Klimaschutzstrategie 2020 entwickelt. Neben dem momentanen Ausbaustand, Zielen, Strategien und Maßnahmen nimmt die Potenzialermittlung für Biomasse in Brandenburg einen wichtigen Stellenwert in dieser Strategie ein. Im Gegensatz zu den meisten anderen Studien, werden hier Biomassearten nach ihrer Herkunft (z. B. Waldholz, landwirtschaftliche Biomasse, Gülle, Klärgas etc.) unterschieden.

Der in den übrigen Abschätzungen nicht enthaltene biogene Anteil des Siedlungsabfalls sowie aktuelle Daten zum Bioabfallaufkommen wurden mit Hilfe der **Abfallbilanz 2009** des MUGV (2010) ermittelt.

## 3.2.2 Differenzierte Biomasse-Potenziale

Zur Energieerzeugung nutzbare Biomassepotenziale werden üblicherweise entweder nach Art der Energieträger in feste, flüssige und gasförmige Biomasse, oder aber nach ihrer Art und Herkunft eingeteilt. Im Rahmen dieser Studie werden die Potenziale der Biomasse in Brandenburg nach dem zweiten Ansatz dargestellt, um diese später direkt verschiedenen Arten von Anlagen zur Energieerzeugung zuzuordnen. Die ausführlichste und daher hauptsächlich verwendete Datenquelle für diese Abschätzung ist die Biomassestrategie des Landes Brandenburg (Kenkmann 2010), in der teilweise erschließbare Potenziale für bestimmte Jahre, sowie teilweise technische oder theoretische Potenziale angegeben werden. Deren Angaben wurden in einzelnen Teilbereichen durch weitere Quellen ergänzt, sowie – wo notwendig – mit Hilfe eigener Annahmen fortgeschrieben, um ein bis 2030 erschließbares Potenzial darzustellen. Dieses entspricht aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit der endogenen Biomassepotenziale häufig bereits den technischen Potenzialen.

### 3.2.2.1 Holzartige Biomasse

Laut MUGV/ Kenkmann (2010) wird sich das zur Energieerzeugung zur Verfügung stehende **Waldholzangebot** in den nächsten Jahren verringern. 2026 sollen demnach (unter Berücksichtigung einiger Restriktionen wie z. B. der Befahrbarkeit des Geländes) ca. 3,5 PJ Energie aus Waldholz erzeugt werden können. Da die weitere Entwicklung der Brandenburger Holzpotenziale unklar ist und außerdem erhöhte Anstrengungen zur Nutzung der theoretischen Potenziale denkbar sind, wird für das Jahr 2030 der Abwärtstrend im Energieholzangebot nicht weiter fortgeschrieben, sondern weiterhin der Wert für das Jahr 2026 angesetzt.

Neben dem Wald direkt entnommenem Energieholz, tragen zusätzlich **Restholz** aus der Holzverarbeitenden Industrie sowie **Altholz** zur Energieerzeugung in Brandenburg bei (Kenkmann 2010). Da sich in den damit verbundenen Wirtschaftssektoren in den nächsten Jahren keine größeren Veränderungen ankündigen, wird von einer konstanten Verfügbarkeit von 4,4 PJ Restholz und 1,6 PJ Altholz ausgegangen.

Nach Murach et al. (2008b) kann der Anbau von **Agrarholz** in Brandenburg in vielen Fällen ökonomisch sinnvoller sein als der Anbau einjähriger Marktfrüchte. Murach et al. gehen in ihrem „Ökologischeszenario“ - bereits unter Berücksichtigung von Einschränkungen für verfügbare Flächen und ökologischen Gesichtspunkten - für das Jahr 2030 von einem Agrarholzpotenzial von 4,9 Mio.  $t_{atro}$  aus (2008b: 415). Jedoch gehen in diese Abschätzungen keine Restriktionen durch für den Nahrungsmittelanbau benötigte Flächen ein. Für die Produktion dieser Agrarholzmenge würden knapp 40 % der Gesamtackerfläche Brandenburgs benötigt. Das MUGV rechnet in seiner Biomassestrategie hingegen mit einem technischen Potenzial von über 1 Mio  $t_{atro}$  Agrarholz, das auf ca. 10 % der Ackerfläche Brandenburgs produziert werden könnte. Bis zum Jahr 2020 wäre laut Biomassestrategie der Anbau von ca. 100.000  $t_{atro}$  Agrarholz mit einem Energieinhalt von ca. 1,4 PJ auf ca. 10.000 ha Fläche möglich (Kenkmann 2010: 10). Diese Potenziale werden im Folgenden für die weiteren Berechnungen verwendet. Für das Jahr 2030 wird eine weitere Steigerung der aus Agrarholz produzierten Energiemenge um 20 % auf 1,68 PJ ausgegangen.

### 3.2.2.2 Nachwachsende Rohstoffe und landwirtschaftliche Reststoffe

Neben Agrarholz werden auch andere landwirtschaftlich erzeugte Rohstoffe zur Energiegewinnung eingesetzt. Das MGUV geht in seiner Biomassestrategie davon aus<sup>15</sup>, dass unter der Annahme, dass bei der Nutzung von Stilllegungsflächen Biomasse angebaut wird und ca. 3 % Stilllegungs- und Brachflächen un bebaut bleiben, Biomasse zur energetischen Nutzung (Getreide, Raps und Silomais) auf ca. 300.000 ha Fläche in Brandenburg (ca. 30 % der Ackerfläche) bei gleichzeitiger Deckung des Bedarfs an Nahrungs- und Futtermitteln angebaut werden könnte. Daraus könnten ca. 6,3 PJ Bioethanol, 1,4 PJ Biodiesel und 6,7 PJ Biomethan erzeugt werden (Kenkmann 2010: 10ff)

Auch der in der Viehhaltung anfallende Wirtschaftsdünger könnte in Zukunft verstärkt energetisch genutzt werden. Laut MGUV/ Kenkmann (2010: 12f) könnte bei gleichbleibender Viehhaltung Energie in Höhe von 8,3 PJ aus Gülle, Hühnertrockenkot und Pferdefrischmist zur Verfügung stehen.

Auch das Grünland bietet weitere Energiepotenziale. So geht etwa das MGUV in seiner Biomassestrategie (Kenkmann 2010: 13) von einem Biomasseaufkommen von 200.000 t mit einem Energiegehalt von 1,44 PJ (Biogaspotenzial) von intensiv bewirtschaftetem Grünland (bei gleichbleibender Viehhaltung), sowie einer möglichen Energieerzeugung von 1,07 PJ (thermische Verwertung) durch Biomasse von extensiv bewirtschafteten Flächen (bereits unter Berücksichtigung von Auflagen) aus.

### 3.2.2.3 Biogene Abfälle

Neben Forst- und Landwirtschaft kann auch die Abfallwirtschaft in nicht zu vernachlässigendem Ausmaß zur Energieversorgung Brandenburgs beitragen. Wichtige Abfallfraktionen sind u. a:

- Bio- und Grünabfälle (siehe Siedlungsabfallbilanz 2009 (MUGV 2010)) werden in Brandenburg nur in relativ geringem Umfang durch öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger erfasst und bisher fast ausschließlich der Kompostierung zugeführt. Würden diese zur Biogaserzeugung eingesetzt werden, könnte daraus im Jahr 2030 eine Energieerzeugung von ca. 0,06 PJ resultieren<sup>16</sup>.
- Abfälle aus der Lebensmittelindustrie, v. a. aus der Molkerei- und Biererzeugung, könnten laut Biomassestrategie (Kenkmann 2010) mit einem Energiepotenzial von 0,42 PJ zur Energieversorgung Brandenburgs beitragen.
- Die in der Papierindustrie anfallenden Abfälle werden bereits energetisch genutzt und stehen daher nicht für andere Nutzungen zur Verfügung (Kenkmann 2010).
- Die in der Biokraftstoff- und Alkoholherstellung produzierte Schlempe kann ebenfalls energetisch genutzt werden. Während die Biomassestrategie (Kenkmann 2010) die bei voller Auslastung bestehender Anlagen anfallende Schlempe als Rohstoff einbezieht und daraus ein Ener-

<sup>15</sup> Basierend auf der Studie „Bioenergie-Potenziale in Brandenburg“ der Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde (Piorr et al. 2010)

<sup>16</sup> Unter Annahme von konstantem Bioabfallaufkommen pro Einwohner, von Biogaserträgen und Methangehalten nach ICU/ Witzenhausen Institut (2009) sowie eines Heizwertes von Methan in Höhe von 10 kWh/m<sup>3</sup>.

giepotenzial von 2,1 PJ berechnet, wurde dieses Potenzial im Rahmen dieser Abschätzung für das Jahr 2030 um 10 % auf 2,31 PJ erhöht, da von einem Ausbau der Biokraftstoffproduktionskapazitäten ausgegangen wird.

- Laut Konvention des Länderarbeitskreises Energiebilanzen beträgt der biogene Anteil der in Müllverbrennungsanlagen (MVA) verwerteten Siedlungsabfälle 60 %. Damit könnten von den in Brandenburg im Jahr 2009 energetisch und in MVA verwerteten 230.000 t Siedlungsabfällen 138.000 t der biogenen Fraktion zugerechnet werden (MUGV 2010). Daraus ergäbe sich für das Jahr 2030 ca. ein Energieinhalt des biogenen Anteils von 1 PJ.
- Während in der Biomassestrategie (Kenkmann 2010) ein Energiepotenzial für Klärgas von lediglich 0,22 PJ abgeschätzt wird, gab das MLUV noch im Jahr 2007 ein theoretisches Potenzial von ca. 0,5 PJ und zusätzlich ein theoretisches Deponiegaspotenzial von 1 PJ an (Linke 2007). Da auf Basis der Abfallablagereverordnung von 2001 im Jahr 2005 das Verbot der unvorbehandelten Deponierung von Haus- und Gewerbeabfällen (mit einigen Ausnahmeregelungen) in Kraft trat, ist davon auszugehen, dass das jährliche Deponiegasaufkommen bis zum Jahr 2030 nur noch von geringer Relevanz sein wird. Daher wird für das Jahr 2030 nur noch ein Zehntel des ursprünglich vom MLUV prognostizierten Potenzials (0,1 PJ) angenommen.

### 3.2.3 Gesamtschau Biomassepotenzial Brandenburg 2030

Die Vielzahl der oben erläuterten Einzelpotenziale für die energetische Biomassenutzung in Brandenburg ist in Tab. 3.1 dargestellt. Es zeigt sich, dass der größte Teil der Potenziale dem Bereich der landwirtschaftlichen Biomasse zugeordnet ist, dem zusätzlich auch noch das Energiepotenzial des Agrarholzes zugerechnet werden könnte. Biogene Abfälle tragen (sofern landwirtschaftliche Reststoffe diesem Bereich nicht zugeordnet werden) einen deutlich geringeren Teil zum Energiepotenzial Brandenburgs bei. Insgesamt wird für Brandenburg ein Bioenergiepotenzial in Höhe von 42,5 PJ im Jahr 2030 abgeschätzt. Dieser Wert deckt sich sehr gut mit den von Prognos (nach MLUV) und Möller (ebenfalls nach MLUV) angegebenen Werten von 48 bzw. 42,5 PJ. Dagegen weicht das im Biomasseaktionsplan genannte „wirtschaftlich nutzbare“ Potenzial mit 130 PJ deutlich von den anderen Quellen ab. Vermutlich wurden für die Potenzialermittlung in diesem Falle keine Einschränkungen bezüglich der zur energetischen Nutzung zur Verfügung stehenden Flächen bzw. Rohstoffe getroffen.

Zusätzlich zum Energiepotenzial sind in Tab. 3.1 die zugrundeliegenden Biomassepotenziale für das Jahr 2030, sowie deren spezifische Mengeneinheiten verzeichnet. Diese Angaben stammen aus den jeweils gleichen Quellen wie die dazugehörigen Energiepotenziale (siehe oben) und wurden ebenso wie diese ggf. fortgeschrieben.

**Tab. 3.1: Biomassepotenziale 2030 Brandenburg**

Quelle: Eigene Darstellung nach Kenkmann (2010), MUGV (2010), Linke (2007), ICU/ Witzenhausen (2009) und Dehoust et al. (2010).

\* Theoretisches Potenzial als Heizwert des jeweiligen Energieträger

\*\* Energieinhalt des erzeugten Biogases

	PJ 2030		PJ 2030	Rohstoffmenge 2030	
Holzartige Bio- masse*	11,1	Waldholz für energetische Zwecke	3,50	244.000	t atro
		Agrarholz	1,68	120.000	t atro
		Restholz	4,41	429.600	t
		Altholz	1,55	100.000	t
Landwirtschaftliche Biomasse	25,5	Bioethanol aus Getreide*	6,34	237.115	t
		Biodiesel aus Winterraps*	1,42	38.783	t
		Biomethan aus Silomais*	6,73	187.000.000	m <sup>3</sup>
		Wirtschaftsdünger**	8,53	8.480.000	t
		Grünland intensiv**	1,44	200.000	t TM
		Grünland extensiv*	1,07	63.654	t TM
Biogene Reststoffe	3,3	Grünschnitt**	0,20	30.000	t FM
		Lebensmittelindustrie**	0,42	k.A.	
		Schlempe (Biokraftstoffe und Alkoholherstellung)**	2,31	2.337.500	t
		Deponiegas*	0,10	k.A.	
		Klärgas*	0,22	k.A.	
		biogener Anteil im Siedlungs- abfall*	1	138.000	t
		Bioabfälle**	0,02	8.582	t
		Grünabfälle/ Laubsack**	0,04	77.273	t
<b>Biomasse gesamt</b>	<b>40,0</b>				

### 3.2.4 Nutzung der Biomassepotenziale im Strom- und Wärmebereich

Im Folgenden werden die zuvor dargestellten Potenziale auf die Bereiche der thermischen und der elektrischen Energienutzung aufgeteilt. Es wird angenommen, dass der größte Teil künftig als aufbereitetes Biogas in das Gasnetz eingespeist wird, sodass dieses verbrauchernah sowohl thermisch als auch elektrisch in hoch effizienten KWK-Anlagen genutzt werden kann. Dazu wird ein Wirkungsgrad von 45 % thermisch und 38 % elektrisch angenommen (DBFZ 2011). Ferner wird angenommen, dass feste Biomasse größtenteils in hoch effizienten Hackschnitzel- oder Pelletfeuerungen thermisch (92 % Wirkungsgrad) oder in Biomasseheizkraftwerken thermisch/ elektrisch (48/ 37 % Wirkungsgrad) genutzt wird. In der Summe ergeben sich so eine Wärmebereitstellung von 19,53 PJ und eine elektrische Energieerzeugung von 8,95 PJ.

**Tab. 3.2: Thermische und elektrische Nutzung der Biomasse-Potenziale 2030**

Quelle: Eigene Darstellung nach Kenkmann (2010), MUGV (2010), Linke (2007), ICU/ Witzenhau-  
sen (2009) und Dehoust et al. (2010) sowie DBFZ (2011).

Potenzial		PJ 2020	% th.	% el.	% Verlust	PJ th.	PJ el.	PJ Krafts
Holzartige Biomasse**	Waldholz für energetische	3,50	92%		8%	3,22		
	Agrarholz	1,68	92%		8%	1,55		
	Restholz	4,41	92%		8%	4,06		
	Altholz	1,55	48%	37%	15%	0,74	0,57	
Landwirt- schaftliche Biomasse	Bioethanol aus Getreide*	6,34						6,34
	Biodiesel aus Winterraps*	1,42						1,42
	Biomethan aus Silomais*	6,73	45%	38%	17%	3,03	2,56	
	Wirtschaftsdünger**	8,53	45%	38%	17%	3,84	3,24	
	Grünland intensiv**	1,44	45%	38%	17%	0,65	0,55	
	Grünland extensiv*	1,07	48%	37%	15%	0,51	0,40	
Biogene Reststoffe	Grünschnitt**	0,20	45%	38%	17%	0,09	0,08	
	Lebensmittelindustrie**	0,42	45%	38%	17%	0,19	0,16	
	Schlempe (Biokraftstoffe und Alkoholherstellung)**	2,31	45%	38%	17%	1,04	0,88	
	Deponiegas*	1,89	45%	38%	17%	0,85	0,72	
	Klärgas*	0,22	45%	38%	17%	0,10	0,08	
	biogener Anteil im Siedlungsabfall	1,00	45%	38%	17%	0,45	0,38	
	Bioabfälle**	0,02	45%	38%	17%	0,01	0,01	
	Grünabfälle/ Laubsack**	0,04	45%	38%	17%	0,02	0,02	
<b>Summe</b>		<b>40,00</b>				<b>20,34</b>	<b>9,63</b>	<b>7,76</b>
* Theoretisches Potenzial als Heizwert des jeweiligen Energieträgers					davon Gas:	10,26	8,66	
** Energieinhalt des erzeugten Biogases					davon fest:	10,08	0,97	

## 3.3 EE-Wärmepotenziale

### 3.3.1 Wärmeverbrauchsentwicklung

Tab. 3.3 zeigt die angenommene Entwicklung des Wärmeverbrauchs in den drei Sektoren private Haushalte, Industrie und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (vgl. Abschnitt 4). Bis 2030 wird eine Reduktion des Wärmeverbrauchs auf 120,32 PJ angenommen. Dies entspricht einer Reduktion von 23 % gegenüber dem Verbrauch 2010.

**Tab. 3.3: Abgeschätzte Entwicklung des Wärmeverbrauchs in Brandenburg bis 2030 nach Sektoren.**

Quelle: eigene Berechnung nach Seefeldt et al. (2007) und Landesregierung Brandenburg (2008b)

Wärme (PJ) - Endenergie	2010	2015	2020	2030
Private Haushalte	64,70	58,23	51,76	46,58
Raumwärme Industrie	7,40	6,66	5,92	5,32
Raumwärme GHD	24,68	22,22	19,75	17,77
Prozesswärme Industrie	55,59	52,81	50,03	47,53
Prozesswärme GHD	3,63	3,45	3,27	3,10
<b>Gesamt</b>	<b>156,00</b>	<b>143,36</b>	<b>130,72</b>	<b>120,32</b>

### 3.3.2 Technische Potenziale EE-Wärme

Im Bereich **Solarthermie** wird das technische Potenzial zunächst über die zur Verfügung stehende Dachfläche abgeschätzt. Insgesamt stehen 200 Mio. m<sup>2</sup> Dachfläche in Brandenburg zur Verfügung. Davon ausgehend, dass sich nur ein Fünftel davon zur solaren Energiegewinnung eignet, (vgl. (Klärle et al. 2009; MLUV 2008)) so ergibt sich unter Annahme der derzeitigen spezifischen Wärmebereitstellung (445 kWh/m<sup>2</sup>) eine erzeugte Wärmemenge in Höhe von 64 PJ. Allerdings ist nicht davon auszugehen, dass dieses Potenzial mittelfristig ausgeschöpft werden kann, da unter den Gebäuden eine Reihe nur bedingt geeignet für den Einsatz einer Solarthermieanlage sein dürfte (insbesondere Nichtwohngebäude). Hinzu kommt, dass bei Gebäuden ein Wärmeanteil von mehr als 30 % nur unter günstigen Rahmenbedingungen oder mit Hilfe großer Speicher realisierbar ist und sich Solarthermie nur bedingt für die Bereitstellung von Prozesswärme eignet. Außerdem muss die Flächenkonkurrenz zur Photovoltaik berücksichtigt werden. Andererseits können Solarthermieanlagen in Wärmenetze integriert werden, wofür auch Freiflächenanlagen in Frage kommen.

Das Wuppertal Institut (2000) nennt als technisches Potenzial von Solarthermie in Brandenburg 6,7 PJ - allerdings ausschließlich zur Warmwasserbereitung. Das Potenzial unter Berücksichtigung von Heizungsunterstützung und Wärmenetzen wird dagegen für Deutschland auf fast das Zehnfache abgeschätzt. Überträgt man das Verhältnis auf Brandenburg ergibt sich ein solares Wärmepo-

tenzial von **56 PJ**, was etwas geringer als die über die Dachflächen abgeschätzte Energiemenge ist und rund einem Drittel bzw. knapp der Hälfte des Wärmebedarfs im Jahr 2010 bzw. 2030 entspricht.

Das **Biomassepotenzial** wird weniger nachfrage- als viel mehr angebotsseitig beschränkt. Insgesamt wird für Biomasse zur energetischen Nutzung mittel- bis langfristig ein Potenzial von rund 40 PJ (Primärenergie) ermittelt (vgl. Abschnitt 3.2). Dies entspricht je nach Art der Umwandlungstechnologie einer Wärmebereitstellung aus Biomasse von bis zu **38 PJ** Endenergie. Dies ist knapp ein Drittel des für 2030 prognostizierten Wärmebedarfs.

Ausgehend von der geologischen Situation und der Flächenverfügbarkeit in Brandenburg könnte theoretisch der größte Teil der Raumwärme in Brandenburg durch die Nutzung von **Erdwärmepumpen** bereitgestellt werden. Nur in Gebieten mit sehr dichter Bebauung ergeben sich durch eine zu hohe Wärmemenge und einen hohen Anteil versiegelter Flächen größere Einschränkungen. Dennoch identifiziert das MLUV nur ein theoretisches Potenzial von Wärmepumpen von lediglich **3,6 PJ**. Die Potenziale der tiefen Geothermie liegen in Brandenburg – je nach Quelle – bei **30 oder 300 PJ**. Für die Geothermie in Brandenburg muss einschränkend angemerkt werden, dass sich weder Wärmepumpen noch die tiefe Geothermie hier für die Bereitstellung von Prozesswärme bei hohen Temperaturen eignet. Lediglich bei der Prozesswärme gibt es technische Einschränkungen, da sich die Technik vorwiegend für Niedertemperaturwärme eignet. Die tiefe Geothermie weist außerdem das Problem auf, dass die Wärmeabnehmer sich nah zur Förderstelle befinden müssen und in der Regel ein Wärmenetz notwendig ist.

Summiert man die **technischen Potenziale**, so zeigt sich, dass diese **insgesamt** den **Wärmebedarf** im Jahr 2030 (Effizienzvariante) in Höhe von rund 120 PJ übertreffen und somit **langfristig theoretisch eine 100 % EE-Wärmeversorgung möglich** wäre. Nicht berücksichtigt wird bei dieser Betrachtung die Konkurrenz zu anderen Energiearten, durch die insbesondere im Hinblick auf die Nutzung der Dachflächen und der knappen endogenen Biomassepotenziale die Ausschöpfung des technischen Wärmepotenzials deutlich eingeschränkt werden kann. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass bei der Prozesswärme Einschränkungen bestehen, da mit Hilfe von Solar- und Geothermie nur Niedertemperaturwärme bereitgestellt werden kann.

### 3.3.3 Wärmeszenarien EE-0BK und EE-50BK

Die Szenarien unterscheiden sich im Wärmebereich insbesondere bei der Ausgestaltung der Fernwärmeversorgung, da hier vor allem die Frage nach dem Rückgang der Braunkohleverstromung von Interesse ist. Vor diesem Hintergrund wird im Szenario EE-0BK („Energiewende“) der komplette Ausstieg aus der Fernwärmeerzeugung mit Braunkohle und ein entsprechend ehrgeiziger Ausbau der EE-Fernwärme angenommen. Im Szenario EE-50BK geht demgegenüber die Fernwärmeerzeugung aus Braunkohle bis 2030 nur auf die Hälfte des Werts von 2010 zurück. Eine genauere Beschreibung der Annahmen und Voraussetzungen für die beiden Fernwärmeszenarien erfolgt in Abschnitt 0. Zuvor wird die mögliche gebäudebezogene Entwicklung der Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien analysiert, wobei hier erwartete Trends und Rahmenbedingungen (z. B. demografischer Art) berücksichtigt wurden. Schließlich werden ebenso mögliche Entwicklungen des Prozesswärmebedarfs und dessen Deckung mit höheren EE-Anteilen in den Szenarien abgebildet. Bei der gebäudebezogenen Wärmebereitstellung sowie der Bereitstellung von Prozesswärme unterscheiden sich die beiden Szenarien nicht, da diese Bereiche nicht von der Frage des Rückgangs der Braunkohleverstromung betroffen sind.

### 3.3.3.1 Gebäudebezogene Wärmebereitstellung mit dezentralen EE-Technologien

Um Szenarien für die gebäudeintegrierten Heizungen entwickeln zu können mussten zuerst Abschätzungen zum **Gebäudebestand** und dessen Wärmebedarf angenommen werden. Für den Wohngebäudebestand (Baualter bis 2010) wird angenommen, dass dieser entsprechend des durchschnittlichen Rückgangs der Jahre 2009 und 2010 bis 2030 weiter sinkt. Die Abschätzung des Wärmebedarfs basiert auf dem Wärmebedarf in privaten Haushalten abzüglich des Bedarfs der Neubauten, die gesondert betrachtet werden. Außerdem wird davon ausgegangen, dass der Energiebedarf in den Ein- und Zweifamilienhäusern 5 % über dem Durchschnitt liegt, in den Mehrfamilienhäusern demzufolge etwas unter dem Schnitt<sup>17</sup>. Zum Bestand kommen Neubauten ab dem Jahr 2011 hinzu, für die die Wärmebereitstellung gesondert betrachtet wird, da im Neubau bereits heute in sehr viel größerem Maße EE-Heizungen installiert werden. Außerdem weisen die Neubauten einen sehr viel geringeren Wärmebedarf auf; hier wird von einem Energiebedarf von 50 kWh/m<sup>2</sup> bis zum Jahr 2014 und 35 kWh/m<sup>2</sup> ab 2015 ausgegangen.<sup>18</sup> Bei der Entwicklung wird auf Wohnungsmarktprognosen des BBSR bis zum Jahr 2025 zurückgegriffen.<sup>19</sup> Diese geht davon aus, dass es kaum Bedarf an neuen Mehrfamilienhäusern gibt, wohl aber von rund 7.700 Ein- und Zweifamilienhäusern im Jahr.

Ausgehend von den im **Wohngebäudebestand** im Jahr 2010 zugebauten EE-Heizungen (siehe Abschnitt 2.1) wird eine lineare Steigerung des Anteils am Heizungsaustausch (angenommene Austauschrate: 5 %; das entspricht einem durchschnittlichen Alter von 20 Jahren) auf die in Tabelle Tab. 3.4 dargestellten Werte im Jahr 2030 ausgegangen. Die Aufteilung berücksichtigt zum einen die Wirtschaftlichkeit und die Eignung der EE-Heizungen in den unterschiedlichen Gebäudetypen (vgl. Hirschl et al. 2011a)<sup>20</sup>, zum anderen wird der Biomasseanteil aufgrund der knappen Ressource Biomasse bewusst gering gehalten. Angesichts der hohen Anteile an Gebäuden mit Solarthermie, der daraus resultiert, wird angenommen, dass auch viele Gebäude mit Biomasseheizungen und Wärmepumpen zusätzlich Solarwärme nutzen.

<sup>17</sup> Der Heizwärmebedarf in Ein- und Zweifamilienhäusern liegt nach Abschätzungen des Projekts Enef-Haus rund 7,5 % über dem durchschnittlichen Heizwärmebedarf aller Gebäude (Weiß und Dunkelberg 2010). Da jedoch der auf den Quadratmeter bezogene Warmwasserbedarf in diesen Gebäuden aufgrund eher geringerer Wohndichte niedriger als in Mehrfamilienhäusern ist wird insgesamt von einem 5 % über dem Durchschnitt liegenden Endenergiebedarf ausgegangen.

<sup>18</sup> Dies entspricht in etwa den Anforderungen der EnEV 2009 bzw. der geplanten Verschärfung der EnEV 2012 (ByAK). Hinzu kommt der Energieverbrauch für die Brauchwassererwärmung von 20 kWh/m<sup>2</sup>a (Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH et al. 2006)

<sup>19</sup> Für die Entwicklung des Wohngebäudeneubaus wurde der Mittelwert aus einer höheren und eine niedrigeren Variante der Wohnungsmarktprognose 2025 des BBSR verwendet (BBSR 2011a; BBSR 2011b). Die erwartete Gebäudezahl wird so über den Zeitraum 2011 bis 2025 verteilt, dass ein stufenloser Übergang mit den Zahlen für das Jahr 2010 möglich ist. Außerdem wird angenommen, dass die Neubauraten im Zeitraum 2025 bis 2030 auf dem Niveau von 2025 bleiben.

<sup>20</sup> In der Wirtschaftlichkeitsanalyse bei Hirschl et al. (2011a) wurden die derzeitigen und zukünftigen Wärmegestehungskosten für unterschiedliche Heizungsarten für Ein- und Mehrfamilienhäuser untersucht. Im Ergebnis kommt die Analyse zu der Abschätzung, dass im Bestand bei Einfamilienhäusern derzeit Wärmepumpen und Holzpellettheizungen die wirtschaftlichsten Heizungssysteme sind, Solarthermieanlagen aber bei steigenden Energiepreisen in den nächsten Jahren ebenfalls rentabel werden. Bei Mehrfamilienhäusern dagegen sind bereits heute Solarthermieanlagen rentabel. Daneben weisen hier insbesondere Holzpelletkessel eine hohe Wirtschaftlichkeit auf.

**Tab. 3.4: Annahmen zum Anteil der EE-Heizungen an den im Jahr 2030 neu installierten Heizungen im Gebäudebestand<sup>21</sup>**

	<b>Biomasse</b>	<b>Wärmepumpen</b>	<b>Solarthermie</b>
EZFH	20 %	60 %	60 %
MFH	30 %	50 %	80 %
NWG	30 %	60 %	30 %

Insgesamt ergibt sich für den bis 2010 errichteten Bestand bis 2030 ein EE-Anteil von 38 %, wovon Wärmepumpen den größten Anteil stellen (siehe Tab. 3.5). Hinzu kommt noch der EE-Anteil an der Fernwärme, die insgesamt bis 2030 einen Anteil von 15,4 % der Raum- und Warmwasserbereitstellung in Gebäuden stellt (weitere Ausführungen zur Fernwärme finden sich in Abschnitt 3.3.3.3).

**Tab. 3.5: EE-Wärmeerzeugung [PJ] im Gebäudebestand (Baualter bis 2010) nach den Szenarien EE-0BK und EE-50BK**

	<b>Biomasse modern</b>	<b>Wärmepumpen</b>	<b>Solarthermie</b>	<b>EE gesamt</b>	<b>Wärmebedarf gesamt Bestand</b>	<b>Anteil EE (nur dezentral)</b>
EZFH	2,48	8,84	2,12	13,44	27,08	<b>49,64%</b>
MFH	1,69	1,05	0,56	3,30	14,93	<b>22,08%</b>
NWG	2,91	3,71	0,32	6,94	20,90	<b>33,21%</b>
<b>Summe</b>	<b>7,07</b>	<b>13,61</b>	<b>3,01</b>	<b>23,68</b>	<b>62,92</b>	<b>37,64%</b>

Aufgrund der in Abschnitt 2.1 dargestellten Baustatistiken wird derzeit von den Anteilen der erneuerbaren Energien bei der Errichtung von **Neubauten** ausgegangen, die im Jahr 2010 je nach Gebäudetyp bei Biomasseheizungen (primär) bei 2-6 %, bei Wärmepumpen bei 10-38 % und bei Solarthermie bei 11-30 % lagen. Angenommen wird ein deutlicher Anstieg, aufgrund der zunehmenden Wirtschaftlichkeit der erneuerbaren Energien sowie der sinkenden Energieverbräuche in den Neubauten deutlich bis zum Jahr 2020 und ein fortbleibend hoher Anteil bis 2030.

<sup>21</sup> Bei Solarthermie wird ein Wärmedeckungsgrad von 20 % in Wohngebäuden und 10 % in Nichtwohngebäuden angenommen (nach BINE (2008) sind in Wohngebäuden rund 20-30% Deckungsgrad möglich; in Nichtwohngebäuden ist der Anteil noch niedriger, da häufig keine Heizungsunterstützung gewählt wird oder der Warmwasserbedarf gering ist). Für Wärmepumpen wird von 100% in Einfamilienhäuser, die in der Regel vollständig durch Geothermieanlagen beheizt werden können, sowie von 60 % bei den Wärmepumpen in bestehenden Mehrfamilienhäusern und Nichtwohngebäuden ausgegangen, da dort aufgrund höherer Nutzflächendichten eine vollständige Versorgung mit Geothermie schwieriger ist (vgl. auch Hirschl et al. 2011a). Bei den Neubauten wird aufgrund des geringeren Wärmebedarfs von einem etwas höheren Deckungsgrad von 70 % ausgegangen. Anteilig wird außerdem davon ausgegangen, dass Wärmepumpen und Biomasseheizungen mit einer Solarthermieanlage kombiniert werden.

**Tab. 3.6: Annahmen zum Anteil der EE-Heizungen an den von 2020 bis 2030 installierten Heizungen in Neubauten**

	Biomasse	Wärmepumpen	Solarthermie
EZFH	5 %	80 %	90 %
MFH	30 %	50 %	90 %
NWG	30 %	60 %	30 %

Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass der Anteil der Neubauten, die Fernwärme nutzen, mit 4,5 % der EZFH, 31 % der MFH und 14 % der Nichtwohngebäude bis 2014 konstant bleibt, dann bis 2020 aufgrund der sinkenden Wärmeabnahme der Neubauten auf Null sinkt. Damit läge der Fernwärmeanteil bei den ab 2011 errichteten Neubauten bis 2030 bei 3,3 %. Damit ergibt sich für die Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien für die Neubauten insgesamt ein Anteil von 73 %, wobei insbesondere in den Ein- und Zweifamilienhäusern sowie den Nichtwohngebäuden hohe EE-Anteile erzielt werden, was insbesondere aus einem hohen Fernwärmeanteil in den ohnehin sehr wenigen neugebauten Mehrfamilienhäusern resultiert.

**Tab. 3.7: EE-Wärmeerzeugung [PJ] in Neubauten (Baualter ab 2011) nach den Szenarien EE-0BK und EE-50BK**

	Biomasse modern	Wärmepumpen	Solarthermie	Gesamt EE	Wärmebedarf gesamt Gebäude	Anteil EE (nur dezentral)
EZFH	0,17	2,77	0,73	3,66	4,55	80,5 %
MFH	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	41,5 %
NWG	0,49	0,70	0,05	1,25	2,21	56,5 %
<b>Summe</b>	<b>0,67</b>	<b>3,47</b>	<b>0,78</b>	<b>4,92</b>	<b>6,78</b>	<b>72,6 %</b>

Insgesamt ergibt sich damit für den Gebäudebestand ein Anteil von 41 % durch dezentrale EE-Anlagen bereitgestellte Wärme (siehe Tab. 3.8). Davon wird mehr als die Hälfte durch Wärmepumpen bereit gestellt.

**Tab. 3.8: EE-Wärmeerzeugung [PJ] gesamten Gebäudebestand nach den Szenarien EE-0BK und EE-50BK**

	Biomasse modern	Wärmepumpen	Solarthermie	Gesamt EE	Wärmebedarf gesamt Gebäude	Anteil EE (nur dezentral)
EZFH	2,65	11,61	2,85	17,11	31,63	54,08%
MFH	1,69	1,05	0,56	3,31	14,95	22,11%
NWG	3,40	4,41	0,37	8,19	23,11	35,43%
<b>Summe</b>	<b>7,74</b>	<b>17,08</b>	<b>3,79</b>	<b>28,60</b>	<b>69,70</b>	<b>41,04%</b>

Hinzu kommt ein Anteil von 17 % Fernwärme, der ebenfalls teilweise aus erneuerbaren Energien bereitgestellt wird. Außerdem müssen noch die konventionellen Biomasseheizungen (Einzelraumfeuerungen, Kamine etc.) berücksichtigt werden (siehe Kapitel 2.1.2). Für diese wird angenommen, dass sie bis 2030 einen konstanten Wärmeanteil zur Verfügung stellen. Damit würden im Jahr 2030 **weitere 1,61 PJ EE-Wärme** dezentral bereitgestellt.

Basierend auf der durch Wärmepumpen bereitgestellten Wärme kann der Strombedarf für die Wärmepumpen abgeschätzt werden. Ausgehend von zukünftig aufgrund von Weiterentwicklungen effizienteren Wärmepumpen und damit Jahresarbeitszahlen von 3,5 für Luft-Wasser-, 4,0 für Sole-Wasser- und 4,5 für Wasser-Wasser-Wärmepumpen (vgl. Hirschl et al. 2011) und einem konstant bleibendem Anteil der drei Wärmepumpenarten (57 % Sole, 33 % Luft und 10 % Wasser) liegt die mittlere Jahresarbeitszahl bei 3,89. Damit ergibt sich für 2030 ein **Wärmepumpen-Strombedarf** von 4,40 PJ.

Ausgehend von der Nutzung moderner Holzpellet- und Hackschnitzelheizungen mit einem Wirkungsgrad von 90 % (das entspricht den Mindestanforderungen nach Umweltzeichen in Deutschland – vgl. Hoffmann et al. 2003) entspricht den 7,74 PJ Endenergie aus **Biomasse ein Primärenergieeinsatz von 8,60 PJ**. Dies ist bereits ein großer Anteil am gesamten endogenen Holzpotenzial von 11,1 PJ (vgl. Abschnitt 3.2).

### 3.3.3.2 Prozesswärme

Der Prozesswärmebedarf liegt nach Schmitt et al. (2009) bundesweit zu rund 30 % im Bereich unter 100 °C, zu 27 % zwischen 100 und 400 °C und zu 43 % bei über 400 °C. Problematisch für eine Versorgung mit Solar- und Geothermie bzw. Wärmepumpen sind insbesondere die hohen Temperaturniveaus, da mit diesen Technologien primär Niedertemperatur-Prozesswärme erzeugt werden kann. Dagegen treffen diese Beschränkungen auf Biomasse (fest, flüssig und gasförmig) nicht zu, die ebenso wie fossile Energieträger auch zur Erzeugung von Prozesswärme in höheren Temperaturbereichen grundsätzlich geeignet ist. Im Folgenden werden die EE-Potenziale zur Bereitstellung von Prozesswärme dargestellt, wobei die Potenziale von Solar- und Geothermie nicht additiv zu sehen sind, da sie im selben Temperaturbereich einsetzbar sind.

Bereits heute wirtschaftlich wäre nach Schmitt et al. (2009) der Einsatz von **solarer Prozesswärme** bis zu einem Temperaturniveau von rund 100 °C. Mittel- bis langfristig wird für solare Prozesswärme ein Potenzial bis zum Temperaturbereich von 250 °C gesehen (Schmitt et al. 2009; DSTTP 2010). Das von der Deutschen Solarthermie-Technologie Plattform bundesweit identifizierte Potenzial für Solarthermieanlagen liegt in diesem Temperaturbereich bei rund 50 PJ pro Jahr (DSTTP 2010). Ausgehend von einem Prozesswärmebedarf von 1.800 PJ (im Jahr 2007 nach Schmitt et al. (2009)) sind das nur knapp 3 % des Prozesswärmebedarfs in Deutschland bzw. knapp 10 % der Niedertemperaturprozesswärme. Im höheren Temperaturbereich (auch über 400 °C) könnten grundsätzlich CSP-Technologien zum Einsatz kommen, die jedoch in Deutschland aufgrund der geringen Sonneneinstrahlungsintensität wenig wirtschaftlich sind. Die bisherige Verbreitung von solarer Prozesswärme ist sowohl in Deutschland als auch weltweit noch sehr gering. Die vorhandenen Hemmnisse sind unter anderem auf die geringe Marktdurchdringung der Technologie zurückzuführen (DSTTP 2010).

Der Einsatz von **Wärmepumpen** ist mit der bisher kommerziell verfügbaren Technik sogar nur im Bereich von bis zu 80 °C bei zweistufigem Betrieb und bis max. 75 °C im einstufigen Betrieb möglich (Lambauer et al. 2008). Höhere Temperaturen werden nur von einzelnen Prototypen erreicht.

Lambauer et al. schätzen das bundesweite Potenzial von Wärmepumpen zur Bereitstellung von Prozesswärme (bis 70 °C) mit derzeitiger Technologie auf 55 PJ im Jahr. Dies entspricht rund 3 % der gesamten Prozesswärme bzw. 10 % der Niedertemperaturprozesswärme. In der Praxis stehen dem Einsatz der Wärmepumpen bisher zahlreiche Hemmnisse entgegen, insbesondere die geforderten kurzen Amortisationszeiten.

Der **tiefen Geothermie** wird in Brandenburg – insbesondere im norddeutschen Becken - ein sehr hohes technisches Potenzial zugesprochen. Allerdings liegen die verfügbaren Temperaturen in Brandenburg vor allem im Temperaturbereich bis zu gut 100 °C, so dass auch die tiefe Geothermie vor allem zur Bereitstellung von Niedertemperaturwärme eingesetzt werden kann. Bisher wird die geförderte Wärme jedoch vorwiegend zur Raumwärmebereitstellung in Wärmenetzen oder – vor allem bei höheren Temperaturen – in KWK-Anlagen eingesetzt. Auch perspektivisch wird die Nutzung insbesondere für diese Zwecke diskutiert (TAB 2003; BEE 2009).

Überträgt man den bundesweiten Anteil an Niedertemperatur-Prozesswärme von 30 % für Brandenburg so ergeben sich 2030 15,2 PJ. Angesichts des insgesamt geringen Anteils an der Niedertemperatur-Prozesswärme wird davon ausgegangen, dass bis 2030 eine Ausschöpfung des oben genannten Potenzials möglich ist und Solarwärme und Wärmepumpen bis dahin jeweils 10 % der Niedertemperatur-Prozesswärme stellen. Dabei wird ein kontinuierliches Wachstum ab 2015 angenommen. Für die tiefe Geothermie wird aufgrund der bisher fehlenden Demonstrationsprojekte in Brandenburg von einem Wachstum erst ab 2020 und nur bis zu einem Anteil von 5 % der Niedertemperaturwärme im Jahr 2030 ausgegangen. Dies entspricht insgesamt einem Anteil von 25 % an der Niedertemperatur-Prozesswärme und 7,5 % der gesamten Prozesswärme.

Hinzu kommt die Möglichkeit des Einsatzes von Biomasse. Jedoch wird in beiden Szenarien davon ausgegangen, dass die endogen vorhandene feste Biomasse vorrangig für die Wärmebereitstellung in Haushalten eingesetzt wird und außerdem ihr (geringer) Anteil an der Fernwärmebereitstellung konstant bleibt. Die übrige endogene Biomasse kann zur Bereitstellung von 0,58 PJ an Prozesswärme genutzt werden. Insgesamt ergibt sich damit eine Prozesswärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien in Höhe von 5,36 PJ (vgl. Tab. 3.9). Damit sinkt absolut und anteilig die Bedeutung der erneuerbaren Energien für die Prozesswärmebereitstellung: Bezieht man diese Werte auf den Prozesswärmebedarf so betrug der EE-Anteil 2010 noch 13 %, für 2030 liegt er nur noch bei 11 %. Gleichzeitig wird jedoch von einem steigenden Anteil von in das Gasnetz eingespeistem Biogas ausgegangen (siehe Abschnitt 3.3.3.4), das wiederum zur Bereitstellung von Prozesswärme eingesetzt werden kann, so dass der EE-Anteil dadurch insgesamt nicht zwangsläufig sinken muss.

**Tab. 3.9: EE-Bereitstellung [PJ] im Bereich Prozesswärme nach den Szenarien EE-0BK und EE-50BK**

PJ Endenergie	Status quo/2010	2030
Biomasse fest	6,87	0,58
Biogas; Deponie- und Klärgas	0,99	0,99
Solarthermie	0,00	1,52
Wärmepumpen	0,00	1,52
Tiefe Geothermie	0,00	0,76
Gesamt	7,86	5,36

### 3.3.3.3 Nah- und Fernwärme

Die Aussagen in verschiedenen Studien zur Zukunft der Wärmenetze sind widersprüchlich. Während einige AutorInnen einen zukünftigen Ausbau prognostizieren, da die Fern- und Nahwärme sowohl für den Ausbau der EE als auch der Kraft-Wärme-Kopplung notwendig bzw. sinnvoll sei (z.B. FfE 2009; Blesl und Huther 2010) prognostizieren andere Studien eine Stagnation oder gar einen signifikanten Abbau der zentralen Wärmeversorgung insbesondere aufgrund der demographischen Entwicklung und dem Rückgang des Raumwärmebedarfs aufgrund von energetischen Sanierungsmaßnahmen (z.B. EWI und Prognos 2005). Prognosen nennen eine Ausweitung des Fernwärmeanteils auf 15 % des Nutzenergiebedarfs der Haushalte (heute 6 %) für das Jahr 2030<sup>22</sup> (Blesl und Huther 2010) bzw. bis 2020 bis zu einem Anteil von 15-18 % am gesamten Wärmemarkt (heute 14 %) (Pauschinger 2011). Allein durch Nahwärmenetze halten Fishedick et al. (2007) einen Anteil von 13,5 % der Nutzwärme (ohne Prozesswärme) bis 2020 für erzielbar, davon 70 % auf der Basis von erneuerbaren Energien. Die AGFW erwartet einen Anstieg der Fernwärmebereitstellung bis 2020 um gut 50 % gegenüber 2010 (v. a. durch Netzerweiterungen), danach eher einen leichten Rückgang bis 2050 aufgrund der sinkenden Nachfrage.

Konkret für Brandenburg geht Prognos von keiner relevanten Änderung bei der fossilen Fernwärmeerzeugung bis 2020 aus (Seefeldt et al. 2007). Angenommen wird jedoch ein leichter Rückgang der Abnahme aufgrund des Rückgangs des Verbrauchs (v. a. in Privathaushalten). Allgemein für Ostdeutschland zeigen Fishedick et al. (2007) jedoch auf, dass Fernwärme bereits heute oft nicht die wirtschaftlichste Lösung ist, da die Preise aufgrund des Rückgangs bei der Abnahme sowie notwendigen Netzsanierungen hoch sind. Deshalb sind hier bereits heute Gas- und Ölheizungen sowie BHKW für Mehrfamilienhäuser teilweise deutlich günstiger. Der Verband Berlin-Brandenburgischer Wohnungsunternehmen (BBU 2009) zeigt auf, dass die Fernwärmepreise in Brandenburg sehr hoch liegen und von 2008 bis 2009 um 16,5 % auf einen kalkulierten Mischpreis von 109,23 € je MWh (bzw. 0,11 Ct./kWh) gestiegen sind. Dies ist deutlich mehr als in Berlin, wo rund 69,11 €/ MWh zu bezahlen waren. Eine Reihe von Versorgern verlangen in Brandenburg sogar Spitzenpreise von über 120 €/ MWh, wobei in den an die beiden großen Braunkohle-

<sup>22</sup> Hinzu kommen weitere Nutzergruppen (GHD etc.) die heute 50 % der Abnahme stellen.

Kraftwerke angeschlossenen Kommunen Cottbus (86,13 €/ MWh) und Spremberg (80,55 €/ MWh) die Preise deutlich unter dem Brandenburger Durchschnitt liegen (wenn auch noch über Berliner Niveau)<sup>23</sup>.

Dagegen zeigen viele Beispiele aus Dänemark, dass auch durchaus in kleineren, ländlichen Kommunen Nahwärmenetze wirtschaftlich zu betreiben sind – und dies bei hohen KWK- und EE-Anteilen. Auch Breitschopf et al. (2010) gehen davon aus, dass EE (insbesondere Biomasse) bereits heute in Nahwärmenetzen wirtschaftlich eingesetzt werden können. Eine Studie von EWI und Prognos (2005) erwartet bundesweit einen EE-Anteil bei Fern- und Nahwärme im Jahr 2030 von 33,3 % (2010: 20,4 %) – allerdings v. a. auf der Basis von Müll, Klärschlamm und Deponiegas (rund 2/3). Das übrige Drittel EE verteilt sich zu ungefähr gleichen Teilen auf sonstige Biomasse, auf Klär- und Biogas sowie die Geothermie. Solarthermie wird in der Studie nicht ausgewiesen. Nach Pauschinger (2011) wäre bis 2020 ein Anteil von 1 % an der Fernwärme unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit erreichbar. Bis zum Jahr 2050 nennt Pauschinger einen Anteil von 10 % Solarthermie an der Fernwärme als Ziel.

Konkret für Brandenburg wird das bis 2020 ausschöpfbare Potenzial zur Erzeugung von EE-Nahwärme von Fishedick et al. (2007) auf 1,1 TWh (rund 4 PJ) abgeschätzt. Davon sind 1 TWh/a (3,6 PJ) Solar und Biomasse (nicht weiter unterteilt) und 0,1 TWh/a (0,36 PJ) Geothermie.

Für **aus Braunkohle erzeugte Fernwärme** stellt ein zentrales Problem die Kostenunsicherheit aufgrund der CO<sub>2</sub>-Zertifikate aber auch die hohen Netzkosten dar. Das IER (2010) geht davon aus, dass der Fernwärmeanteil der Braunkohle bereits bis 2020 von 21 auf 11 PJ und damit auf gut die Hälfte des bisherigen Beitrags sinkt. Sinkt der Anteil weiterhin mit derselben Geschwindigkeit so läge der Beitrag der Braunkohle zur Fernwärme 2030 bei 1 PJ. Abhängig ist deren Anteil jedoch auch vom Kraftwerkspark. In Brandenburg stehen nach Aussagen der PROGNOSE-Studie (Seefeldt et al. 2007) bei den zwei großen Kraftwerken mit Fernwärmeerzeugung in Jänschwalde (durchschnittliche jährliche Wärmeerzeugung 1,1 PJ) 2020 eine größere Nachrüstung an, bei dem Kraftwerk Schwarze Pumpe (Wärmeerzeugung 5,4 PJ, allerdings teilweise Lieferung nach Sachsen) erst im Jahr 2035. In der vorliegenden Studie wird vor diesem Hintergrund mit **zwei unterschiedlichen Szenarien** gerechnet: Einmal einen **kompletten Ausstieg** aus der Fernwärmeerzeugung mit Braunkohle und einem entsprechend ehrgeizigeren Ausbau der EE-Fernwärme (Szenario EE-0BK), zum anderen einen **Rückgang** der Fernwärmeerzeugung mit Braunkohle **um die Hälfte** bis 2030 (Szenario EE-50BK).

Bei der Fernwärmenachfrage wird in beiden Szenarien davon ausgegangen, dass im Gebäudebestand die Zahl der angeschlossenen Gebäude insgesamt konstant bleibt. Des Weiteren wird angenommen, dass auch der Anteil der Fernwärme an der Prozesswärme konstant bleibt und bei den Neubauten ab 2020 aufgrund des geringen Wärmebedarfs keine neuen Gebäude angeschlossen werden. Daraus resultiert insgesamt ein Rückgang der Fernwärmeabnahme von 300 % bis 2030 auf 10,74 PJ. Angesichts der hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Braunkohlekraftwerke und dem Ende der Laufzeit beispielsweise des Braunkohlekraftwerks Jänschwalde um das Jahr 2020 wird angenommen, dass bei einem Rückgang der Nachfrage zunächst die Braunkohle-Fernwärme zurück geht. In beiden Szenarien ist eine Folge der Umwandlung der Wärmeversorgung und des Übergangs zu

<sup>23</sup> Zum Vergleich: Die Wärmegestehungskosten beim dezentralen Einsatz von Gas- oder Ölkesseln wurden für Berlin auf der Basis des Heizkostenspiegels 2008 auf durchschnittlich rund 7,5-8,5 ct./kWh abgeschätzt (Hirschl et al. 2011a).

einer auf erneuerbaren Energien basierenden Wärmeerzeugung auch ein Umbau oder ein Rück- und Neubau von Wärmenetzen. Denn zum einen sind die Orte, an denen die bisherigen Kraftwerke stehen nicht unbedingt dort wo eine EE-Wärmeerzeugung möglich ist (z. B. im norddeutschen Becken die Geothermieressourcen), zum anderen sind für die erneuerbaren Energien Niedertemperatur-Netze besser geeignet. In beiden Varianten wird die Wärmemenge aus Müll und Biomasse aus dem Jahr 2010 konstant bis 2030 gehalten. Damit gibt sich eine resultierende Wärmemenge, die durch den Energieträger Gas überwiegend in KWK-Anlagen bereitgestellt wird.

**Tab. 3.10: Fernwärmeerzeugung 2030 in den beiden Szenarien EE-0BK und EE-50BK**

	<b>Fernwärme EE-50BK [PJ]</b>	<b>Fernwärme EE-0BK [PJ]</b>
Gas (netzbasiert)	3,02	5,57
Braunkohle	5,09	0,00
Müll	0,16	0,16
Biomasse	0,47	0,47
Solarthermie	0,00	0,54
Tiefe Geothermie	2,00	4,00
Fernwärme gesamt	10,74	10,74
<b>EE-Gesamt</b>	<b>2,47</b>	<b>5,01</b>
<b>EE-Anteil (ohne Gasnetz)</b>	<b>23,01 %</b>	<b>46,63 %</b>

Im Szenario EE-50BK wird die resultierende Wärmemenge bereits übererfüllt, wenn entsprechend der Pläne der Landesregierung in der Energiestrategie 2 PJ aus tiefer Geothermie zur Verfügung gestellt werden und die Fernwärmeerzeugung aus Gas konstant bleibt. Damit wird im Szenario EE-50BK von einem Rückgang der gasbasierten Fernwärme auf 3,02 PJ (von 4,86 PJ 2010) ausgegangen (siehe Tab. 3.10). Im Szenario EE-0BK wird dagegen entsprechend des stärkeren Rückgangs der Braunkohlenutzung von einem weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien ausgegangen. Wie bereits oben dargestellt wurde, wird bei der Solarthermie ein Anteil von 1 % an der Fernwärme bis 2020 als wirtschaftlich angesehen sowie ein Anteil von 10 % bis 2050 als erreichbar. Für das Szenario EE-0BK wird angenommen, dass bis 2030 ein Anteil von 5 % an der Fernwärme durch Solarthermieanlagen bereitgestellt werden kann. Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass der Ausbau der tiefen Geothermie weiter voran schreitet und bis 2030 insgesamt eine Wärmemenge von 4 PJ bereitgestellt wird. Die resultierende Wärmemenge muss aus Gas bereitgestellt werden, wodurch sich insgesamt eine gasbasierte Fernwärmeerzeugung von 5,57 PJ und damit eine leichte Zunahme gegenüber 2010 ergibt.

Der Vergleich der beiden Szenarien zeigt deutlich, dass der weitere Ausbau der erneuerbaren Energien – zumindest ohne einen weiteren Netzausbau – durch hohe Anteile von Braunkohle an der Wärmebereitstellung in den Netzen eher gebremst wird. Der Ausstieg aus der Braunkohle könnte dagegen in großen Teilen durch den Einsatz erneuerbarer Energien in Wärmenetze kompensiert werden. Die Zunahme des Gasverbrauchs kann außerdem durch Wind- oder Biogas aus Brandenburg ebenfalls zu einem Teil aus erneuerbaren Energien basieren, was insbesondere im Szenario EE-0BK angenommen wird (siehe Kapitel 3.4).

### 3.3.3.4 Gesamtschau

Im Folgenden wird die gesamte Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien in den beiden Szenarien bezogen auf den Wärmebedarf in der Variante „Effizienz“ (vgl. Kapitel 3.3.1) dargestellt.

**Tab. 3.11: Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien 2030 im Szenario EE-50BK (in PJ), Anteile bezogen auf Wärmebedarf Variante „Effizienz“**

	2010	2015	2020	2030
Biomasse	11,29	11,31	11,34	11,38
Solarthermie	0,36	1,17	2,30	5,31
tiefe Geothermie	0,05	1,17	2,38	2,76
Wärmepumpen	0,71	3,35	7,42	18,60
EE-Wärme gesamt	12,41	16,99	23,43	38,05
Anteil EE-Wärme	7,95 %	11,85 %	17,92 %	31,62 %
Biogas-Gutschrift (Einspeisung)	0,63	2,51	4,39	8,15
EE inkl. Gutschrift	13,04	19,50	27,82	46,20
EE-Anteil inkl. Gutschrift	8,36 %	13,61 %	21,28 %	38,40 %
Kollektorfläche Dach ST (m <sup>2</sup> )	224.899	730.921	1.436.854	3.317.258
<b>WP-Strom [PJ/a]</b>	<b>0,21</b>	<b>0,95</b>	<b>2,04</b>	<b>4,79</b>

Bezüglich der zur Bereitstellung von Biogas geeigneten Biomassemenge wird angenommen, dass das daraus entstehende Biogas in das Gasnetz eingespeist wird. Es wird davon ausgegangen, dass dieses Gas in KWK-Anlagen eingesetzt wird. Daraus ergibt sich für den Wärmeanteil eine „Biogas-Gutschrift“, also ein EE-Wärmeanteil, der jedoch nicht direkt einzelnen Verbrauchsbereichen zugeordnet werden kann.

Es zeigt sich insgesamt, dass trotz der merklichen Unterschiede der beiden Szenarien im Bereich der Fernwärmebereitstellung der gesamte Anteil der EE-Wärme in beiden Szenarien recht nahe beieinander liegt, da in Folge des Ausstiegs aus der Braunkohleverstromung lediglich im Bereich der Fernwärme ein stärkerer EE-Ausbau angenommen wurde. Insgesamt kann ein Anteil von 38 % bzw. 40 % EE am prognostizierten Gesamtwärmebedarf 2030 erzielt werden, wenn auch das in das Gasnetz eingespeiste Biogas berücksichtigt wird.

**Tab. 3.12: Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien 2030 im Szenario EE-0BK (in PJ), Anteile bezogen auf Wärmebedarf Variante „Effizienz“**

	2010	2015	2020	2030
Biomasse	11,29	11,31	11,34	11,38
Solarthermie	0,36	1,30	2,57	5,85
tiefe Geothermie	0,05	1,17	2,38	4,76
Wärmepumpen	0,71	3,35	7,42	18,60
EE-Wärme gesamt	12,41	17,13	23,70	40,58
Anteil EE-Wärme	7,95 %	11,95 %	18,13 %	33,73 %
Biogas-Gutschrift (Einspeisung)	0,63	2,51	4,39	8,15
EE inkl. Gutschrift	13,04	19,64	28,09	48,73
EE-Anteil inkl. Gutschrift	8,36 %	13,70 %	21,49 %	40,50 %
Kollektorfläche Dach ST [m <sup>2</sup> ]	224.899	730.921	1.436.854	3.317.258
WP-Strom [PJ/a]	0,21	0,95	2,04	4,79

Es wird davon ausgegangen, dass bis 2030 insbesondere Fern- und Prozesswärme vorwiegend aus Erdgas in KWK-Anlagen bereitgestellt wird (vgl. Schüwer et al. 2010). Der Gasbedarf und der bereitgestellte KWK-Strom kann auf Basis der Wärmeszenarien abgeschätzt werden. Dafür wird von der vereinfachenden Annahme ausgegangen, dass aufgrund der großen Potenziale (vgl. Ziesing 2008) die Hälfte der gasbasierten Prozesswärme und 90 % der Fernwärme auf Basis des Energieträgers Gas in KWK-Anlagen erzeugt wird. Daraus resultiert eine Stromerzeugung von 18,49 bzw. 20,19 PJ bei durchschnittlichen Wirkungsgraden von 50 % thermisch und 37 % elektrisch in Gas-HKW (ASUE 2011).

**Tab. 3.13: Gasbedarf und Anteil aus erneuerbaren Energien 2030**

	EE-50BK	EE-0BK
Gas Wärme (netzbasiert) - Endenergie PJ	77,18	79,73
Gas Raumwärme - Endenergie PJ	28,89	28,89
Gas Prozesswärme - Endenergie PJ	45,27	45,27
Gas Fernwärme - Endenergie PJ	3,02	5,57
Gas gesamt (netzbasiert) - Primärenergie PJ	104,94	109,81
Strom aus Gas-KWK	18,76	20,46

Zur Berechnung des Primärenergiebedarfs an Gas wurde angenommen, dass die nicht durch EE und KWK erzeugte Wärmemenge in modernen Gas-Heizungen bzw. Heizwerken bereitgestellt wird

(Wirkungsgrad 96 bzw. 95 %). Damit ergibt sich 2030 insgesamt ein Primärenergiebedarf an Gas für die Wärmebereitstellung und die Erzeugung von KWK-Strom in Höhe von 105 bzw. 110 PJ.

## 3.4 Stromerzeugungspotenziale

### 3.4.1 Windkraft

Die Windkraft stellte Ende 2010 bereits rund 84 % der gesamten installierten EE-Leistung Brandenburgs und wird auch zukünftig den größten Anteil an der EE-Stromerzeugung im Land erbringen. Im Jahr 2009 erfolgte der bisherige Zubau-Rekord mit rund 672 MW installierter Leistung. In 2010 wurde die Windkraft hingegen mit rund 193 MW verhältnismäßig schwach ausgebaut (s. Abb. 3.1). In der Energiestrategie 2020 strebt das Land Erzeugungskapazitäten von rund 55 PJ (15.300 GWh) an, was etwa einer installierten Leistung von knapp 8.000 MW entspricht (bei 1.750 Volllaststunden). Bis 2020 müssten folglich im Durchschnitt 363 MW pro Jahr an Wind-Leistung installiert werden. Die Fortführung der Studie zur Netzintegration erneuerbarer Energien der BTU Cottbus (Schwarz et al. 2011, im Folgenden kurz „BTU-Netzstudie II“) geht sogar davon aus, dass bis 2020 etwa 9.376 MW Wind-Leistung installiert sein könnten, wobei etwa 1.000 MW aus neu ausgewiesenen Flächen stammen und der Rest zunächst durch Repowering erreicht wird. Für 2030 geht die ebenfalls von der BTU Cottbus stammende Netzstudie für Brandenburg (Schwarz et al. 2008) davon aus, dass rund 15 GW Windleistung installiert sein könnten, wenn Flächen, Netzkapazität und Anschlussstellen für entsprechende Groß-Windparks bereitgestellt werden, wofür mit Vorlaufzeiten von etwa 10–15 Jahren zu rechnen ist. Dies würde für die Jahre 2020 bis 2030 einen durchschnittlichen Ausbau von über 600 MW/a notwendig machen, was bereits in den Jahren 2003 und 2009 übertroffen wurde und daher zwar sehr ambitioniert aber realisierbar erscheint (s. Szenario EE-0BK in Abb. 3.1).

Im Jahr 2009 waren in Brandenburg etwa 220 Windeignungsgebiete mit einer Fläche von 390 km<sup>2</sup> ausgewiesen, was etwa 1,3 % der Gesamtfläche des Landes Brandenburg entspricht (Bode et al. 2009, S. 29). Die Leistungsdichte liegt derzeit bei etwa 8,4 MW/km<sup>2</sup> und die durchschnittliche Volllaststundenzahl bei 1.716 h/a (LUA 2007, S. 142). Allerdings wurden Windkraftanlagen in den letzten Jahren technisch enorm weiterentwickelt. Kamen die in der Vergangenheit häufig verbauten 500-kW-Anlagen mit 34–65 m Nabenhöhe und 40 m Rotordurchmesser noch auf Jahreserträge um 1 GWh/a, so erreichen heute übliche 2–3-MW-Anlagen mit 60–140 m Nabenhöhe und 70–90 m Rotordurchmesser Jahreserträge von 4–7 GWh/a. Da in größeren Höhen der Wind kontinuierlicher weht und größere Rotordurchmesser auch geringere Windgeschwindigkeiten nutzbar machen erhöht sich auch die mögliche Volllaststundenzahl, sodass auch „windärmere“ Standorte erschlossen werden können. Mit diesen Anlagen werden heute üblicherweise Leistungsdichten von etwa 23 MW/km<sup>2</sup> erreicht, was für die folgenden Potenzialabschätzungen auf Basis verfügbarer Flächen als Rechengrundlage dienen soll (Bofinger et al. 2011). Bestehende Höhenbegrenzungen wie die der Nabenhöhe auf 100 m müssen dafür jedoch aufgehoben werden.

Windkraft hat den großen Vorteil, dass sie zu vielen anderen Landnutzungsarten wie der Landwirtschaft keine Konkurrenz darstellt. Trotzdem birgt Windkraft insbes. in der Nähe von Siedlungen und Naturschutzgebieten ein nicht zu unterschätzendes Konfliktpotenzial, weshalb die folgenden Restriktionsgebiete üblicherweise von der Windkraftnutzung ausgeschlossen werden (Bode et al. 2009, S. 32):

- **Restriktionsstufe 1:**
  - Siedlungen + 1.000 m Abstand
  - Wirtschaftsflächen
  - Gewerbeflächen
  - Verkehrsinfrastruktur
  - Gewässerflächen
  - Sumpf- und Mooregebiete
  - Wälder
- **Restriktionsstufe 2:**
  - Natura 2000 FFH-Gebiete
  - Natura 2000 SPA-Gebiete + 1.000 m Abstand
  - Nationalparks + 1.000 m Abstand
  - Biosphärenreservate
  - Naturschutzgebiete + 1.000 m Abstand
  - Landschaftsschutzgebiete

Eine GIS-basierte Raumanalyse Brandenburgs identifizierte unter Ausschluss der oben genannten Restriktionsgebiete eine Fläche von 1.500 km<sup>2</sup>, für die folglich kein oder nur geringes Konfliktpotenzial angenommen werden kann (Bode et al. 2009, S. 32); in etwa annähernd der 4-fache Wert im Vergleich zu den ausgewiesenen Flächen in 2009. Eine ähnliche Analyse des Fraunhofer Instituts für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) kommt aktuell unter fast identischen Kriterien zu einem Flächenpotenzial von 2.406 km<sup>2</sup> für Brandenburg (Bofinger et al. 2011, S. 14); mehr als das 6-fache der heutigen ausgewiesenen Fläche. Darüber hinaus weist die Studie noch potenziell „nutzbare Schutzgebiete“ und „nutzbaren Wald“ aus. Tab. 3.14 stellt diese Potenziale einander gegenüber. Sowohl die Studie von Bode et al. als auch die von Bofinger et al. schlagen die vorsichtige Nutzung dieser Gebiete ausdrücklich vor, da die Nutzung dort vorhandener windreicher Standorte maßgeblich zur Senkung der Stromgestehungskosten und zu einem beschleunigten Ausbau beitragen könne. Allerdings wird auch darauf hingewiesen, dass die Freigabe solcher Gebiete „unter Beachtung der naturschutzfachlich zulässigen Eingriffe in den Naturhaushalt zu erfolgen“ (Bode et al. 2009, S. 51) hat. Naturschutzbegleitende Studien und Maßnahmen wie bspw. die Schonung von Fledermäusen durch Abregelung der Anlagen zu bestimmten Zeiten (Wraneschitz 2011) würden dann stark an Bedeutung zunehmen. Da das Flächenpotenzial aber auch ohne diese Flächen gewaltig ist, erscheint die Ausweisung solcher Gebiete in Brandenburg nicht notwendig und angesichts zunehmender Vorbehalte von Bürgern auch nicht sinnvoll.

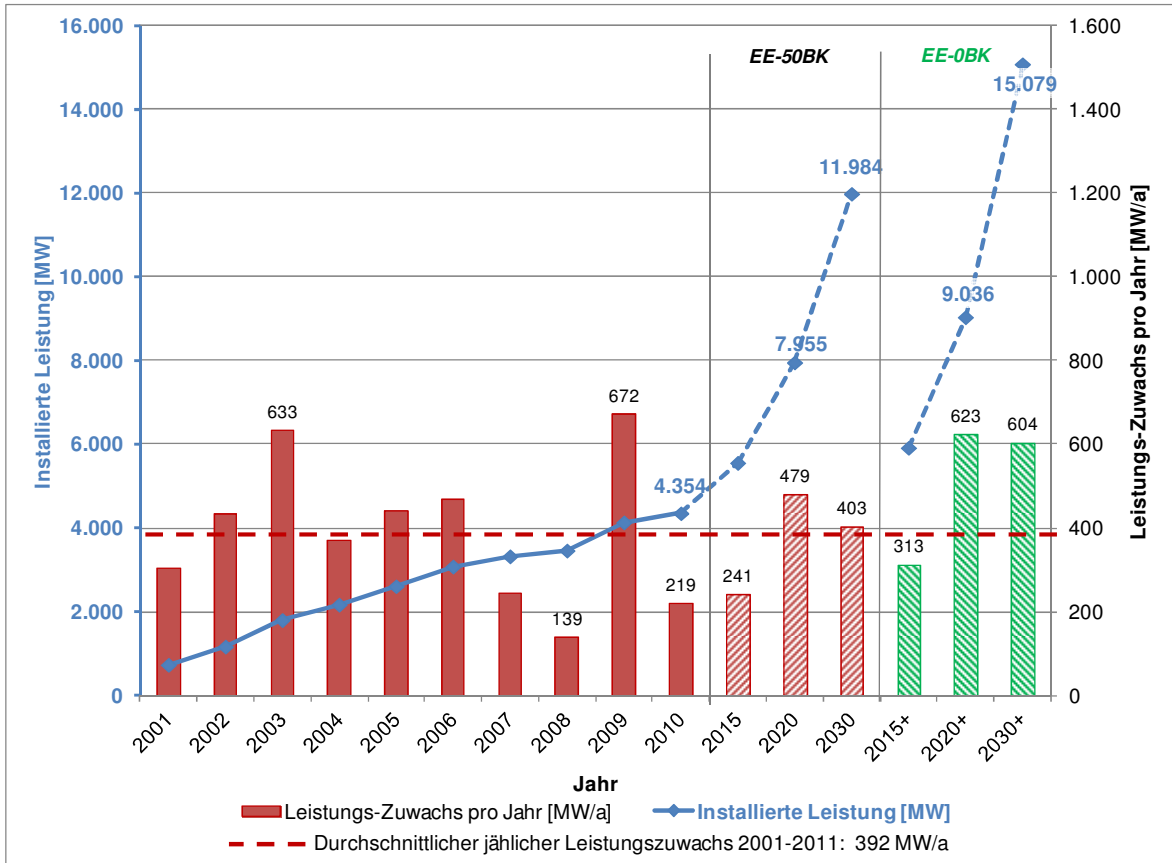
**Tab. 3.14: Windkraft-Potenzial in Brandenburg aufgrund von Raumanalysen**

Nr.	Potenzial	Fläche [km <sup>2</sup> ]	%*	GW	PJ/a
W1	Nutzbar ohne Restriktionen [A]	1.500	5,1 %	34,5	239
W2	Nutzbar ohne Restriktionen [B]	2.406	8,2 %	55,3	382
W3	Nutzbarer Wald [B]	1.934	6,6%	33,4	231
W4	Nutzbare Schutzgebiete [B]	2.925	9,9%	50,6	349

\*) Anteil and der Gesamtfläche Brandenburgs

**Quellen:** [A]= Bode et al (2009, S. 32); [B]= Bofinger et al (2011, S. 14)

Da die verfügbaren Potenziale bei der Windkraft recht groß sind, wird für das **EE-50BK-Szenario** angenommen, dass die in der Energiestrategie für 2020 genannten Ausbauziele erreicht werden können (s.o./ Abb. 3.1). Für die nächsten fünf Jahre (bis 2015) ist jedoch damit zu rechnen, dass im Vergleich zum durchschnittlichen Ausbau der letzten 10 Jahre von etwa 392 MW/a nur ein unterdurchschnittlicher Zubau von etwa 241 MW/a erreicht werden kann, da derzeit ein Mangel an ausgewiesenen Windeignungsgebieten herrscht, weshalb auch die Landesregierung in den nächsten Jahren vor allem einen Zubau durch Repowering erwartet (LUA 2007, S. 142). Das Repowering wird allerdings vor allem im Zeitraum 2015–2025 einen großen Einfluss haben, da dann ein sehr großer Teil der Anlagen ein Alter von 15 Jahren überschreitet. Ab 2020 bzw. 2025 besteht dann wieder zunehmend die Möglichkeit, durch Ausweisung neuer Flächen und Schaffung der notwendigen Netzinfrastruktur auch einen Ausbau durch neue große Windparks zu realisieren. Für das Szenario EE-50BK wird davon ausgegangen, dass dadurch im Zeitraum 2020–2030 der durchschnittliche Ausbau der letzten 10 Jahre mit etwa 403 MW/a sogar leicht überschritten werden kann, sodass 2030 eine installierte Leistung von knapp 12 GW erreicht wird. Eine eigene Abschätzung zum Umfang des Repowering lässt darauf schließen, dass im Zeitraum 2010–2020 rund 85 % des Ausbaus auf Repowering zurückzuführen sind, während es im Zeitraum 2020–2030 etwa 59 % sind. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Hälfte aller Anlagen mit einem Alter von mehr als 15 Jahren durch modernere ersetzt wird.



**Abb. 3.1: Erfolgt und angenommener Ausbau der Windkraft in Brandenburg**

Quelle: Eigene Darstellung nach 50 Hertz (2011b); Daten 1996–2010

Für das Szenario **EE-0BK** wird angenommen, dass bis 2020 ein um 30 % höherer Ausbau als im Szenario EE-50BK realisiert werden kann, sodass 2020 etwa 9 GW Leistung installiert sind. Gleichzeitig wird angenommen, dass in diesem Zeitraum in die Ausweisung neuer Großwindparks von insgesamt bis zu 8 GW und die Schaffung der notwendigen Netzinfrastruktur mit hoher Priorität vorangetrieben wird, sodass ab 2020 der Zubau im Vergleich zum Szenario EE-50BK um 50 % gesteigert werden kann. Im Jahr 2030 würden so etwa 15 GW installierte Leistung erreicht werden, was sich mit dem BTU-Szenario 4 (Schwarz et al. 2008, S. 14) deckt. Der Anteil des Repowering wird in diesem Szenario vermutlich etwa 65 % bis 2020 bzw. 39 % für 2020–2030 betragen.

### 3.4.2 Photovoltaik

Die Zielvorgabe der Energiestrategie des Landes Brandenburg sieht für 2020 eine solare Energieerzeugung von 11 PJ/a (3.056 GWh/a) vor (Günnewig et al. 2008). Die Ende 2010 installierte PV-Leistung betrug rund 620 MWp und ermöglicht eine Stromerzeugung von 667 GWh/a bzw. 2,4 PJ/a. Zur Erreichung des Ziels fehlt demnach noch eine Erzeugungskapazität von gut 8,6 PJ, was bezogen auf die Photovoltaik einer zu installierenden Leistung von 2,6 GWp bzw. 260 MWp pro Jahr bis 2020 entspricht. Allein im Jahr 2010 wurden rund 382 MWp installiert, sodass der notwendige Ausbau durchaus möglich erscheint, aber als sehr ambitioniert eingeschätzt werden muss.

Photovoltaik kann sowohl auf Gebäuden, gebäudeintegriert oder auf Freiflächen installiert werden. Bzgl. des erschließbaren Dachflächenpotenzials hat das Landesumweltamt Brandenburg (LUA) abgeschätzt, dass rund 5,6 % der zur Verfügung stehenden Dachflächen von rund 200 Mio. m<sup>2</sup> für die Stromproduktion nutzbar sind. Unter der recht konservativen Annahme einer spezifischen Leistung von 0,095 kW/m<sup>2</sup><sub>Dach</sub> und 850 kWh/(kWp a) wurde eine mögliche Stromproduktion von ca. 800 GWh/a (2,88 PJ) ausgewiesen. Hinzu kommt ein nicht weiter analysiertes Potenzial an Fassaden und Gebäudeflächen. Der verbleibende Teil von etwa 9 PJ sei laut LUA (2007, S. 142) auf Freiflächen zu erzeugen. Für diese wird als theoretisches Flächenpotenzial das Potenzial der Biomassenutzung angegeben, welches im Rahmen des Gutachtens ausführlicher untersucht wurde und rund 3.700 km<sup>2</sup> bzw. 25 % der landwirtschaftlichen Fläche und somit etwa 435 PJ/a (120 TWh/a) entspricht. Da der „Wertschöpfung aus der landwirtschaftlichen Nahrungsgüterproduktion [...] Vorrang gegenüber weiterer Flächeninanspruchnahme u. a. für Wind, Solarenergie und Biomasse“ eingeräumt wird (Landesregierung Brandenburg 2008b: S. 4), ist diese Abschätzung tatsächlich eher theoretischer Natur.

Auf den ersten Blick verfügt Brandenburg über ein gewaltiges Flächenpotenzial, welches sich relativ konfliktfrei der Photovoltaik zuweisen lassen würde. Im Rahmen der BTU-Netzstudie II schätzten Schwarz et al. (2011) die für PV verfügbaren Freiflächen mit rund 20.000 ha (6.667 MWp) ein. Dabei handelt es sich vor allem um Konversionsflächen militärischen oder gewerblichen Ursprungs sowie aus der Sanierungsplanung des Bergbaus und Flächen aus der laufenden Braunkohlenplanung. So wurden bspw. 1994 rund 100.000 ha ehemalige Militärflächen („WGT-Liegenschaften“) vom Land zur Verwertung übernommen, wovon sich 2009 noch etwa 11.000 ha im Besitz des Landes befanden (Günnewig et al. 2009, S. 57). Rund 55 % der Flächen entfällt auf Naturschutzgebiete, was einer Nutzung für Photovoltaik entgegensteht. Insgesamt wurden von durch die Brandenburgische Boden Gesellschaft nur 130 ha als PV-geeignet beurteilt und entsprechend angeboten (Günnewig et al. 2009, S. 13). Zwar sei auch unter der bereits veräußerten Fläche ein gewisser Anteil für die PV-Nutzung geeignet, die Erschließung gilt aufgrund der Eigentumsverhältnisse aber als schwierig.

Bzgl. der Braunkohlenplanung konstatieren Günnewig et al. (2009), dass in der Regel eine landwirtschaftliche Nutzung der Flächen vorgesehen ist und auch wirtschaftlich lukrativer eingeschätzt wird, als die Nutzung durch Photovoltaik, deren Wirtschaftlichkeit von der auf 20 Jahre begrenzten EEG-Vergütung abhängig ist.

Insgesamt kommen Günnewig et al. (2009) zu dem Ergebnis, dass derzeit rund 6.600 ha für die solare Strahlungsnutzung in Brandenburg zur Verfügung stehen. Allerdings konstatieren sie auch eine bisher nur verhaltene Nachfrage nach diesen Flächen. So werden die landesplanerisch besonders bevorzugten Konversionsflächen von den Betreibern aufgrund von häufig hohen Sanierungskosten nicht bevorzugt nachgefragt. Gleichzeitig empfehlen die Autoren, dass zur „Erhaltung von Entscheidungsspielräumen“ etwa die 3-fache der tatsächlich erforderlichen Fläche durch die Raumplanung zu ermitteln und anzubieten sei, was etwa 35.000 ha entspräche. Hier wird eine deutliche Diskrepanz zwischen dem derzeitigen Flächenangebot und dem Flächenbedarf zur Erfüllung der landespolitischen Ziele deutlich, wobei man durchaus hinterfragen kann, ob „Entscheidungsspielräume“ in diesem Umfang wirklich notwendig sind.

Der Flächenbedarf ist allerdings auch abhängig von der eingesetzten Technologie. Günnewig et al. (2009) gehen davon aus, dass mehrheitlich preiswertere Dünnschichtmodule für große Freiflächenanlagen (FFA) zum Einsatz kommen werden. Diese haben mit Modulwirkungsgraden von 5–10 % eine deutliche geringere Effizienz als kristalline Module, deren Wirkungsgrad mittlerweile 20 % überschreitet. Sie legten ihren Berechnungen daher einen Flächenbedarf von 4 ha/ MWp zu-

grunde, weisen aber darauf hin, dass der Flächenbedarf auf 3 ha/ MWp gesenkt werden könnte, wenn überwiegend kristalline Module zum Einsatz kommen würden. Ende 2009 befanden sich in Brandenburg rund 62 Anlagen auf 2.950 ha mit einer Leistung von ca. 572 GWp in Bau oder in Planung (Günnewig et al. 2009, S. 81). Daraus ergibt sich ein mittlerer Flächenbedarf von rund 5,16 ha/ MWp, sodass derzeit tatsächlich von einer überwiegenden Nutzung von Dünnschichtmodulen ausgegangen werden muss. Vor dem Hintergrund einer zunehmenden Flächenkonkurrenz zwischen verschiedenen Arten der Energieerzeugung und anderer Nutzungen sollte daher nach Anreizsystemen gesucht werden, die zu einer möglichst effizienten Flächennutzung führen. Gleichzeitig lässt sich beobachten, dass die Wirkungsgrade aller PV-Technologien kontinuierlich verbessert werden. So konnten im Labor bereits erste Dünnschichtzellen präsentiert werden, deren Wirkungsgrad mit 20,3 % bereits auf dem Niveau von monokristallinem Silizium liegt (ZSW 2010). Daher wird in Tab. 3.15 (P1) das Potenzial derzeit vorhandener Flächen auf Basis des Flächenbedarfs aktueller kristalliner PV-Module ausgewiesen (3 ha/ MWp, 900 kWh/(kWp a)).<sup>24</sup>

Auch die Dachflächenpotenziale werden in Tab. 3.15 neu ausgewiesen (P2). Häufig wird angenommen, dass rund 20 % der vorhandenen Dachfläche für eine solare Energiegewinnung erschlossen werden können (Klärle et al. 2009; MLUV 2008). Abweichend von LUA (2007, S. 142, s.o.) wird aufgrund steigender Wirkungsgrade mit einer spezifischen Leistung von 0,1 kW/m<sup>2</sup><sub>Dach</sub> und 900 kWh/(kWp a) gerechnet.

Kein Hinweis findet sich in den vorhandenen Gutachten zur Berücksichtigung der Potenziale von Verkehrsrandstreifen, die aufgrund weiterer Flächenbegrenzungen für Freiflächenanlagen gemäß aktueller EEG-Novelle zukünftig an Bedeutung gewinnen können. Aus diesem Grund wurden diesbezügliche Potenziale hier erstmalig für Brandenburg überschlägig abgeschätzt (vgl. Tab. 3.15, P3–P5).

Für das Szenario **EE-50BK** wurde dabei auf das in der Energiestrategie 2020 festgeschriebene Ziel von 11 PJ (abzüglich eines solarthermischen Anteils von 2,3 PJ) zurückgegriffen, da es aufgrund des notwendigen Ausbaus bereits als sehr ambitioniert eingestuft werden kann. Dafür ist dauerhaft ein Zubau von etwa 200–216 MW/a notwendig, was etwa auf halbem Niveau des bisher größten Zubauwertes von 2010 (382 MW) liegt. Es wird davon ausgegangen, dass dieser Zubau auch bis 2030 aufrecht erhalten werden kann, sodass dann etwa 4.845 MW Leistung installiert sein dürften.

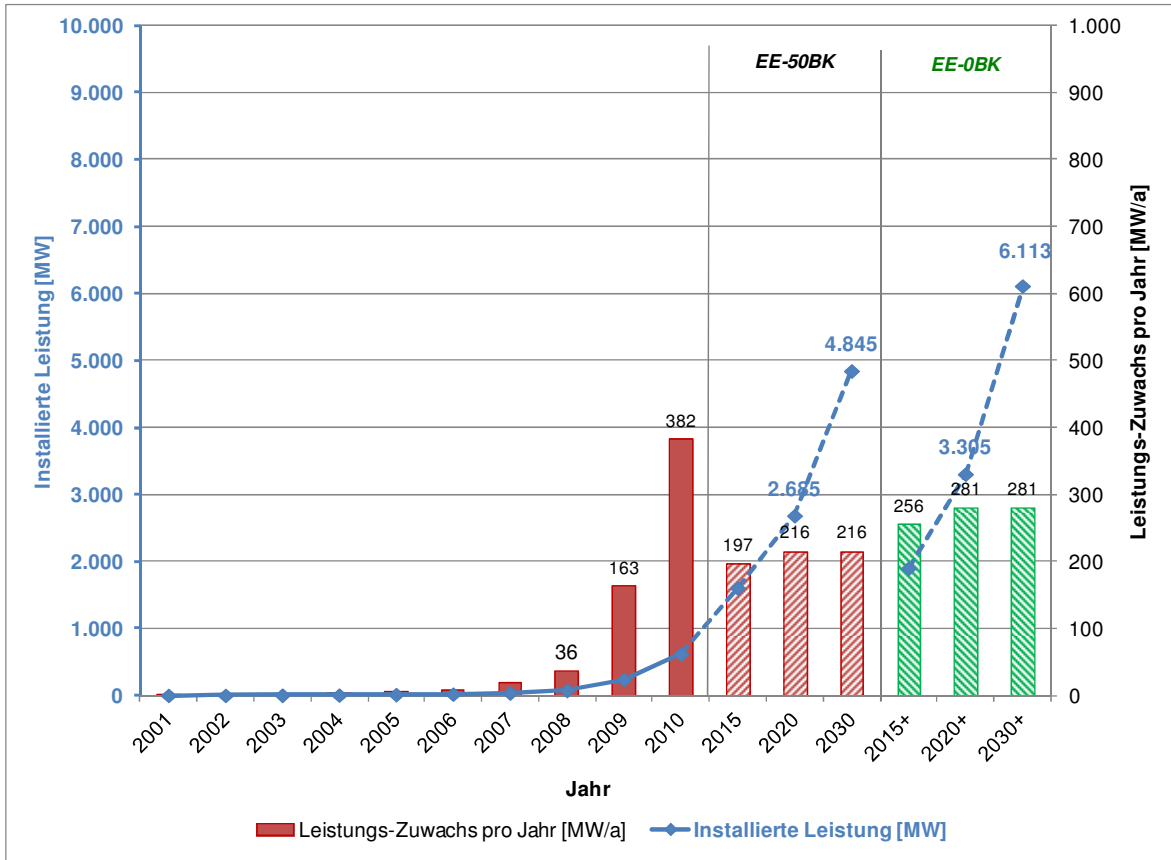
Für das Szenario **EE-0BK** wird angenommen, dass ein gegenüber dem Szenario EE-50BK um 30 % höherer Zubau realisiert werden kann und bis 2030 etwa 6.113 MW Leistung installiert sind. Bei den in Tab. 3.15 abgeschätzten Potenzialen ist darauf hinzuweisen, dass in Zukunft durchaus weitere Flächen als geeignet eingestuft werden könnten. Dies hängt u. a. von der infrastrukturellen Erschließbarkeit (Netzanbindung, Verkehrswege), naturschutzbezogenen Standortfaktoren, ertragsbeeinflussenden Standortfaktoren (Solarstrahlung, Geländeneigung/Relief, Verschattung), Besitzverhältnissen, Förderung durch das EEG etc. potenzieller Standorte ab. Zur gezielten Erschließung der hier skizzierten Potenziale wären daher eine systematische Analyse, Kategorisierung und Ausweisung entsprechender Flächen sowie ggf. ergänzende Maßnahmen zu den bundesweiten Förderungen erforderlich.

---

<sup>24</sup> Ähnlich auch Schwarz et al. (2011) Für 2020 wird in dieser Studie eine mögliche installierte Leistung von über 4.500 MW ausgewiesen, was angesichts der oben beschriebenen Zusammenhänge als zu hoch eingeschätzt wird.

Tab. 3.15: Darstellung verschiedener Abschätzungen von PV-Potenzialen in Brandenburg

Nr.	Potenzial	MW <sub>p</sub>	PJ
P1a	<i>Derzeitiges Flächenangebot</i> für PV-Freiflächenanlagen Nach [A]: 20.000 ha	6.667	21,6
P1b	Nach [B]: 6.561 ha	2.190	7,1
P2	<i>Dachflächenpotenzial</i> : 20 % der Dachflächen erschließbar [C], abzgl. Solarthermie (439 ha): 3.561 ha	3.561	11,5
P3-P4	<i>Verkehrs-Randstreifen</i> : EEG-vergütete PV-Freiflächen von 110 m Breite, die längs an Autobahnen oder Schienenwegen liegen. Überschlags-Rechnungen (Ann.: 3 ha/ MW <sub>p</sub> , 900 kWh/(kW <sub>p</sub> ·a)):		
P3	20 % des Autobahnnetzes (795 km [D]) werden beidseitig für PV erschlossen: 3.498 ha	1.166	3,8
P4	Erschließung von 10 % des Eisenbahnnetzes (2.490 km [E]): 5.478 ha	1.826	5,9
P5	<i>Solar-Carports</i> : Jeder 10te der 1,3 Mio. Personenkraftwagen [D] wird mit 8 m <sup>2</sup> PV überdacht: 105 ha	105	0,3
<b>P</b>	<b>Summe (P1a+P2+P3+P4+P5)</b>	<b>13.324</b>	<b>43,2</b>
<b>Quellen:</b> [A]= (Schwarz et al. 2011, S. 12); [B]= Günnewig et al (2009, S. 13); [C]= Klärle et al (2009), MLUV (2008) ; [D]= Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2011); [E]= DB (2010); sowie eigene Abschätzungen/ Berechnungen			



**Abb. 3.2: Erfolgreicher und angenommener PV-Ausbau**

Quelle: Eigene Darstellung nach 50 Hertz (2011b); Daten 2001-2010

### 3.4.3 Strom aus Biomasse

Im Rahmen dieser Studie wird ausschließlich die energetische Verwertung endogener Biomasse, also von Biomasse, die im Land Brandenburg weitgehend konfliktfrei zur Verfügung steht, betrachtet. In Tab. 3.2 (S. 52) wurden die entsprechenden Potenziale bereits aufgeteilt auf die thermische und die elektrische Verwendung. Daraus ergibt sich ein Potenzial von rund 8,95 PJ elektrischer Energie. Davon entfallen im Jahr 2030 nur noch rund 0,12 PJ auf Klär- und Deponiegas, da zwischen 2020 und 2030 mit einem starken Rückgang des Deponiegasaufkommens gerechnet werden muss. Dies begründet sich dadurch, dass abgeschlossene Deponien nur etwa für einen Zeitraum von etwa 15–20 Jahren nennenswerte Mengen an Methan freisetzen. Danach ist der mikrobiologische Abbau (Methanisierung) des organischen Anteils des Deponiekörpers weitgehend abgeschlossen. Da in Deutschland die Ablagerung unvorbehandelter organischer Abfälle nicht mehr gestattet ist, werden künftige Deponien keinen nennenswerten Methanmengen produzieren.

Angesichts des mit 7,78 PJ bereits weit voran geschrittenen Ausbaus der Biomasseverstromung wird spätestens 2020 mit einer vollständigen Erschließung des Biomasse-Potenzials gerechnet. Jeder weitere Ausbau müsste entweder durch Importe oder auf Kosten der landwirtschaftlichen Nahrungsmittelproduktion stattfinden. Diese Potenziale werden jedoch im Rahmen dieser Studie nicht berücksichtigt. Bis 2020 wird ein linearer Ausbau angenommen.

### 3.4.4 Wasserkraft

Aufgrund mangelnder Höhendifferenzen und langsamer Fließgeschwindigkeiten vorhandener Fließgewässer gilt das Wasserkraft-Potenzial in Brandenburg als relativ gering. Studien im Auftrag der Landesregierung weisen ein Potenzial von 0,3 PJ für die Wasserkraft aus (Landesregierung Brandenburg 2008b; Seefeldt et al. 2007; LUA 2007). Das einzige Gutachten, welches mit einer Spanne von 0,1–0,5 PJ ein immerhin um 67 % größeres Potenzial ausweist, ist dagegen vergleichsweise alt (Fischedick und Hennicke 2000, S. 23) – hier werden die neueren Gutachten als realistischer eingeschätzt. Die Energiestrategie sieht für 2020 eine Verdopplung des derzeitigen Ausbaus auf 0,2 PJ vor. Dieser Wert wird für beide Ausbau-Szenarien für 2020 übernommen. Während für das Szenario EE-0BK die vollständige Erschließung der Potenziale bis 2030 angenommen wird, wird für das EE-50BK-Szenario von einem Einfrieren des 2020-Stands ausgegangen, bspw. aufgrund von Potenzialen, die sich noch nicht wirtschaftlich erschließen lassen.

### 3.4.5 Geothermie

Die Stromerzeugung aus **Tiefengeothermie** befindet sich noch weitgehend im Erprobungsstadium. Die dafür erforderlichen hohen Temperaturen ab etwa 140 °C machen sehr teure Bohrungen von über 3.000 m Tiefe notwendig. Nur für wenige Regionen Deutschlands wird dies derzeit als potenziell wirtschaftlich angesehen. Einen großen Anteil trägt daran das Norddeutsche Becken, welches sich auch über einen Großteil Brandenburgs erstreckt. Derzeit werden in Brandenburg zwei Standorte zur Stromerzeugung erkundet: Vom GeoForschungsZentrum Potsdam in Groß Schönebeck und von der ENRO Geothermie GmbH in Finowfurt bei Eberswalde (ETI 2009).

In Deutschland sind bisher nur vier Tiefengeothermie-Projekte zur Stromerzeugung mit einer Leistung 7,5 MW realisiert (BMU 2011b, S. 101). Ein Hemmnis für die Erschließung der Potenziale ist die im Vergleich zu den Erzeugungskosten des Stroms (ca. 18–30 Cent/kWh) zu niedrige EEG-Vergütung von im Mittel 20 ct/kWh (Frey 2011). Im Entwurf des EEG-Erfahrungsberichts (BMU 2011b) wird daher eine Anhebung der Vergütung auf etwa 25 ct/kWh vorgeschlagen. Darüber hinaus wird erwartet, dass insbes. bei den Bohrkosten, welche etwa die Hälfte der Investitionskosten ausmachen, ein beträchtliches Optimierungs- und Einsparpotenzial realisierbar ist (Frey 2011). Als ein weiteres Hemmnis könnte sich die potenzielle Gefahr leichter Erdbeben entwickeln, wie es bspw. vor zwei Jahren im rheinland-pfälzischen Landau durch den hohen Druck der Wasserpumpen ausgelöst wurde, wodurch allerdings außer Putzrissen an Wänden keine weiteren Schäden entstanden (Frey 2011). In diesem Kontext wird die Geothermie in den nächsten Jahren ihr Sicherheit und Beherrschbarkeit unter Beweis stellen müssen, um bei der Bevölkerung nicht auf Vorbehalte oder gar Ablehnung zu stoßen.

Die Erschließbarkeit der ans sich gigantischen Stromerzeugungs-Potenziale des Norddeutschen Beckens im Exajoule-Bereich lässt sich derzeit kaum abschätzen. In der Energiestrategie 2020 und in Gutachten der Landesregierung wurde die Geothermie bisher als reine Wärmequelle und nicht zur Stromerzeugung ausgewiesen (Landesregierung Brandenburg 2008b; Seefeldt et al. 2007; LUA 2007). Diese Annahme wird für das Szenario EE-50BK bis 2030 übernommen.

Der aktuelle Entwurf des EEG-Erfahrungsberichts macht für den Ausbau der geothermischen Stromerzeugung in Deutschland folgende Aussage: „Optimistisch geschätzt könnten bis 2020 etwa 80 Projekte mit knapp 380 MW elektrische Leistung installiert sein.“ (BMU 2011b, S. 101). Für 2030 wird ein möglicher Ausbau von 850 MW angegeben. Für das Szenario EE-0BK wird

davon ausgegangen, dass bis 2020 5 % (19 MW bzw. 0,55 PJ bei 8.000 Volllaststunden) und bis 2030 10 % (85 MW bzw. 2,45 PJ) dieses Potenzials in Brandenburg erschlossen werden können. Sollten diese Kraftwerke eine ähnliche Auslegung aufweisen wie das 2007 in Betrieb genommene Geothermie-Kraftwerk in Landau (3 MW<sub>el</sub> / 5 MW<sub>th</sub>), so würde dabei auch noch Raum- oder Prozesswärme in Höhe von 0,91 bzw. 4,08 PJ anfallen, welche dem Wärmebereich gutgeschrieben wird. Ob und zu welchem Teil diese allerdings tatsächlich genutzt werden kann, ist stark vom jeweiligen Standort abhängig.

### 3.4.6 Konventionelle Stromerzeugung

Derzeit basiert die Stromerzeugungskapazität in Brandenburg zu knapp zwei Dritteln auf der Braunkohle: Die beiden Kraftwerke Jänschwalde und Schwarze Pumpe stellen zusammen eine elektrische Leistung von 4.600 MW. Erdgas, Erdöl und Müll stellen weitere 16 % der Erzeugungskapazitäten (1.146 MW) (vgl. Tab. 3.16). In Teilen der Regierung und Verwaltung des Bundeslandes scheint der Wille zum Ausstieg aus der CO<sub>2</sub>-intensiven Braunkohleverstromung vorhanden zu sein. So heißt es im Bericht „Umweltdaten Brandenburg 2007“ des Landes (LUA 2007, S. 144): „Neben der Ausweitung der Nutzung erneuerbarer Energien ist für Brandenburg vor allem die Senkung des Primärenergieverbrauchs von Bedeutung. Bekannt ist, dass die den Primärenergieverbrauch in die Höhe treibende Kohleverstromung bis zum Jahr 2020 erheblich reduziert wird. Entsprechend den Verordnungen zum Braunkohlenplan Tagebau Cottbus-Nord bzw. Jänschwalde werden dort die Braunkohleförderungen in den Jahren 2015 bzw. 2019 beendet. Dies bedeutet zunächst eine Verringerung der Braunkohleförderung um 26 Mio. t. Über die Zukunft des Kraftwerkes Jänschwalde ist gegenwärtig nichts bekannt. Zu diesem Zeitpunkt besteht für das Land Brandenburg die Chance seine klimagasbelasteten Stromexporte zu minimieren. Gleichzeitig entsteht für die anderen Bundesländer die Möglichkeit die Energieversorgungsstruktur in ihren Ländern nach den jeweiligen politischen Prioritäten eigenständig umzusetzen.“

Angesichts dieser Absichtsbekundung werden für die Szenarien folgende Annahmen getroffen: 2020 gehen in beiden Szenarien zunächst die ältesten drei Blöcke (1.500 MW) in Jänschwalde außer Betrieb. Im Szenario EE-50BK sind 2030 nur noch das Kraftwerk Schwarze Pumpe und die neueren Blöcke in Jänschwalde in Betrieb, sodass die Braunkohlestromerzeugung etwa 50 % des heutigen Werts entspricht. Im Szenario EE-0BK wird bis 2030 der vollständige Ausstieg aus der Braunkohleverstromung vollzogen. Die dabei wegfallende Wärmeerzeugung wird teilweise durch den Zubau effizienter KWK-Anlagen kompensiert (vgl. hierzu Abschnitt 3.3.3).

**Tab. 3.16: In Betrieb befindliche konventionelle Kraftwerke (>100 MW) in Brandenburg**  
Stand: 31. Mai 2008, Quelle: UBA (2011)

Primärenergie	MW <sub>el</sub>	MW <sub>th</sub>	Inbetriebnahme (ggf. Ertüchtigung)	Anlagenart	Kraftwerksname
Braunkohle	500	58,2	1982 / 1996	DKW	Jänschwalde A10
Braunkohle	500	58,2	1982 / 1996	DKW	Jänschwalde A20
Braunkohle	500	58,2	1985 / 1996	DKW	Jänschwalde B10
Braunkohle	500	58,2	1985 / 1996	DKW	Jänschwalde B20
Braunkohle	500	58,2	1988 / 1996	DKW	Jänschwalde C10
Braunkohle	500	58,2	1988 / 1996	DKW	Jänschwalde C20
Braunkohle	800	60	1997	DKW	Schwarze Pumpe 1
Braunkohle	800	60	1997	DKW	Schwarze Pumpe 2
<b>Braunkohle</b>	<b>4.600</b>	<b>469,2</b>	<b>Summe Braunkohle</b>		
Erdgas	110	70	1955 / 1998	DKW	Eisenhüttenstadt
Erdgas	148		1987	GT	Thyrow 1-1 bis 1-4
Erdgas	152		1989	GT	Thyrow 2-1 bis 2-4
Erdgas	152		1990	GT	Ahrensfelde 1 bis 4
Erdgas	124	504	1994	GuD	Schwarzheide
Erdgas	160		1995	GuD	Kirchmöser
<b>Erdgas</b>	<b>846</b>	<b>574</b>	<b>Summe Erdgas</b>		
Heizöl	300,5	66	1998	HKW	Schwedt
<b>Konventionell</b>	<b>5.746,5</b>	<b>1.109,2</b>	<b>Summe konventionell</b>		

Abb. 3.3 zeigt die Auswirkungen dieser Annahmen auf das Stromerzeugungspotenzial auf Basis typischer Volllaststunden und der installierten Leistung. Das gesamte Stromerzeugungspotenzial bleibt dabei immer in einem Bereich von etwa 160–220 PJ, sodass Brandenburg auch zukünftig in jedem Fall Strom exportieren wird. Im Szenario EE-50BK wird Braunkohle 2030 noch zu knapp einem Drittel zu diesem Potenzial beitragen, während die Erneuerbaren einen Anteil von 52 % ausmachen. Im Szenario EE-0BK steigt dieser Anteil auf 80 % - die verbleibenden 20 % stammen dann aus Erdgas, Erdöl und Müllverbrennung.

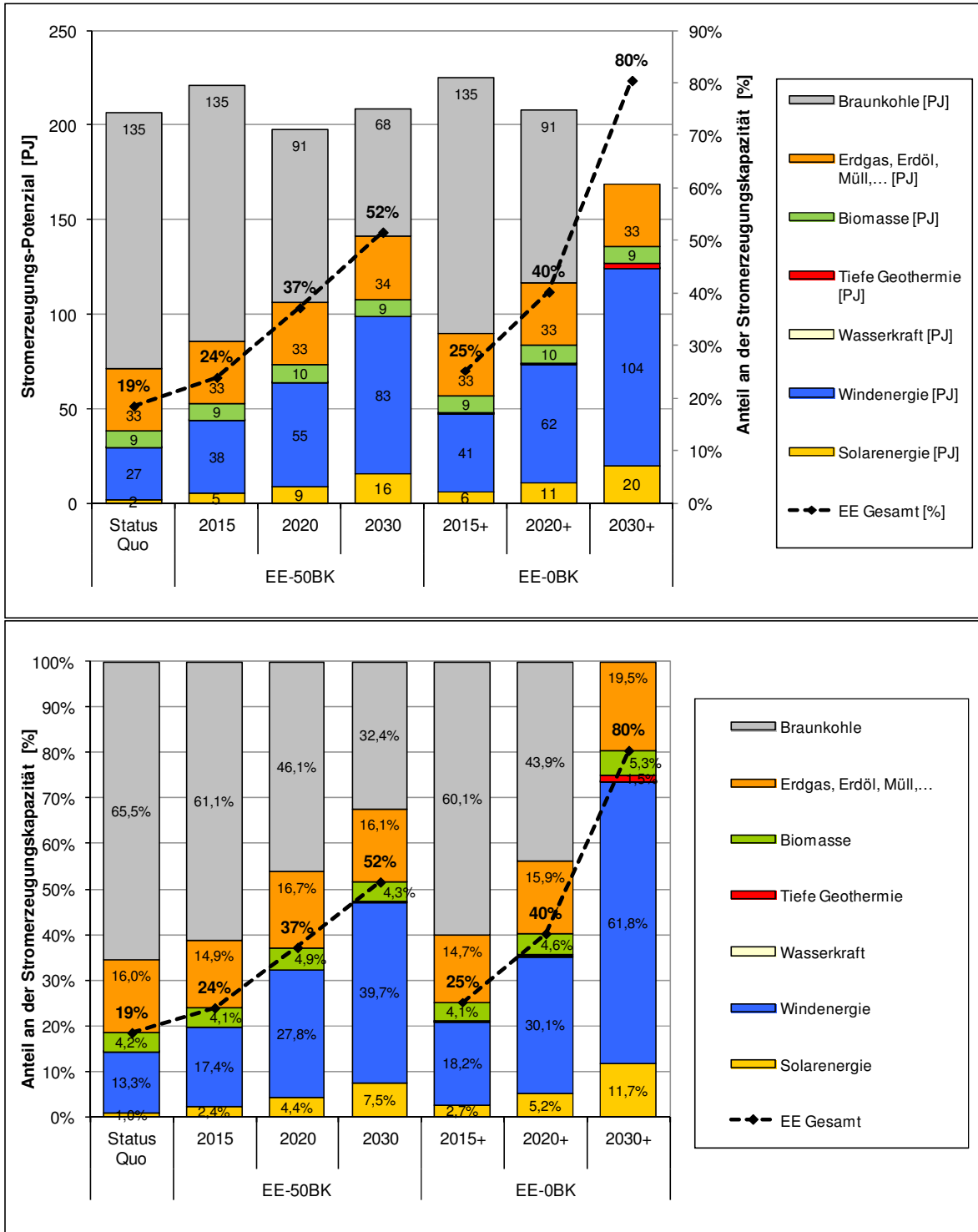


Abb. 3.3: Gegenüberstellung der Szenarien EE-50BK und EE-0BK mit dem Status Quo (2010) für den Bereich der elektrischen Energieerzeugung in Brandenburg

### 3.4.7 Versorgungssicherheit und Netzausbau

Im vorangegangenen Abschnitt wurde gezeigt, dass je nach Szenario im Jahr 2030 die Erneuerbaren einen Anteil von 52–80 % an der Stromerzeugung aufweisen können. Die Windkraft wird dann zu 40–62 % dazu beitragen, Photovoltaik zu 7–12 %. Da insbes. Windkraft- und Solarstromerzeugung stark fluktuieren und sich nur eingeschränkt bedarfsgerecht steuern lassen, wirft dies zwangsläufig Fragen zur Versorgungssicherheit und Netzstabilität auf.

Ein zentrales Kriterium bei der Einschätzung der Versorgungssicherheit ist, ob die sogenannte „gesicherte Leistung“ des Kraftwerkparks in der Lage ist, die zu erwartende Jahreshöchstlast zuzüglich eines Sicherheitsfaktors in Höhe von knapp 8 % abzudecken. Tab. 3.17 zeigt die Entwicklung der gesicherten Leistung Brandenburgs ausgehend von Faktoren nach dena (2010b). So geht bspw. die installierte PV-Leistung nur zu 1 %, Wind zu 8 % und Biomasse zu 88 % in die gesicherte Leistung ein. Im Szenario EE-0BK sind aufgrund des hohen Wind- und PV-Anteils nur noch etwa 12 % der 2030 installierten Leistung gesichert.

**Tab. 3.17: Gesicherte Leistung des Kraftwerkparks in Brandenburg bis 2030**

\* Anteil der gesicherten Leistung nach dena (2010b) bzw. für Gas/Erdöl gem. Oeser (2006, S. 80) nach Swider und Weber (2007)

Installierte Leistung [MW]	gesichert*	EE-50BK				EE-0BK			Zeile
		2010	2015	2020	2030	2015+	2020+	2030+	
Biomasse	88%	282	321	340	340	321	340	340	[1]
Klär- & Deponiegas	88%	29	29	29	5	29	29	5	[2]
Solar	1%	6	16	27	48	19	33	61	[3]
Wasser	40%	2	3	4	4	3	4	6	[4]
Wind	8%	327	417	597	899	444	678	1.131	[5]
Tiefen-Geothermie	90%	0	0	0	0	4	16	77	[6]
<b>Summe EE</b>		<b>646</b>	<b>786</b>	<b>996</b>	<b>1.295</b>	<b>821</b>	<b>1.100</b>	<b>1.619</b>	[7]
Gas, Erdöl	91%	1.045	1.045	1.045	1.062	1.045	1.045	1.045	[8]
Braunkohle	92%	4.232	4.232	2.852	2.116	4.232	2.852	0	[9]
<b>Summe</b>		<b>5.923</b>	<b>6.064</b>	<b>4.894</b>	<b>4.474</b>	<b>6.098</b>	<b>4.997</b>	<b>2.664</b>	[10]
<b>Anteil an der inst. Leistung [%]</b>		53%	46%	32%	22%	44%	29%	12%	[11]

Tab. 3.18 stellt diese gesicherte Leistung (Zeile 16–17) der benötigten gesicherten Leistung gegenüber, welche sich aus dem Bedarf an elektrischer Energie der unterschiedlichen Effizienz-Szenarien ergibt (zur ausführlicheren Beschreibung der Effizienzszzenarien in dieser Studie siehe Kapitel 4). Dabei werden drei Fälle betrachtet: Der Energiebedarf Brandenburgs ohne Berlin (Zeile 4–7), der Bedarf von Brandenburg inkl. des Strombezugs durch Berlin (Zeile 8–11), sowie die gesamte elektrische Leistung Brandenburgs inkl. Export (Zeile 12–15). Dabei wird deutlich, dass Brandenburg sowohl den eigenen Bedarf als auch die Stromlieferungen an Berlin in den meisten Fällen gesichert darstellen kann. Im EE-0BK-Szenario gilt dies allerdings nur für die „EffizienzPlus“-Bedarfsannahme, ansonsten würde 2030 eine Lücke von 184 MW bestehen (Vergleich der Zeilen 10 und 17 in Tab. 3.18) Der hohe Anteil an mit Erdgas betriebener KWK in Berlin würde diese Lücke allerdings noch kompensieren können.

Weitaus größer ist die Sicherungs-Lücke, wenn man die gesamte Stromproduktion Brandenburgs zu Grunde legt. Auch diese muss eigentlich als gesicherte Leistung vermarktet/ exportiert werden, um bedarfsgerecht zur Verfügung zu stehen (Zeile 14 und 15 in Tab. 3.18). Bei dieser Betrachtung können nur etwas mehr als die Hälfte (EE-50BK) bzw. ein Drittel (EE-0BK) der notwendigen gesicherten Leistung erbracht werden. Folglich kann regional zwar von einem Fortbestehen der Versorgungssicherheit allein aufgrund der hohen installierten Leistung ausgegangen werden, im gesamtdeutschen Kontext besteht aber durchaus Handlungsbedarf, wenn der überschüssige Strom weiterhin zu akzeptablen Konditionen exportiert werden soll. Wenn Brandenburg also unter den Bedingungen der hier skizzierten Szenarien – aufgrund seiner guten Standortbedingungen als Stromerzeugungsland - Stromexporteur bleiben will, dann muss es sich auf nationaler und ggf. internationaler Ebene aktiv um die Lösung dieser energiesystemischen Fragen bemühen.

**Tab. 3.18: Gegenüberstellung der gesicherten Leistung Brandenburgs mit unterschiedlichen Energiebedarfs-Szenarien**

<b>Bruttostromverbrauch und gesicherte Leistung</b>		<b>2010</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>Zeile</b>
Bruttostromverbrauch BRD	PJ	2.142	2.034	1.980	1
Jahreshöchstlast	MW	75.933	72.865	71.331	2
Benötigte gesicherte Leistung	MW	81.873	78.565	76.911	3
Bruttostromverbrauch Bb "Effizienz"	PJ	54	53	54	4
Bruttostromverbrauch Bb "Effizienz +"	PJ	54	50	50	5
Benötigte gesicherte Leistung Bb "Effizienz"	MW	2.060	2.029	2.112	6
Benötigte gesicherte Leistung Bb "Effizienz +"	MW	2.060	1.913	1.951	7
Bruttostromverbrauch Bb+Bln "Effizienz"	PJ	72	69	73	8
Bruttostromverbrauch Bb+Bln "Effizienz +"	PJ	72	73	59	9
Benötigte gesicherte Leistung Bb+Bln "Effizienz"	MW	2.770	2.681	2.850	10
Benötigte gesicherte Leistung Bb+Bln "Effizienz +"	MW	2.770	2.818	2.303	11
Bruttostromerzeugung Bb+Exp "Effizienz"	PJ	206	198	209	12
Bruttostromerzeugung Bb+Exp "Effizienz +"	PJ	206	208	169	13
Benötigte gesicherte Leistung Bb+Exp "Effizienz"	MW	7.882	7.629	8.108	14
Benötigte gesicherte Leistung Bb+Exp "Effizienz +"	MW	7.882	8.016	6.553	15
Gesicherte Leistung EE-50BK	MW	5.923	4.894	4.474	16
Gesicherte Leistung EE-0BK	MW	5.923	4.997	2.664	17
<b>Abk.:</b> Bb= Brandenburg; Bln= Berlin; Exp= Export					

### 3.4.7.1 Netzausbau

Auch die Kapazitäten der Netze spielen bei der Beurteilung der Versorgungssicherheit und bei der Realisierung eines ambitionierten EE-Ausbaus eine entscheidende Rolle. So müssen einerseits an geeigneten Standorten bspw. für Wind- oder PV-Parks entsprechende Netzanschlusspunkte vor-

handen sein oder geschaffen werden; auf der anderen Seite müssen die Netze auch den Abtransport und die Verteilung des Stroms bis über die Landesgrenzen hinweg sicherstellen. Zwar wird die Gesamtstromerzeugung 2030 voraussichtlich mit rund 200 PJ auf demselben Niveau wie heute liegen und somit prinzipiell von den Netzen aufgenommen werden können, bei starkem Wind oder Sonneneinstrahlung können aber sehr viel höhere Erzeugungsspitzen entstehen, als dies derzeit der Fall ist. Umgekehrt kann bei landesweiter Flaute und Dunkelheit der Energiebedarf eventuell nicht gedeckt werden. Die DENA Netzstudie II mahnt daher einen starken Netzausbau an, damit künftig sowohl deutschlandweit als auch auf europäischer Ebene lokale Unterschiede zwischen Bedarf und Energieerzeugung ausgeglichen werden können (dena 2010c). Der Netzausbau ist folglich sowohl für die Versorgungssicherheit als auch für die möglichst vollständige und effiziente Nutzung des EE-Stroms notwendig. Allerdings stößt der Netzausbau auf Überlandtrassen häufig auf Akzeptanzprobleme bei den Anwohnern, deren Widerstand zu erheblichen Verzögerungen notwendiger Netzausbaumaßnahmen führen kann. Der vergleichsweise unkritische unterirdische Netzausbau (Erdkabel) gilt dagegen als vergleichsweise kostenintensiver. Gegenwärtig werden in Pilotanwendungen Erfahrungen gesammelt, unter welchen Bedingungen Erdkabel dennoch die (gesamt-)wirtschaftlichere Alternative sein können.

Schwarz et al. (2011) haben unter Mitwirkung der vier in Brandenburg verantwortlichen Netzbetreiber den Ausbaubedarf für Brandenburg auf allen Netzebenen abgeschätzt. Als Basis diente eine Abschätzung des EE-Ausbaus bis 2020, der eine ähnliche Größenordnung wie im hier dargestellten Ausbau-Plus-Szenario aufweist. Die Studie kommt dabei zu folgenden Schlüssen:

1. Gegenüber den bisher bestehenden Netzausbaukonzepten der Netzbetreiber ist ein zusätzlicher Ausbaubedarf zu konstatieren.
2. Der notwendige Netzausbau im Umfang von 2,09 Mrd. Euro wird folgendermaßen dargestellt (Schwarz et al. 2011, S. 72):
  - a. Übertragungsnetze: 625 km neue Freileitungen sowie zusätzliche Ausbaumaßnahmen in Form von Umspannwerken, Schaltfeldern und Erhöhung der Transformatorleistung.
  - b. Verteilnetz: 1.068 km neue 110-kV-Freileitungen sowie Maßnahmen zur Erhöhung der Übertragungskapazität auf einer Länge von 530 km.
  - c. Investitionsbedarf auf Mittel- und Niederspannungsebene von 134 Mio. Euro.
  - d. Verteilung der Kosten: 52% 50Hertz, 38% E.ON edis, 8% envia, 2% WEMAG.

Schwarz et al. (2011) weisen darauf hin, dass das am 30.06.2011 verabschiedete Netzausbaubeschleunigungsgesetz einen Systemwechsel für die Netzplanung anstößt: So wird der als kostenintensiv geltenden Erdverkabelung ein Vorrang eingeräumt, sofern Naturschutzbelange dem nicht entgegenstehen und die Mehrkosten nicht das 2,75-fache der Kosten für Freileitungen übersteigen. Die Erfüllung des Kostenkriteriums wird in der Studie allerdings angezweifelt, sofern in die Kostenbetrachtung auch die hohen Folgeaufwendungen für die damit verbundene Umstellung der bisherigen Resonanzsternpunktterdung auf niederohmige Sternpunktterdung berücksichtigt werden. Trotzdem muss man feststellen, dass die oben dargestellten Kosten durch den Vorrang der Erdverkabelung deutlich steigen könnten. Auf der anderen Seite ist bei der Erdverkabelung mit deutliche weniger Widerstand in der Bevölkerung zu rechnen, was wesentlich zu Beschleunigung des Ausbaus beitragen könnte.

Der notwendige Netzausbau kann jedoch durch verschiedene Maßnahmen wiederum in Grenzen gehalten und die Versorgungssicherheit zusätzlich erhöht werden:

- Energiespeicher
- Lastmanagement z. B. im Rahmen von „smart grids“ mittels lastvariabler Tarife
- Einbeziehung von Industriekraftwerken in das Netzmanagement
- Power-to-Gas-Konzepte (enthält eine Energiespeicherung)
- „Kombi-Kraftwerke“, „Hybrid-Kraftwerkskonzepte“ etc. (enthalten teilw. eine Energiespeicherung)

Für jede dieser Maßnahmen gibt es unterschiedliche Konzepte und Ansätze. Da sich viele noch in der Entwicklung/ Erprobung oder im Demonstrationsmaßstab befinden, empfiehlt es sich, einige möglichst vielversprechende und auf die Rahmenbedingungen abgestimmte Konzepte parallel zu verfolgen, zumal sich diese auch gut ergänzen können. Einige dieser Maßnahmen werden in den folgenden Abschnitten etwas ausführlicher dargestellt.

### 3.4.7.2 Power-to-Gas

Power-to-Gas-Konzepte sind relativ neu und befinden sich derzeit mit unterschiedlichen Ansätzen in der Entwicklung. Überschüssiger EE-Strom soll dabei zur Erzeugung von Wasserstoff oder Methan verwendet werden. Diese Gase lassen sich dann in unterschiedlicher Form speichern und zu einem späteren Zeitpunkt im Bedarfsfall zur Gewinnung von Strom, Wärme oder Antriebsleistung (bspw. im Verkehr) nutzen. **Methan** kann ab einem gewissen Reinheitsgrad aus unterschiedlichen Herstellungsprozessen (z.B. als Biomethan oder synthetisches Gas) in vorhandene Gasnetze eingespeist werden, welche ein enormes Speicherpotenzial bereitstellen. Darüber hinaus gibt es in Deutschland große unterirdische Gas-Speicher, deren Bestand zudem noch Erweiterungspotenzial besitzt (s. Tab. 3.19). Wie groß das entsprechende Potenzial in Brandenburg ausfällt, ist nicht genau bekannt; als Schwerpunktregionen werden im o.g. Bericht allerdings Schleswig-Holstein, Niedersachsen sowie Teile von Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen-Anhalt genannt (UBA 2010).

**Tab. 3.19: Erschließbare unterirdische Speicherräume in Deutschland im Jahr 2050**

Quelle: UBA (2010)

	Kavernenspeicher Mio. m <sup>3</sup> (V <sub>n</sub> )	Porenspeicher* Mio. m <sup>3</sup> (V <sub>n</sub> )	Summe Mio. m <sup>3</sup> (V <sub>n</sub> )	Summe TWh <sub>th</sub>
<b>Wasserstoff</b>	36.800	0	36.800	110,4*
<b>eE-Methan</b>	36.800	13.600	51.400	514,0**

\* Heizwert Wasserstoff (bei Normaldruck) = 3 kWh/m<sup>3</sup>, \*\* Heizwert Methan (bei Normaldruck) = 10 kWh/m<sup>3</sup>

Die Erzeugung von **Wasserstoff** ist weniger energieintensiv als die von Methan, der elektrische Wirkungsgrad ist hierbei um etwa 5–12 % höher (s. Tab. 3.20). Allerdings kann Wasserstoff dem Erdgasnetz nicht in beliebiger Menge beigemischt werden. Es beeinflusst einige Materialien negativ (Korrosion), erhöht den Zündbereich und senkt den Brennwert des Gemisches. Nach dem

DV GW Regelwerk G 260 ist die Beimischung auf 5-Vol % begrenzt und nach Untersuchungen der DV GW teilweise bis etwa 10-Vol% realisierbar, was aber bereits Modifikationen in der Gasinfrastruktur erforderlich machen kann (Sternier et al. 2011). Andererseits wurde bspw. in West-Berlin noch bis in die 90er Jahre Stadtgas mit einem H<sub>2</sub>-Anteil von etwa 51 % verwendet. Höhere H<sub>2</sub>-Anteile im Gasnetz sind also durchaus denkbar, erfordern aber eventuell umfangreichere Modifikationen bei Infrastruktur sowie Abrechnungs- und Endgeräten.

In Brandenburg laufen derzeit einige Pilot-Projekte zu Power-to-Gas-Verfahren, teilweise kombiniert mit dem Kombikraftwerk-Ansatz, bei dem unterschiedliche EE-Erzeuger (bspw. Wind, PV, Biomasse) in einem Verband betrieben werden, um nach außen hin eine höhere gesicherte Leistung abgeben zu können. Diese Aktivitäten sind zu begrüßen und sollten ausgeweitet werden, da es Brandenburg durch diesen Ansatz möglich wäre, den eigenen EE-Strom effizient und umfänglich selbst zu nutzen und eine hohe gesicherte Leistung bereitzustellen. Die nutzbare Energie aus Wind und PV würde sich zwar so praktisch halbieren, stünde dann aber zu gut 90 % als gesicherte Leistung bereit (im EE-OBK-Szenario wären es 2030 dagegen nur 10 %).

**Tab. 3.20: Wirkungsgrade für verschiedene Power-to-Gas-Verfahren**

Quelle: Sternier et al (2011)

Pfad	Wirkungsgrad [ %]	Randbedingungen
<b>Strom zu Gas</b>		
Strom → Wasserstoff	54-72	Bei Kompression auf 200 bar (Arbeitsdruck der meisten Gasspeicher)
Strom → Methan (SNG)	49-64	
Strom → Wasserstoff	57-73	Bei Kompression auf 80 bar (Einspeisung Fern/Transportleitung)
Strom → Methan (SNG)	50-64	
Strom → Wasserstoff	64-77	Ohne Kompression
Strom → Methan (SNG)	51-65	
<b>Strom zu Gas zu Strom</b>		
Strom → Wasserstoff → Strom	34-44	Bei Verstromung mit 60 % und Kompression auf 80 bar
Strom → Methan → Strom	30-38	
<b>Strom zu Gas zu KWK (Wärme und Strom)</b>		
Strom → Wasserstoff → KWK	48-62	Bei 40 % Strom und 45 % Wärme und Kompression auf 80 bar
Strom → Methan → KWK	43-54	

### 3.4.7.3 Energiespeicher

Neben dem zuvor dargestellten Power-to-Gas-Ansatz gibt es eine Vielzahl weiterer Möglichkeiten, Energie zu speichern. Elektrische Batteriesysteme gelten noch als vergleichsweise teuer. Am preiswertesten und am weitesten verbreitet sind in der Energiewirtschaft große Pumpspeicherwerke. Diese erfordern aber einen entsprechenden Höhenunterschied, der in Brandenburg weitestgehend nicht gegeben ist. Allerdings untersuchte Schulz (2009) die „Speicherpotenziale von Pumpspeicherwerken in Tagebaurestlöchern ehemaliger Braunkohlereviere“ für die Bundesländer Brandenburg, Sachsen und Sachsen-Anhalt. In diesem Gebiet existieren 68 Restseen mit einem Gesamtvolumen von 4.511 Mio. m<sup>3</sup>. Voraussetzungen für die Nutzung dieser Seen als Pumpspeicherwerke sind laut Schulz ein großes Speichervolumen, stabile geologische Bedingungen sowie die Möglichkeit eines Netzanschlusses von einigen GW Leistung. Geht man von einem Wirkungsgrad des Pumpspeicherwerks von 80 % und einer mittleren Fallhöhe von 80 m aus, so ergibt sich laut Schulz eine Speicherkapazität von etwa 174,4 MWh pro 1 Mio. m<sup>3</sup>.

Das theoretische Pumpspeicher-Potenzial des betrachteten Raumes liegt dementsprechend bei etwa 785 GWh. Allerdings schränkt der Autor ein, dass dies überwiegend nicht mehr erschließbar sei, da viele der Seen bereits geflutet sind. Unter der Annahme, dass etwa 10 % der Seen noch für eine Nutzung als Pumpspeicher zur Verfügung stehen, ergibt sich laut Schulz ein geschätztes erschließbares Potenzial von 78,5 GWh – also etwa doppelt so viel wie die derzeit in Deutschland zur Verfügung stehende Pumpspeicherkapazität von etwa 40 GWh. Geht man vereinfachend davon aus, dass rund ein Drittel dieser Kapazität auf Brandenburg entfallen, so entspräche dies etwa 26,2 GWh, wofür ein Volumen von rund 150 Mio. m<sup>3</sup> nötig wäre. Ob und inwieweit diese Kapazitäten tatsächlich erschlossen werden könnten, geht aus dem Gutachten von Schulz nicht hervor. Eine genauere Prüfung erscheint aber durchaus lohnenswert.

Darüber hinaus existierte noch eine Vielzahl anderer Speichermöglichkeiten, bspw. Druckluftkavernen, Schwungräder etc. Diese haben z. T. völlig unterschiedliche Anwendungsbereiche, was bspw. die Speicherbe- und -entladung angeht, sodass sie sich auch gut im Energiesystem ergänzen können.

## 3.5 Potenziale Verkehr/ Kraftstoffe

In Abschnitt 3.2 wurde ein unter Bedingungen an die Ernährungssicherheit erschließbares Biokraftstoffpotenzial dargestellt. Es wird davon ausgegangen, dass dieses Potenzial vollständig im Verkehrssektor als Substitut für fossile Kraftstoffe eingesetzt wird, da sich in diesem Bereich der Einsatz anderer erneuerbarer Energieträger deutlich schwieriger gestaltet (z. B. über Umwege durch den Einsatz von Strom in Elektrofahrzeugen). Damit ergeben sich ein Bioethanolpotenzial von 6,3 PJ, sowie ein Biodieselpotenzial von 1,4 PJ bei gleichzeitiger Deckung des Bedarfs an Nahrungs- und Futtermitteln. Hauptrohstoffe sind primär Getreide (z. B. Roggenkorn) für die Bioethanol- und Winterraps für die Biodieselproduktion.

Im von Prognos veröffentlichten Bericht „Grundlagen für die Fortschreibung der Energiestrategie Brandenburg“ (Seefeldt et al. 2007) wird von einem Erdgasverbrauch von 0,5 PJ im Jahr 2015 bzw. 1,1 PJ in 2020 im Verkehrsbereich ausgegangen. Unter der Annahme, dass sich diese Steigerung linear fortsetzte, würden im Jahr 2030 bereits 2,3 PJ Erdgas im Verkehr eingesetzt.

Im Gegensatz zu den deutlich intensiver betrachteten Sektoren Strom und Wärme werden im Kraftstoffbereich keine verschiedenen Szenarien ermittelt, da davon ausgegangen wird, dass die Ausschöpfung der Biokraftstoffpotenziale unter den gegebenen politischen Rahmenbedingungen (z. B. Richtlinie 2009/28 EG (Erneuerbare-Energien-Richtlinie) ohne weitere Fördermaßnahmen bereits bis zum Jahr 2020 erfolgen wird. Anschließend wird angesichts der gegenwärtigen Kontroversen um die Biokraftstoffnutzung eine konstante Biokraftstoffproduktion von weiterhin 7,76 PJ pro Jahr angenommen.

Dem Potenzial an erneuerbaren Kraftstoffen im Jahr 2030 werden jedoch zwei Energieverbrauchsvarianten gegenübergestellt:

- Für die Ermittlung der Variante „**Effizienz**“ siehe nachfolgendes Kapitel 4 (Gesamtschau).
- Für die Variante „**Effizienz plus**“ wurde - ausgehend vom in Strom, Wärme und Kraftstoffe aufgeteilten Endenergieverbrauchswert der Energiestrategie 2020 (zur Aufteilung s.o.) - für Brandenburg im Jahr 2010 (Landesregierung Brandenburg 2008a) eine weitaus stärkere Reduktion des Kraftstoffverbrauchs angenommen, der von Greenpeace in der Studie „Plan B“ vorgeschlagenen bundesweiten Energieverbrauchsverringerung entspricht. Hauptursache für die deutliche Kraftstoffreduktion ist der angenommene Rückgang des durchschnittlichen Kraftstoffbedarfs auf 2 Liter pro 100 km im Jahr 2035. Zusätzlich wird für das Jahr 2030 ein Anteil der Elektromobilität von 6 % am Endenergiebedarf des motorisierten Individualverkehrs angenommen (Barzantny et al. 2007), was den Kraftstoffbedarf weiter sinken, jedoch den Strombedarf demgegenüber ansteigen lässt.

Daraus ergeben sich ein Anteil von 10 % Biokraftstoffen am Kraftstoffverbrauch im Jahr 2030 in der Effizienz-Variante, sowie ein Anteil von 22 % in der Effizienz-plus-Variante.

## 4 Gesamtschau und Fazit EE-Potenziale

Im Folgenden werden der Ausbaustand des Jahres 2010 (Status Quo) sowie die ermittelten Potenziale gemäß der zwei Szenarien für das Jahr 2030 in aggregierter Form dargestellt. Zusätzlich zu den daraus ermittelten Energiemengen in PJ sind die Anteile einzelner Energieträger an der gesamten EE-Energieerzeugung, sowie dem Wärme-, Strom- und Kraftstoffverbrauch angegeben. Die entscheidende Bezugsgröße zur Ermittlung der EE-Anteile stellt der Energieverbrauch dar, über dessen Entwicklung es unterschiedliche Annahmen geben kann. Aus diesem Grund werden in dieser Studie zwei verschiedene **Energieverbrauchsvarianten** als Bezugsgrößen mit den folgenden Annahmen entwickelt:

- Die **Variante „Effizienz“** orientiert sich an den in der Energiestrategie 2020 des Landes Brandenburg (Landesregierung Brandenburg 2008a) für das Jahr 2020 angegebenen und für 2030 entsprechend dem bundesweiten Trend nach Prognos et al. (2010) fortgeschriebenen Endenergieverbrauchs im Zielszenario.  
Diese Verbräuche wurden anhand von Informationen von Prognos zum Wärme- und Verkehrsbereich (Seefeldt et al. 2007) sowie eines laut Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz 2007 (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2010d) leicht verminderten Strombedarfs für das Jahr 2010 in die **Sektoren Strom, Wärme und Kraftstoffe** aufgeteilt.  
Die weiteren Informationen zur Entwicklung des **Kraftstoffbedarfs** orientieren sich an Seefeldt et al. (2007) sowie dem Zielszenario der Energiestrategie 2020 (Landesregierung Brandenburg 2008a). Für das Jahr 2030 wurde im Kraftstoffbereich eine lineare Trendfortschreibung der Entwicklung von 2010 bis 2020 vorgenommen. Trotz des deutlich geringeren Endenergiebedarfs im Verkehr im Vergleich zum von Seefeldt et al. (2007) verwendeten Referenzszenarios werden die Anteile von Erdgas linear fortgeschrieben bzw. von Strom konstant gehalten.  
Der **Wärmeverbrauch** wird für das Jahr 2020 auf Basis des bundesweiten Ziels im Energiekonzept der Bundesregierung von 20 % Energieeinsparung beim Raumwärme- und Warmwasserbedarf fortgeschrieben. Für die Prozesswärme wird eine geringere Reduktion von 10 % in diesem Zeitraum angenommen. Von 2020 bis 2030 wird von einer um die Hälfte verringerten Reduktion, also von 10 % im Raumwärme- und Warmwasserbereich, sowie 5 % in der Prozesswärme ausgegangen, da aufgrund der ehrgeizigen Ziele bis 2020 damit gerechnet wird, dass ein großer Teil der leicht zu erschließenden Effizienzpotenziale („low hanging fruits“) bereits bis 2020 ausgeschöpft sein wird.<sup>25</sup>  
Der **Stromverbrauch** für die Jahre 2020 und 2030 ergibt sich als Differenz zwischen dem gesamten Endenergieverbrauch und den Verbrauchswerten von Wärme und Kraftstoffen. Da Wärmepumpen zur Energieerzeugung einen nicht unbeträchtlichen Stromverbrauch aufweisen, wurde dieser abgeschätzt und zum Gesamtstromverbrauch addiert.
- Für die **Variante „Effizienz plus“** wurde ausgehend vom in Strom, Wärme und Kraftstoffe aufgeteilten Endenergieverbrauchswert der Energiestrategie 2020 für Brandenburg (Landesregierung Brandenburg 2008a) eine weitaus stärkere Reduktion des Strom-, Wärme und Kraftstoffverbrauchs entsprechend der von Greenpeace in „Plan B“ (Barzantny et al. 2007) vorgeschlagenen bundesweiten Energieverbrauchsverringerung angenommen.  
Auch in der Variante „Effizienz plus“ wurde der Stromverbrauch der berechneten Wärmepumpenpotenziale auf den Strombedarf aufgeschlagen.

<sup>25</sup> Damit wird bis 2030 das Effizienzpotenzial bei der Prozesswärme, das nach dena (2011) bei 15 % liegt, weitgehend erschlossen.

Die Energieverbrauchswerte der zwei Varianten sind in Tab. 4.1 verzeichnet.

**Tab. 4.1: Endenergieverbrauch in den Varianten „Effizienz“ und „Effizienz plus“ in PJ**

Quelle: Eigene Berechnungen gemäß oben genannter Annahmen und Quellen

	2010	2015	2020	2030
<b>Variante Effizienz</b>				
<i>Strom</i>	54	54	53	54
<i>Wärme</i>	156	143	131	120
<i>Kraftstoffe</i>	88	94	85	78
<b>Variante Effizienz plus</b>				
<i>Strom</i>	54	53	50	50
<i>Wärme</i>	156	141	126	104
<i>Kraftstoffe</i>	88	71	54	36

Tab. 4.2 und Tab. 4.3 zeigen die Energieerzeugung in PJ, Anteile an der gesamten EE-Strom-, Wärme- und Kraftstoff**erzeugung** sowie Anteile am Strom-, Wärme- und Kraftstoff**verbrauch** für die Jahre 2010 und 2030 in den unterschiedlichen Szenarien.

Es zeigt sich, dass der Stromverbrauch 2030 durch die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien zu 198 % (Szenario EE-50BK, Variante Effizienz) bis 270 % (Szenario EE-0BK, Variante Effizienz plus) gedeckt werden kann, Brandenburg könnte auch bei vollständiger Eigenversorgung signifikante Strommengen exportieren. Im Wärmebereich können jedoch lediglich 38 % bis 47 % des Verbrauchs 2030 durch erneuerbare Energien gedeckt werden, im Kraftstoffbereich sogar nur 10 % bis 22 %.

**Tab. 4.2: Energieerzeugung erneuerbarer Energien und Anteile am Energieverbrauch gemäß Szenario EE-50BK**

Quelle: Eigene Berechnungen

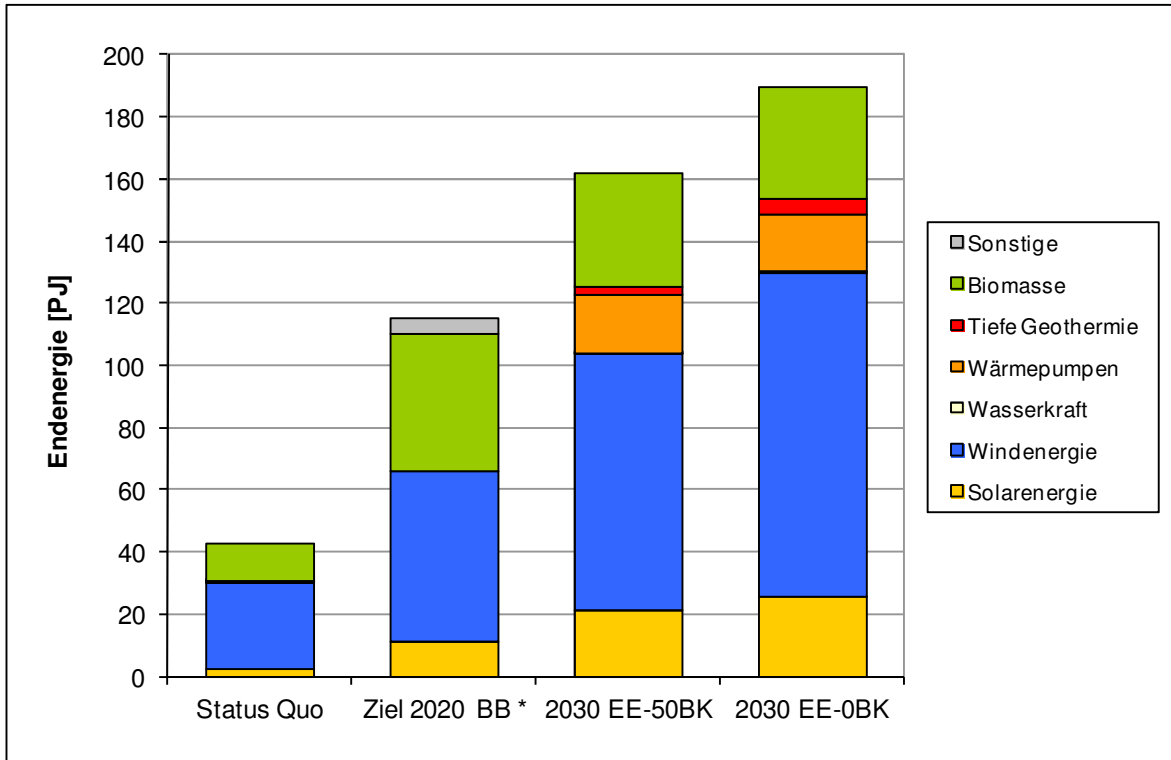
<b>Szenario EE-50BK</b>	<b>2010</b>	<b>2010</b>	<b>2010</b>	<b>2030</b>	<b>2030</b>	<b>2030</b>	<b>2030</b>
	PJ	Anteil am Gesamt- wert Strom/ Wärme/ Kraftstoffe	Anteil an Strom-/ Wärme-/ Kraftstoff- verbrauch	PJ	Anteil am Gesamt- wert Strom/Wär- me/Kraftst- offe	Anteil an Strom-/ Wärme-/ Kraftstoff- verbrauch Variante Effizienz	Anteil an Strom-/ Wärme-/ Kraftstoff- verbrauch Variante Effizienz plus
<b>Strom gesamt</b>	<b>38,2</b>	<b>100 %</b>	<b>71 %</b>	<b>107,7</b>	<b>100 %</b>	<b>198 %</b>	<b>214 %</b>
Solarenergie	2,0	5 %	4 %	15,7	15 %	29 %	31 %
Windenergie	27,4	72 %	51 %	82,8	77 %	152 %	165 %
Wasserkraft	0,1	0 %	0 %	0,2	0 %	0 %	0 %
Bioenergie	8,7	23 %	16 %	9,0	8 %	16 %	18 %
Tiefe Geo- thermie	0,0	0 %	0 %	0,0	0 %	0 %	0 %
<b>Wärme ge- samt</b>	<b>13,0</b>	<b>100 %</b>	<b>8 %</b>	<b>46,2</b>	<b>100 %</b>	<b>38 %</b>	<b>44 %</b>
Solarenergie	0,4	3 %	0 %	5,3	11 %	4 %	5 %
Bioenergie	11,9	91 %	8 %	19,5	42 %	16 %	19 %
Geothermie/ Wärmepumpen	0,7	5 %	0 %	18,6	40 %	15 %	18 %
Tiefe Geo- thermie	0,1	0 %	0 %	2,8	6 %	2 %	3 %
<b>Kraftstoffe</b>	<b>6,0</b>	<b>100 %</b>	<b>7 %</b>	<b>7,8</b>	<b>100 %</b>	<b>10 %</b>	<b>22 %</b>
Biokraftstoffe	6,0	100 %	7 %	7,8	100 %	10 %	22 %
<b>EE Gesamt</b>	<b>57,2</b>		<b>19 %</b>	<b>161,6</b>		<b>64 %</b>	<b>85 %</b>

**Tab. 4.3: Energieerzeugung erneuerbarer Energien und Anteile am Energieverbrauch gemäß Szenario EE-0BK**

Quelle: Eigene Berechnungen

Szenario EE-0BK	2010	2010	2010	2030	2030	2030	2030
	PJ	Anteil am Gesamt- wert Strom/ Wärme/ Kraftstoffe	Anteil an Strom-/ Wärme-/ Kraftstoff- verbrauch 2010	PJ	Anteil am Gesamt- wert Strom/ Wärme/ Kraftstoffe	Anteil an Strom-/ Wärme-/ Kraftstoff- verbrauch Variante Effizienz	Anteil an Strom-/ Wärme-/ Kraftstoff- verbrauch Variante Effizienz plus
<b>Strom gesamt</b>	<b>38,2</b>	<b>100 %</b>	<b>71 %</b>	<b>135,7</b>	<b>100 %</b>	<b>250 %</b>	<b>270 %</b>
Solarenergie	2,0	5 %	4 %	19,8	15 %	36 %	39 %
Windenergie	27,4	72 %	51 %	104,2	77 %	192 %	207 %
Wasserkraft	0,1	0 %	0 %	0,3	0 %	1 %	1 %
Bioenergie	8,7	23 %	16 %	9,0	7 %	16 %	18 %
Tiefe Geothermie	0,0	0 %	0 %	2,4	2 %	5 %	5 %
<b>Wärme gesamt</b>	<b>13,0</b>	<b>100 %</b>	<b>8 %</b>	<b>48,7</b>	<b>100 %</b>	<b>41 %</b>	<b>47 %</b>
Solarenergie	0,4	3 %	0 %	5,9	12 %	5 %	6 %
Bioenergie	11,9	91 %	8 %	19,5	40 %	16 %	19 %
Geothermie/ Wärmepumpen	0,7	5 %	0 %	18,6	38 %	15 %	18 %
Tiefe Geothermie	0,1	0 %	0 %	4,8	10 %	4 %	5 %
<b>Kraftstoffe</b>	<b>6,0</b>	<b>100 %</b>	<b>7 %</b>	<b>7,8</b>	<b>100 %</b>	<b>10 %</b>	<b>22 %</b>
Biokraftstoffe	6,0	100 %	7 %	7,8	100 %	10 %	22 %
<b>EE gesamt</b>	<b>57,2</b>		<b>19 %</b>	<b>192,2</b>		<b>76 %</b>	<b>101 %</b>

In Abb. 4.1 ist die Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien für den Status Quo sowie die Szenarien EE-50BK und EE-0-BK dargestellt. Um den Vergleich mit dem Energieszenario des Landes Brandenburg zu ermöglichen, wurde die von der Landesregierung anvisierte EE-Energieerzeugung ebenfalls verzeichnet. Es zeigt sich, dass auch gegenüber dem Zielszenario der Landesregierung noch weitere EE-Potenziale bis zum Jahr 2030 erschließbar sind.



**Abb. 4.1 Energieerzeugung durch erneuerbare Energien in 2010, gemäß „Energieszenario 2020“ (Zielszenario) sowie in den Szenarien EE-50BK und EE-0BK**

\* Da die EE-Ziele im Energieszenario 2020 für Brandenburg als Primärenergie ausgewiesen werden, wurde die Primärenergieerzeugung durch Biomasse unter der Annahme eines durchschnittlichen Wirkungsgrades von 90 % in Endenergieerzeugung umgerechnet. Im Falle der anderen EE-Energieträger entspricht die Primärenergieerzeugung der Endenergieerzeugung.

Abb. 4.2 und Abb. 4.3 zeigen die Anteile erneuerbarer Energien in den Bereichen Strom, Wärme und Kraftstoffe an den Endenergieverbräuchen der Varianten Effizienz und Effizienz plus. Wie bereits in Tab. 4.2 und Tab. 4.3 ersichtlich, **liegt die Stärke Brandenburgs in der Stromerzeugung, vor allem aus Windkraft**. Die Stromerzeugung deckt den Strombedarf im Jahr 2030 zu bis zu **270 %**. Mit den vorhandenen Überschüssen könnte bspw. der EE-Anteil im Verkehr (durch Elektromobilität oder Power-to-Gas-Ansätze) oder im Wärmebereich (bspw. durch Wärmepumpen) erhöht werden.

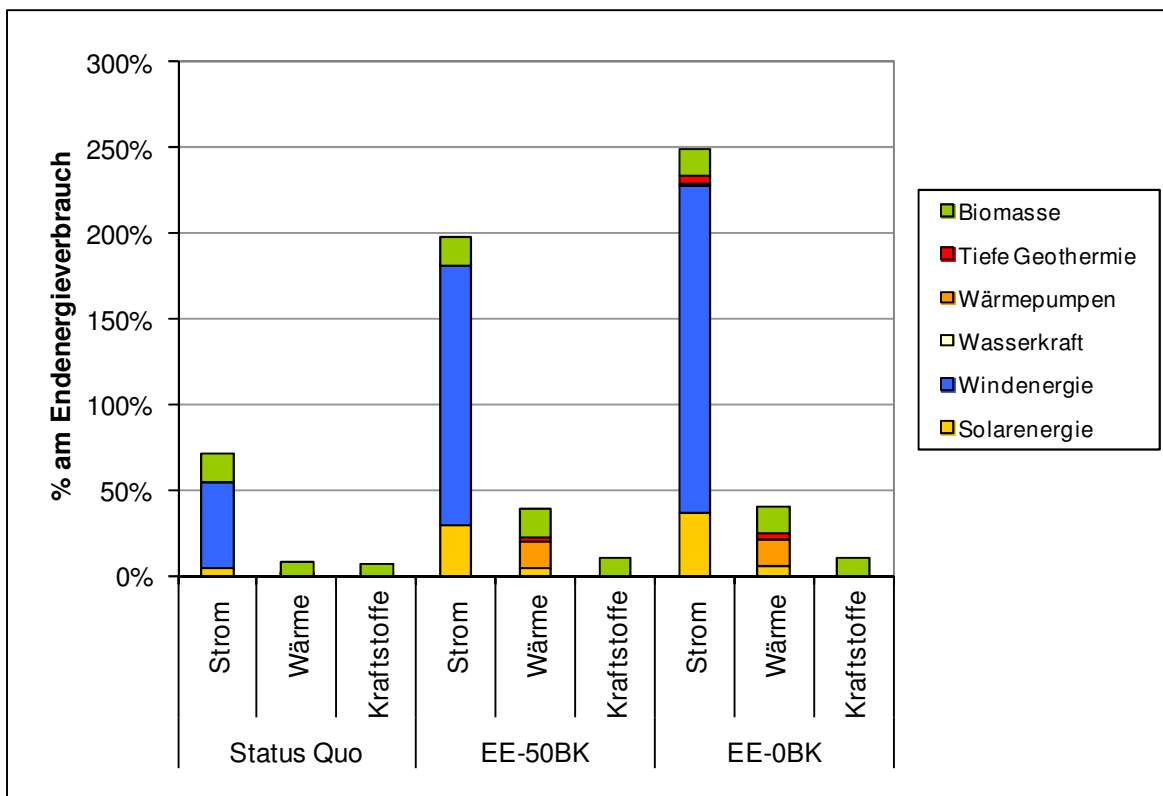


Abb. 4.2 Anteile erneuerbarer Energien in 2010 am Energieverbrauch, im Szenario EE-50BK und EE-0BK jeweils bezogen auf die Energieverbrauchsvariante „Effizienz“

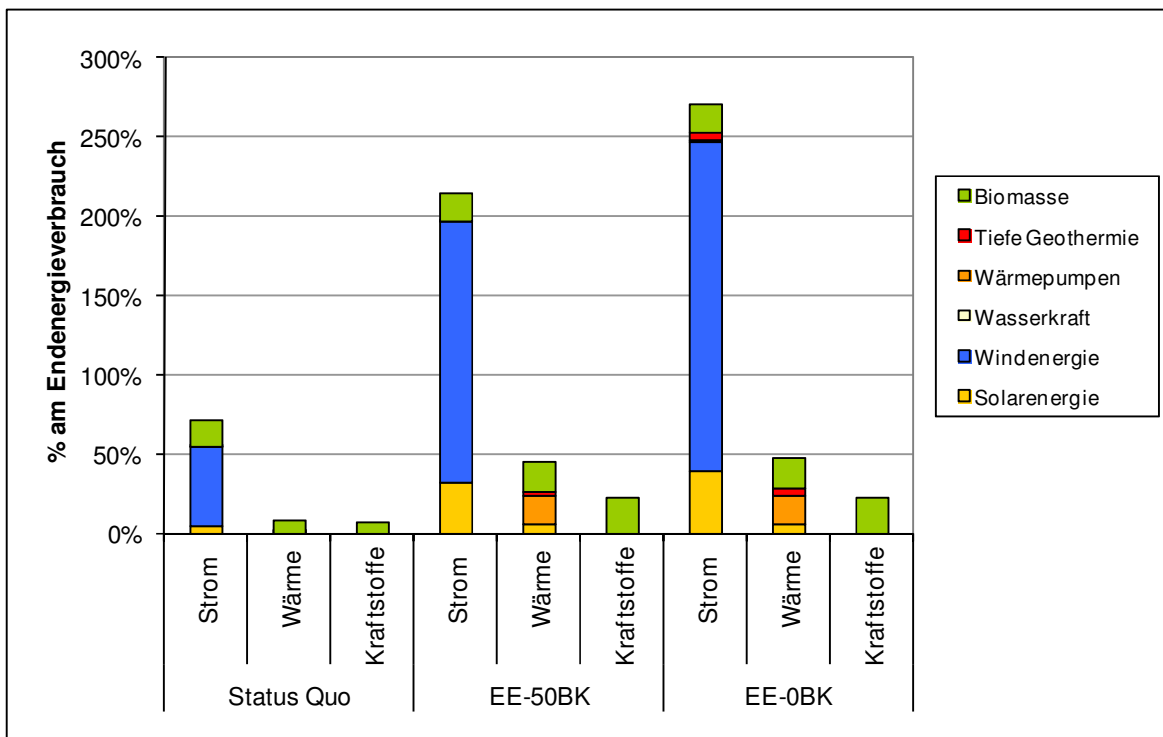


Abb. 4.3 Anteile erneuerbarer Energien in 2010 am Energieverbrauch, im Szenario EE-50BK und EE-0BK jeweils bezogen auf die Energieverbrauchsvariante „Effizienz plus“

Im Bereich **Biomasse** wurden für diese Potenzialabschätzung lediglich **endogene Potenziale** aufgegriffen. Dadurch ergeben sich relativ geringe Biomassepotenziale, die unter dem von der Brandenburger Landesregierung anvisierten Biomassenutzungsziel im Jahr 2020 liegen. Diesem sehr konservativen Vorgehen liegt die Annahme zugrunde, dass **Biomasseimporte häufig mit sozial-ökologischen Risiken** (u. a. Abholzung von Primärwäldern, Verlust der Bodenfruchtbarkeit, Verlust der Artenvielfalt, schlechte Arbeitsbedingungen etc.) und Verlagerungseffekten (z. B. höherer Verbrauch von fossilen Energieträgern im exportierenden Land aufgrund von Biomasseexporten) einhergehen. Zudem lassen sich mögliche Importmengen für diesen Zeithorizont nicht hinreichend genau einschätzen. Tatsächlich handelt es sich beim Biomassemarkt mittlerweile jedoch um einen globalisierten Markt. Daher sollte beim Import von Biomasse **zwingend** auf die **Einhaltung von Nachhaltigkeitskriterien** geachtet werden. Dies könnte etwa durch Vereinbarungen zwischen der Brandenburger Landesregierung und wichtigen Biomasseabnehmern vorangetrieben werden.

Die Potenziale im **Verkehrs- bzw. Kraftstoffbereich** sind mit einem Anteil von 10 % bzw. 22 % am voraussichtlichen Kraftstoffbedarf 2030 relativ gering. Dies beruht primär auf der Annahme, dass auch im Verkehrssektor **lediglich endogene und mit Nahrungs- und Futtermittelsicherheit vereinbare Biokraftstoffpotenziale genutzt** werden. Jedoch ist auch hier mit einem Anteil von Importen von Biokraftstoffen bzw. Rohstoffen für deren Erzeugung zu rechnen. Neben dem Ersatz von fossilen Kraftstoffen durch Biokraftstoffe kommen jedoch noch andere alternative Antriebsformen im Verkehrssektor in Frage: Die hohen Überschüsse an EE-Strom könnten u. a. in **Elektrofahrzeugen** eingesetzt und so auch gespeichert werden. Allerdings ist im Flächenland Brandenburg mit Ausbauehemnissen aufgrund der relativ geringen Reichweite von Elektrofahrzeugen sowie eines hohen Aufwands für eine flächendeckende Infrastruktur zu rechnen. Daher wurde bei der Abschätzung des Energieverbrauchs in der Variante Effizienz von einem relativ geringen Stromverbrauch in Höhe von 2 PJ im Verkehrssektor ausgegangen (Seefeldt et al. 2007). Durch gezielte Fördermaßnahmen (v. a. im Bereich der Infrastruktur) könnte der Anteil der Elektromobilität bis zum Jahr 2030 jedoch vermutlich deutlich erhöht werden. Daneben könnte jedoch auch **gasbetriebenen Fahrzeugen** in Zukunft eine bedeutendere Rolle zukommen. Diese könnten bei Einsatz von Biogas und Windgas (Power-to-Gas) deutlich zur Verringerung der Kohlenstoffdioxidemissionen im Verkehrssektor beitragen.

Hinsichtlich der zukünftigen **Fernwärmennachfrage** wird von einem **Rückgang entsprechend der insgesamt rückläufigen Wärmennachfrage** ausgegangen, auch vor dem Hintergrund, dass die Fernwärmebereitstellung bereits heute in Brandenburg häufig nicht mit den Kosten von dezentralen Energieversorgungssystemen konkurrieren kann. Insbesondere für die aus Braunkohle erzeugte Fernwärme besteht zukünftig zudem eine hohe Kostenunsicherheit aufgrund der Kostenbelastung durch Klimaschutzanforderungen (z.B. CO<sub>2</sub>-Zertifikate). Hinzu kommen steigende anteilige Netzkosten bei sinkender Nachfrage. Ausgehend von einem Rückgang der auf der Basis von Braunkohle erzeugten Fernwärme um 100 % zeigt das Szenario EE-0BK, dass **erneuerbare Energien sowie der sinkende Wärmebedarf diese bis 2030 weitgehend ersetzen** könnten.

Dagegen reichen bei einem Fortbestand von der Hälfte der heutigen Braunkohle-Fernwärme, so wie im Szenario EE-50BK angenommen, die bereits heute bestehenden EE-Anlagen und auch der bis 2020 durch die Landesregierung im Referenzszenario anvisierte Ausbau der erneuerbaren Energien zur Bereitstellung der notwendigen Fernwärme aus – zumindest wenn kein weiterer Netzausbau erfolgt. Damit entfällt in diesem Szenario der Anreiz für einen weiteren EE-Ausbau im Fernwärmebereich, der **verbleibende Braunkohle-Anteil bremst ein weiteres Wachstum der erneuerbaren Energien in diesem Segment somit aus**.

Der größte Teil der **Wärmeversorgung** erfolgt jedoch bisher und wohl auch zukünftig nicht über die Fernwärmenetze sondern **dezentral in den Gebäuden und Betrieben**. Hier zeigt sich, dass zur EE-Raumwärmebereitstellung **bereits heute wirtschaftliche und konkurrenzfähige Möglichkeiten** existieren und in Zukunft noch zunehmen werden. Deshalb wird hier mit einem deutlichen Anstieg der EE-Heizungen gerechnet. Dennoch kann der EE-Anteil bei der Wärme nicht so stark ansteigen wie im Strombereich, da hier ein Zubau in der Regel nur beim Austausch von bestehenden Heizungssystemen erfolgen kann. Deshalb ist auch das **Wachstum bis 2030 nicht abgeschlossen**, sondern es kann angenommen werden, dass auch in nachfolgenden Austauschzyklen der EE-Anteil weiter ansteigt.

In Brandenburg bieten sich als **dezentrale Wärmesysteme insbesondere Wärmepumpen und Solarthermie** an, da das endogene Biomassepotenzial bei weitem nicht ausreicht allein den Wärmebedarf der in den nächsten Jahrzehnten zu erwarten ist bereit zu stellen. Wärmepumpen eignen sich als Heizungssysteme insbesondere auch deshalb, da angesichts der hohen EE-Stromerzeugung ein Betrieb mit dem EE-Stromüberschuss möglich ist und es sich somit um eine besonders klimafreundliche Wärmebereitstellung handelt. Zudem könnten Wärmepumpen in Kombination mit einem Wärmespeicher auch als Puffer im Energiesystem fungieren, indem sie unabhängig vom momentanen Wärmebedarf den Speicher beladen, wenn witterungsbedingt viel Strom zur Verfügung steht.

Betrachtet man den **Strombereich** isoliert, so **kann bis 2030 ein EE-Anteil von 52–80 % an der Stromerzeugung realisiert werden** (vgl. Abb. 3.3, S. 76). Der Ausstieg aus der Braunkohleverstromung erscheint somit möglich, ohne das Brandenburg seine Rolle als **Stromexporteur** aufgeben müsste. Allerdings können beide der hier dargestellten Szenarien **nicht ohne weitere massive Anstrengungen zum Ausbau der erneuerbaren Energien** erreicht werden können. Grundvoraussetzung ist vor allem die **Ausweisung entsprechender Eignungs- oder Vorranggebiete** insbesondere für die Windkraft. Aber auch für die Nutzung der Photovoltaik sollten systematisch zusätzliche attraktive Flächen zugänglich gemacht werden. Gleichzeitig muss die entsprechende (Netz)-Infrastruktur weiter ausgebaut werden.

Sowohl der weitere Ausbau der erneuerbaren Energien als auch der Netzinfrastuktur ist von der **Akzeptanz** der Bürgerinnen und Bürger vor Ort abhängig. So halten in Brandenburg 70 % und in Berlin 82 % den weiteren Ausbau erneuerbarer Energien zwar für außerordentlich wichtig oder sehr wichtig, Windkraftanlagen in der Nachbarschaft fänden jedoch nur 44 % (sehr) gut; in Berlin sind es 51 % (forsa 2010). Sogar nur jeweils 39 % der in der forsa-Erhebung befragten Bewohnerinnen und Bewohner Berlin-Brandenburgs stehen dem Bau von Biomasseanlagen in der Nachbarschaft positiv gegenüber. Deutlich besser ist die Akzeptanz von Solarparks (75 %). Dennoch ist die Akzeptanz für erneuerbare Energien in der Nachbarschaft deutlich höher als für Kohle- oder Atomkraftwerke, deren Bau in der Nachbarschaft jeweils deutlich weniger als ein Zehntel der Bevölkerung begrüßen würde (forsa 2010). Akzeptanz spielt auch eine wichtige Rolle für den Ausbau der Netze: Hier kann die Akzeptanz durch die Verlegung von Erdkabeln deutlich verbessert werden. Außerdem ist die Gestaltung der Strommasten ein Thema, das derzeit zur Akzeptanzschaffung diskutiert wird. EE- und Netzausbau könnten darüber hinaus gezielt entlang bereits vorhande-

ner Infrastruktur (bspw. Autobahnen oder Bahntrassen) vorgenommen werden, wo die Akzeptanzproblematik deutlich geringer sein dürfte.<sup>26</sup>

Ein weiterer wichtiger Aspekt zur Akzeptanzschaffung ist dann gegeben, wenn sowohl für den Netzausbau als auch für den Ausbau der Erneuerbaren Energien die **regionale Wertschöpfung und ökonomische Teilhabe** erhöht wird sowie zudem der weitere regionalwirtschaftliche Nutzen für die jeweilige Region dargestellt wird. So profitieren beispielsweise Gemeinden durch Ausgleichsbeiträge für den Netzausbau (Netzausbaubeschleunigungsgesetz) sowie von Gewerbesteuern für Windparks. Zum anderen kann die regionale Wertschöpfung gezielt erhöht werden, indem lokale Akteure die EE-Anlagen betreiben (z. B. Bürgerwind- oder -solarparks) sowie planen, bauen, warten etc. (Hirschl et al. 2010). Die regionalen Wertschöpfungseffekte der hier dargestellten Szenarien werden daher im zweiten Teil dieser Studie ausführlich dargestellt (Fertigstellung Ende 2011).

Durch den hohen EE-Anteil bei der Stromproduktion würde im Szenario EE-0BK die **gesicherte Leistung** von heute 53 % auf nur noch 12 % der installierten Leistung abnehmen. **Für die Sicherung der Energiebereitstellung der Region Berlin-Brandenburg** wäre dies zwar **noch ausreichend**, nicht aber für die Absicherung des darüber hinaus gehenden Strom-Exports. Die Erprobung und der Ausbau unterschiedlicher **Konzepte zur Speicherung und Absicherung der Energieversorgung** sollten daher in den nächsten Jahren mit **hoher Priorität** weiterverfolgt werden. Aufgrund der hohen Flexibilität scheinen insbesondere die unterschiedlichen Power-to-Gas-Konzepte ein großes Potenzial zu bieten. Aber auch weitere innovative Ansätze wie Kombi-Kraftwerke, Lastmanagement oder die Möglichkeit von Pumpspeichern in Braunkohletagebau-Seen sollten in Brandenburg weiter verfolgt werden. Darüber hinaus muss sicher auch der **Netzausbau – soweit notwendig** - weiter voran getrieben werden, um die künftig große Mengen des fluktuierenden Wind- und PV-Stroms aufnehmen und überregional austauschen zu können. Dies muss allerdings unter Berücksichtigung und Ausschöpfung der oben genannten, den Ausbau mindernden Maßnahmen erfolgen.

Zudem zeigt sich gegenwärtig, dass die Addition aller EE-Ausbauziele der Bundesländer die Zielwerte auf nationaler Ebene deutlich überschreiten (Kohler 2011). Daraus folgt, dass nicht nur eine Anpassung nationaler Ausbauziele erfolgen muss, sondern auch eine überregional abgestimmte Energiesystemoptimierung, welche die regionalen Potenziale und Planungen berücksichtigt. Wie im Bericht der Ethik-Kommission „Sichere Energieversorgung“ (2011) deutlich hervorgehoben handelt es sich somit um eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe. Brandenburg kann und sollte dabei eine treibende und innovative Kraft in diesem Prozess sein.

---

<sup>26</sup> Weitere Maßnahmen zur Steigerung der Akzeptanz bei der Windkraft bspw. durch verschiedene Formen der Einbeziehung der Bürgerinnen und Bürger stellt bspw. der Deutsche Städte- und Gemeindebund in seiner Dokumentation Nr. 94 „Repowering von Windenergieanlagen“ dar (DStGB 2009).

## Teil 2: Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte erneuerbarer Energien

### 5 Einführung zur Berechnung der Wertschöpfungseffekte

Basierend auf dem Status quo und den im Teil 1 identifizierten erschließbaren Potenzialen erneuerbarer Energien werden im Teil 2 der vorliegenden Studie deren Auswirkung auf die Wertschöpfung und die Beschäftigung in Brandenburg ermittelt. Die Grundlage für die Bestimmung der Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte bildet die Studie „Kommunale Wertschöpfung durch Erneuerbare Energien“ des Instituts für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) in Kooperation mit dem Zentrum für Erneuerbare Energien (ZEE) der Universität Freiburg, die im September 2010 veröffentlicht wurde (IÖW 2010). Darin wurde erstmals umfassend und detailliert die auf kommunaler Ebene generierte Wertschöpfung erneuerbarer Energien auf der Basis eines entwickelten Modells für das Jahr 2009 quantifiziert, und zum anderen die Entwicklung der kommunalen Wertschöpfung bis 2020 für ausgewählte kommunalökonomische Indikatoren aufgezeigt. Die Wertschöpfungsindikatoren wurden in €/kW für 16 verschiedene EE-Technologien berechnet. Die Ergebnisse konnten für jede Technologie getrennt nach den Wertschöpfungsstufen (Anlagen-) Produktion, Installation, technische Betriebsführung und Betreibergesellschaft ausgewiesen werden.

Im Rahmen dieser Studie wird die kommunale Wertschöpfung<sup>27</sup> als die Summe der folgenden Bestandteile definiert:

- den erzielten Gewinnen (nach Steuern) von Unternehmen,
- den Nettoeinkommen der Beschäftigten und
- den auf Basis der betrachteten Wertschöpfungsschritte gezahlten Steuern an die Kommune und das Land.

Für die **Bestimmung der Wertschöpfungseffekte auf der Ebene eines Bundeslandes** ist die Einbeziehung weiterer steuerlicher Effekte erforderlich. Dies betrifft vor allem die Gemeinschaftssteuern (Körperschaftsteuer, Einkommensteuer, Umsatzsteuer etc.), die anteilig Bund, Ländern und Kommunen zustehen. Darüber hinaus ist die Betrachtung von einzelnen Steuerarten erforderlich, die ausschließlich einer Ebene zugutekommen, wie z. B. die Grunderwerbssteuer, die ausschließlich den Bundesländern zusteht. Weiterhin fließt dem Bundesland der nach spezifischen Landesvervielfältiger und Hebesätzen der Kommunen ein bestimmter Anteil an der Gewerbesteuerumlage zu. Basis der vorliegenden Studie zur Wertschöpfung erneuerbarer Energien in Bran-

<sup>27</sup>

Genau genommen handelt es sich um die Ermittlung der Wertschöpfung aus den direkt den Branchen der erneuerbaren Energien zurechenbaren Schritten der Wertschöpfungsketten. D.h., dass indirekte Effekte und Vorleistungen sowie Substitutionseffekte bzw. Kaufkraftverluste hier nicht betrachtet werden. Für die nationale Ebene kommt die Mehrzahl der Studien zu diesbezüglich positiven Effekten in Bezug auf die Beschäftigung. Alle drei Effekte lassen sich unterhalb der nationalen Ebene aufgrund fehlender Daten kaum bzw. nur mit äußerst hohem empirischem Aufwand abbilden. Die hier ermittelte Wertschöpfung ist jedoch für die kommunale und regionale Ebene ein wichtiger Entscheidungsfaktor, da häufig z.B. die Frage interessiert, welche direkte Wertschöpfung, unmittelbare steuerliche oder Beschäftigungswirkung ein konkretes EE-Projekt lokal oder regional bewirken kann.

denburg sind die in Tab. 5.1 dargestellten 15 EE-Technologien, die als besonders wichtig für die Wertschöpfung in Brandenburg angesehen werden. Eine sehr detaillierte Darstellung der genutzten Methodik findet sich in (IÖW 2010).

**Tab. 5.1: Untersuchte Wertschöpfungsketten der erneuerbaren Energien in Brandenburg**

Quelle: eigene Darstellung

1	<b>Windkraft</b>	Onshore/Repowering
2	<b>Photovoltaik</b>	Kleinanlagen Dach
3		Großanlagen Dach
4		Freiflächenanlagen
5	<b>Biogas</b>	Kleinanlagen
6		Großanlagen
7	<b>Biomasse</b>	Großanlagen (Strom und Wärme)
8		Kleinf Feuerungsanlagen Scheitholz
9		Kleinf Feuerungsanlagen Pellets
10		Kleinf Feuerungsanlagen Hackschnitzel
11	<b>Wasserkraft</b>	Kleinanlagen
12	<b>Solarthermie</b>	Kleinanlagen
13		Großanlagen
14	<b>Geothermie</b>	Wärmepumpen
15	<b>Biokraftstoffe</b>	Bioethanol und Biodiesel

Fehlende Technologien sind demzufolge:

- Wasserkraft groß (nicht relevant für den kommunalen Kontext, kaum standardisierbar)
- Tiefen-Geothermie
- Umwandlungsanlagen auf Basis von flüssigen Bioenergieträgern
- Abfallverbrennungsanlagen (keine EE im engeren Sinne)

Für diese Technologien kann daher keine Bewertung der Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte vorgenommen werden, weshalb das Ergebnis der hier ermittelten Wertschöpfung als konservativ angesehen werden kann.

Im Rahmen dieser Studie wird für alle der oben genannten 15 verschiedenen EE-Technologien die vollständige direkte Wertschöpfung entlang der gesamten Ketten ermittelt. Wir unterscheiden vier aggregierte **Wertschöpfungsstufen**, die je nach Technologiebereich und Anlagengröße zum Teil sehr unterschiedliche Wertschöpfungsschritte aufweisen:

- Produktion von Anlagen und Anlagenkomponenten
- Planung, Installation, (teilweise) Grundstückskauf etc. (sog. Investitionsnebenkosten)
- Betriebsführung (Wartung, Instandhaltung, teilweise Pacht etc.)
- Betreibergesellschaft (finanzielle Betriebsführung, Gewinnermittlung)

An den meisten Wertschöpfungsschritten sind Unternehmen beteiligt, die Gewinne generieren, Beschäftigung erzeugen und Steuern zahlen. Der Wertschöpfungsschritt Personalkosten und Pacht im Bereich der Kosten der Betriebsführung bildet eine Ausnahme. Bei Letzteren ist die Wertschöpfung auf die Gewinne und Steuern beschränkt, wobei die Beschäftigungseffekte nicht betrachtet werden. Dagegen sind beim Betriebspersonal ausschließlich die Beschäftigungseffekte hinsichtlich der Wertschöpfung relevant.

In Tab. 5.2 wird beispielhaft die Wertschöpfungskette der Photovoltaik aufgeführt, die für Brandenburg von besonderer Relevanz ist, da es eine Vielzahl von Modulherstellern und Bestandsanlagen gibt, die sowohl privatwirtschaftlich als auch gewerblich betrieben werden.

**Tab. 5.2: Wertschöpfungsstufen (allgemein) und Auswahl von Wertschöpfungsschritten einer PV-Anlage (Dach)**

Quelle: eigene Darstellung

<b>Wertschöpfungsstufen</b>	<b>Wertschöpfungsschritte am Beispiel Photovoltaik</b>
1.) Produktion von Anlagen und Komponenten	Module, Zellen/Absorbermaterial, Wafer, Metallische Rohstoffe, Wechselrichter, Installationsmaterial
2.) Planung, Installation etc.	Planung und Projektierung, Installation, Montage,
3.) Technische Betriebsführung	Wartung und Instandhaltung, Versicherung, Banken (Finanzierung durch Fremdkapital), Pachtzahlungen
4.) Betreibergesellschaft	Geschäftsführung, Betriebspersonal, Haftungsvergütung, Gewinn

## 6 Zentrale Annahmen und Eingangsdaten

Die Berechnung der Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte erfolgte auf Basis drei unterschiedlicher Inputdatensätze. Ausgangspunkt der Wertschöpfungsanalyse bilden die Umsätze der Akteure innerhalb der betrachteten Wertschöpfungsketten und –stufen, die mittels der Kostenstrukturen und Produktionsangaben der Hersteller bestimmt werden konnten. Die produktionsbezogenen Inputdaten wurden aus einer Marktanalyse und auf Basis spezifischer Wirtschaftskennzahlen für Brandenburg generiert. Dabei wurden für die Photovoltaik und Windenergiebranche die Umsätze der relevanten Akteure entlang der Wertschöpfungskette über die Produktionsangaben der Hersteller (in MW) und der dem IÖW-Tool zugrunde liegenden Kostenstrukturen bestimmt. Für die übrigen Technologien wurden die Umsätze auf Basis nationaler Produktionswerte auf der Grundlage des Zubaus der jeweiligen EE-Technologien in Deutschland unter Berücksichtigung von Im- und Exportquoten berechnet. Hier wurden die einzelnen **Komponenten der EE-Technologien verschiedenen Wirtschaftszweigen des verarbeitenden Gewerbes zugeordnet**. Bei Komponenten, die anteilig mehreren Sektoren zugehören, wurde der Mittelwert des jeweiligen Umsatzanteils der Wirtschaftszweige verwendet. Anschließend wurden mit Hilfe vergleichbarer Sektoren die Umsatzanteile brandenburgischer Unternehmen an den Umsätzen deutscher Unternehmen (inkl. Export) ermittelt und auf die nationalen Umsätze bezogen.

Bei der Analyse der betriebsbezogenen Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte sind die Bestandsdaten und der Zubau der 15 betrachteten EE-Technologien relevante Eingangsgrößen (s. Kap. 6.2)

### 6.1 Investitionskosten der EE-Technologien

Ausgangspunkt der Wertschöpfungsanalyse sind die Investitions- und Betriebskosten der einzelnen EE-Technologien, die zugleich den Umsatz der Wertschöpfungsstufen wiedergeben. Beispielsweise mindern die jährlichen Betriebsaufwendungen eines Windparkbetreibers den Gewinn, während Unternehmen, die diese Dienstleistungen generieren Umsätze erwirtschaften. Die Investition umfasst die Anlagenkomponenten und etwaige Investitionsnebenkosten, die je nach Technologie einen mehr oder weniger großen Anteil an der gesamten Investition haben.

Das Bezugsjahr für die Investitionskosten und die Kostenstruktur (siehe Tab. 6.1) der betrachteten EE-Technologien ist das Jahr 2010. Für die Jahre 2020 und 2030, die die durchschnittlichen Investitionskosten im Zeitraum von 2011 bis 2020 und 2021 bis 2030 repräsentieren, wurde nach (Prognos AG 2010) auf der Grundlage von Lernkurveneffekten eine Kostendegression zugrunde gelegt. Die angegebenen Investitionskosten sind daher inflationsbereinigt und stellen Realpreise auf der Grundlage des Jahres 2010 dar.

**Tab. 6.1: Spezifische Investitionskosten der EE-Technologien für die Jahre 2010, 2020 und 2030**

Quelle: eigene Berechnungen, Daten nach IÖW (2010), Prognos AG (2010)

EE-Technologien	2010	2020	2030
	€/kW	€/kW	€/kW
<b>Windenergie</b>			
Onshore (inkl. Repowering)	1.463	1.390	1.257
<b>Photovoltaik</b>			
Kleinanlagen Dach,	2.800	1.904	1.388
Großanlagen Dach	2.390	1.625	1.184
Freiflächenanlagen	2.080	1.414	1.031
<b>Geothermie</b>			
Wärmepumpen	1.439	1.392	1.334
<b>Wasserkraft</b>			
Kleinanlagen	7.400	7.604	7.974
<b>Biogas</b>			
Kleinanlagen	5.000	4.874	4.645
Großanlagen	3.800	3.699	3.515
<b>Biomasse</b>			
Kleinf Feuerungsanlagen Scheitholz	384	351	292
Kleinf Feuerungsanlagen Pellets	1.130	1.033	857
Kleinf Feuerungsanlagen Hackschnitzel,	644	622	582
Großanlagen (Heizkraftwerke)	3.925	3.776	3.505
<b>Solarthermie</b>	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>
Kleinanlagen	799	628	344
Großanlagen	517	406	222

## 6.2 Marktanalyse und Wirtschaftskennzahlen

Ziel der Marktanalyse war es herauszufinden, welche Unternehmen in Brandenburg im Bereich erneuerbarer Energien aktiv sind, bzw. welche Wertschöpfungsschritte den einzelnen Unternehmen zugeordnet werden können. Grundsätzlich kann nicht davon ausgegangen werden, dass alle Wert-

schöpfungsschritte in Brandenburg im Bereich der EE durchgeführt werden. Die Analyse der jeweiligen Märkte der betrachteten EE-Technologien schafft sowohl einen Überblick zur Einschätzung der gegenwärtigen Situation, als auch der zukünftigen Entwicklung. Hierzu wurden umfassende Befragungen von Branchenexperten und einer Vielzahl von Unternehmen durchgeführt und Produktionsdaten sowie Umsatz- und Beschäftigungszahlen erhoben, wovon ausgehend die Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte ermittelt werden konnten. Daneben wurden ergänzend Literaturangaben und die bestehende Internetpräsenz einzelner Unternehmen in Bezug auf die erforderlichen Daten ausgewertet. Aus Gründen der Vertraulichkeit werden die übermittelten Produktionswerte der Hersteller nicht aufgelistet, aber die entsprechenden Unternehmen, die in Brandenburg aktiv sind, tabellarisch aufgeführt.

Es wurde für alle Technologien abgeschätzt, welche Wertschöpfungsschritte in Brandenburg vorhanden sind. Wenn auf Basis der IÖW-Wertschöpfungsketten festgestellt wurde, dass einzelne Schritte nicht vorhanden sind, konnten die Prozesse entsprechend aus der Wertschöpfungsanalyse gestrichen werden, um eine Überschätzung der Effekte zu verhindern. Für die in Brandenburg besonders stark vertretenen Branchen der **Photovoltaik- und Windindustrie** wurde im Gegensatz zu den anderen EE-Technologien versucht, alle primären Marktakteure der Produktion von Anlagenkomponenten zu erfassen. Die Daten wurden vor allem im Bereich der Planung, Produktion und Installation von Windenergieanlagen und der Herstellung von PV-Modulen erhoben. Im Bereich der Anlagenproduktion wurden so z.B. für das Ausgangsjahr der Berechnungen – 2010 - Daten zur Produktion in MW erfragt und die Umsätze durch den Verkauf der Komponenten ermittelt. In wenigen Fällen konnten Informationen zu den Erwartungen der Produktionsentwicklung für die kommenden Jahre erhoben werden, die in den Hochrechnungen berücksichtigt wurden.

Für EE-Technologien, für die die Marktanalyse keine verwertbaren Daten im Bereich der Anlagenproduktion, Planung etc. erbrachte, wurden wie eingangs erwähnt Indikatoren zur Abschätzung der Beteiligung brandenburgischer Unternehmen am nationalen Umsatz (inkl. Export von EE-Anlagen und –Komponenten) herangezogen. Die Indikatoren wurden auf Basis der Anteile vergleichbarer Sektoren an den Umsätzen deutscher Unternehmen (inkl. Export) bestimmt. Diese Branchen wurden mit Hilfe der Klassifikation der Wirtschaftszweige der Ausgabe 2008 (WZ 2008) des Statistischen Bundesamtes durch die Nutzung einstelliger WZ-Gruppen gebildet (Statistisches Bundesamt 2008).<sup>28</sup> Die gewählten WZ-Gruppen wurden den entsprechenden Wertschöpfungsschritten der betrachteten EE-Technologien zugeordnet, wo die Marktanalyse keine Daten generierte. So kann z.B. die Herstellung eines BHKW für eine Biogasanlage der Herstellung von elektrischen Ausrüstungen (WZ08-27) zugeteilt werden. Die verwendeten Wirtschaftszweige sind in der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

---

<sup>28</sup> Die Indikatoren nach WZ-2008 spiegeln im Bereich von Beschäftigung und Umsatz den Anteil Brandenburger Unternehmen an bundesdeutschen Werten wieder und stellen demnach Quotienten dar.

**Tab. 6.2: Klassifikation genutzter Wirtschaftszweige**

Quellen: IÖW (2010), Statistisches Bundesamt (2010), Statistisches Bundesamt (2008)

Wirtschaftszweig	Abteilung
Forstwirtschaft und Holzeinschlag	WZ08-02
Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln	WZ08-10
Herstellung von chemischen Erzeugnissen	WZ08-20
Herstellung von Metallerzeugnissen	WZ08-25
Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen	WZ08-26
Herstellung von elektrischen Ausrüstungen	WZ08-27
Maschinenbau	WZ08-28
Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen	WZ08-33
Energieversorgung	WZ08-35
Sammlung, Behandlung und Beseitigung von Abfällen; Rückgewinnung	WZ08-38
Bauhauptgewerbe	WZ08- 41.2, 42.1, 42.2, 42.9, 43.1, 43.9
Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)	WZ08-46
Landverkehr und Transport in Rohrfernleitungen	WZ08-49
Versicherungen, Rückversicherungen und Pensionskassen (ohne Sozialversicherung)	WZ08-65

## 6.2.1 Wind

Die Fertigung von Windenergieanlagenkomponenten hat in Brandenburg einen entscheidenden Einfluss sowohl auf die Wertschöpfung als auch auf die Beschäftigung (BWE 2008). In Brandenburg fertigen gegenwärtig mehrere Unternehmen Komponenten für Windenergieanlagen (WEA). So produziert **Vestas Blades Deutschland GmbH** Rotorblätter in einem eigens errichteten Werk in Lauchhammer. Die **REpower Systems AG** ist ein weiterer großer Anlagenbauer für Naben und Gondeln mit einem Produktionsstandort in Trampe bei Eberswalde. In Eberswalde selbst gründete das Unternehmen zusätzlich einen Standort für Servicedienstleistungen für die nahe gelegenen Windparks. Des Weiteren sind drei Turmhersteller, nämlich der Chemie- und Tankanlagenbauer **REUHER GmbH** in Fürstenwalde, **SIAG Anlagenbau Finsterwalde GmbH** und **AMBAU Stahl- und Anlagenbau GmbH** in Mellensee angesiedelt. Das Zahnradwerk **Pritzwalk GmbH** fertigt u.a. Planetenträger für die Windindustrie. Das Unternehmen **Rothe Erde GmbH** fertigt als Zulieferer der Windindustrie u.a. montagefertige Großwälzlager.

Ebenso sind in Brandenburg Unternehmen angesiedelt, die Windkraftanlagen planen, errichten und warten. Die **Enertrag AG** in Nechlin bei Prenzlau ist ein Ingenieur- und Planungsbüro, welches WEA projiziert, betreibt und wartet. Weitere Vertreter sind u.a. die **WPD AG** mit einem Standort in Potsdam, wie auch die Firma **NOTUS energy Plan GmbH & Co. KG**. Die Firma **Energiequelle**

**GmbH** projiziert, plant und betreibt u.a. WEA am Standort Zossen. Eine weitere Auswahl an Unternehmen der Windenergie-Branche in Brandenburg ist in der nachfolgenden Tab. 6.3 aufgeführt.

**Tab. 6.3: Auswahl an Unternehmen der Windenergie-Branche in Brandenburg**

Quelle: eigene Recherche

Unternehmen	Sitz	Produkte/Dienstleistung
Vestas Blades Deutschland GmbH	Lauchhammer	Rotorblätter
REpower Systems AG	Trampe, Eberswalde	Naben und Gondeln
Chemie- und Tankanlagenbau REUTHER GmbH	Fürstenwalde	Türme
SIAG Anlagenbau Finsterwalde GmbH	Finsterwalde	Türme
AMBAU Stahl- und Anlagenbau GmbH	Am Mellensee	Turminneneinbauten
Zahnradwerk Pritzwalk GmbH	Pritzwalk	Getriebe/Planetenträger
Rothe Erde GmbH	Eberswalde	Großwälzlager
Enertrag AG	Dauerthal bei Prenzlau	Planung und Installation, Betrieb
WPD AG	Potsdam	Planung und Installation, Betrieb
NOTUS energy Plan GmbH & Co. KG	Potsdam	Planung und Installation
Energiequelle GmbH	Zossen	Planung und Installation, Betrieb
Renergiepartner GmbH	Eberswalde	Planung und Installation
ZOPF GmbH – Umweltgerechte Energieprojekte	Vehlow	Planung, Akquise, Betrieb, Instandhaltung
Windenergie Wenger-Rosenau GmbH	Neuruppin/ Nietwerder	Planung
Ingenieurbüro Reese GmbH & Co. KG	Potsdam	Planung und Installation, Betrieb
Schultze Group	Hoppegarten	u.a. Planung, Installation

Weiterhin ergab die Befragung und Datenerhebung der Akteure in der Windenergiebranche, dass die produzierten WEA-Komponenten nur zu sehr geringen Anteilen in Brandenburg selbst eingesetzt werden. Dabei liegen die auf dem brandenburgischen Windmarkt abgesetzten Anlagenkomponenten oftmals im einstelligen Prozentbereich der Gesamtproduktion der Unternehmen. Auch bei den Dienstleistungsunternehmen, welche zumeist die Planung und Betriebsführung von WEA anbieten, werden die entsprechenden Anlagen zu großen Teilen außerhalb von Brandenburg geplant und installiert.

## 6.2.2 Photovoltaik

Deutschland war im Jahr 2010 mit 9,7 % der weltweiten Zellproduktion hinter China und Taiwan drittgrößter Standort für die Modulproduktion (Photon - Das Solarstrom-Magazin 2011). Insgesamt

wurden in Deutschland Solarzellen mit einer Leistung von 2.656 MW produziert. Damit gehört die Solarbranche zu den wachstumsstärksten Wirtschaftszweigen Deutschlands. Ein besonderes Merkmal der Branche ist, dass große Teile der Wertschöpfung direkt in der Region verbleiben.

Im Bereich der **Herstellung von Solarmodulen und Komponenten** kann das Land Brandenburg im nationalen und internationalen Vergleich als ein äußerst produktionsintensiver Standort der Photovoltaikbranche betrachtet werden. Zusammen mit Berlin bildet das Bundesland vor allem in der Modulproduktion ein Zentrum der Solarbranche Europas. So sind in beiden Bundesländern Unternehmen der gesamten Wertschöpfungskette der Solarindustrie angesiedelt (Berlin Partner GmbH und ZukunftsAgentur Brandenburg GmbH 2010). Insgesamt stellten im Jahr 2010 acht Unternehmen Module für die großflächige Energiegewinnung her.<sup>29</sup> Die Marktanalyse ergab, dass einige Modulhersteller in Brandenburg auch die Herstellung von Zellen und Absorbermaterial, sowie von Wafern übernehmen. Weiterhin konnte festgestellt werden, dass in Brandenburg keine Wechselrichterhersteller angesiedelt sind (PhotovoltaikZentrum - Michael Ziegler 2010).

In Brandenburg sind Solarmodulhersteller unterschiedlichster Größe auf dem Markt aktiv. Hierunter fallen sowohl die größten Produktionsunternehmen wie die **Conergy SolarModule GmbH** oder **First Solar Manufacturing GmbH**, als auch kleinere Unternehmen mit deutlich geringeren Produktionskapazitäten. Die Unternehmensbefragung hat gezeigt, dass in Brandenburg im Jahr 2010 Produktionskapazitäten in Höhe von ca. **858 MWp** zur Verfügung standen. Diese Angaben sind beinahe deckungsgleich mit anderen Quellen (Solarregion Berlin Brandenburg 2011; Germany Trade & Invest GmbH 2010). Die Brandenburger Solarmodulhersteller **Aleo Solar AG**, **Algatec Solar** und **Conergy SolarModule GmbH** stellen in Brandenburg Solarzellen aus kristallinem Silizium her, deren Produktionskapazitäten sich auf ca. **515 MWp** im Jahr 2010 belaufen. Die Unternehmen mit Solarmodulproduktion im Dünnschichtverfahren konnten im selben Jahr ca. **343 MWp** herstellen. Hierunter sind insbesondere die Unternehmen **First Solar Manufacturing GmbH**, **Nanosolar GmbH**, **Odersun AG** und **Bosch Solar CISTech GmbH** hervorzuheben. Dies zeigt, dass ein Großteil der Modulproduktion in Brandenburg noch nicht auf das innovative Dünnschichtverfahren umgestellt ist (siehe auch Tab. 6.5 und Abb. 6.1). Das Unternehmen **5N Plus GmbH** produziert in Eisenhüttenstadt Cadmiumtellurid für die Herstellung von Dünnschichtmodulen. Die **GMB Glasmanufaktur Brandenburg GmbH** stellt u. a. Spezialglas für die Solarindustrie her. Des Weiteren existieren in Brandenburg viele weitere Komponentenhersteller, Großhändler, Zulieferer und Planer von Solaranlagen. So ist **Yamaichi Electronics** in Frankfurt/Oder einer der größten Zulieferer im Bereich von Elektronikkomponenten für die ansässigen Solarmodulproduzenten.

---

<sup>29</sup> Trotz der hohen Dichte von Modulproduzenten, haben viele der Unternehmen ihren Hauptsitz nicht in Brandenburg.

**Tab. 6.4: Solarmodulproduzenten in Brandenburg im Jahr 2010**

Quelle: eigene Recherche

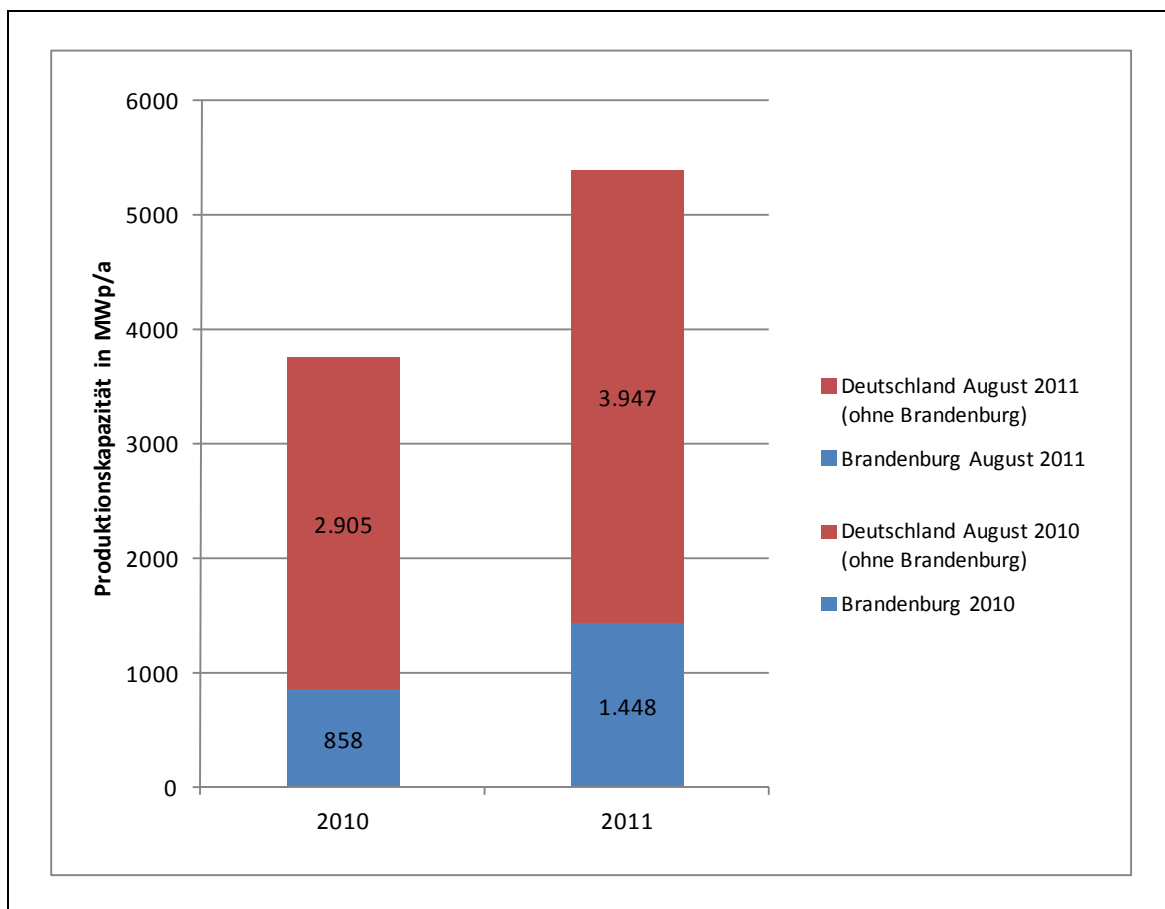
Unternehmen	Produktionsstandort	Produkte
Conergy SolarModule GmbH & Co. KG	Frankfurt (Oder)	Wafer, Zellen, Module
ALGATEC Solar AG, Elsterwerda	Elsterwerda	Module
aleo solar AG, aleo solar Dritte Produktion GmbH	Prenzlau	Module
First Solar Manufacturing GmbH	Frankfurt (Oder)	Zellen, Module
Bosch Solar CISTech GmbH (ehemals Johanna Solar Technology GmbH)	Brandenburg a.d. Havel	Zellen, Module
Nanosolar GmbH	Luckenwalde	Module
Odersun AG	Frankfurt (Oder)	Zellen, Module
PVflex Solar GmbH (Insolvenz 2011)	Fürstenwalde	Forschung und Entwicklung von Zellen, Module

Weiterhin hat die Marktanalyse ergeben, dass ca. 23 Prozent der deutschen Modulproduktionskapazitäten von brandenburgischen Unternehmen bereitgestellt werden. Nach den Angaben einzelner Hersteller ist daraus zu schließen, dass die Produktionskapazitäten zu einem hohen Anteil ausgenutzt werden. Aus diesem Grund wurde für die Berechnungen von einem Auslastungsgrad von 100 % ausgegangen. In der nachfolgenden Tabelle und Abbildung sind die Produktionskapazitäten für Brandenburg im Vergleich zu den gesamten Produktionskapazitäten in Deutschland dargestellt. Ein entscheidender Wettbewerb findet derzeit zwischen Modulherstellern von kristallinen- und Dünnschichtmodulen statt. Dabei sind die Fusionen und Insolvenzen der letzten Jahre Ausdruck der starken Wettbewerbssituation. So sind im Laufe der letzten drei Jahre in Brandenburg zwei Solarmodulhersteller vom Markt gedrängt worden, nämlich die Unternehmen **PVflex Solar GmbH** in Fürstenwalde und **EPV SOLAR Germany GmbH** in Senftenberg.

**Tab. 6.5: Kapazität der Solarmodulproduzenten in Brandenburg im Jahr 2010**

Quelle: eigene Recherche, Photon – Das Solarstrom-Magazin (2011), Germany Trade &amp; Invest GmbH (2010)

Unternehmen	Produktionskapazität in MWp/a
Brandenburger PV-Modulhersteller	858
<i>Darunter: kristalline Module</i>	<i>515</i>
<i>Darunter: Dünnschichtverfahren</i>	<i>343</i>
PV-Modulhersteller in Deutschland (August 2010)	3763
Anteil Brandenburger PV-Modulhersteller in Deutschland	Ca. 23 %



**Abb. 6.1: Produktionskapazität der Solarmodulproduzenten in Brandenburg und Deutschland in den Jahren 2010 und 2011**

Quellen: eigene Recherche, Photon (2011), Germany Trade & Invest GmbH (2011; 2010)

### 6.2.3 Solarthermie

In Brandenburg sind einige Hersteller von Systemkomponenten solarthermischer Anlagen angesiedelt. Dabei sind insbesondere Unternehmen aus der PV-Industrie in diesem Marktsegment aktiv. Zudem sind Heizungsfachbetriebe in Brandenburg anzuführen, die die entsprechenden Anlagen vertreiben und installieren. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über brandenburgische Unternehmen.

**Tab. 6.6: Auswahl wichtiger Produzenten solarthermischer Anlagen in Brandenburg**

Quelle: ZAB (2011a), eigene Recherche

Unternehmen	Produktionsstandort	Produkte
GMB Glasmanufaktur Brandenburg GmbH	Tschernitz	Spezialglas
FK Solartechnik GmbH	Senftenberg	u.a. Vakuumröhrenkollektoren
U.F.E SOLAR GmbH & Co. Betriebs-KG	Eberswalde	thermische Flachkollektoren und Zubehörkomponenten
AkoTec	Angermünde	Vakuumröhrenkollektoren
Huch GmbH Behälterbau	Neuruppin	u. a. Brauchwasserspeicher
ABV Apparate- und Behälterbau Deutschland GmbH	Glindow, Werder(Havel)	u. a. Brauchwasserspeicher
RSF Solar GmbH & Co. KG	Fürstenwalde/Spree	u.a. Bau von Vakuumröhrenkollektoren

## 6.2.4 Biomasse, Biokraftstoffe und Biogas

Die Märkte zur Energiegewinnung aus Biomasse, Biogas und Biokraftstoffe sind in Brandenburg von entscheidender Bedeutung für die wirtschaftliche Entwicklung des Landes. Viele Unternehmen sind in diesen Bereichen tätig.

Der **Biomassemarkt** umfasst sowohl große Biomasseheizkraftwerke, als auch die Nutzung von Biomasse-Kleinf Feuerungsanlagen. In Brandenburg waren im Jahr 2010 fünf Pelletproduzenten mit einer Produktionskapazität von ca. 303.400 t/a angesiedelt. Ein Unternehmen stellte hierbei jedoch die Produktion Ende des Jahres ein. Des Weiteren sind kleinere Planungsbüros tätig, die bei Bedarf die Installation und den Betrieb von Biomasseanlagen umsetzen können.

Weiterhin ergab die Marktanalyse, dass nur wenige Anlagen- und Kesselhersteller in Ostdeutschland angesiedelt sind. So sind in diesem Bereich kaum Unternehmen anzutreffen, die sich auf die Bereitstellung von Komponenten im Bereich Biomasse spezialisiert haben. Die Bereitstellung von einzelnen Komponenten wird vor allem durch mittelständische und größere Industrieunternehmen aus anderen Regionen auf Anfrage übernommen. Es ist anzunehmen, dass insbesondere Rohrleitungen- und Montagearbeiten oder elektrotechnische Arbeiten durch brandenburgische Unternehmen in diesem Bereich umgesetzt werden (Tab. 6.7). Im Bereich Kleinf Feuerungsanlagen konnte ein Hersteller, das Lausitzer Unternehmen **Forster Heiztechnik**, identifiziert werden. Daneben bieten mehrere Firmen die Installation und den Verkauf von Kleinf Feuerungsanlagen an.

In Deutschland gibt es zurzeit neun Anlagen zur **Bioethanolproduktion**, zwei davon sind aktuell in Brandenburg ansässig. Nach Angaben der ZAB betrug die bundesweite Produktionskapazität im Jahr 2009 ca. 850.000 t (ZAB 2011b). Die **VERBIO Ethanol Schwedt GmbH & Co. KG** hat nach eigenen Angaben eine jährliche Produktionskapazität von 200.000 t pro Jahr. Die **ECO-Strom Plus GmbH** aus Premnitz wurde erst 2011 in Betrieb genommen und besitzt zurzeit eine Kapazität von 100.000 t pro Jahr (BDBe 2011). Es kann davon ausgegangen werden, dass die Auslastung

der Produktionsanlagen nicht vollständig gegeben ist. Dies wurde bei der Berechnung der Wertschöpfungseffekte im IÖW-Tool entsprechend berücksichtigt.

**Tab. 6.7: Auswahl von Unternehmen im Bereich Komponentenherstellung Biomasse/Biokraftstoffe**

Quelle: eigene Recherche

Unternehmen	Produktionsstandort	Produkte
Chemie- und Tankanlagenbau REUTHER GmbH,	Fürstenwalde	Behälterbau (Biokraftstoffe)
BIS Rohrleitungsbau GmbH, Standort	Guben	Montage von Rohrleitungen (Biokraftstoffe, Biomasse)
BUTTING Anlagenbau GmbH & Co. KG	Schwedt/Oder	Behälter- und Rohrleitungsbau
KSC Kraftwerks-Service Cottbus Anlagenbau GmbH	Cottbus	u.a. Rohrleitungs- und Stahlbau (Biomasse, Biokraftstoffe)

Brandenburg gilt als der größte **Biodieselproduzent** Deutschlands. Ende 2006 wurde in Brandenburg in sechs Anlagen Biodiesel produziert (ZAB o.J.). Im Jahr 2007 ging die Branchenstrategie Mineralölwirtschaft/Biokraftstoffe bei der Biodieselproduktion noch von einer Arbeitskapazität von 380.000 t und siebentätigen Unternehmen aus. In den letzten Jahren kam ca. ein Viertel der deutschen Biodieselproduktion aus Brandenburg (Ministerium für Wirtschaft des Landes Brandenburg 2009). Im Jahr 2010 waren noch vier Produktionsanlagen im Land ansässig. So hat die **VERBIO Diesel Schwedt GmbH & Co. KG** nach eigenen Angaben eine Produktionskapazität von 250.000 Tonnen Biodiesel sowie 25.000 Tonnen Pharmaglycerin. Weitere Akteure in Brandenburg sind die **German Bio Fuels GmbH** in Pritzwalk, ehemals EOP Biodiesel AG, die **Bioeton Kyritz GmbH**, sowie die **BIO-Diesel Wittenberge GmbH**. In Brandenburg sind in den letzten Jahren bereits mehrere kleinere Biodiesel-Produzenten vom Markt verdrängt worden. So hat die **BioPetrol Schwarzheide GmbH** ihre Biodieselproduktion im Juni 2011 in Brandenburg geschlossen. Als Gründe für die Schließung wurden die nachteilige Binnenlage und die geringe Nachfrage bei einem hohen Grad an Konkurrenz angegeben (BIOPETROL INDUSTRIES AG 2010).

Die Produktion von Anlagen im Bereich der **Biokraftstoffe** ist in Brandenburg eher gering ausgeprägt. Aus diesem Grund sprach schon das Brandenburger Wirtschaftsministerium von „einer Lücke in der Wertschöpfungskette“ (Ministerium für Wirtschaft des Landes Brandenburg 2007). Die derzeitige Nachfrage und Vergabe von Aufträgen zur Errichtung entsprechender Produktionsanlagen erscheint vor dem Hintergrund der angespannten Marktsituation gering, wie aus der Befragung einzelner Anlagenproduzenten hervorging. Unternehmen, die Biokraftstoffanlagen anbieten, sind z.B. die Chemie- und Tankanlagenbau **REUTHER GmbH** und die **BUTTING Anlagenbau GmbH & Co. KG**. Daneben konnten Firmen im Bereich Behälterbau identifiziert werden.

Für den Bereich **Biogas** kann festgehalten werden, dass in Brandenburg eher geringe Wertschöpfungseffekte aus der Produktion von Anlagen für die Gewinnung von Biogas gegeben sind. Dies liegt vor allem an den wenigen Akteuren der Anlagenproduktion im Land selbst. Die meisten Anlagenteile für im Land installierte Biogasanlagen werden importiert (BioenergieBeratung Bornim GmbH (B3) 2011). Allerdings sind einige Unternehmen im Bereich der Planung von Biogasanlagen

tätig. Zudem sind im Handwerk viele kleine und mittelständische Unternehmen aktiv, die Montagearbeiten durchführen. Eine Auswahl der größten Unternehmen der Biogasbranche in Brandenburg findet sich in Tab. 6.8.

**Tab. 6.8: Auswahl Brandenburger Unternehmen im Bereich Biogas**

Quelle: eigene Recherche

Unternehmen	Produktionsstandort	Produkte
GfA Guben	Guben	Fertigung und Verrohung
ALENSYS Engineering GmbH	Erkner	Fachplanung
Havelberger Fahrzeug- und Maschinenbau GmbH	Havelberg	Herstellung von Annahmedosieren
Matzdorf Elektrotechnik GmbH	Prenzlau	Elektro-, Mess-, Steuerungs- und Regelungsanlagen
ROHRPLAN Ingenieurbüro für Anlagen- und Rohrleitungsplanung GmbH	Schwedt/Oder	Planung, Umsetzung und Wartung von Biogasanlagen
FIMAG Finsterwalder Maschinen- und Anlagenbau GmbH	Finsterwalde	u.a. Herstellung, Aufbereitung von BHKWs
uesa GmbH	Uebigau-Wahrenbrück	Komponenten
GUMA GmbH	Schwedt/Oder	Fachplanung und Betreuung von Biogasanlagen
BIS Rohrleitungsbau GmbH	Standort Guben	Montage von Rohrleitungen
TW Biogas Betreuungs GmbH	Kloster Lehnin	u.a. Planung

## 6.2.5 Wärmepumpen

In Brandenburg konnte mit der **Itec Entwicklungs- und Vertriebsgesellschaft mbH** (König-Wärmepumpen, Elsterwerda) nur ein Unternehmen identifiziert werden, das Wärmepumpen herstellt. Bei der Planung, Installation und dem Verkauf von Wärmepumpen kann davon ausgegangen werden, dass diese Dienstleistungen zum Großteil von brandenburgischen Unternehmen selbst durchgeführt werden.

## 6.2.6 Wasserkraft

Die Wasserkraft hat in Brandenburg als Sparte zur Energiebereitstellung nur eine geringe Bedeutung. Hierbei sind nur Niederdruckanlagen bei der Betrachtung relevant, d. h. Anlagen mit einer Fallhöhe von 1-20 m Höhe (Köhler 2011). Des Weiteren sind fast ausschließlich Kleinwasseranlagen installiert, d. h. Anlagen mit einer Leistungsgrenze von bis zu 1 MW. Der niedrige Anteil an der Energiebereitstellung durch Wasserkraft bestimmt hierbei auch die entsprechenden Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte. Wichtigste Wertschöpfungselemente für Brandenburg sind demnach die Planung, einzelne Baumaßnahmen und Reparaturen (Kahlbaum 2011). Unternehmen, die spezifische Anlagenteile für Wasserkraftwerke produzieren, wurden nicht auffindig gemacht. Lediglich die die ABB AG am Standort Cottbus bietet Automatisierungstechniken an.

## 6.3 Bestand und Zubau erneuerbarer Energien in Brandenburg

Die Wertschöpfungsschritte der betriebsbezogenen Wertschöpfung (technische Betriebsführung und Betreibergesellschaft) sowie die Planung und Installation wurde auf Basis der Bestands- und Zubaudaten für das Jahr 2010, 2020 und 2030 ermittelt. Die Ausbauentwicklungen und der Status quo EE in Brandenburg wurden der ersten Teilstudie zu den erschließbaren Potenzialen erneuerbarer Energien entnommen (Hirschl et al. 2011b). Die Zubauszenarien nehmen gemäß den bestehenden landes- und bundespolitischen Rahmenbedingungen einen starken Ausbau der erneuerbaren Energien an, haben jedoch unterschiedliche Annahmen zur Entwicklung der Verstromung durch Braunkohle und werden nachfolgend kurz beschrieben:

- **Szenario EE-50BK:** Die Braunkohleverstromung wird bis 2030 um 50 % zurückgefahren. Die mögliche Abschaltung des Braunkohlekraftwerks Jänschwalde würde dies bereits übertreffen, da es zu etwa zwei Drittel zur Braunkohlestromerzeugung beiträgt. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass eine Abschaltung des Kraftwerks blockweise gestaffelt erfolgt (die jeweils ältesten Blöcke werden 2020 bzw. 2030 außer Betrieb genommen), während das Kraftwerk Schwarze Pumpe zunächst auch über 2030 hinaus in Betrieb bleibt.
- **Szenario EE-0BK („Energiewende“):** In diesem Szenario wird Jänschwalde bis 2020 zur Hälfte stillgelegt, bis 2030 aber ein kompletter Ausstieg aus der Braunkohleverstromung angenommen. Der EE-Ausbau wird in diesem Szenario noch etwas dynamischer angenommen, als dies bereits im Szenario EE-50BK der Fall ist.

Die Bestands- und Zubauzahlen des Status quo sowie der beiden Szenarien für die Jahre 2020 und 2030 sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen. Dabei wurde der Zubau der Szenarien als jährlicher Durchschnitt zwischen den Jahren 2011 bis 2020 bzw. 2021 bis 2030 festgelegt. Zudem wurden für den Bestand der Jahre 2010, 2020 und 2030 jeweils die Daten des Vorjahres zzgl. der Hälfte des Zubaus desselben Jahres unterstellt. Die Differenzierung in Bestand und Zubau ist methodisch bedeutsam, da sie in unterschiedlicher Intensität Auswirkungen auf jeweils unterschiedliche Wertschöpfungsstufen haben (IÖW 2010).

**Tab. 6.9: Annahmen für den Bestand und Zubau von EE-Anlagen in Brandenburg für die Jahre 2010, 2020 und 2030**

EE-Technologien	2010		Szenario EE-50BK				Szenario EE-0BK Energiewende			
			2020		2030		2020		2030	
	Be-stand	Zu-bau <sup>30</sup>	Be-stand	Zubau	Be-stand	Zubau	Be-stand	Zubau	Be-stand	Zubau
	MW		MW		MW		MW		MW	
<b>Windenergie</b>										
Onshore/ Repowering	4.354	219	7.955	360	11.984	403	9.036	468	15.079	604
<b>Photovoltaik</b>										
Kleinanlagen Dach	154	57	599	45	1139	54	733	58	1435	70
Großanlagen Dach	78	54	349	27	620	27	430	35	782	35
Freiflächenan- lagen	388	271	1.737	135	3.087	135	2.142	175	3.896	175
<b>Geothermie</b>										
Wärmepumpen	109	17	1.146	126	2.872	173	1.146	126	2.872	173
<b>Wasserkraft</b>										
Kleinanlagen	4	0,1	9	0,48	9	0	9	0,48	14	0,46
<b>Biogas</b>										
Kleinanlagen	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0
Großanlagen	183	23	302	12	357	5	302	12	357	5
<b>Biomasse</b>										
Kleinfeue- rungsanlagen	113	5	493	50	1.195	70	380	50	1.038	70
Großanlagen	136	0	136	0	136	0	136	0	136	0
<b>Solarthermie</b>	Tausend m2		Tausend m2		Tausend m2		Tausend m2		Tausend m2	
Kleinanlagen	197	15	747	69	1.778	103	747	69	1.778	103
Großanlagen	28	2	689	72	1.537	85	857	89	1.873	102
<b>Biokraftstoffe</b>	Tausend Liter		Tausend Liter		Tausend Liter		Tausend Liter		Tausend Liter	
Bioethanol und Biodiesel	755.682		760.000		760.000		760.000		760.000	

## 6.4 Weitere Annahmen und Eingangsdaten

Zur Berechnung der Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte mussten über die Inputdaten hinaus oftmals zusätzliche Annahmen getroffen werden, die oftmals in Abstimmung mit Branchenexperten festgelegt wurden. Dies betrifft vor allem die Planung und Installation sowie den betriebsbezogenen Wertschöpfungsstufen (technische Betriebsführung und Betreibergesellschaft). Hier wurde der Anteil brandenburgischer Unternehmen, die diese Dienstleistungen erbringen anteilig an der Zubau- und Bestandsentwicklung von EE-Anlagen bemessen. Die Annahmen sind wie folgt:

- Im Bereich der **Windenergie** ist davon auszugehen, dass die Planung und der Betrieb von Windparks zu 50 % durch brandenburgische Unternehmen erfolgt (Vertraulich 2011).
- Für den Bereich der **Photovoltaik** wurden die durch die Marktanalyse erfasste Zahl zur Produktion von PV-Modulen (siehe Abschnitt 6.2.2) zu gleichen Teilen auf die PV-Technologien Kleinanlagen, Großanlagen und Freiflächenanlagen verteilt. Das gleiche Verfahren wurde für die Produktionsdaten des Wertschöpfungsschrittes metallischer Rohstoffe zur Produktion von PV-Modulen angewendet. Während durch die hohe Dichte an Unternehmen im PV-Bereich bei der Installation und dem Betrieb der Kleinanlagen von einer ausschließlichen Beteiligung brandenburgischer Unternehmer ausgegangen wird, wurden für Groß- und Freiflächenanlagen andere Annahmen getroffen. Danach werden die Wertschöpfungsschritte Planung/Installation und Betriebsführung zu 75 % durch brandenburgische Unternehmen durchgeführt, während bei der Betreibergesellschaft ein Wert von 50 % angenommen wurde.
- Für den Bereich der **Wasserkraft** wurde nach Absprache mit Experten im Bereich des Betriebs und der Betreibergesellschaft eine Annahme von 40 % für die Beteiligung brandenburgischer Unternehmer an den bestehenden Kleinwasseranlagen angenommen. Des Weiteren wurde durch die Recherche festgestellt, dass kein Unternehmen im Bereich der Herstellung spezieller Anlagentechnik für Wasserkraftwerke in Brandenburg ansässig ist.
- Im Bereich der Produktion von EE-Anlagen und deren Komponenten wurde für die szenariobasierte Berechnung von Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekten eine jährliche Steigerung der Produktion von 2 % angenommen. Anhand der landesweiten Entwicklung der Bruttowertschöpfung der letzten Jahre erscheint dies eine realistische Annahme für die Entwicklung der Wirtschaftsbereiche (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2011e).
- Bei den Biomasse-Großanlagen wurde aufgrund des schwindenden Wärmenergiebedarfs für Brandenburg und der begrenzten Verfügbarkeit an Biomasse ein Rückbau der Heizkraftwerke um 25 % bis zum Jahr 2020 und um 50 % bis zum Jahr 2030 angenommen.
- Für den Bereich der betrachteten Biokraftstoffe, d.h. Biodiesel und Bioethanol, wurde eine gemeinsame Kategorie gebildet, welche die Produktionskennzahlen beider Kraftstoffarten beinhaltet. Die Wertschöpfungsschritte werden demnach gemeinsam dargestellt.

## 7 Grundlegende methodische Aspekte

Bei der hier dargestellten Methodik zur Ermittlung der Wertschöpfungseffekte durch erneuerbare Energien in einem Bundesland handelt es sich um eine Weiterentwicklung des bisher vom IÖW entwickelten kommunalen Modells auf die Ebene eines Bundeslandes. Eine ausführliche Beschreibung des Basis-Modells für den kommunalen Kontext findet sich in (IÖW 2010).

Um regionale Besonderheiten in den Berechnungen Geltung zu verschaffen, wurde neben einer Aktualisierung von Inputdaten versucht soweit wie möglich Datensätze zu nutzen, die die wirtschaftlichen Gegebenheiten in Brandenburg widerspiegeln.

Beispiele für die regionale Datenanpassung sind vor allem Daten zur regionalen Entlohnung der betrachteten Wirtschaftszweige nach WZ-08 des Statistischen Bundesamtes und der angewandte Gewerbesteuerhebesatz. Die Bruttojahreseinkommen sind die Grundlage für die Berechnung der Nettoeinkommen, als Teil der Wertschöpfung. Der Gewerbesteuerhebesatz ist maßgeblich für die Höhe der Gewerbesteuer und damit für die Nach-Steuer-Gewinne der Unternehmen und die Steuereinnahmen der Kommunen und des Bundeslandes. Hierbei wird der landesweit über alle Kommunen gemittelte Hebesatz angewendet. Weiterhin wurde die Gewerbesteuerumlage mittels des Landesvervielfältigers ermittelt.

### 7.1 Zur Definition der Wertschöpfung allgemein sowie auf Landesebene

Wertschöpfung wird in wirtschaftswissenschaftlichen Zusammenhängen als die Umformung, Umwandlung, Weiterverarbeitung oder Veredelung von vorhandenen Ressourcen zu neuen Produkten beschrieben. Meist erfolgt dieser Prozess nicht allein, sondern in Stufen, d.h. in aufeinanderfolgenden und teilweise unabhängigen Produktionsprozessen. Jede Stufe übernimmt unfertige Erzeugnisse (Vorleistungen) zu einem bestimmten Wert von der Vorstufe und gibt sie nach Verarbeitung zu einem höheren Wert (Mehrwert) an die Nachstufe ab. Demnach ist in der Wertschöpfung die wirtschaftliche Eigenleistung eines Unternehmens enthalten, die das Zusammenwirken der Produktionsfaktoren (Boden, Arbeit, Kapital, Rohstoffe, Vorprodukte) zum Ausdruck bringt. Die Wertschöpfung ist immer die Zielsetzung einer ökonomischen Produktion eines Unternehmens, als auch ein Abbild deren wirtschaftlicher Leistungskraft (Beck 1994). Für die Berechnung der Wertschöpfung eines produzierenden Unternehmens können zwei Varianten genutzt werden. Die **Subtraktionsmethode** berechnet die Wertschöpfung anhand des Umsatzes einer Unternehmung abzüglich der notwendigen Vorleistungen. Die **Additionsmethode** hingegen berechnet die Wertschöpfung unter Berücksichtigung der Verteilung, d.h. als Summe der „Einkommen“ aller an der Leistungsentstehung beteiligter Unternehmen. Dazu gehören der Einkommensanteil der Arbeitnehmer (Löhne und Gehälter), des Staates (Steuern), der Kapitalgeber (Zinsen) und der einbehaltenen Gewinn eines Unternehmens.

Die Bruttowertschöpfung bezeichnet die Wertschöpfung einer Unternehmung vor Abzug der Abschreibungen. Werden die Abschreibungen abgezogen handelt es sich um die Nettowertschöpfung (Wenke 1987). Bei gesamtwirtschaftlicher Betrachtung der Wertschöpfung kann diese mit dem Bruttoinlandsprodukt gleichgesetzt werden. Dabei entspricht die Wertschöpfung eines einzelnen Unternehmens dem Beitrag zur volkswirtschaftlichen Gesamtleistung bzw. dem im Inland entstan-

denen Einkommen (Haller 1997). Als Wertschöpfung in einem Bundesland kann hingegen die Summe betrachtet werden, die angesiedelte Unternehmen in diesem Bundesland erzielen.

Im Bereich der Steuern als Teil der Wertschöpfung steht insbesondere die Gewerbesteuer in zentraler Betrachtung. Diese fließt den Kommunen zu, während die Länder in geringem Umfang an der Gewerbesteuerumlage partizipieren. Kommunen, Länder und der Bund profitieren anteilig auch an weiteren Gemeinschaftssteuern, d.h. neben der Gewerbesteuerumlage auch an der Einkommenssteuer, Körperschaftssteuer und Umsatzsteuer. Weiterhin sind einzelne Steuerarten zu betrachten, die nur einer Ebene zugutekommen, wie z.B. die Grunderwerbssteuer, die allein den Ländern zusteht. Steuern hingegen, die an den Bund abgeführt werden sind zwar Teil der Wertschöpfung, senken jedoch die Kaufkraft im jeweiligen Bundesland. Für die Betrachtung der Wertschöpfung von Technologien in Brandenburg, sind diese daher zu subtrahieren. Das gleiche gilt für die Sozialabgaben, die von den Beschäftigten zu tragen sind.

## 7.2 Gewinne

Zur Bestimmung der Gewinne wurde primär die Umsatzrentabilität der Unternehmen vor Steuern in den relevanten Wirtschaftszweigen der Wertschöpfungskette herangezogen, die den Jahresüberschuss eines Unternehmens ins Verhältnis zu dem in dieser Periode erzielten Umsatz setzt. Dabei wurde auf eine Statistik der deutschen Bundesbank zurückgegriffen, welche hochgerechnete Angaben aus Jahresabschlüssen deutscher Unternehmen für die Jahre 1997 bis 2009 ermittelt (Deutsche Bundesbank 2011). Der im Datenpool gehaltene Bestand umfasst jährlich 140.000 Einzelabschlüsse nicht-finanzieller Unternehmen und beinhaltet sowohl Personen- als auch Kapitalgesellschaften. Die Zuordnung der Unternehmen in verschiedene Wirtschaftsbereiche erfolgt innerhalb dieser Studie nach der Klassifikation des Statistischen Bundesamtes (IÖW 2010). Da hier die erneuerbaren Energien nicht explizit aufgelistet werden, wurden Vergleichsbranchen ermittelt, die z.B. ähnliche Arbeitsvorgänge, Berufe bzw. Endprodukte aufweisen und damit die jeweiligen Gewinn/Umsatz-Verhältnisse der entsprechenden Wertschöpfungsstufen abbilden. Hierbei ist wichtig zu erwähnen, dass die Berechnung der Wertschöpfung auf Basis des Gewinns vor Steuern erfolgt, der wiederum die Grundlage für die Steuerbetrachtung bildet.

## 7.3 Einkommen

Die Berechnung der Einkommen basiert auf den ermittelten Beschäftigungseffekten. Hier werden zwei verschiedene Methoden angewandt. Für Wertschöpfungsschritte deren Umsatz ausschließlich durch Dienstleistungen erwirtschaftet wird, können durch Abzug einer Sachkostenpauschale und des Gewinns die Bruttopersonalkosten berechnet werden. Dividiert durch das durchschnittliche Bruttojahreseinkommen des zugeordneten Wirtschaftszweiges kann der Beschäftigungseffekt ausgewiesen werden. Dabei ist zu beachten, dass die Bruttopersonalkosten auch den Arbeitgeberanteil der Sozialversicherungsbeiträge beinhalten, der bei der Berechnung der Beschäftigungseffekte abgezogen werden muss. Für Wertschöpfungsschritte mit geringem Dienstleistungsanteil wird auf durchschnittliche Bruttojahreseinkommen nach Wirtschaftszweigen des Statistischen Bundesamtes zurückgegriffen.. Im Ergebnis wird der Einkommenseffekt über die Kenngröße Beschäftigter pro kW ermittelt.

## 7.4 Steuern

Aus den zuvor ermittelten Werten lassen sich nun die Kommunal- und Landessteuern nach der aktuellen steuerrechtlichen Gesetzesregelungen ermitteln. Diese sind für die Kommunen und das Bundesland Brandenburg die Folgenden:

- **Kommunalsteuern:** Gewerbesteuer (netto) und Gemeindeanteil an der Einkommensteuer
- **Landessteuern:** Gewerbesteuerumlage, Länderanteil an der Einkommens-, Körperschafts- und ggf. Grunderwerbssteuer.

Dabei gilt im Rahmen dieser Studie für die Verteilung der Einkommen- und Körperschaftssteuer das Prinzip des örtlichen Aufkommens, gleichwohl diese Steuerarten nach dem Wohn- und Betriebsstättenprinzip zugeordnet werden. Jedoch ist eine solche Differenzierung aufgrund mangelnder Daten nicht möglich bzw. würde sich als zu aufwendig erweisen und wahrscheinlich keine signifikanten Effekte zur Folge haben. In Tab. 7.1 sind die Beteiligungsverhältnisse der Gemeinschaftssteuern für Brandenburg dargestellt. Die Körperschaftssteuer steht jeweils zur Hälfte dem Bund und den Ländern zu, während an der Einkommensteuer die Länder und der Bund im gleichen Umfang partizipieren und die Kommunen 15 % des Aufkommens erhalten. Die angegebenen Prozentsätze der Gewerbesteuerumlage wurden auf Basis des für das Jahr 2009 geltenden durchschnittlichen Hebesatzes in Brandenburg von 321 % ermittelt (Statistisches Bundesamt 2011) und beziehen sich auf das Istaufkommen der Gewerbesteuer.

**Tab. 7.1: Anteile von Bund, Ländern und Kommunen an den Gemeinschaftssteuern**

Quelle: eigene Berechnungen

Steuerart	Anteil Kommunen BB [%]	Anteil Land BB [%]	Anteil Bund [%]
Einkommensteuer	15	42,5	42,5
Körperschaftssteuer	0	50	50
Gewerbesteuerumlage	0	6,39	4,52

Bei der Ermittlung der Steuern wird zwischen der Unternehmensbesteuerung und der Besteuerung von Einkünften aus nichtselbstständiger Arbeit unterschieden. Mit den Vor-Steuer-Gewinnen der Unternehmen sowie den Bruttobeschäftigungskosten wird auf Grundlage der geltenden steuerlichen Gesetzgebung die Steuerlast ermittelt. Aus der gesamten Steuerlast wird anschließend der Anteil ausgewiesen, der den Kommunen und Ländern in Brandenburg zugutekommt. Weiterhin ist eine Unterscheidung nach Kapitalgesellschaften und Personenunternehmen erforderlich, damit Unterschiede in der Steuerbelastung berücksichtigt werden können. Datengrundlage bilden die vom Statistischen Bundesamt einzusehenden Umsätze von Unternehmen nach Wirtschaftszweigen und Rechtsformen. Bei Kapitalgesellschaften beträgt die Gesamtsteuerbelastung des Gewinns in Brandenburg ohne Ausschüttung 27,06 %, die sich aus 11,24 % Gewerbesteuer + 15 % Körperschaftssteuer + 0,83 % Solidaritätszuschlag zusammensetzt. Der Gewerbesteuersatz wird auf Basis der seit dem Jahr 2008 geltenden Steuermesszahl von 3,5 % (BVerwG 2010) sowie dem durchschnittlichen Hebesatz von 321 % in Brandenburg für das Jahr 2010 berechnet.

Dagegen ist bei Personenunternehmen zusätzlich zur Gewerbesteuer die Einkommensteuer zu entrichten, wobei der individuelle Einkommensteuersatz zur Anwendung kommt. Zudem können die Gesellschafter von Personenunternehmen nach § 35 EStG das 3,8-fache des anteiligen Gewerbesteuermessbetrags auf die Einkommensteuerschuld anrechnen lassen. Ausgehend von einem Einkommensteuersatz von 28 % (Mittelwert aus Eingangs- (14 %) und Spitzensteuersatz (42 %) sowie einem Gewerbesteueranrechnungssatz von 11,24 % beläuft sich die gesamte Steuerbelastung von Personenunternehmen auf 28,92 % des Vor-Steuer-Gewinns. Zusätzlich sei angenommen, dass die Gesellschafter von Personenunternehmen Krankenkassenbeiträge in Höhe der gesetzlichen Krankenversicherung abführen, wodurch die gesamte Steuerlast um 14,9 % auf 43,82 % ansteigt.

Die Berechnung der Nettoeinkommen erfolgt wiederum ausgehend von den Bruttojahreseinkommen nach Wirtschaftszweigen und Berufsgruppen für Brandenburg unter Berücksichtigung der aktuellen steuerrechtlichen Gesetzgebung sowie den Abgaben zur Sozialversicherung. Die Summe aus Lohnsteuer, Solidaritätsbeitrag und den Sozialabgaben ergibt die gesamte Steuerlast. Mittels der für die einzelnen Wertschöpfungsstufen in Betracht kommenden Wirtschaftszweigen und der statistischen Kenngröße „Beschäftigte pro kW“ können die einzelnen Steuerarten und das Nettoeinkommen bestimmt werden.

## 8 Szenariobasierte Hochrechnungen für 2010, 2020 und 2030

Nachfolgend werden die zentralen Ergebnisse der Berechnungen für das Jahr 2010 und der Szenarien EE-50BK und EE-0BK (Energiewende) zunächst in tabellarischer Form dargestellt, gefolgt von einer grafischen Aufbereitung der Daten für die Jahre 2010 und 2030. Dabei zeigen die Abbildungen die Wertschöpfung der einzelnen EE-Technologien, die in Brandenburg durch die im Lande stattfindenden Wertschöpfungsschritte generiert werden. Die Wertschöpfungseffekte sind jeweils aufgeteilt in die wesentlichen Wertschöpfungsstufen: 1) Anlagenproduktion, 2) Planung und Installation etc., 3) Betriebsführung, 4) Betreibergesellschaft. Die Tabellen enthalten zudem die Aufteilung in die wesentlichen Wertschöpfungsbestandteile (Gewinne, Einkommen und Steuern) je EE-Technologie.

Die spezifischen Wertschöpfungseffekte der betrachteten EE-Technologien, auf deren Grundlage die Hochrechnung erfolgt, sind für das Jahr 2010 im Anhang aufgeführt (s. Kap. 0) und als Aggregat der Wertschöpfungsstufen Anlagenproduktion, Planung und Installation, technische Betriebsführung und Betreibergesellschaft dargestellt. Weiterhin erfolgt eine Differenzierung in die Wertschöpfungskomponenten Gewinne nach Steuern, Nettoeinkommen durch Beschäftigung sowie Kommunal- und Landessteuern.

### 8.1 Wertschöpfungseffekte

Insgesamt ergab sich für Brandenburg im **Jahr 2010** eine Wertschöpfung von 595 Mio. Euro, die insbesondere durch die Technologien mit einem hohen Anlagenbestand und vorhandenen Produktionsstätten geprägt ist. Dies sind allen voran die **Photovoltaik** (234 Mio. Euro), gefolgt von der **Windenergie Onshore** (180 Mio. Euro) sowie den zwei **Biomasse-Technologien** (Biogas und feste Biomasse) (124 Mio. Euro) und der Herstellung von Biokraftstoffen (49 Mio. Euro), deren Wertschöpfung sich zusammen in Brandenburg im Jahr 2010 auf ca. 586 Mio. Euro beläuft und damit einen Anteil von rund 98 % an der gesamten Wertschöpfung durch EE in Brandenburg aufweist. Gemäß der hohen Anzahl an Bestandsanlagen entfällt über alle betrachteten EE-Technologien hinweg rund die Hälfte der Wertschöpfung auf die betriebsbezogenen Wertschöpfungsstufen (technische Betriebsführung und Betreibergesellschaft). Der verbleibende Anteil der Landeswertschöpfung von 50 % verteilt sich in etwa zu Zweidrittel auf die Produktion von EE-Anlagen und zu einem Drittel auf die Wertschöpfungsstufe Planung und Installation.

Gemäß den Ausbauzahlen der vorliegenden **Szenarien** aus der ersten Teilstudie zu den erschließbaren Potenzialen EE in Brandenburg (siehe (Hirschl et al. 2011b)) wird die Wertschöpfung deutlich ansteigen. Bereits im Jahr 2020 wird nach den Szenarien EE-50BK und EE-0BK (Energiewende) eine Wertschöpfung von insgesamt 895 bzw. 961 Mio. Euro erreicht, die damit 50 bzw. 62 % über dem Wert des Jahres 2010 liegt. Diese Werte werden in 2030 nochmals um ca. 26 % im Szenario EE-50BK und um ca. 30 % im Szenario EE-0BK (Energiewende) übertroffen, wodurch sich in absoluten Zahlen eine Wertschöpfung von ca. 1,13 bzw. 1,25 Mrd. Euro abzeichnet.

An der gesamten Wertschöpfung werden die **Windenergie Onshore (inkl. Repowering)** und **Photovoltaik** über alle Szenarien hinweg zusammen einen Anteil von über 80 % vereinnahmen. Demgegenüber bleibt der %-Anteil der **Biomasse-Technologien** (Biogas und feste Biomasse) an der

gesamten Wertschöpfung nahezu konstant, aber steigt in absoluten Zahlen. Während im Jahr 2010 die Wertschöpfung noch bei rund 124 Mio. Euro lag, wird sich nach den vorliegenden Szenarien (EE-50BK und EE-0BK) die Wertschöpfung durch Biomasse im Jahr 2020 gegenüber dem Jahr 2010 deutlich erhöhen und einen monetären Wert von 201 bzw. 194 Mio. Euro erreichen. Im Jahr 2030 wird sich dieser Trend fortsetzen und die Wertschöpfung rund das Doppelte gegenüber dem Jahr 2010 betragen. Im Vergleich zur Windenergie und Photovoltaik entfällt über alle Jahre hinweg nahezu die gesamte Wertschöpfung auf die betriebsbezogenen Wertschöpfungsstufen (technische Betriebsführung und Betreibergesellschaft). Dies ist zum einen darin begründet, dass Biogas- und Biomasseanlagen grundsätzlich im Vergleich zu den anderen EE-Technologien eine Kosten- und Wertschöpfungsstruktur mit höheren Anteilen durch die Betriebsführung aufweisen. Zum anderen wächst generell durch das Anwachsen der Bestandsanlagen der Einfluss dieser Wertschöpfungsstufen gegenüber der Bedeutung der Produktion und Installation. Außerdem sind keine Hersteller von kompletten Biomasseanlagen oder Komponenten in Brandenburg ansässig, wie die Analyse in Kap. 0 gezeigt hat.

Die Produktion von **Biokraftstoffen** (Ethanol und Diesel) bleibt nahezu konstant, wodurch deren %-Anteil an der gesamten Wertschöpfung durch EE in Brandenburg über die Jahre sinkt. Betrag der Wertschöpfungsanteil im Jahr 2010 noch 8 %, so wird sich dieser im Jahr 2030 halbieren.

Alle **anderen EE-Technologien** folgen mit großem Abstand. Die Solarthermie, Wärmepumpen-Branche und Wasserkraft erzielten im Jahr 2010 in Summe eine Wertschöpfung von 9 Mio. Euro. Gemäß der Szenarien EE-50BK und EE-0BK (Energiewende) wird die Wertschöpfung dieser Technologien im Jahr 2020 auf 57 bzw. 59 Mio. Euro ansteigen und damit mehr als das sechsfache betragen. Diese Werte werden in 2030 nochmals um ca. das 1,8-fache innerhalb beider Szenarien übertroffen. Daran werden die Wärmepumpen den Großteil vereinnahmen, was insbesondere auf die begrenzten Möglichkeiten erneuerbarer Energien im Wärmebereich zurückzuführen ist und sich in einer starken Zubauentwicklung niederschlägt.

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass im Jahr 2010 die Produktion von Anlagen und –komponenten im Bereich Windenergie und Photovoltaik in Brandenburg einen wesentlichen Beitrag zur Wertschöpfung leistete. Zudem generierten die Biomasse-Technologien hohe Wertschöpfungsanteile. Aufgrund der starken Zubauentwicklung von EE-Technologien wird die relative Bedeutung der Produktion an der gesamten Wertschöpfung sinken. Über alle Technologien hinweg entfielen im Jahr 2010 ca. 30 % der gesamten Wertschöpfung auf die Produktion von Anlagenkomponenten. Dieser Anteil fällt über alle Szenarien hinweg deutlich ab. So wird die Produktion in den Jahren 2020 rund 19 % und 2030 nur noch ca. 15 % der Wertschöpfung vereinnahmen. Dagegen werden die betriebsbezogenen Wertschöpfungsstufen den Großteil der Wertschöpfung generieren.

In Bezug auf die wesentlichen Bestandteile der Wertschöpfung – **Nettoeinkommen und - Gewinne, Kommunal- und Landessteuern** – zeigen sich die folgenden Entwicklungen:

- Insgesamt weisen die vier genannten Bestandteile im **Jahr 2010** Anteile von 45 % (269 Mio. Euro Nettoeinkommen), 41 % (242 Mio. Euro Gewinne), 7 % (39 Mio. Euro Kommunalsteuern) und 8 % (46 Mio. Euro Landessteuern) auf.
- Nach dem **Szenario EE-50BK ist in den Jahren 2020 und 2030** von Nettoeinkommen in Höhe von 333 Mio. Euro (37 %) und 417 Mio. Euro (37 %) auszugehen. Die Gewinne nach Steuern beziffern sich auf 424 Mio. Euro (47 %) und 539 Mio. Euro (48 %). Insgesamt entfallen 137 Mio. Euro (15 %) und 173 Mio. Euro (15 %) der Wertschöpfung auf die Steuern an die Kommunen und das Land.

- Ungefähr die gleiche prozentuale Verteilung der Wertschöpfung auf Einkommen, Gewinne und Steuern zeigt sich für das **Szenario EE-0BK der Jahre 2020 und 2030**. Allerdings fallen die absoluten Werte höher aus.

Die Nettoeinkommen betragen 354 Mio. Euro (37 %) und 455 Mio. Euro (36 %) in den Jahren 2020 und 2030. Bei den Gewinnen nach Steuern ergeben sich absolute Werte in Höhe von 461 Mio. Euro (48 %) und 622 Mio. Euro (50 %). Die Steuern an die Kommunen und das Land belaufen sich insgesamt auf 146 Mio. Euro (15 %) und 190 Mio. Euro (15 %) für die Jahre 2020 und 2030.

## 8.2 Beschäftigungseffekte

Die Beschäftigungseffekte, die aus der Produktion und dem Betrieb der EE- Technologien resultieren, entwickeln sich im Wesentlichen vergleichbar wie die Ergebnisse der Wertschöpfungsberechnung. Dabei bezieht sich die Anzahl der Beschäftigten in den Tabellen zu den Hochrechnungen für 2010, 2020 und 2030 auf direkte Bruttobeschäftigungseffekte. Das bedeutet für die Interpretation der Ergebnisse, dass die ebenfalls durch den Ausbau und die Produktion von EE-Technologien entstehenden indirekten Effekte oder Vorleistungen hier ebenso wie eine Analyse potenziell beschäftigungsmindernder Effekte in anderen Wirtschaftsbereichen (Nettoeffekte) nicht betrachtet wird. Insgesamt ist in den hier untersuchten 15 EE-Wertschöpfungsketten im Jahr 2010 von einer direkten Beschäftigtenzahl in Brandenburg in Höhe von mind. 11.540 **Vollzeitbeschäftigten** auszugehen. Dabei ist der Großteil der Beschäftigten im Bereich der Photovoltaik (53 %), Windenergie Onshore (21 %) und Biomasse (20 %) zu finden. Zählt man hierzu noch weitere durch den EE-Ausbau induzierte Beschäftigung durch Vorleistungen und indirekte Effekte hinzu, erhöht sich dieser Wert deutlich. Gemäß der BMU-Beschäftigungsstudie (BMU 2006) liegt eine Abschätzung für Deutschland vor, die diesen Effekten einen Anteil von etwa 55 % an der Gesamtbeschäftigung zuschreibt. Überträgt man diese Quote auf Brandenburg, dann läge die gesamte Beschäftigung, die durch die erneuerbaren Energien erzeugt würde, bei 25.644 Vollzeitbeschäftigten. Tatsächlich dürfte aufgrund der im Vergleich zum Bundesdurchschnitt deutlich geringeren Produktionsquote in Brandenburg die gesamte Beschäftigtenzahl tendenziell jedoch unter diesem Wert liegen.

Gemäß der angenommenen zukünftigen Ausbauentwicklung in Brandenburg werden nach dem Szenario EE-50BK in den Jahren 2020 und 2030 voraussichtlich 14.357 bzw. 17.857 direkte Vollzeitbeschäftigte im Bereich der EE tätig sein. Die Anzahl der Beschäftigten wird im gleichen Zeitraum nach dem Szenario EE-0BK auf rund 15.070 bzw. 19.237 ansteigen.

Der Großteil der Beschäftigten ist wiederum im Bereich der Photovoltaik, Windenergie Onshore (inkl. Repowering) und Biomasse zu erwarten. Bei letzteren kann in den Jahren 2020 und 2030 gemäß dem Szenario EE-50BK von rund 3.295 bzw. 4.764 Beschäftigten ausgegangen werden, was dem 1,4-fachen bzw. doppelten Wert des Jahres 2010 entspräche. Im Szenario EE-0BK wird die Anzahl der Beschäftigten im Bereich Biomasse nur einen Wert von 3.003 bzw. 4.497 direkten Vollzeitbeschäftigten erzielen. Demgegenüber kann bei der Photovoltaik aufgrund der fortschreitenden, deutlichen Kostendegression ein Beschäftigungsrückgang bis 2030 beobachtet werden, u.a. durch Skaleneffekte und die Automatisierung in der Produktion. In den Szenarien EE-50BK und EE-0BK fällt die Anzahl der Beschäftigten in den Jahren 2020 und 2030 auf 4.717 bzw. 5.256 und 4.694 bzw. 5.329 zurück. Dagegen ist im Bereich Windenergie ein kontinuierlicher Beschäftigungsanstieg zu erwarten. In den Szenarien EE-50BK und EE-0BK kann in den Jahren 2020 und

2030 von 4.344 bzw. 5.159 und 4.756 bzw. 6.116 direkten Vollzeitbeschäftigten in der Produktion und dem Betrieb von Windenergieanlagen ausgegangen werden.

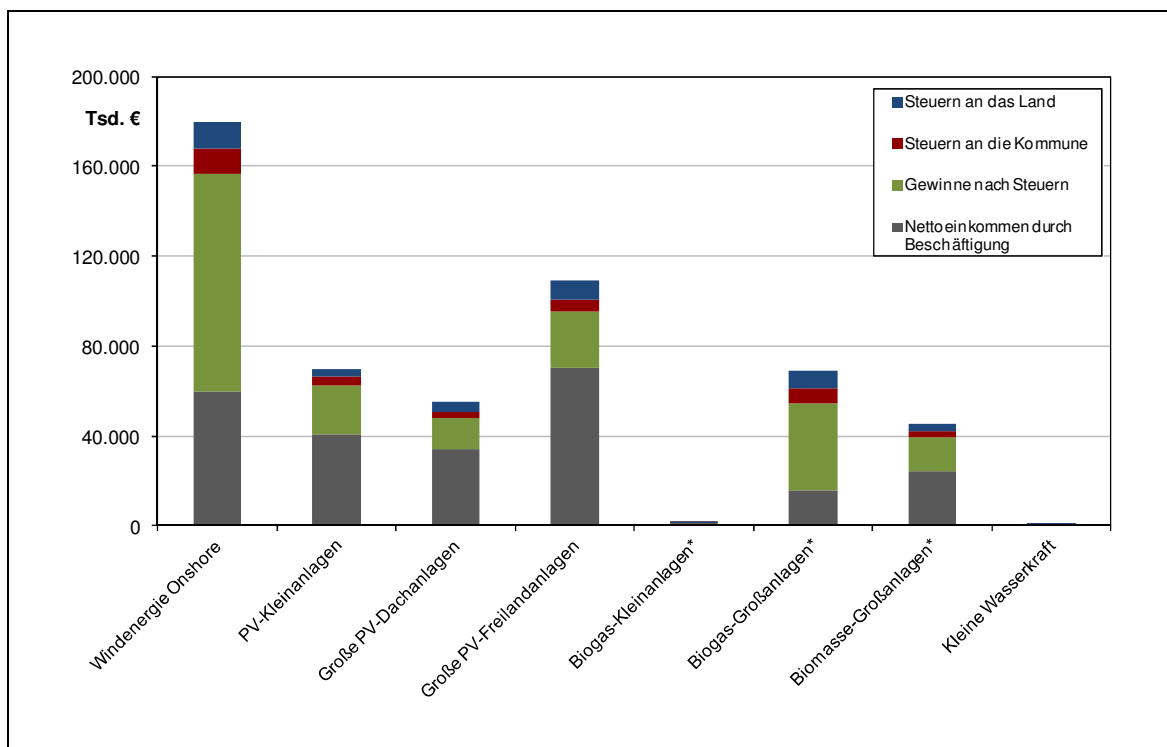
Die Beschäftigungswirkung der übrigen Technologien (Solarthermie, Wärmepumpen, Wasserkraft und Biokraftstoffe) belief sich im Jahr 2010 auf 631 Beschäftigte. Nach dem Szenario EE-50BK ist im Jahr 2020 von rund 2.001 und im Jahr 2030 von 3.221 Beschäftigten in diesen Bereichen auszugehen. Gemäß dem Szenario EE-0BK (Energiewende) fällt die Anzahl der Beschäftigten in den Jahren 2020 und 2030 mit 2.055 und 3.295 etwas höher aus.

## 8.3 Ergebnistabellen und -grafiken für 2010, 2020 und 2030

**Tab. 8.1: Hochgerechnete Wertschöpfung und direkte Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Brandenburg – JAHR 2010**

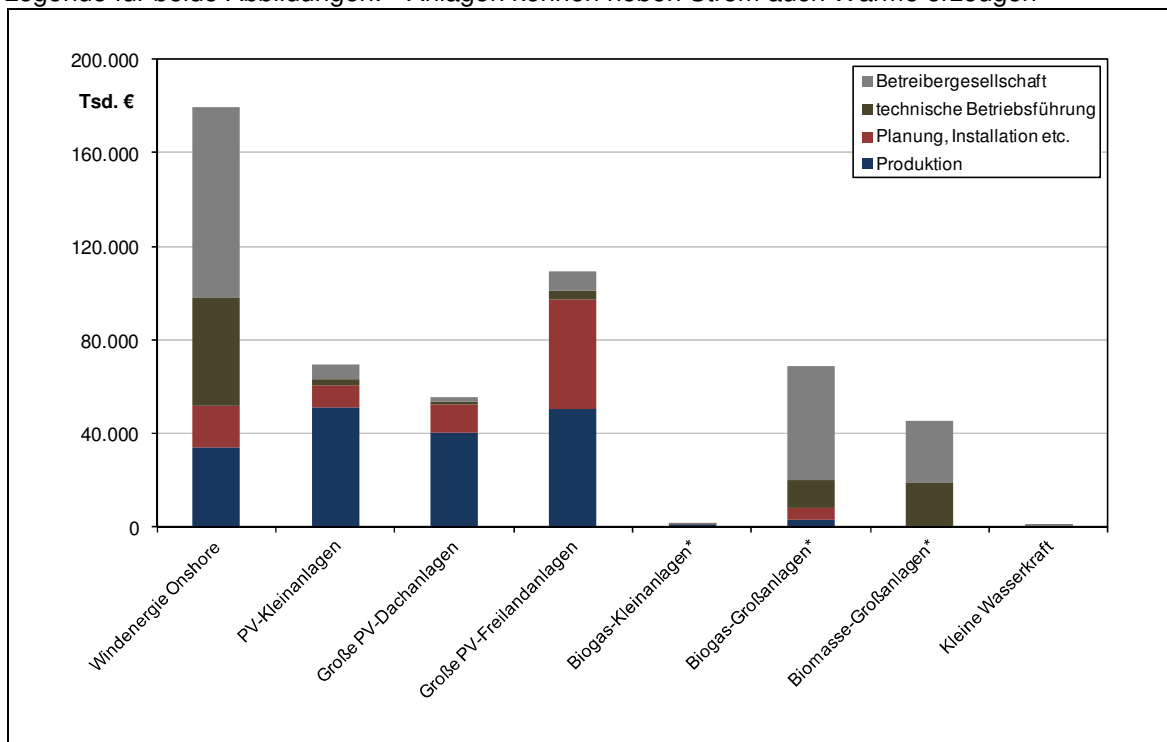
Quelle: eigene Berechnungen

EE-Technologien	Gewinne nach Steuern	Nettoeinkommen durch Beschäftigung	Steuern an die Kommune	Steuern an das Land	Wertschöpfung BB gesamt	In % der Wertschöpfung gesamt	Beschäftigungseffekte
	Tsd. €	Tsd. €	Tsd. €	Tsd. €	Tsd. €	%	Anzahl Beschäftigte
<b>Windenergie Onshore</b>	<b>96.369</b>	<b>60.009</b>	<b>11.558</b>	<b>11.855</b>	<b>179.791</b>	<b>30,2</b>	<b>2.465</b>
PV-Kleinanlagen	21.468	40.935	4.031	3.037	69.472	11,7	1.909
PV-Freiland	13.745	34.192	3.006	4.388	55.330	9,3	1.492
PV-Dach	25.020	70.313	5.520	8.457	109.310	18,4	2.706
<b>Photovoltaik gesamt</b>	<b>60.233</b>	<b>145.440</b>	<b>12.557</b>	<b>15.881</b>	<b>234.112</b>	<b>39,3</b>	<b>6.106</b>
<b>Kleine Wasserkraft</b>	<b>173</b>	<b>230</b>	<b>22</b>	<b>38</b>	<b>463</b>	<b>0,1</b>	<b>11</b>
Biogas-Kleinanlagen	435	950	72	150	1.606	0,3	54
Biogas-Großanlagen	39.020	15.711	6.390	7.678	68.799	11,6	701
<b>Biogas gesamt</b>	<b>39.454</b>	<b>16.662</b>	<b>6.462</b>	<b>7.828</b>	<b>70.405</b>	<b>11,8</b>	<b>756</b>
Biomasse-KFA	497	6.343	279	634	7.753	1,3	299
Biomasse-Großanlagen	14.580	24.572	2.590	3.618	45.360	7,6	1.283
<b>Biomasse gesamt</b>	<b>15.077</b>	<b>30.915</b>	<b>2.869</b>	<b>4.252</b>	<b>53.113</b>	<b>8,9</b>	<b>1.581</b>
<b>Wärmepumpen</b>	<b>974</b>	<b>3.340</b>	<b>262</b>	<b>486</b>	<b>5.060</b>	<b>0,9</b>	<b>145</b>
Kleine Solarthermie	593	2.442	166	316	3.517	0,6	116
Große Solarthermie	58	239	16	29	343	0,1	11
<b>Solarthermie gesamt</b>	<b>651</b>	<b>2.681</b>	<b>183</b>	<b>345</b>	<b>3.859</b>	<b>0,6</b>	<b>127</b>
<b>Biokraftstoffe</b>	<b>28.746</b>	<b>9.409</b>	<b>5.386</b>	<b>4.966</b>	<b>48.507</b>	<b>8,1</b>	<b>347</b>
<b>Stromerzeugende Anlagen gesamt</b>	<b>210.809</b>	<b>246.913</b>	<b>33.189</b>	<b>39.220</b>	<b>530.131</b>	<b>89,1</b>	<b>10.622</b>
<b>Wärmeerzeugende Anlagen gesamt</b>	<b>2.122</b>	<b>12.363</b>	<b>723</b>	<b>1.465</b>	<b>16.673</b>	<b>2,8</b>	<b>571</b>
<b>Biokraftstoffe gesamt</b>	<b>29.863</b>	<b>12.805</b>	<b>5.666</b>	<b>5.409</b>	<b>53.744</b>	<b>8,9</b>	<b>347</b>
<b>Wertschöpfung gesamt</b>	<b>241.676</b>	<b>268.685</b>	<b>39.298</b>	<b>45.651</b>	<b>595.310</b>	<b>100,0</b>	<b>11.540</b>

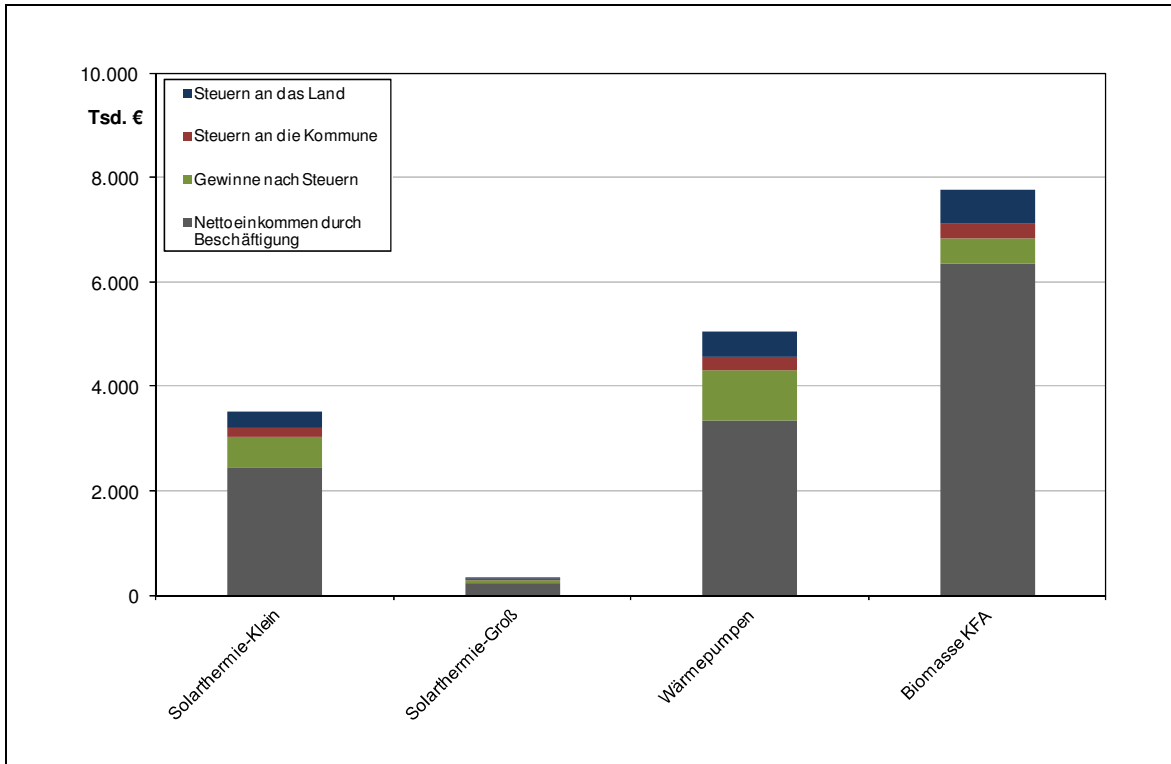


**Abb. 8.1: Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Strom erzeugender EE-Anlagen im JAHR 2010 in Tausend Euro, aufgeteilt nach Nettoeinkommen, Gewinnen und Steuern**

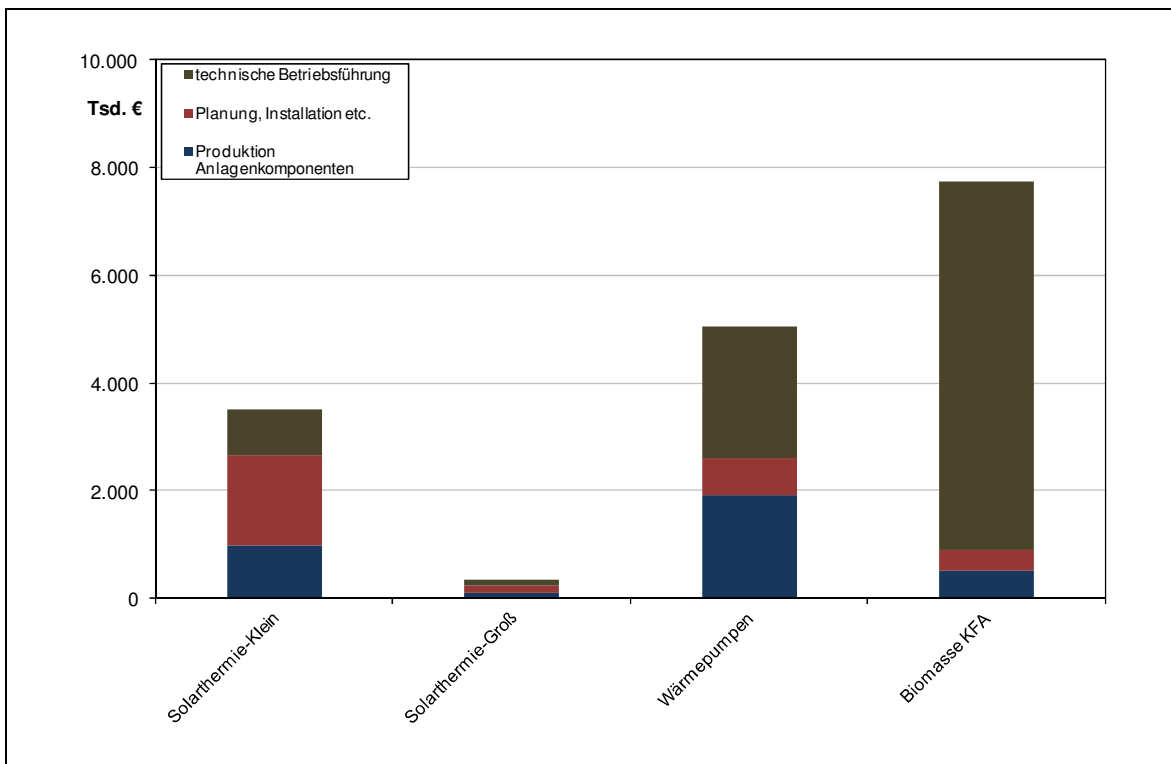
Legende für beide Abbildungen: \* Anlagen können neben Strom auch Wärme erzeugen



**Abb. 8.2: Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Strom erzeugender EE-Anlagen im BASISJAHR 2010 in Tausend Euro, aufgeteilt nach Wertschöpfungsstufen**



**Abb. 8.3: Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Wärme erzeugender EE-Anlagen im JAHR 2010 in Tausend Euro aufgeteilt nach Nettoeinkommen, Gewinnen und Steuern**

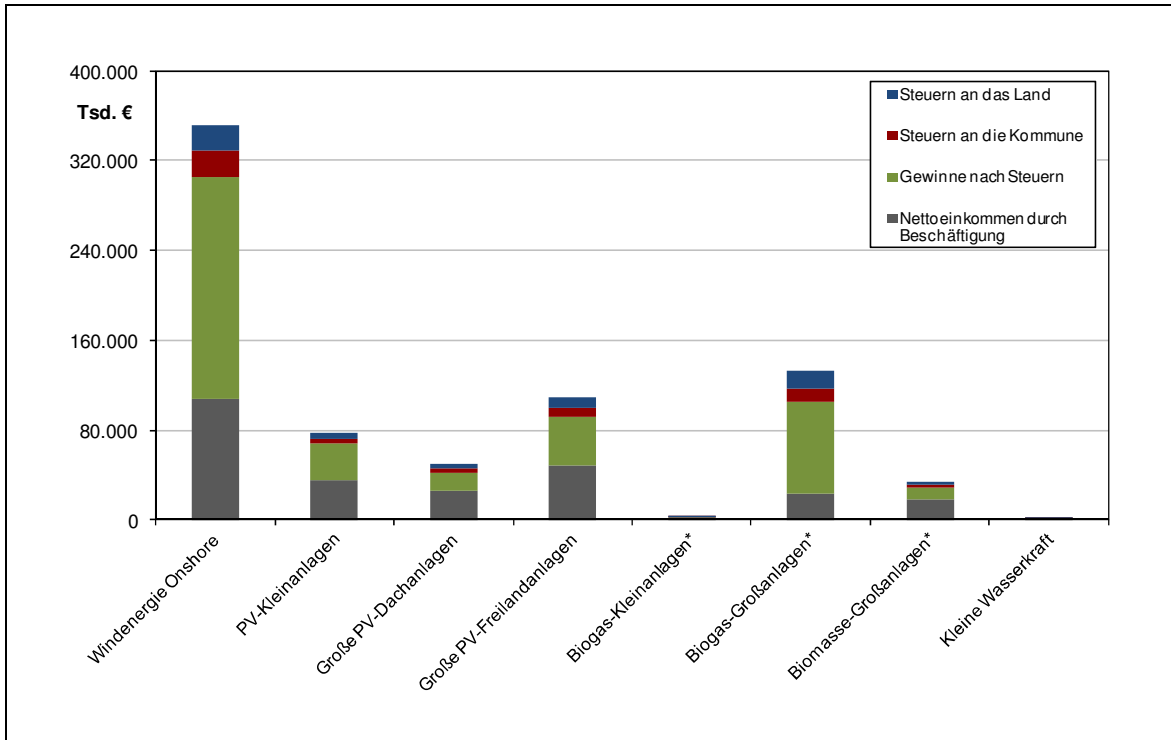


**Abb. 8.4: Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Wärme erzeugender EE-Anlagen im JAHR 2010 in Tausend Euro, aufgeteilt nach Wertschöpfungsstufen**

**Tab. 8.2: Hochgerechnete Wertschöpfung und direkte Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Brandenburg – EE 50-BK 2020**

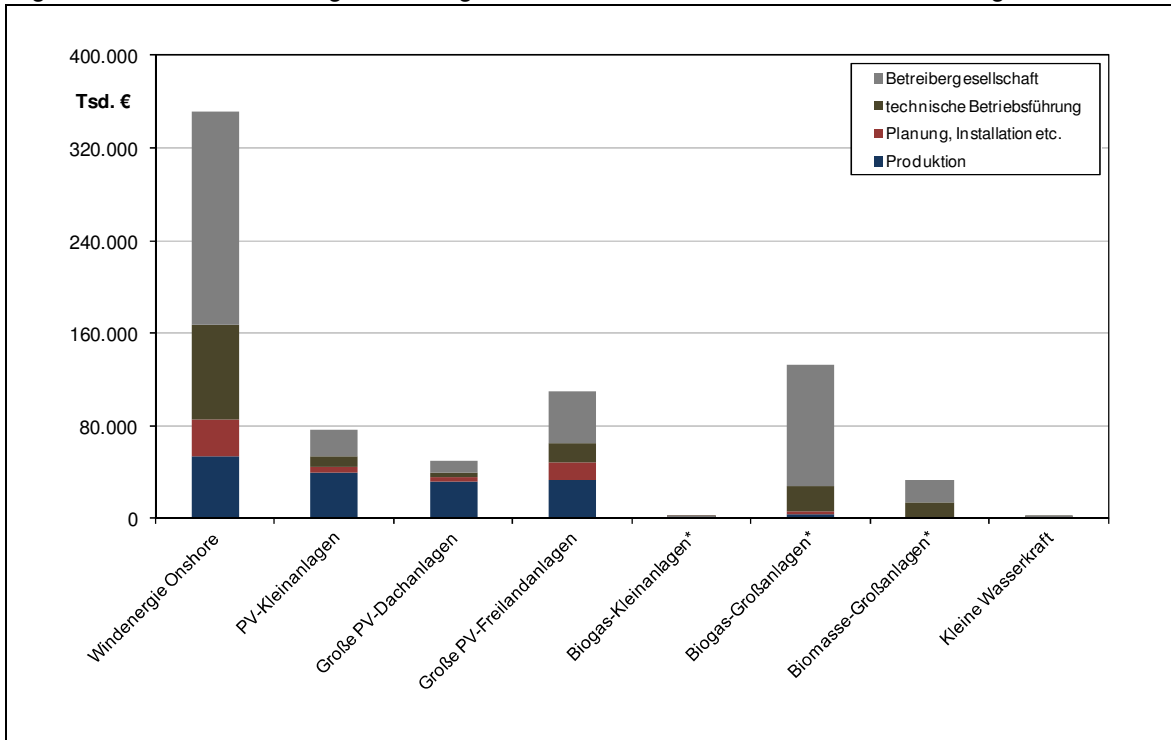
Quelle: eigene Berechnungen

EE-Technologien	Gewinne nach Steuern	Nettoeinkommen durch Beschäftigung	Steuern an die Kommune	Steuern an das Land	Wertschöpfung BB gesamt	In % der Wertschöpfung gesamt	Beschäftigungseffekte
	Tsd. €	Tsd. €	Tsd. €	Tsd. €	Tsd. €	%	Anzahl Beschäftigte
<b>Windenergie Onshore</b>	<b>197.230</b>	<b>107.548</b>	<b>24.033</b>	<b>22.918</b>	<b>351.729</b>	<b>39,3</b>	<b>4.345</b>
PV-Kleinanlagen	32.704	34.828	4.326	5.119	76.977	8,6	1.625
PV-Freiland	28.913	25.446	3.208	4.142	49.378	5,5	1.144
PV-Dach	43.454	48.316	7.833	9.650	109.254	12,2	1.948
<b>Photovoltaik gesamt</b>	<b>92.740</b>	<b>108.590</b>	<b>15.367</b>	<b>18.912</b>	<b>235.609</b>	<b>26,3</b>	<b>4.717</b>
<b>Kleine Wasserkraft</b>	<b>661</b>	<b>593</b>	<b>68</b>	<b>117</b>	<b>1.440</b>	<b>0,2</b>	<b>29</b>
Biogas-Kleinanlagen	644	1.114	95	204	2.056	0,2	64
Biogas-Großanlagen	80.904	23.629	13.001	15.145	132.678	14,8	1.017
<b>Biogas gesamt</b>	<b>81.547</b>	<b>24.743</b>	<b>13.095</b>	<b>15.349</b>	<b>134.734</b>	<b>15,1</b>	<b>1.081</b>
Biomasse-KFA	2.067	27.063	1.182	2.701	33.013	3,7	1.274
Biomasse-Großanlagen	10.833	18.082	1.926	2.681	33.521	3,7	941
<b>Biomasse gesamt</b>	<b>12.900</b>	<b>45.145</b>	<b>3.108</b>	<b>5.382</b>	<b>66.534</b>	<b>7,4</b>	<b>2.214</b>
<b>Wärmepumpen</b>	<b>7.615</b>	<b>26.169</b>	<b>2.064</b>	<b>3.884</b>	<b>39.732</b>	<b>4,4</b>	<b>1.097</b>
Kleine Solarthermie	1.609	6.506	448	848	9.412	1,1	307
Große Solarthermie	1.096	4.673	315	566	6.649	0,7	219
<b>Solarthermie gesamt</b>	<b>2.705</b>	<b>11.178</b>	<b>763</b>	<b>1.414</b>	<b>16.061</b>	<b>1,8</b>	<b>526</b>
<b>Biokraftstoffe</b>	<b>28.910</b>	<b>9.463</b>	<b>5.417</b>	<b>4.995</b>	<b>48.784</b>	<b>5,5</b>	<b>349</b>
<b>Stromerzeugende Anlagen gesamt</b>	<b>383.011</b>	<b>259.556</b>	<b>54.490</b>	<b>59.976</b>	<b>757.033</b>	<b>84,6</b>	<b>11.112</b>
<b>Wärmeerzeugende Anlagen gesamt</b>	<b>12.387</b>	<b>64.411</b>	<b>4.009</b>	<b>8.000</b>	<b>88.807</b>	<b>9,9</b>	<b>2.896</b>
<b>Biokraftstoffe gesamt</b>	<b>28.910</b>	<b>9.463</b>	<b>5.417</b>	<b>4.995</b>	<b>48.784</b>	<b>5,5</b>	<b>349</b>
<b>Wertschöpfung gesamt</b>	<b>424.308</b>	<b>333.430</b>	<b>63.915</b>	<b>72.970</b>	<b>894.623</b>	<b>100,0</b>	<b>14.357</b>

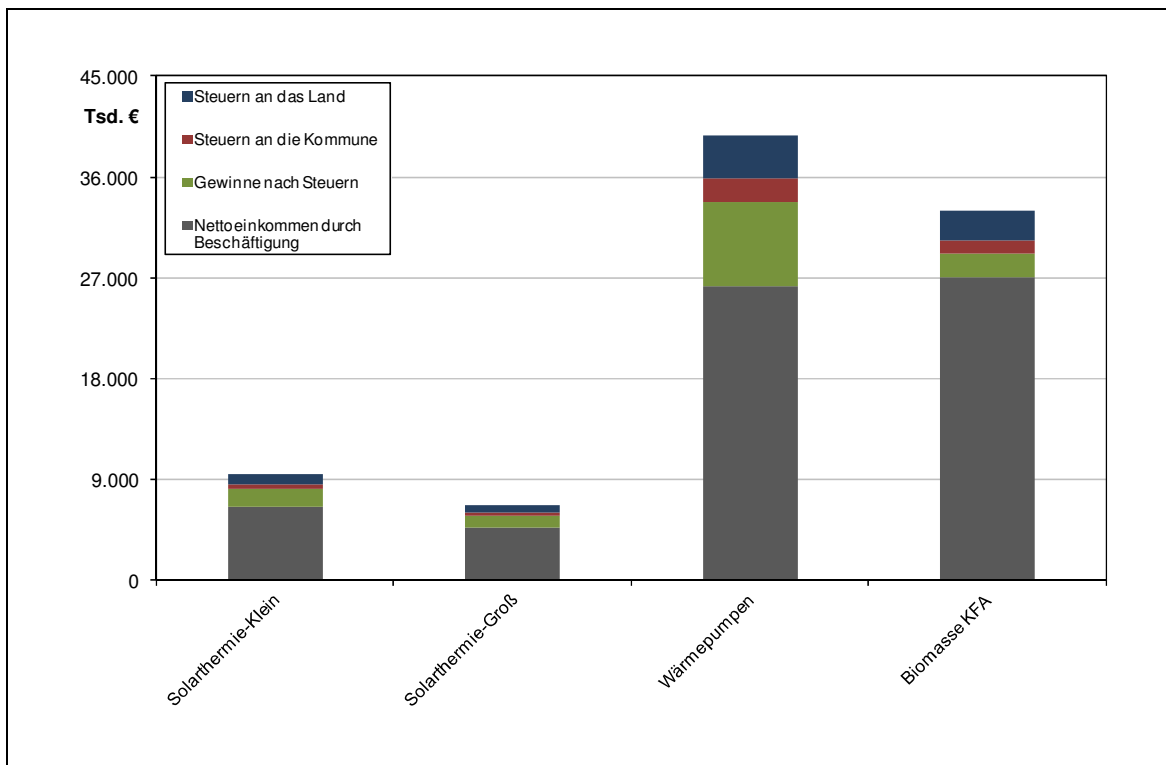


**Abb. 8.5: Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Strom erzeugender EE-Anlagen im Jahr 2020 (EE-50BK) in Tausend Euro, aufgeteilt nach Nettoeinkommen, Gewinnen und Steuern**

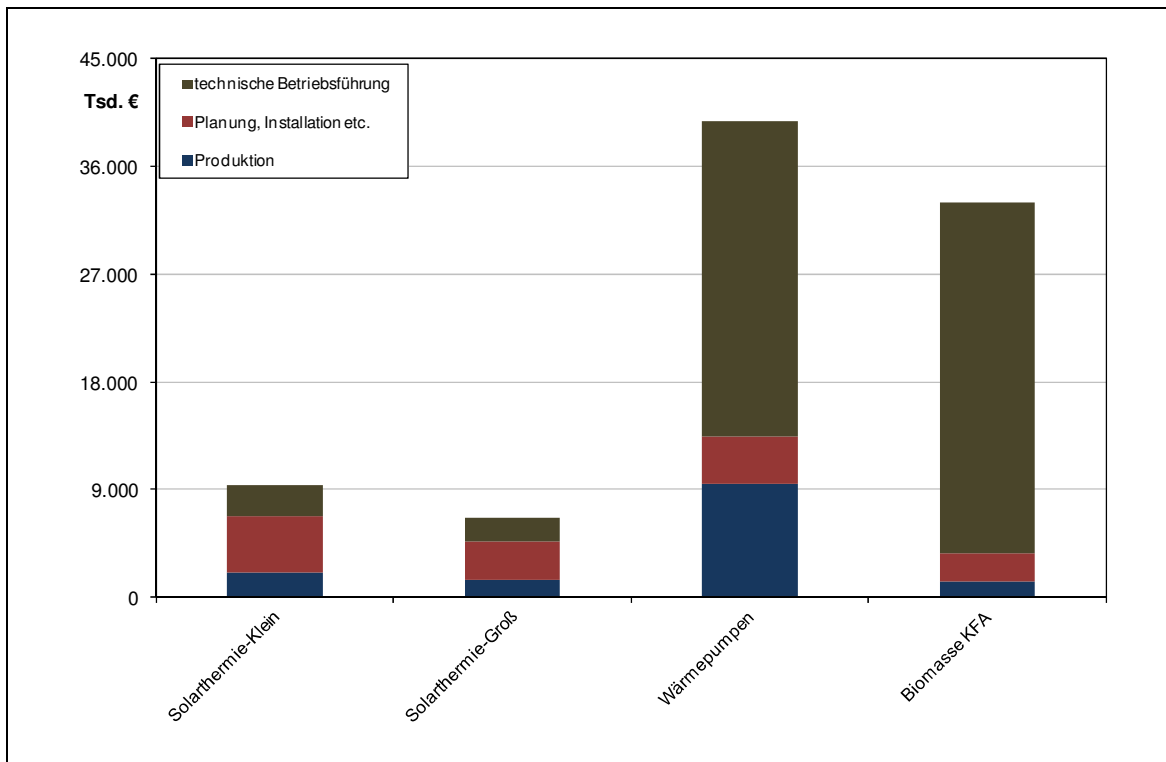
Legende für beide Abbildungen: \* Anlagen können neben Strom auch Wärme erzeugen



**Abb. 8.6: Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Strom erzeugender EE-Anlagen im AHR 2020 (EE-50BK) in Tausend Euro, aufgeteilt nach Wertschöpfungsstufen**



**Abb. 8.7: Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Wärme erzeugender EE-Anlagen im JAHR 2020 (EE-50BK) in Tausend Euro aufgeteilt nach Nettoeinkommen, Gewinnen und Steuern**

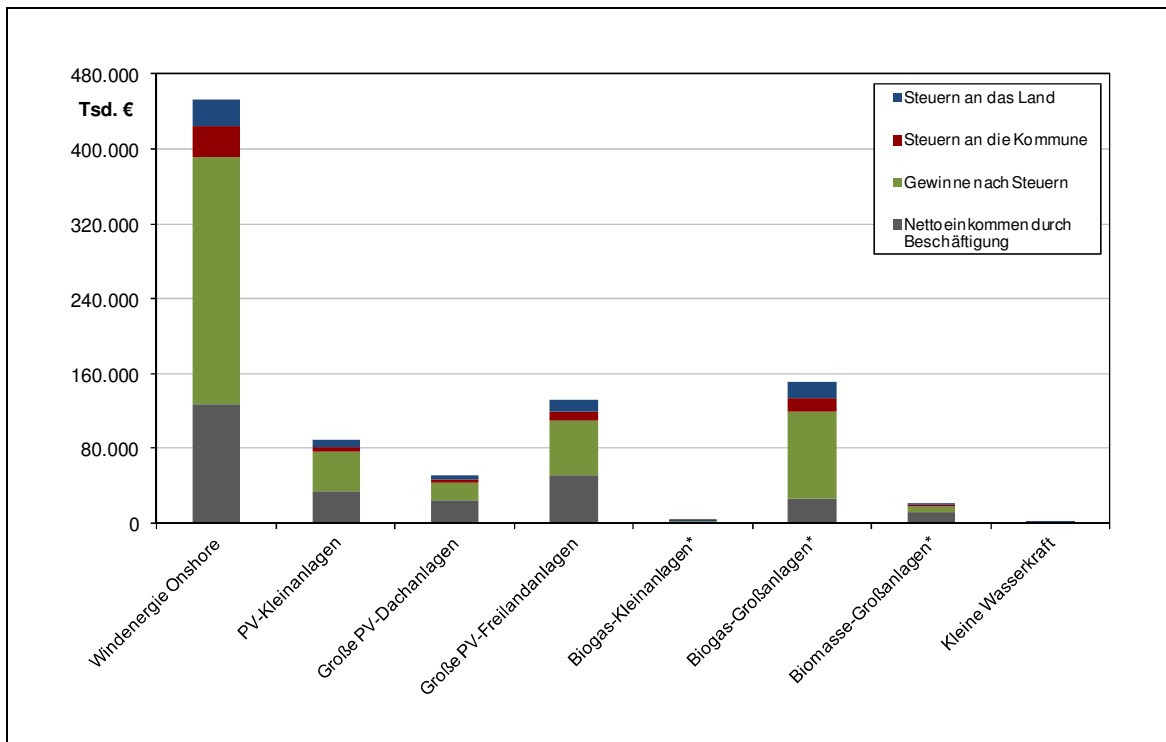


**Abb. 8.8: Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Wärme erzeugender EE-Anlagen im JAHR 2020 (EE-50BK) in Tausend Euro, aufgeteilt nach Wertschöpfungsstufen**

**Tab. 8.3: Hochgerechnete Wertschöpfung und direkte Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Brandenburg – EE 50-BK 2030**

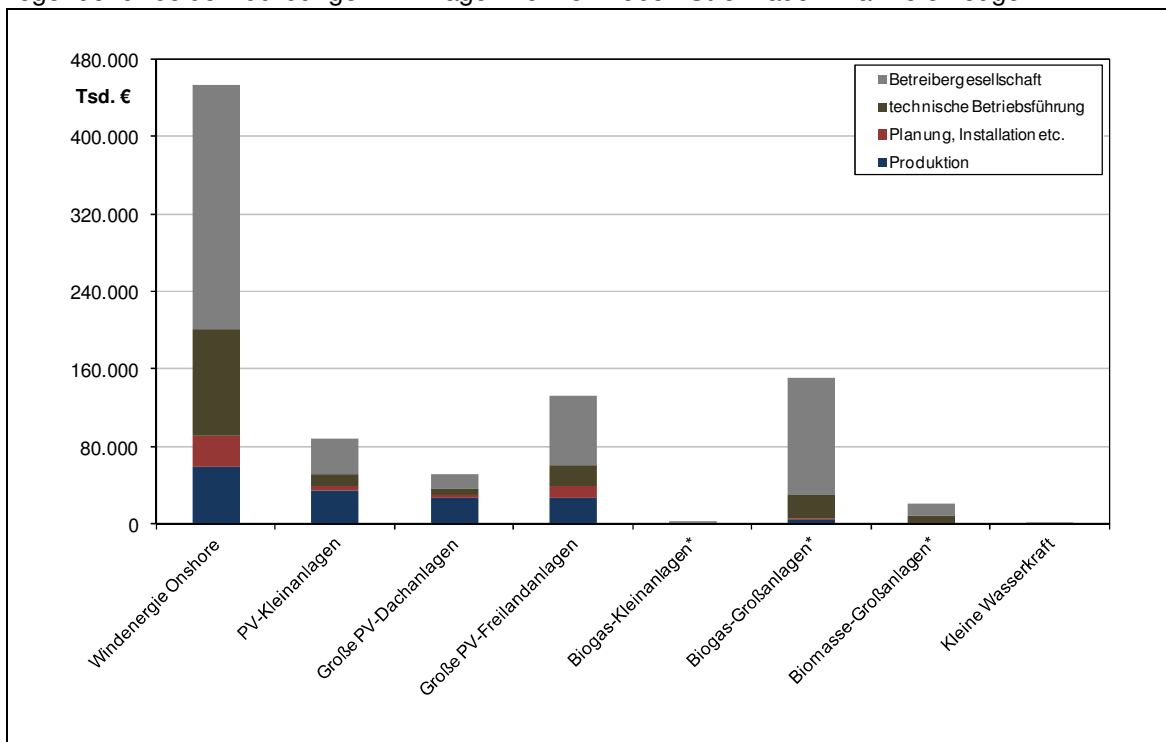
Quelle: eigene Berechnungen

EE-Technologien	Gewinne nach Steuern	Nettoeinkommen durch Beschäftigung	Steuern an die Kommune	Steuern an das Land	Wertschöpfung BB gesamt	In % der Wertschöpfung gesamt	Beschäftigungseffekte
	Tsd. €	Tsd. €	Tsd. €	Tsd. €	Tsd. €	%	Anzahl Beschäftigte
<b>Windenergie Onshore</b>	<b>264.858</b>	<b>127.044</b>	<b>31.661</b>	<b>29.487</b>	<b>453.050</b>	<b>40,1</b>	<b>5.159</b>
PV-Kleinanlagen	42.799	34.067	4.874	6.940	88.680	7,9	1.566
PV-Freiland	19.315	24.295	3.594	4.410	51.613	4,6	1.084
PV-Dach	58.543	51.013	10.225	11.997	131.778	11,7	2.044
<b>Photovoltaik gesamt</b>	<b>120.657</b>	<b>109.374</b>	<b>18.693</b>	<b>23.346</b>	<b>272.071</b>	<b>24,1</b>	<b>4.694</b>
<b>Kleine Wasserkraft</b>	<b>389</b>	<b>415</b>	<b>61</b>	<b>92</b>	<b>957</b>	<b>0,1</b>	<b>19*</b>
Biogas-Kleinanlagen	671	1.238	101	216	2.226	0,2	71
Biogas-Großanlagen	92.248	26.652	14.811	17.275	150.985	13,4	1.139
<b>Biogas gesamt</b>	<b>92.919</b>	<b>27.890</b>	<b>14.912</b>	<b>17.491</b>	<b>153.212</b>	<b>13,6</b>	<b>1.211</b>
Biomasse-KFA	4.256	62.807	2.664	6.215	75.942	6,7	2.952
Biomasse-Großanlagen	7.098	11.634	1.264	1.748	21.744	1,9	602
<b>Biomasse gesamt</b>	<b>11.354</b>	<b>74.442</b>	<b>3.928</b>	<b>7.963</b>	<b>97.686</b>	<b>8,7</b>	<b>3.553</b>
<b>Wärmepumpen</b>	<b>16.600</b>	<b>56.978</b>	<b>4.510</b>	<b>8.547</b>	<b>86.635</b>	<b>7,7</b>	<b>2.352</b>
Kleine Solarthermie	1.974	7.226	529	985	10.714	0,9	338
Große Solarthermie	1.030	3.911	281	491	5.713	0,5	181
<b>Solarthermie gesamt</b>	<b>3.004</b>	<b>11.136</b>	<b>810</b>	<b>1.476</b>	<b>16.427</b>	<b>1,5</b>	<b>519</b>
<b>Biokraftstoffe</b>	<b>28.910</b>	<b>9.463</b>	<b>5.417</b>	<b>4.995</b>	<b>48.784</b>	<b>4,3</b>	<b>349</b>
<b>Stromerzeugende Anlagen gesamt</b>	<b>485.920</b>	<b>276.359</b>	<b>66.591</b>	<b>72.164</b>	<b>901.033</b>	<b>79,8</b>	<b>11.684</b>
<b>Wärmeerzeugende Anlagen gesamt</b>	<b>23.861</b>	<b>130.922</b>	<b>7.983</b>	<b>16.238</b>	<b>179.004</b>	<b>15,9</b>	<b>5.823</b>
<b>Biokraftstoffe gesamt</b>	<b>28.910</b>	<b>9.463</b>	<b>5.417</b>	<b>4.995</b>	<b>48.784</b>	<b>4,3</b>	<b>349</b>
<b>Wertschöpfung gesamt</b>	<b>538.690</b>	<b>416.743</b>	<b>79.991</b>	<b>93.396</b>	<b>1.128.821</b>	<b>100,0</b>	<b>17.857</b>

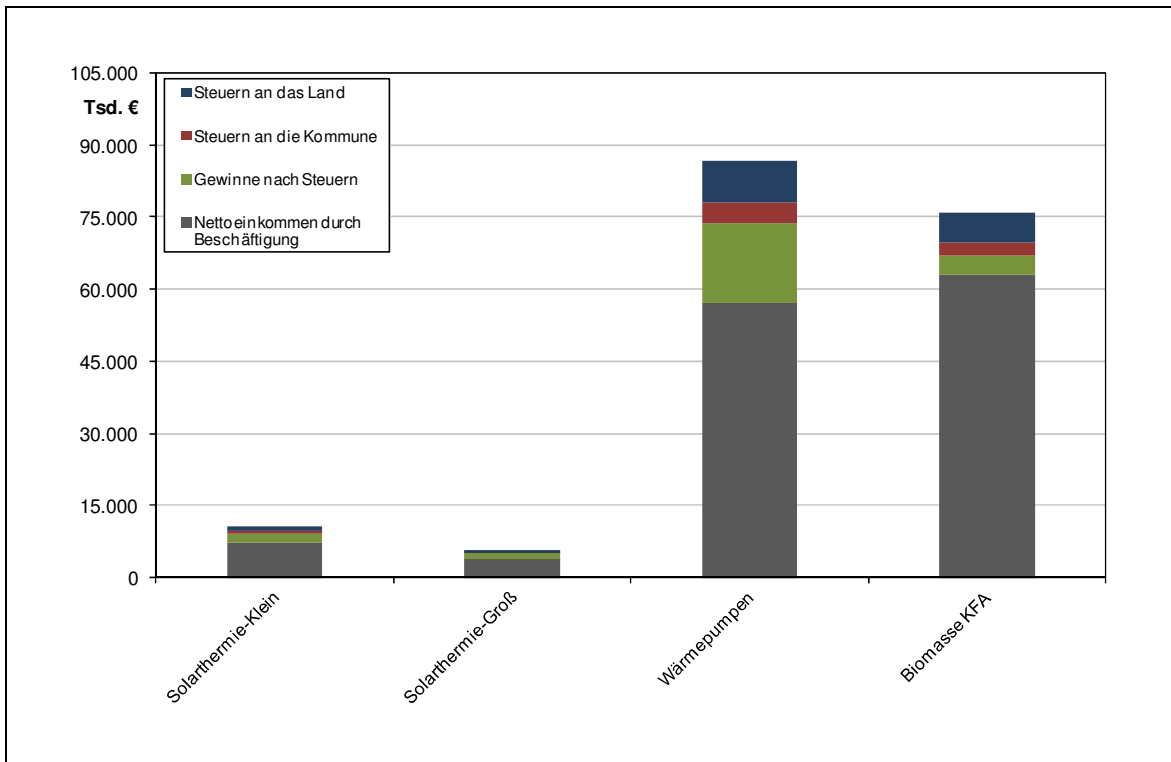


**Abb. 8.9: Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Strom erzeugender EE-Anlagen im Jahr 2030 (EE-50BK) in Tausend Euro, aufgeteilt nach Nettoeinkommen, Gewinnen und Steuern**

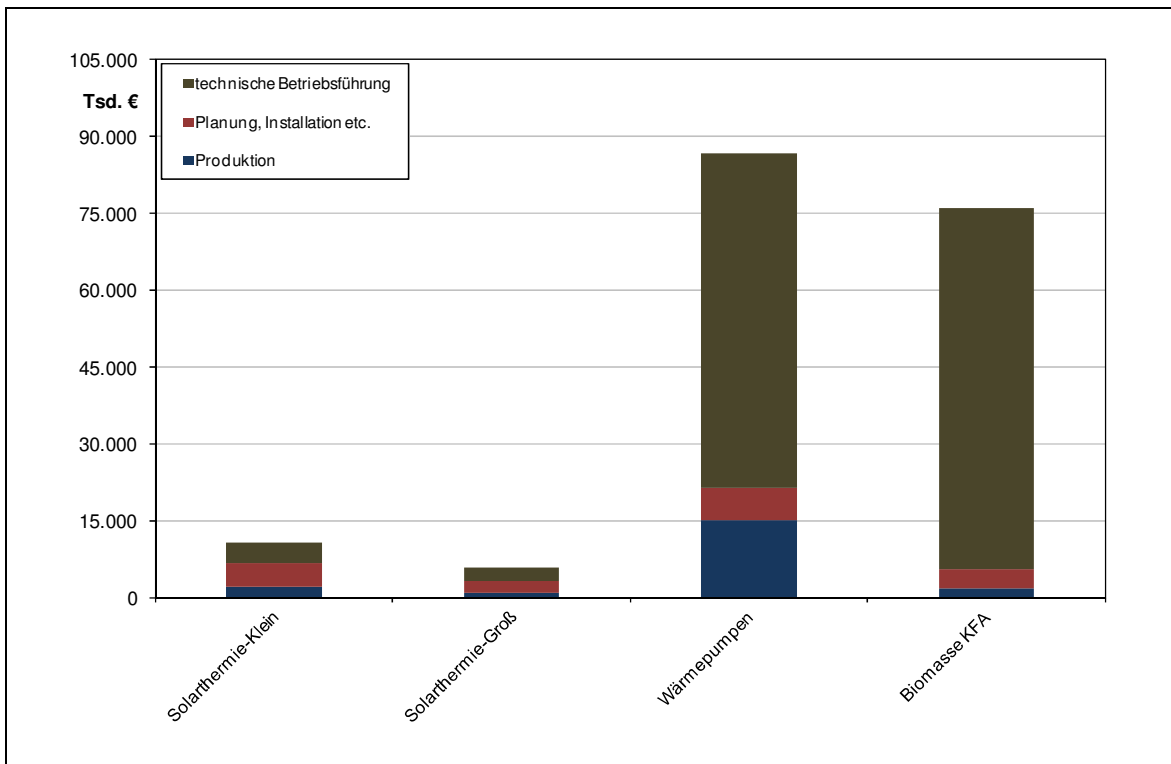
Legende für beide Abbildungen: \* Anlagen können neben Strom auch Wärme erzeugen



**Abb. 8.10: Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Strom erzeugender EE-Anlagen im JAHR 2030 (EE-50BK) in Tausend Euro, aufgeteilt nach Wertschöpfungsstufen**



**Abb. 8.11: Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Wärme erzeugender EE-Anlagen im JAHR 2030 (EE-50BK) in Tausend Euro aufgeteilt nach Nettoeinkommen, Gewinnen und Steuern**

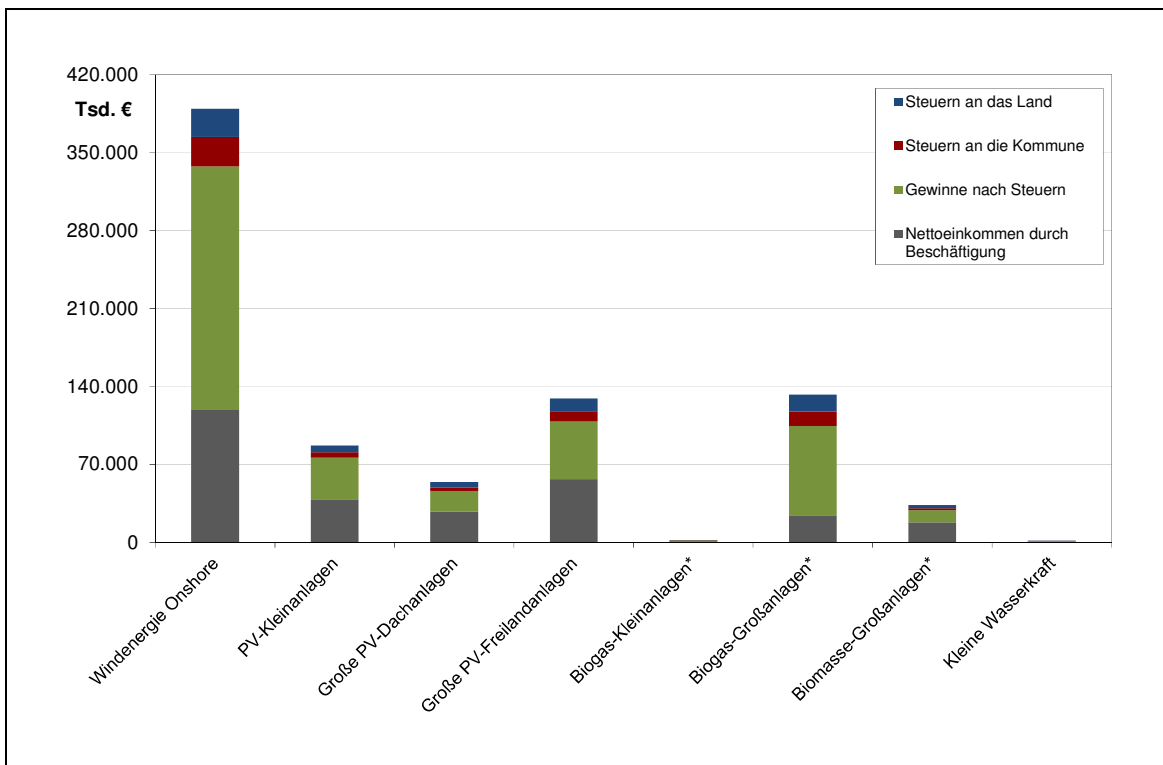


**Abb. 8.12: Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Wärme erzeugender EE-Anlagen im JAHR 2030 (EE-50BK) in Tausend Euro, aufgeteilt nach Wertschöpfungsstufen**

**Tab. 8.4: Hochgerechnete Wertschöpfung und direkte Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Brandenburg – EE-OBK 2020 (Energiewende)**

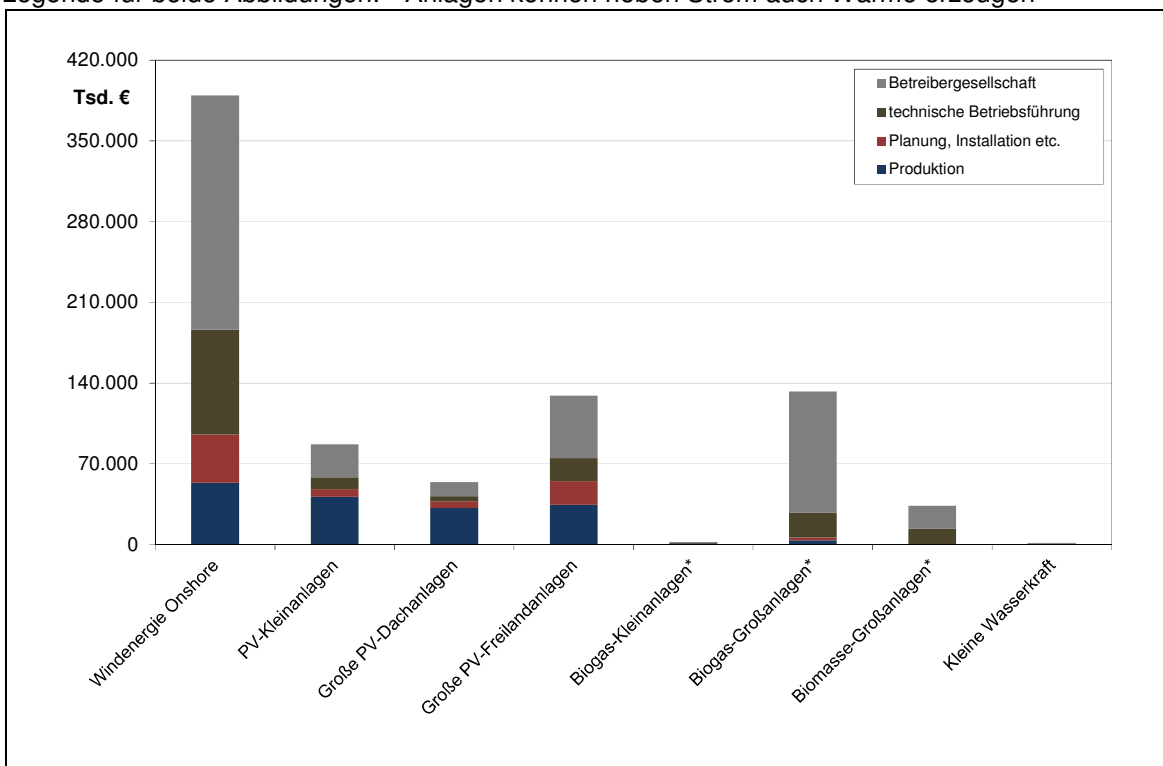
Quelle: eigene Berechnungen

EE-Technologien	Gewinne nach Steuern	Nettoeinkommen durch Beschäftigung	Steuern an die Kommune	Steuern an das Land	Wertschöpfung BB gesamt	In % der Wertschöpfung gesamt	Beschäftigungseffekte
	Tsd. €	Tsd. €	Tsd. €	Tsd. €	Tsd. €	%	Anzahl Beschäftigte
<b>Windenergie Onshore</b>	<b>218.717</b>	<b>118.870</b>	<b>26.477</b>	<b>25.250</b>	<b>389.315</b>	<b>40,5</b>	<b>4.756</b>
PV-Kleinanlagen	37.935	38.118	4.840	6.016	86.908	9,0	1.771
PV-Freiland	18.455	27.548	3.540	4.531	54.074	5,6	1.222
PV-Dach	51.452	56.986	9.250	11.380	129.068	13,4	2.262
<b>Photovoltaik gesamt</b>	<b>107.841</b>	<b>122.652</b>	<b>17.630</b>	<b>21.927</b>	<b>270.050</b>	<b>28,1</b>	<b>5.256</b>
<b>Kleine Wasserkraft</b>	<b>661</b>	<b>593</b>	<b>68</b>	<b>117</b>	<b>1.440</b>	<b>0,1</b>	<b>29</b>
Biogas-Kleinanlagen	644	1.114	95	204	2.056	0,2	64
Biogas-Großanlagen	80.904	23.629	13.001	15.145	132.678	13,8	1.017
<b>Biogas gesamt</b>	<b>81.547</b>	<b>24.743</b>	<b>13.095</b>	<b>15.349</b>	<b>134.734</b>	<b>14,0</b>	<b>1.081</b>
Biomasse-KFA	1.579	20.849	909	2.080	25.416	2,6	981
Biomasse-Großanlagen	10.833	18.082	1.926	2.681	33.521	3,5	941
<b>Biomasse gesamt</b>	<b>12.412</b>	<b>38.931</b>	<b>2.835</b>	<b>4.760</b>	<b>58.937</b>	<b>6,1</b>	<b>1.922</b>
<b>Wärmepumpen</b>	<b>7.615</b>	<b>26.169</b>	<b>2.064</b>	<b>3.884</b>	<b>39.732</b>	<b>4,1</b>	<b>1.097</b>
Kleine Solarthermie	1.609	6.506	448	848	9.412	1,0	307
Große Solarthermie	1.366	5.835	393	707	8.301	0,9	273
<b>Solarthermie gesamt</b>	<b>2.976</b>	<b>12.341</b>	<b>841</b>	<b>1.555</b>	<b>17.713</b>	<b>1,8</b>	<b>580</b>
<b>Biokraftstoffe</b>	<b>28.910</b>	<b>9.463</b>	<b>5.417</b>	<b>4.995</b>	<b>48.784</b>	<b>5,1</b>	<b>349</b>
<b>Stromerzeugende Anlagen gesamt</b>	<b>419.600</b>	<b>284.939</b>	<b>59.197</b>	<b>65.323</b>	<b>829.059</b>	<b>86,3</b>	<b>12.062</b>
<b>Wärmeerzeugende Anlagen gesamt</b>	<b>12.170</b>	<b>59.359</b>	<b>3.814</b>	<b>7.519</b>	<b>82.862</b>	<b>8,6</b>	<b>2.658</b>
<b>Biokraftstoffe gesamt</b>	<b>28.910</b>	<b>9.463</b>	<b>5.417</b>	<b>4.995</b>	<b>48.784</b>	<b>5,1</b>	<b>349</b>
<b>Wertschöpfung gesamt</b>	<b>460.680</b>	<b>353.761</b>	<b>68.428</b>	<b>77.836</b>	<b>960.705</b>	<b>100,0</b>	<b>15.070</b>

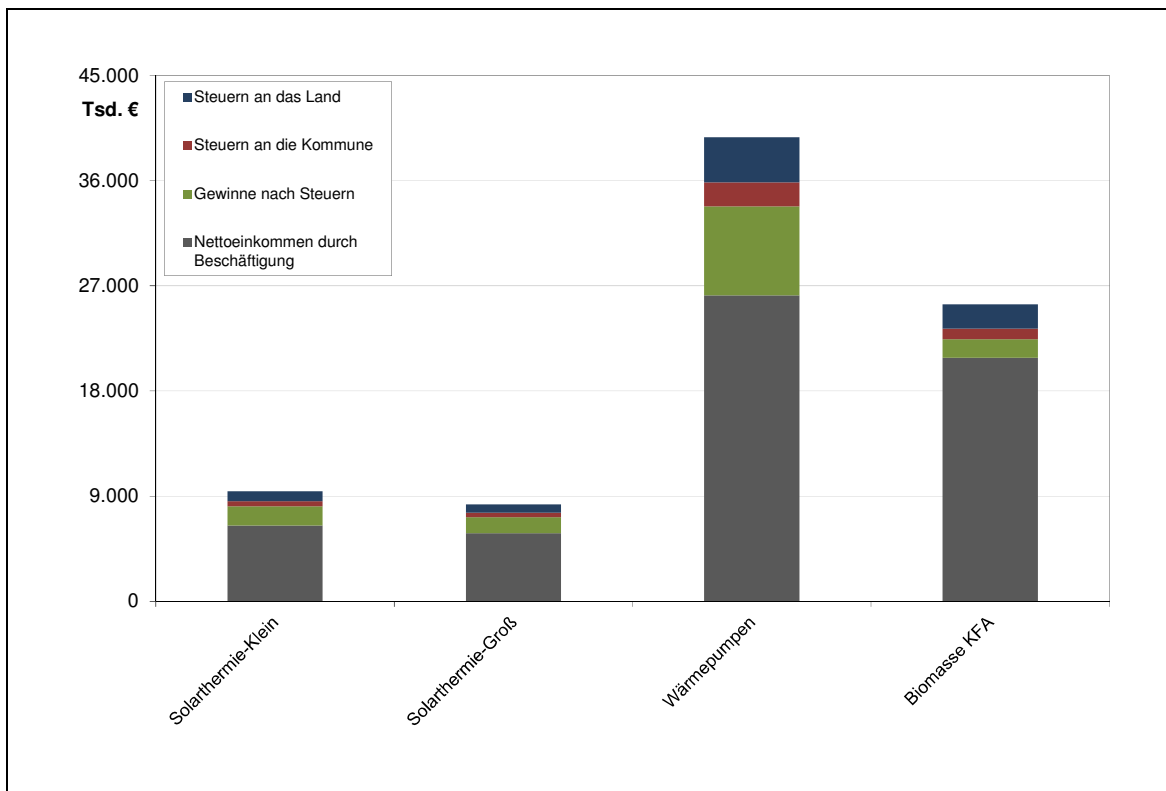


**Abb. 8.13: Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Strom erzeugender EE-Anlagen im Jahr 2020 (EE-OBK) in Tausend Euro, aufgeteilt nach Nettoeinkommen, Gewinnen und Steuern**

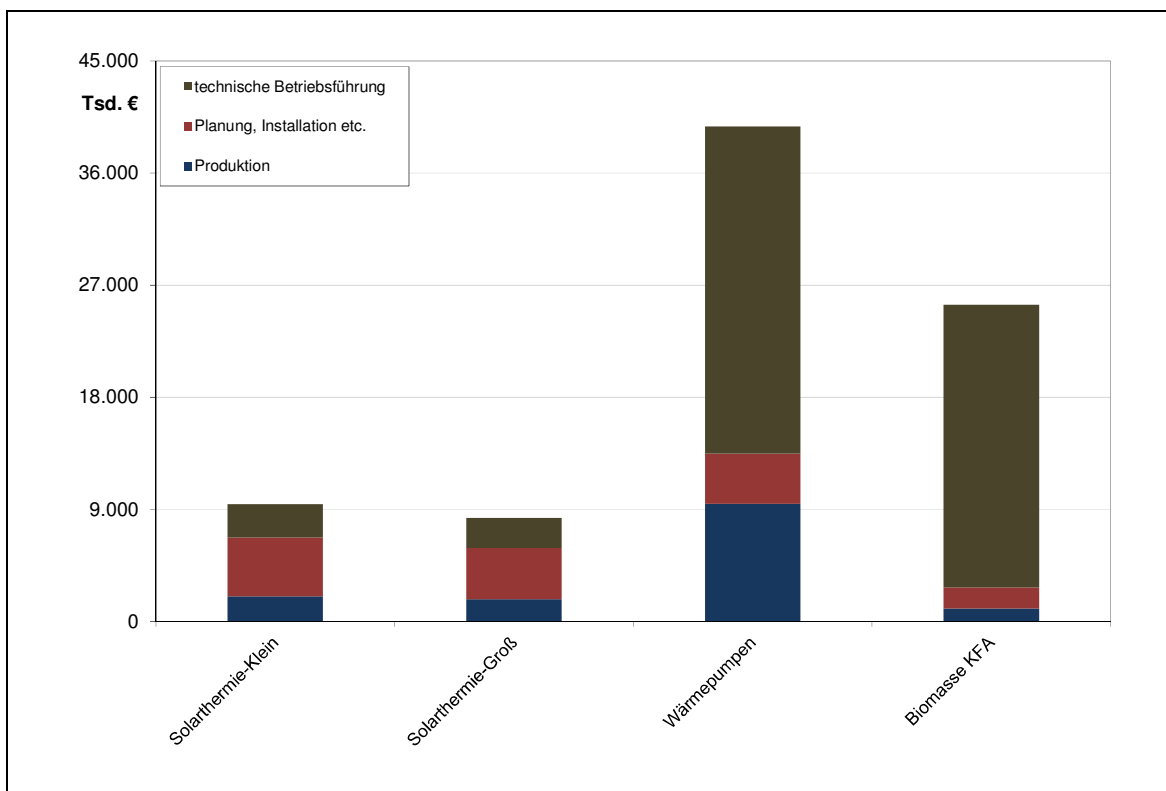
Legende für beide Abbildungen: \* Anlagen können neben Strom auch Wärme erzeugen



**Abb. 8.14: Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Strom erzeugender EE-Anlagen im JAHR 2020 (EE-OBK) in Tausend Euro, aufgeteilt nach Wertschöpfungsstufen**



**Abb. 8.15: Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Wärme erzeugender EE-Anlagen im JAHR 2020 (EE-0BK) in Tausend Euro aufgeteilt nach Nettoeinkommen, Gewinnen und Steuern**

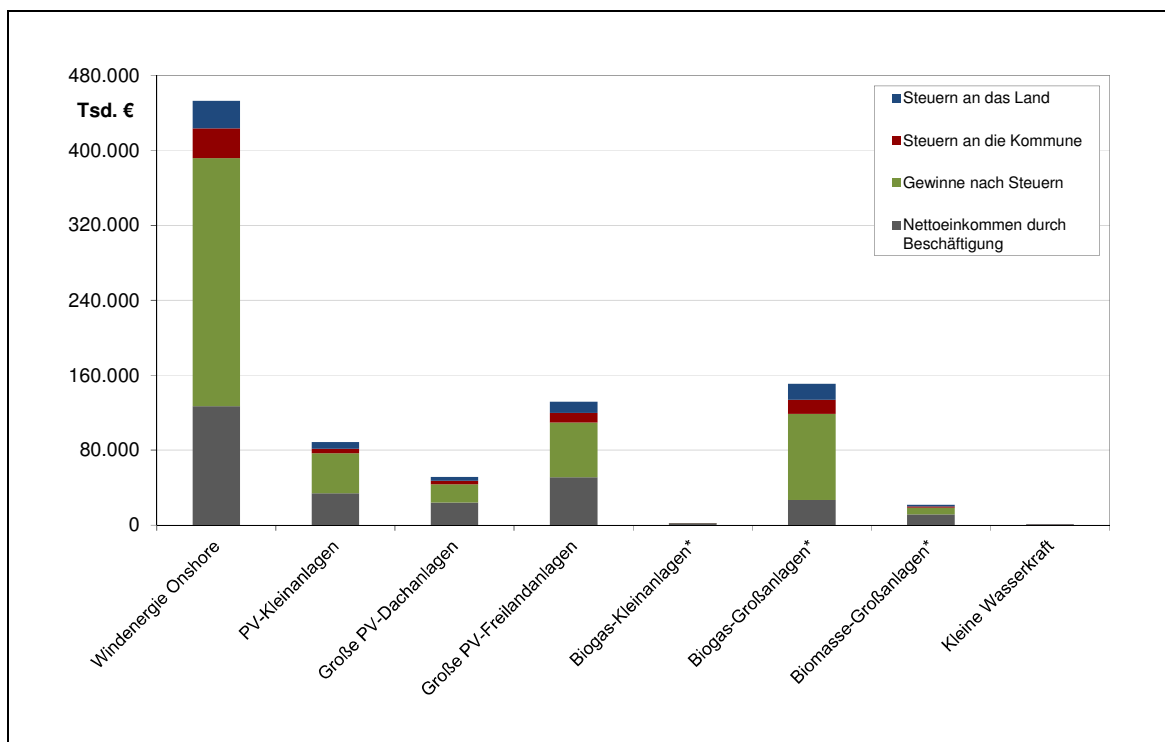


**Abb. 8.16: Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Wärme erzeugender EE-Anlagen im JAHR 2020 (EE-0BK) in Tausend Euro, aufgeteilt nach Wertschöpfungsstufen**

**Tab. 8.5: Hochgerechnete Wertschöpfung und direkte Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Brandenburg – EE-0BK 2030 (Energiewende)**

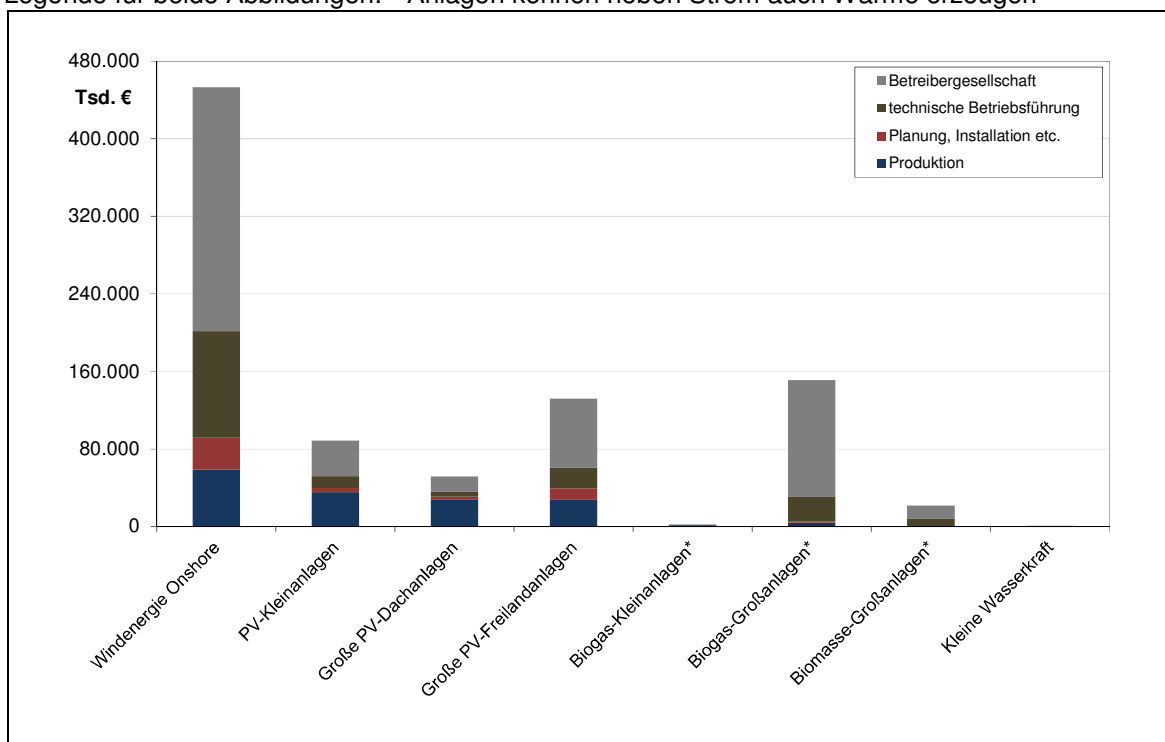
Quelle: eigene Berechnungen

EE-Technologien	Gewinne nach Steuern	Nettoeinkommen durch Beschäftigung	Steuern an die Kommune	Steuern an das Land	Wertschöpfung BB gesamt	In % der Wertschöpfung gesamt	Beschäftigungseffekte
	Tsd. €	Tsd. €	Tsd. €	Tsd. €	Tsd. €	%	Anzahl Beschäftigte
<b>Windenergie Onshore</b>	<b>322.225</b>	<b>152.995</b>	<b>38.171</b>	<b>35.644</b>	<b>549.035</b>	<b>43,9</b>	<b>6.116</b>
PV-Kleinanlagen	52.402	38.003	4.803	5.965	86.308	6,9	1.736
PV-Freiland	22.302	26.680	4.103	4.969	58.054	4,6	1.174
PV-Dach	71.396	61.174	12.427	14.538	159.535	12,7	2.420
<b>Photovoltaik gesamt</b>	<b>146.100</b>	<b>125.857</b>	<b>21.332</b>	<b>25.472</b>	<b>303.897</b>	<b>24,3</b>	<b>5.329</b>
<b>Kleine Wasserkraft</b>	<b>862</b>	<b>783</b>	<b>100</b>	<b>163</b>	<b>1.907</b>	<b>0,2</b>	<b>37</b>
Biogas-Kleinanlagen	671	1.238	101	216	2.226	0,2	71
Biogas-Großanlagen	92.248	26.652	14.811	17.275	150.985	12,1	1.139
<b>Biogas gesamt</b>	<b>92.919</b>	<b>27.890</b>	<b>14.912</b>	<b>17.491</b>	<b>153.212</b>	<b>12,2</b>	<b>1.211</b>
Biomasse-KFA	3.925	57.090	2.429	5.654	69.098	5,5	2.684
Biomasse-Großanlagen	7.101	11.652	1.265	1.750	21.769	1,7	602
<b>Biomasse gesamt</b>	<b>11.026</b>	<b>68.742</b>	<b>3.695</b>	<b>7.404</b>	<b>90.867</b>	<b>7,3</b>	<b>3.286</b>
<b>Wärmepumpen</b>	<b>16.600</b>	<b>56.978</b>	<b>4.510</b>	<b>8.547</b>	<b>86.635</b>	<b>6,9</b>	<b>2.352</b>
Kleine Solarthermie	1.974	7.226	529	985	10.714	0,9	338
Große Solarthermie	1.244	4.711	339	592	6.887	0,6	218
<b>Solarthermie gesamt</b>	<b>3.218</b>	<b>11.937</b>	<b>868</b>	<b>1.577</b>	<b>17.601</b>	<b>1,4</b>	<b>556</b>
<b>Biokraftstoffe</b>	<b>28.910</b>	<b>9.463</b>	<b>5.417</b>	<b>4.995</b>	<b>48.784</b>	<b>5,1</b>	<b>349</b>
<b>Stromerzeugende Anlagen gesamt</b>	<b>569.208</b>	<b>319.177</b>	<b>75.781</b>	<b>80.520</b>	<b>1.029.820</b>	<b>82,3</b>	<b>13.296</b>
<b>Wärmeerzeugende Anlagen gesamt</b>	<b>23.744</b>	<b>126.005</b>	<b>7.807</b>	<b>15.778</b>	<b>173.334</b>	<b>13,8</b>	<b>5.592</b>
<b>Biokraftstoffe gesamt</b>	<b>28.910</b>	<b>9.463</b>	<b>5.417</b>	<b>4.995</b>	<b>48.784</b>	<b>5,1</b>	<b>349</b>
<b>Wertschöpfung gesamt</b>	<b>621.861</b>	<b>454.644</b>	<b>89.004</b>	<b>101.292</b>	<b>1.251.938</b>	<b>100,0</b>	<b>19.237</b>

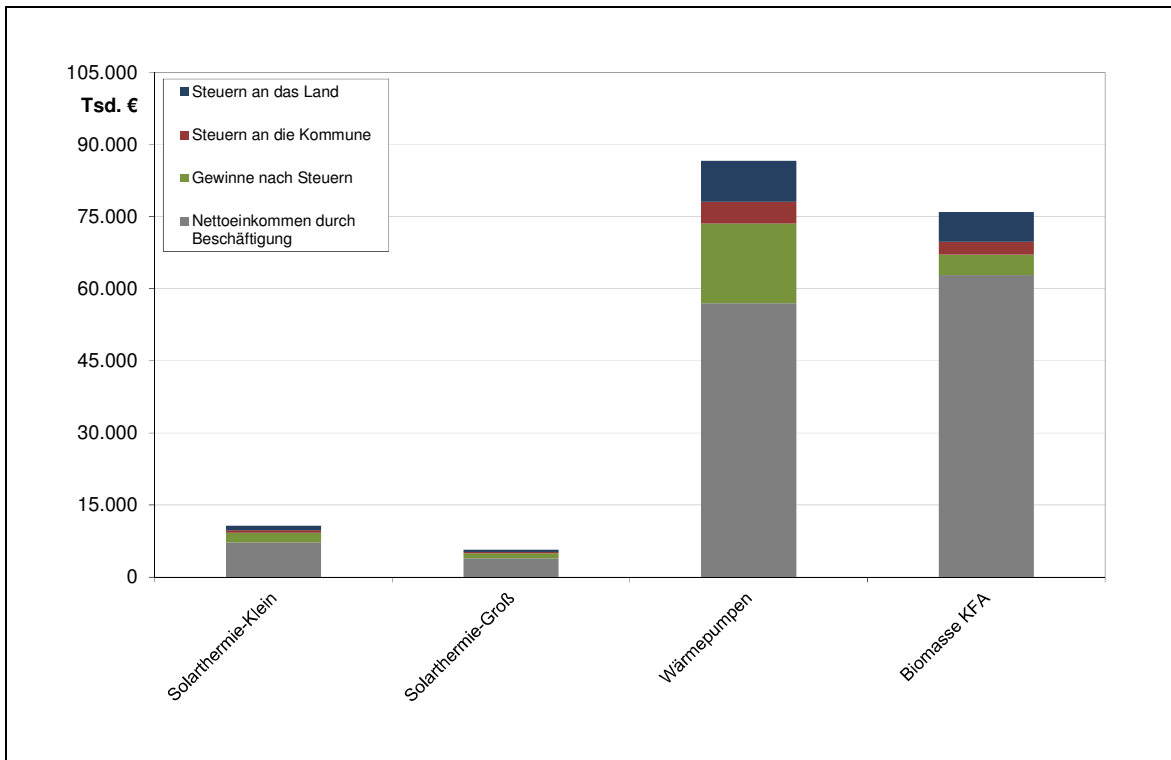


**Abb. 8.17: Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Strom erzeugender EE-Anlagen im Jahr 2030 (EE-0BK) in Tausend Euro, aufgeteilt nach Nettoeinkommen, Gewinnen und Steuern**

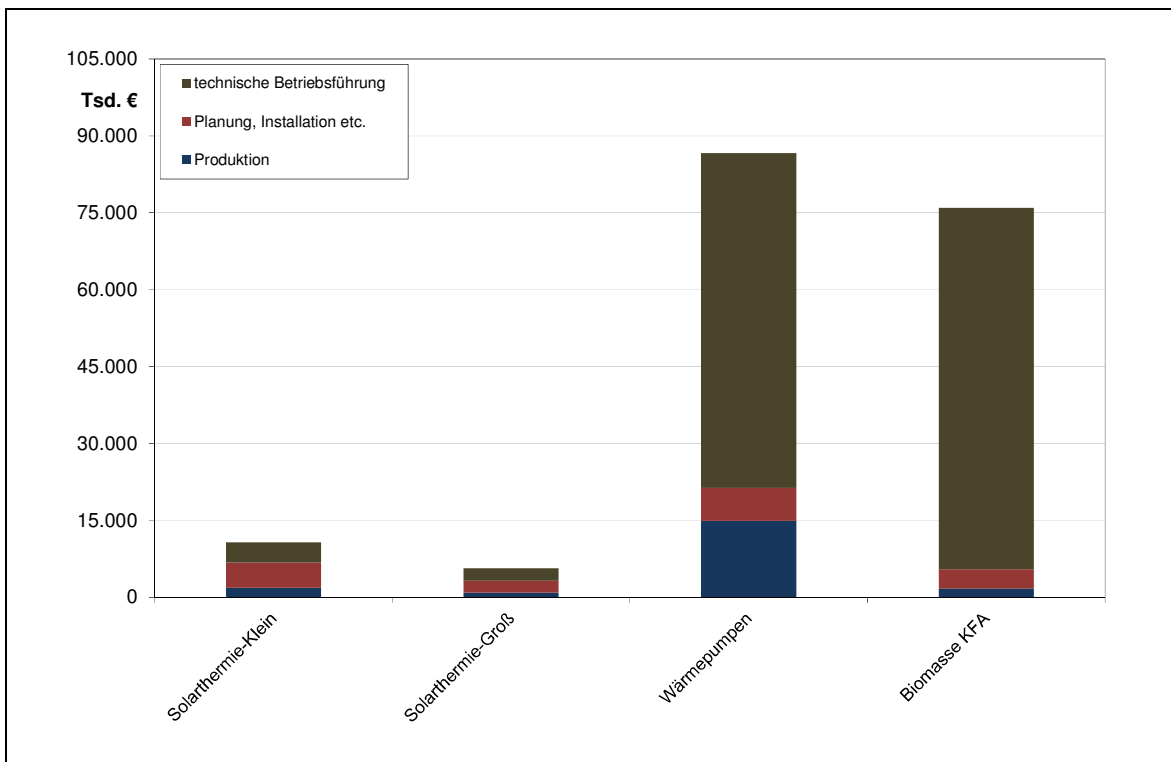
Legende für beide Abbildungen: \* Anlagen können neben Strom auch Wärme erzeugen



**Abb. 8.18: Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Strom erzeugender EE-Anlagen im JAHR 2030 (EE-0BK) in Tausend Euro, aufgeteilt nach Wertschöpfungsstufen**



**Abb. 8.19: Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Wärme erzeugender EE-Anlagen im JAHR 2030 (EE-0BK) in Tausend Euro aufgeteilt nach Nettoeinkommen, Gewinnen und Steuern**



**Abb. 8.20: Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte Wärme erzeugender EE-Anlagen im JAHR 2030 (EE-0BK) in Tausend Euro, aufgeteilt nach Wertschöpfungsstufen**

## 9 Fazit und Interpretation der Ergebnisse

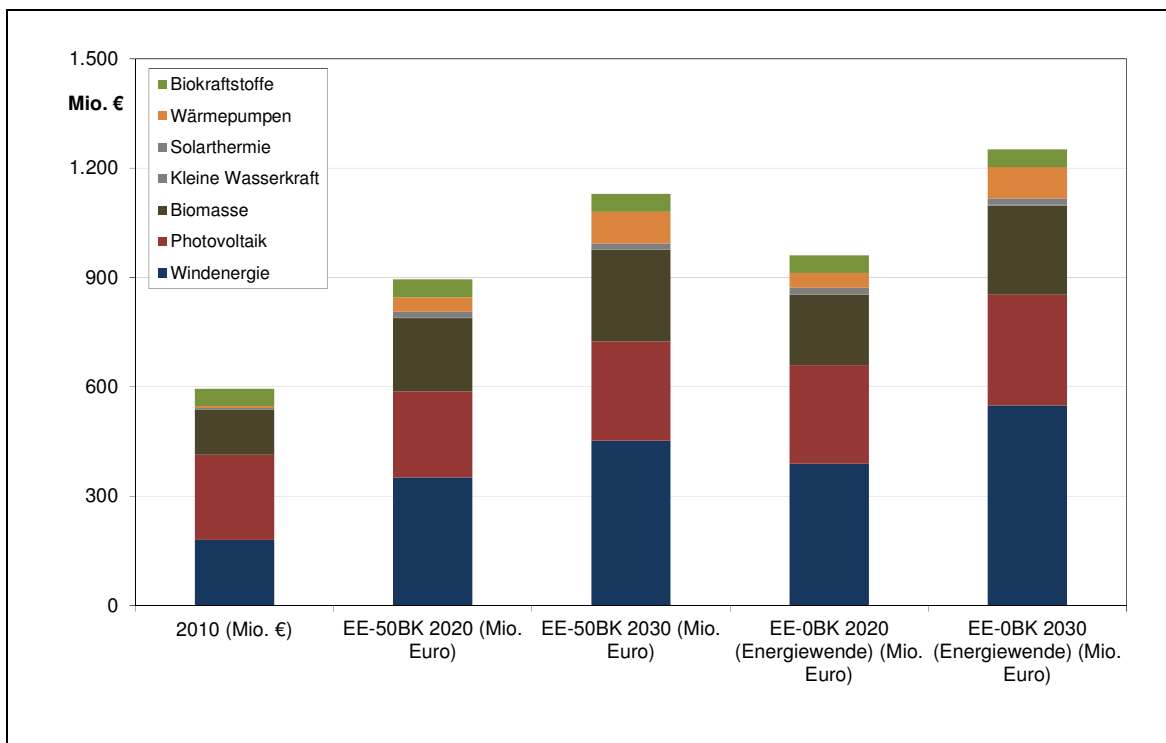
In der vorliegenden Studie wurden die Auswirkungen der Nutzung erneuerbarer Energien auf die Wertschöpfung und die Beschäftigung in Brandenburg auf der Basis des Jahres 2010 und zwei definierter Szenarien zu den erschließbaren Potenzialen (s.o.) ermittelt. Zur Ermittlung der Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte wurde vom IÖW ein Modell zur Ermittlung dieser Effekte in Kommunen und Bundesländern verwendet (vgl. hierzu (IÖW 2010)). Durch das Modell werden die Effekte von 15 dezentralen EE-Technologien ermittelt. Andere EE-Großtechnologien (z.B. große Wasserkraft, Tiefengeothermie etc) sowie die Biomassebereitstellung und durch die EE notwendigen Infrastrukturen (Leitungsbau und Speicher) wurden ausgeblendet. Aus diesen Gründen sind die Ergebnisse tendenziell zu niedrig und somit als untere, konservative Werte anzusehen.

Die nachfolgende Tabelle und die beiden Abbildungen zeigen für das Jahr 2010 sowie für die beiden Szenarien für die Entwicklung der erneuerbaren Energien – EE-50BK und EE-0BK- die hochgerechnete Wertschöpfung sowie die direkten Beschäftigungseffekte in Brandenburg der hier betrachteten EE-Technologien im Vergleich. Dabei steht das Szenario EE-50BK für eine Reduktion der Braunkohleverstromung um 50 % bis zum Jahr 2030, während im Rahmen des Szenario EE-0BK ein kompletter Ausstieg aus der Braunkohle bis zum Jahr 2030 betrachtet wird (vgl. Kapitel 3.1).

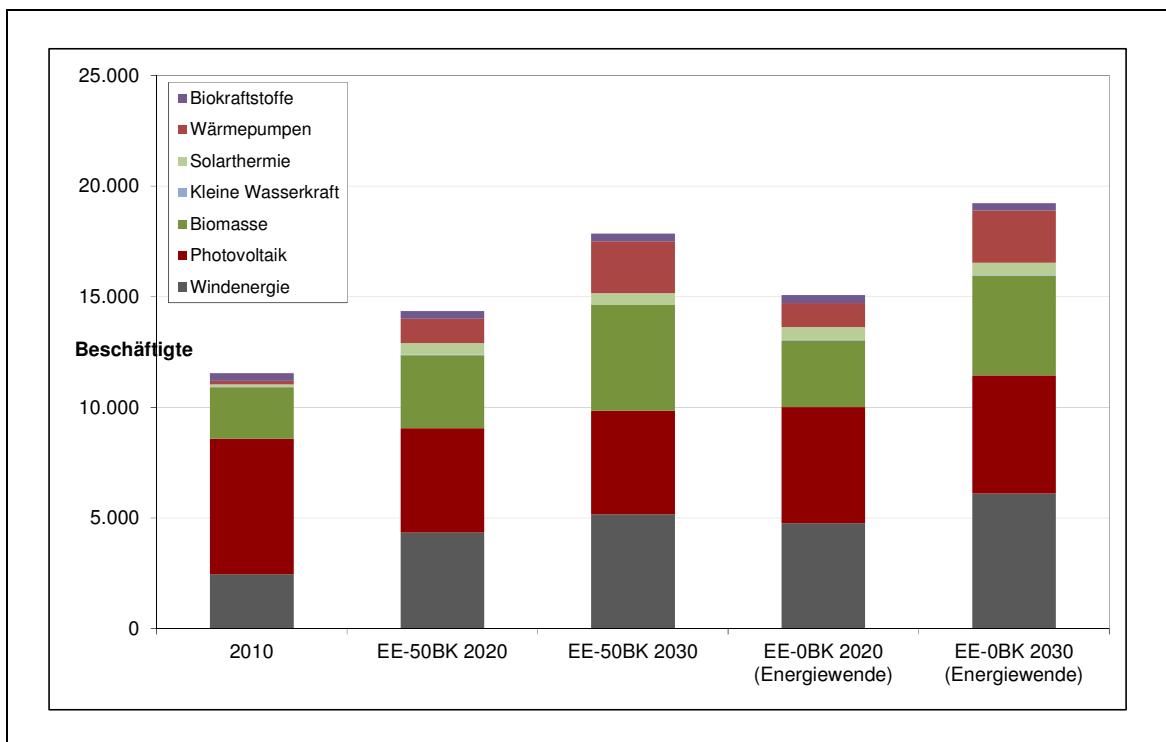
Die Ergebnisse zeigen zunächst, dass die im Land Brandenburg und seinen Kommunen im Jahr 2030 generierbaren Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte stark vom erreichten Niveau der Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien abhängen. Wie Abb. 9.1 zu entnehmen ist, steigt mit zunehmendem Ausbaugrad der erneuerbaren Energien auch die Wertschöpfung und die Beschäftigung für die Szenarien der Jahre 2020 und 2030. Während die Wertschöpfung in 2010 bei rund 595 Mio. Euro lag, beträgt sie im Jahr 2020 nach dem Szenario EE-0BK das 1,6-fache und in 2030 mehr als das Doppelte. Demgegenüber wachsen die Beschäftigtenzahlen nicht ganz so stark mit: das Niveau von 11.540 direkt Vollzeitbeschäftigten in 2010 steigert sich in 2020 auf 14.357 bzw. 15.070 Vollzeitbeschäftigten in den Szenarien EE-50BK und EE-0BK und erreicht in 2030 einen Wert von 17.857 bzw. 19.237 direkten Beschäftigten. Der Grund für die im Vergleich zur Wertschöpfungsentwicklung unterproportionale Steigerung liegt darin, dass die Zunahme der Wertschöpfung maßgeblich durch die Steigerung der vergleichsweise beschäftigungsarmen Wertschöpfungsstufe „Betreibergesellschaft“ erfolgt, während insbesondere die beschäftigungsintensivere Produktion nur geringfügig wächst. Ebenfalls den Ausbauzahlen folgend wird in beiden Szenarien der Großteil der Wertschöpfung und Beschäftigung durch die Windenergie, Photovoltaik und Biomasse erbracht. Darüber hinaus ist bei diesen Technologien ein kontinuierlicher Zuwachs der Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte in den Jahren 2020 und 2030 gegeben.

**Tab. 9.1: Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte der Szenarien im Vergleich**  
 Quelle: eigene Berechnungen

EE-Sparten	2010		EE-50BK				EE-0BK (Energiewende)			
	Wertschöpfung [Mio. Euro]	Beschäftigte	2020		2030		2020		2030	
			Wertschöpfung [Mio. Euro]	Beschäftigte	Wertschöpfung [Mio. Euro]	Beschäftigte	Wertschöpfung [Mio. Euro]	Beschäftigte	Wertschöpfung [Mio. Euro]	Beschäftigte
Windenergie	179,8	2.465	351,7	4.345	453,0	5.159	389,3	4.756	549,0	6.116
Photovoltaik	234,1	6.106	235,6	4.717	272,1	4.694	270,1	5.256	303,9	5.329
Biomasse	123,5	2.337	201,3	3.295	250,9	4.764	193,7	3.003	244,1	4.497
Kleine Wasserkraft	0,5	11	1,4	29	1,0	19	1,4	29	1,9	37
Solarthermie	3,9	127	16,1	526	16,4	519	17,7	580	17,6	556
Wärmepumpen	5,1	145	39,7	1.097	86,6	2.352	39,7	1.097	86,6	2.352
Biokraftstoffe	48,5	347	48,8	349	48,8	349	48,8	349	48,8	349
<b>Gesamt</b>	<b>595,3</b>	<b>11.540</b>	<b>894,6</b>	<b>14.357</b>	<b>1.128,8</b>	<b>17.857</b>	<b>960,7</b>	<b>15.070</b>	<b>1.251,9</b>	<b>19.237</b>



**Abb. 9.1: Vergleich der Wertschöpfung der Szenarien in Brandenburg über alle erneuerbaren Energien-Technologien zwischen den Jahren 2010-2030**



**Abb. 9.2: Vergleich der Beschäftigungseffekte der Szenarien in Brandenburg über alle erneuerbaren Energien-Technologien zwischen den Jahren 2010-2030**

Mit leichten Anpassungen kann ein Vergleich der in dieser Studie ermittelten Wertschöpfungseffekte durch erneuerbare Energien mit den **Wertschöpfungsdaten der VGR** (Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung) gezogen werden. Der hier gewählte Ansatz entspricht der Nettowertschöpfung zu Herstellungspreisen nach VGR, d.h. ohne Berücksichtigung von Abschreibungen.<sup>31</sup> Für Brandenburg gibt das Statistische Bundesamt für das Jahr 2010 eine Bruttowertschöpfung in Höhe von 50 Mrd. Euro an.<sup>32</sup> Da Daten zur Nettowertschöpfung für Brandenburg in 2010 fehlen, wird hier ein Abschlag für die Abschreibungen gemäß der VGR-Daten des Jahres 2008 vorgenommen. Demnach liegt der Wert für die Nettowertschöpfung auf einem Niveau von rund 83 % der Bruttowertschöpfung.<sup>33</sup> Somit lassen sich die Bruttowertschöpfungswerte durch EE vereinfacht ermitteln. Setzt man nun die so ermittelte **Bruttowertschöpfung durch EE** des Jahres 2010 mit der **Bruttowertschöpfung des Landes Brandenburg** ins Verhältnis, dann ergibt sich ein **Anteil von 1,4 %**. Setzt man die EE-Wertschöpfung der Szenarien EE-50BK und EE-0BK der Jahre 2020 und 2030 mit der Bruttowertschöpfung des Jahres 2010 in Brandenburg ins Verhältnis, dann ergeben sich Anteile in Höhe von 2,2 bzw. 2,7 % und 2,3 bzw. 3,0 %.

Die hier ermittelte Höhe der **direkten Vollzeitbeschäftigung** lässt sich zum Vergleich der Größenordnung wie folgt zu den gegenwärtigen Beschäftigtenzahlen in Brandenburg in Beziehung setzen (nachfolgend werden die im Rahmen der Studie berechneten Werte auf 100 gerundet):

- Für 2010 wurde eine gesamte durch Produktion und Betrieb von EE-Anlagen bedingte Beschäftigtenzahl in Höhe von ca. 11.500 ermittelt. Dies entspricht einem Anteil von 1,9 % der gegenwärtig in Brandenburg sozialversicherungspflichtig Beschäftigten (ca. 609.428 gemäß statistischem Amt Berlin Brandenburg).<sup>34</sup>
- Bezieht man die für das Szenario EE-50BK in 2020 und 2030 ermittelten Werte – 14.400 und 17.900 direkte Vollzeitbeschäftigte – auf die Beschäftigtenzahl aus 2010, dann erhält man Anteile von 2,4 und 2,9 %. Nach dem Szenario EE-0BK (Energiewende) ergeben sich für den gleichen Zeitraum Anteile von 2,5 und 3,2 % bei 15.100 und 19.200 direkten Beschäftigten.
- Berücksichtigt man die Szenarien zur demografischen und Erwerbstätigen-Entwicklung in ostdeutschen Flächenländern, dann erhöht sich dieser Anteil aufgrund rückläufiger Gesamtzahlen. Geht man z.B. von einer um (mindestens) 20 % reduzierten Erwerbstätigenzahl aus (rund 487.542, vgl. hierzu u.a. (Ragnitz et al. 2006)), dann erhöht sich der Anteil im Szenario EE-50BK in 2020 und 2030 auf 2,9 und 3,7 %. Für das Szenario EE-0BK (Energiewende) ergeben sich demnach Anteile von 3,1 und 3,9 % in 2020 und 2030.

<sup>31</sup> Vgl. Statistische Ämter der Länder (2010).

<sup>32</sup> Vgl. unter [https://www-genesis.destatis.de/genesis/online.jsessionid=4E2CD09338782CE32E7420D923B38F4F.tomcat\\_GO\\_2\\_1?operation=previous&levelindex=3&levelid=1321006504123&step=3](https://www-genesis.destatis.de/genesis/online.jsessionid=4E2CD09338782CE32E7420D923B38F4F.tomcat_GO_2_1?operation=previous&levelindex=3&levelid=1321006504123&step=3) (Zugriff: 11.11.2011).

<sup>33</sup> Vgl. Daten des Amtes für Statistik Brandenburg unter [http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/produkte/jahrbuch/jb2010/BB\\_BB\\_2010\\_Kap-21.pdf](http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/produkte/jahrbuch/jb2010/BB_BB_2010_Kap-21.pdf) (Zugriff: 11.11.2011).

<sup>34</sup> Vgl. Daten unter [http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/publikationen/Stat\\_Berichte/2011/SB\\_A6-15\\_q02-10\\_BB.pdf](http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/publikationen/Stat_Berichte/2011/SB_A6-15_q02-10_BB.pdf) (Zugriff: 11.11.2011).

- Zum Vergleich: Gegenwärtig (2010) weist der gesamte Wirtschaftsbereich Landwirtschaft, Forst und Fischerei einen Anteil von 3,3 %, das Gastgewerbe 3,2 % und die gesamte Bauwirtschaft einen Anteil von 9,8 % auf.<sup>35</sup>
- Für den gesamten Bereich der Energiewirtschaft (inkl. Energieversorgung, Braunkohle und EE) in Brandenburg wird nach LASA (2010) für das Jahr 2008 von 23.800 Beschäftigten ausgegangen, wobei diese Zahl von den Autoren selbst als abgeschätzt bezeichnet wird und voraussichtlich Doppelzählungen z.B. bei Windenergie und EVU beinhaltet (ebda.). Für den Bereich Energieversorgungsunternehmen werden rund 8.000 Beschäftigte angegeben, auf Braunkohlewirtschaft entfallen 5.000, auf Windenergie und Photovoltaik jeweils etwas mehr als 3.000. Damit liegen die hier ermittelten Daten für die Windenergie (2.500) leicht unter denen der LASA-Studie, die Photovoltaik-Zahlen dagegen deutlich darüber (über 6.000). Letzteres ist darauf zurückzuführen, dass zum einen in der vorliegenden Studie alle relevanten Effekte entlang der Wertschöpfungsketten inklusive Handwerk und Dienstleistungen berücksichtigt wurden, zum anderen die Beschäftigung im Produktionsbereich in den letzten Jahren nochmals zugenommen hat.

Berücksichtigt man neben den hier betrachteten Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekten, die aus der Produktion und dem Betrieb der EE-Technologien entstehen, **weitere Wertschöpfungsschritte**, die in einem durch EE geprägten Energiemarkt entstehen, dann dürften sich die hier ermittelten **Bruttoeffekte noch deutlich erhöhen**. Hierzu zählen zunächst weitere EE-Technologien und Dienstleistungen, die hier nicht berücksichtigt werden konnten, die jedoch in Brandenburg bis 2030 eine Rolle spielen können, wie z.B. die Tiefengeothermie oder die Bereitstellung von Biomasse, insbesondere Holz. Darüber hinaus werden systemische Dienstleistungen für virtuelle oder Hybridkraftwerke hinzukommen, zudem Netzdienstleistungen, Netzausbau, Speicher sowie flexible Kraftwerkskapazitäten. Demgegenüber stehen **Minderungs- und Substitutionseffekte** in anderen Bereichen der konventionellen Energiewirtschaft sowie **Kosten- bzw. Budgeteffekte**. Die gegenwärtigen wissenschaftlichen Analysen zu den so genannten Nettoeffekten, die solche gegenläufigen Wirkungen auf der nationalen Ebene untersuchen, ermitteln **überwiegend positive Ergebnisse in Bezug auf Beschäftigungs-entwicklung, Wachstum, Einkommen und Exportchancen** durch den verstärkten EE-Ausbau (vgl. u.a. (Blazejczak et al. 2010)). Inwiefern solche Minderungs- und Kosteneffekte im Jahr 2030 noch von Bedeutung sind, hängt davon ab, ob die erneuerbaren Energien dann überhaupt noch höhere Kosten bzw. positive Differenzkosten aufweisen. Die Nettobeschäftigungseffekte hängen zudem maßgeblich von der Erwerbsquote ab (ebda.).

Im Vergleich zu den EE-Anlagen generierte der mit 4.600 MW installierter Leistung vorherrschende Einsatz von Braunkohle zur Stromproduktion im Jahr 2010 in Brandenburg eine Bruttowertschöpfung von 1.248 Mio. Euro. Davon sind 812 Mio. Euro direkt der Stromproduktion zurechenbar, so dass dieser mit der hier ermittelten Wertschöpfung durch EE vergleichbare Wert um ca. 13 % höher liegt. Weitere 436 Mio. Euro wurden durch Vorleistungsbezüge im Braunkohlesektor generiert (Prognos AG 2011, 27). Die Studie der Prognos AG weist für 2010 ebenfalls Beschäftigungseffekte aus. Demnach sind 4.830 Beschäftigte direkt der Braunkohleindustrie zuzuordnen und 8.686 Beschäftigte fallen indirekt in den Vorleistungsbranchen an (ebda., 29). Der Vergleich der direkten Beschäftigten macht deutlich, dass bereits in 2010 mehr als doppelt so viele Arbeitsplätze in der EE-Branche bestehen, als in der direkten Braunkohleindustrie.

<sup>35</sup> Vgl. [http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/publikationen/Stat\\_Berichte/2011/SB\\_A6-15\\_q02-10\\_BB.pdf](http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/publikationen/Stat_Berichte/2011/SB_A6-15_q02-10_BB.pdf) (Zugriff: 11.11.2011).

Mit dem IÖW-Modell lassen sich neben den Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekten auch die vermiedenen CO<sub>2</sub>-Emissionen und die vermiedenen Kosten für die Verringerung der fossilen Brennstoffimporte ermitteln (siehe Kapitel 10.1 und 10.2). **Für das Basisjahr 2010 ergibt sich in Brandenburg eine Einsparung von 9,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Emissionen, die im Jahr 2030 auf 24,8 (EE-50BK) bzw. 30 Mio. t (EE-0BK) ansteigen können.**

Insgesamt wurden über alle betrachteten EE-Technologien hinweg im Basisjahr 2010 theoretisch **544 Mio. Euro** an **Kosten für fossile Brennstoffimporte** eingespart. Im Jahr 2030 ergeben sich durch die zunehmende Substitution fossiler Energieträger durch EE und einen kontinuierlichen Anstieg der Importpreise rund 10,6 (EE-50BK) bzw. **12,4 Mrd. Euro** (EE-0BK) vermiedene Importkosten in Brandenburg.

# Literaturverzeichnis

- 50 Hertz (2011a): *EEG-Anlagenstammdaten 2010 (Stand Sept. 2011)*. [http://www.50hertz-transmission.net/cps/rde/xchg/trm\\_de/hs.xsl/165.htm?rdeLocaleAttr=de&rdeCOQ=SID-88C849B0-B4C86DE9](http://www.50hertz-transmission.net/cps/rde/xchg/trm_de/hs.xsl/165.htm?rdeLocaleAttr=de&rdeCOQ=SID-88C849B0-B4C86DE9) (Zugegriffen 26. September 2011).
- 50 Hertz (2011b): *EEG-Anlagenstammdaten 2010 (Stand März 2011)*. [http://www.50hertz-transmission.net/cps/rde/xchg/trm\\_de/hs.xsl/165.htm?rdeLocaleAttr=de&rdeCOQ=SID-88C849B0-B4C86DE9](http://www.50hertz-transmission.net/cps/rde/xchg/trm_de/hs.xsl/165.htm?rdeLocaleAttr=de&rdeCOQ=SID-88C849B0-B4C86DE9) (Zugegriffen 30. April 2011).
- AGEE-Stat [Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik] (2011): *Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland*. März. <http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/45919/> (Zugegriffen 27. Juli 2011).
- Agentur für Erneuerbare Energien (2010): *Bundesländervergleich Erneuerbare Energien 2010 Zusammenfassung der Studienergebnisse*. [http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/44\\_Renews\\_Spezial\\_Bundeslaendervergleich\\_EE\\_2010\\_online.pdf](http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/44_Renews_Spezial_Bundeslaendervergleich_EE_2010_online.pdf).
- AGFW [Arbeitsgemeinschaft für Wärme und Heizkraftwirtschaft] (2010): *Hauptbericht 2009*. [http://www.agfw.de/fileadmin/agfw/content/linkes\\_menu/zahlen\\_und\\_statistiken/Version%201\\_HB2009.pdf](http://www.agfw.de/fileadmin/agfw/content/linkes_menu/zahlen_und_statistiken/Version%201_HB2009.pdf).
- Amt für Statistik Berlin Brandenburg (2011): *Straßenverkehr Basisdaten 2010*. <http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/> (Zugegriffen 10. Juli 2011).
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2006): *Baufertigstellungen Wohn- und Nichtwohngebäude im Land Brandenburg im Jahr 2005 nach Gebäudeart und vorwiegend verwendeter Art der Beheizung*.
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2007a): *Baufertigstellungen Wohn- und Nichtwohngebäude im Land Brandenburg im Jahr 2006 nach Gebäudeart und vorwiegend verwendeter Art der Beheizung*.
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2007b): *Baugenehmigungen im Land Brandenburg Dezember und Jahr 2007*. [http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/Publikationen/Stat\\_Berichte/2008/SB\\_F2-1\\_m12-07\\_BB.xls](http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/Publikationen/Stat_Berichte/2008/SB_F2-1_m12-07_BB.xls).
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2008a): *Baufertigstellungen, Bauüberhang und Bauabgang im Land Brandenburg 2007*. [http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/Publikationen/Stat\\_Berichte/2008/SB\\_F2-2\\_j07\\_BB.pdf](http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/Publikationen/Stat_Berichte/2008/SB_F2-2_j07_BB.pdf).
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2008b): *Baugenehmigungen im Land Brandenburg Dezember und Jahr 2008*. [http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/Publikationen/Stat\\_Berichte/2009/SB\\_F2-1\\_m12-08\\_BB.xls](http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/Publikationen/Stat_Berichte/2009/SB_F2-1_m12-08_BB.xls).
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2009a): *Ergebnisse des Mikrozensus im Land Brandenburg 2006*. [http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/Publikationen/Stat\\_Berichte/2009/SB\\_F1-2\\_j01-06\\_BB.pdf](http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/Publikationen/Stat_Berichte/2009/SB_F1-2_j01-06_BB.pdf).
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2009b): *Baufertigstellungen, Bauüberhang und Bauabgang im Land Brandenburg 2008*. [http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/Publikationen/Stat\\_Berichte/2009/SB\\_F2-2\\_j08\\_BB.pdf](http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/Publikationen/Stat_Berichte/2009/SB_F2-2_j08_BB.pdf).
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2009c): *Baugenehmigungen im Land Brandenburg Dezember und Jahr 2009*. [http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/Publikationen/Stat\\_Berichte/2010/SB\\_F2-1\\_m12-09\\_BB.xls](http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/Publikationen/Stat_Berichte/2010/SB_F2-1_m12-09_BB.xls).
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2010a): *Baufertigstellungen, Bauüberhang und Bauabgang im Land Brandenburg 2009*. [http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/Publikationen/Stat\\_Berichte/2010/SB\\_F2-2\\_j09\\_BB.pdf](http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/Publikationen/Stat_Berichte/2010/SB_F2-2_j09_BB.pdf).
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2010b): *Erläuterungen zur Statistik der Bautätigkeit*.
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2010c): *Statistischer Bericht E IV 4 – j / 07, Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz im Land Brandenburg 2007*. Hrsg.: Das Amt für Statistik Berlin-Brandenburg. [http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/publikationen/Stat\\_Berichte/2010/SB\\_E4-4\\_j01-07\\_BB.pdf](http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/publikationen/Stat_Berichte/2010/SB_E4-4_j01-07_BB.pdf).
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2010d): *Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz im Land Brandenburg 2007*. [http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/publikationen/Stat\\_Berichte/2010/SB\\_E4-4\\_j01-07\\_BB.pdf](http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/publikationen/Stat_Berichte/2010/SB_E4-4_j01-07_BB.pdf).
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2011a): *Baufertigstellungen, Bauüberhang und Bauabgang im Land Brandenburg 2010*.
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2011b): *Baugenehmigungen im Land Brandenburg Dezember und Jahr 2010*. [http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/Publikationen/Stat\\_Berichte/2011/SB\\_F2-1\\_m12-10\\_BB.pdf](http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/Publikationen/Stat_Berichte/2011/SB_F2-1_m12-10_BB.pdf).
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2011c): *Tabellen Heizenergie Land Brandenburg 2010*.
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2011d): *Statistisches Jahrbuch 2010 Brandenburg*. [http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/produkte/produkte\\_jahrbuch.asp](http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/produkte/produkte_jahrbuch.asp) (Zugegriffen 25. Juli 2011).
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2011e): *Bruttoinlandsprodukt, Bruttowertschöpfung im Land Brandenburg nach Wirtschaftsbereichen*.
- ASUE [Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.] (2011): *BHKW-Kenndaten 2011 (Module, Anbieter, Kosten)*. Februar. <http://asue.de/cms/upload/broschueren/2011/bhkw-kenndaten/asue-bhkw-kenndaten-0311.pdf> (Zugegriffen 5. Mai 2011).
- Barzantny, Katja, Sigrid Achner und Sebastian Vomberg (2007): *Klimaschutz: Plan B 2050 - Energiekonzept für Deutschland (Langfassung)*. [http://www.greenpeace-hamburg.de/fileadmin/Inhalte/Downloads/Klima\\_Energie/Plan\\_B\\_2050\\_lang.pdf](http://www.greenpeace-hamburg.de/fileadmin/Inhalte/Downloads/Klima_Energie/Plan_B_2050_lang.pdf).
- LWF Bayern (2007): *Scheitholz - Produktion, Lagerung, Kennzahlen*. LWF Merkblatt 20. [http://www.lwf.bayern.de/publikationen/daten/merkblatt/p\\_33124.pdf](http://www.lwf.bayern.de/publikationen/daten/merkblatt/p_33124.pdf) (Zugegriffen 20. Juni 2011).

- BBSR [Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung] (2011a): *Wohnungsmarktprognose 2025 Länderportrait Brandenburg obere Variante*.
- BBSR [Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung] (2011b): *Wohnungsmarktprognose 2025 Länderportrait Brandenburg untere Variante*.
- BBU [Verband Berlin-Brandenburgischer Wohnungsunternehmen e.V.] (2009): *BBU-PREISDATENBANK: ENERGIE IMMER TEUERER - Fernwärme, Gas, Mieterstrom, Wasser, Müllabfuhr und Grundsteuern: Land Brandenburg, Berlin und deutsche Großstädte im Vergleich*. Berlin.  
[http://www.bbu.de/publicity/bbu/internet.nsf/0/4076511F110DE261C12575CF0027F3A4/\\$FILE/Preisdatenbank%20IV%20090522\\_gesamt.pdf?OpenElement](http://www.bbu.de/publicity/bbu/internet.nsf/0/4076511F110DE261C12575CF0027F3A4/$FILE/Preisdatenbank%20IV%20090522_gesamt.pdf?OpenElement).
- BDBe (2011): Bioethanolanlagen in Deutschland (Jahreskapazitäten).  
[http://www.bdbe.de/downloads/PDF/BDBe/BDBe\\_Bioethanolanlagen.pdf](http://www.bdbe.de/downloads/PDF/BDBe/BDBe_Bioethanolanlagen.pdf).
- Beck, Martin (1994): *Wertschöpfungsrechnung und Wertkette einer Unternehmung am Beispiel des Werkzeugmaschinenbaus: Instrumente zum Wettbewerbsvergleich von Unternehmen einer Branche*. Ingolstadt.
- BEE (2009): *Wege in die moderne Energiewirtschaft. Ausbauprognose der Erneuerbare-Energien-Branche Teil 2: Wärmeversorgung 2020*. Berlin: Bundesverband Erneuerbare Energie e.V. (BEE). [http://www.bee-ev.de/\\_downloads/publikationen/studien/2009/091015\\_BEE-Branchenprognose\\_Waerme2020.pdf](http://www.bee-ev.de/_downloads/publikationen/studien/2009/091015_BEE-Branchenprognose_Waerme2020.pdf) (Zugegriffen 18. Juli 2011).
- Berlin Partner GmbH und ZukunftsAgentur Brandenburg GmbH (2010): Solarindustrie in der Hauptstadtregion Berlin-Brandenburg.
- Bilke, A., A. Muchin und C. Hohm (2006): *Analyse der naturalen Basis der weiteren Entwicklung der energetischen Nutzung in Brandenburg. Studie im Auftrag der Energie Technologie Initiative Brandenburg*.
- Bilke, A., A. Muchin und C. Hohm (2007): *Analyse der naturalen Basis der weiteren Entwicklung der energetischen Nutzung in Brandenburg. Studie im Auftrag der Energie Technologie Initiative Brandenburg*.
- BINE Informationsdienst (2008): Thermische Solaranlagen. basis Energie 4.
- BioenergieBeratung Bornim GmbH (B3) (2011): Gespräch Dr. Mathias Plöchl (BioenergieBeratung Bornim GmbH (B3)).
- BIOPETROL INDUSTRIES AG (2010): Annual Report 2010.
- Blazejczak, Jürgen, Frauke G. Braun, Dietmar Edler und Wolf-Peter Schill (2010): Ausbau erneuerbarer Energien erhöht Wirtschaftsleistung in Deutschland, Wochenbericht des DIW Berlin Nr. 50/2010, S. 10-16.
- Blesl, Markus und Heiko Huther (2010): Raumwärmebedarf und Fernwärmepotenzial in Deutschland bis 2050. *EuroHeat&Power* 39, Nr. 6.
- BMU (2006): Erneuerbare Energien: Arbeitsplatzeffekte, Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt, Kurz- und Langfassung.
- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit] (2008): *Weiterentwicklung der Ausbaustrategie Erneuerbare Energien. Leitstudie 2008*. 17.11.2009.
- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit] (2010a): *Marktanreizprogramm für Erneuerbare Energien Teil BAFA\_ Förderung mit Investitionszuschüssen Jahr 2010*.  
[http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/map\\_bafa\\_bilanz\\_2010.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/map_bafa_bilanz_2010.pdf).
- BMU (2010b): *Erneuerbare Energien in Zahlen - nationale und internationale Entwicklung. Stand: Juni 2010*. [www.erneuerbare-energien.de](http://www.erneuerbare-energien.de) (Zugegriffen 11. Juli 2011).
- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit] (2010c): Erneuerbare Energien in Deutschland Aktueller Sachstand für das Jahr 2009. [http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee\\_sachstand\\_bf.pdf](http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee_sachstand_bf.pdf).
- BMU (2011a): *Erneuerbare Energien in Zahlen. Nationale und internationale Entwicklung*. Berlin. [http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/broschuere\\_ee\\_zahlen\\_bf.pdf](http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/broschuere_ee_zahlen_bf.pdf).
- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit] (2011b): *Erfahrungsbericht 2011 zum Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG-Erfahrungsbericht) - Entwurf vom 3.5.2011*. 3. Mai.
- BMWi [Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Referat III C 3] (2011a): *Energiedaten*.  
<http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/Binaer/energie-daten-gesamt,property=blob,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.xls>.
- BMWi [Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie] (2011b): Energiedaten - Nationale und Internationale Entwicklung. Tabellen 3 und 26. 15. August. <http://bmwi.de/BMWi/Navigation/Energie/Statistik-und-Prognosen/Energiedaten/gesamtausgabe.html>.
- Bode, Sven, Philip Steden und Jan Berenwinkel (2009): *Ökonomische Effekte der Windenergie im Land Brandenburg*. arrhenius Institut für Energie- und Klimapolitik, Prognos AG.
- Bofinger, Stefan, Doron Callies, Michael Scheibe, Yves-Marie Saint-Drenan und Kurt Rohrig (2011): *Studie zum Potenzial der Windenergienutzung an Land - Kurzfassung*. Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) im Auftrag des Bundesverband WindEnergie e.V. (BWE), März. [http://www.energiegipfel.hessen.de/mm/IWES\\_Potenzial\\_onshore\\_2011.pdf](http://www.energiegipfel.hessen.de/mm/IWES_Potenzial_onshore_2011.pdf).
- Breitschopf, Barbara, Marian Klobasa, Frank Sensfuß und Jan Steinbach (2010): *Einzel- und gesamtwirtschaftliche Analyse von Kosten- und Nutzenwirkungen des Ausbaus Erneuerbarer Energien im deutschen Strom- und Wärmemarkt*. ISI, GWS, IZES, DIW Berlin. [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/endbericht\\_ausbau\\_ee\\_2009.pdf#page=58](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/endbericht_ausbau_ee_2009.pdf#page=58).
- Bundesnetzagentur (2011): EEG-Statistikberichte 2006 bis 2009.  
[http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetGas/ErneuerbareEnergienGesetz/VeroeffentlichungZahlenEEG\\_Basepage.html](http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetGas/ErneuerbareEnergienGesetz/VeroeffentlichungZahlenEEG_Basepage.html).

- BVerwG (2010): Steuermesszahl und Steuermessbetrag (GewStG § 11 Abs.2). Deutsche Bundesbank (2009): Hochgerechnete Angaben aus Jahresabschlüssen deutscher Unternehmen von 1997 bis 2007. Frankfurt am Main.
- BWE (2008): Arbeitsplätze und Umsätze in der Windwirtschaft in Berlin und Brandenburg.
- BWP [Bundesverband Wärmepumpen e.V.] (2011): *Wärmepumpen-Absatzzahlen für 2010: Der Markt konsolidiert sich*. [http://www.waermepumpe.de/fileadmin/grafik/pdf/PIs\\_ab-11-2009/2011-01-27\\_BWP-PI\\_Absatzzahlen\\_2011\\_final.pdf](http://www.waermepumpe.de/fileadmin/grafik/pdf/PIs_ab-11-2009/2011-01-27_BWP-PI_Absatzzahlen_2011_final.pdf) (Zugegriffen 6. Juni 2011).
- ByAK [Bayerische Architektenkammer] BEISPIELHAFTE BAUTEN Energieeffizientes Bauen in Bayern. <http://www.byak.de/start/architektur/beispielhafte-bauten> (Zugegriffen 28. Juni 2011).
- DB [DB Mobility Logistics AG] (2010): Faktenblatt - Die Deutsche Bahn in Berlin und Brandenburg. [http://www.deutschebahn.com/site/shared/de/dateianhaenge/presse/bilanz\\_\\_pk\\_\\_faktenblatt\\_\\_berlin.pdf](http://www.deutschebahn.com/site/shared/de/dateianhaenge/presse/bilanz__pk__faktenblatt__berlin.pdf) (Zugegriffen 1. Juli 2011).
- DBFZ [Deutsches Biomasse Forschungszentrum gemeinnützige GmbH] (2010): *Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse*. [http://www.dbfz.de/web/fileadmin/user\\_upload/Userupload\\_Neu/3330002\\_Stromerzeugung\\_aus\\_Biomasse\\_3\\_Zwischenbericht\\_Kapitel\\_1-5\\_fuer\\_Veroeffentlichung\\_final.pdf](http://www.dbfz.de/web/fileadmin/user_upload/Userupload_Neu/3330002_Stromerzeugung_aus_Biomasse_3_Zwischenbericht_Kapitel_1-5_fuer_Veroeffentlichung_final.pdf).
- DBFZ (2011): *Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse Kurztitel: Stromerzeugung aus Biomasse. 2. Zwischenbericht, März 2011*. [http://www.dbfz.de/web/fileadmin/user\\_upload/Userupload\\_Neu/Stromerzeugung\\_aus\\_Biomasse\\_Zwischenbericht\\_Maerz\\_2011.pdf](http://www.dbfz.de/web/fileadmin/user_upload/Userupload_Neu/Stromerzeugung_aus_Biomasse_Zwischenbericht_Maerz_2011.pdf) (Zugegriffen 20. Juli 2011).
- Dehoust, Günter, Doris Schüler, Regine Vogt und Jürgen Giegrich [k.A.] (2010): *Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft: am Beispiel von Siedlungsabfällen und Altholz*. Dessau-Roßlau. <http://opus.kobv.de/zlb/volltexte/2011/9862/> (Zugegriffen 6. Juni 2011).
- dena [Deutsche Energie-Agentur] (2010a): Biogaseinspeisung in Deutschland - Übersicht. <http://www.biogaspartner.de/index.php?id=10074&L=znamtvpयोगioxlgr>.
- dena [Deutsche Energie-Agentur GmbH] (2010b): *Kurzanalyse der Kraftwerksplanung in Deutschland bis 2020 (Aktualisierung)*.
- dena [Deutsche Energie-Agentur] (2010c): *dena-Netzstudie II – Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015 – 2020 mit Ausblick 2025*. Berlin. [http://www.dena.de/fileadmin/user\\_upload/Download/Dokumente/Studien\\_\\_Umfragen/Endbericht\\_dena-Netzstudie\\_II.PDF](http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Download/Dokumente/Studien__Umfragen/Endbericht_dena-Netzstudie_II.PDF).
- dena [Deutsche Energie-Agentur] (2011): *Ratgeber Energieeffizienz bei Wärmeversorgungssystemen in Industrie und Gewerbe*. [http://www.industrie-energieeffizienz.de/fileadmin/InitiativeEnergieEffizienz/referenzprojekte/images/Technologien/Fact\\_Sheet\\_energieeff\\_Waermeversorgung\\_und\\_Beispiele\\_deutsch.pdf](http://www.industrie-energieeffizienz.de/fileadmin/InitiativeEnergieEffizienz/referenzprojekte/images/Technologien/Fact_Sheet_energieeff_Waermeversorgung_und_Beispiele_deutsch.pdf) (Zugegriffen 28. Juli 2011).
- Deutsche Bundesbank (2011): Hochgerechnete Angaben aus Jahresabschlüssen Deutscher Unternehmen von 1997 bis 2009.
- DEWI [Deutsches Windenergie Institut (DEWI)] (2011): *Status der Windenergienutzung in Deutschland - Stand 31.12.2010*. Hrsg.: DEWI GmbH. [http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/statistiken/WE%20Deutschland/110126\\_PM\\_Dateien/Statistik\\_Jahresbilanz\\_2010.pdf](http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/statistiken/WE%20Deutschland/110126_PM_Dateien/Statistik_Jahresbilanz_2010.pdf).
- Dieter Wolf und Kati Jagnow (2009): *Kamine und Kachelöfen*. Veröffentlichungen im „Energieberater“. FH Braunschweig/ Wolfenbüttel. [http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/4.7\\_Kamine\\_und\\_Kacheloefen.pdf](http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/4.7_Kamine_und_Kacheloefen.pdf).
- DStGB [Deutscher Städte- und Gemeindebund] (2009): *Repowering von Windenergieanlagen - Kommunale Handlungsmöglichkeiten*. DStGB-Dokumentation Nr. 94. [http://www.dstgb.de/dstgb/DStGB-Dokumentationen/Nr.%2094%20-%20Repowering%20von%20Windenergieanlagen%20-%20Kommunale%20Handlungsm%C3%B6glichkeiten/doku94\\_repowering\\_barrierefrei.pdf](http://www.dstgb.de/dstgb/DStGB-Dokumentationen/Nr.%2094%20-%20Repowering%20von%20Windenergieanlagen%20-%20Kommunale%20Handlungsm%C3%B6glichkeiten/doku94_repowering_barrierefrei.pdf).
- DSTTP (2010): *Forschungsstrategie Niedertemperatur- Solarthermie 2030 - für eine nachhaltige Wärme- und Kälteversorgung Deutschlands*. Berlin: Deutsche Solarthermie-Technologie Plattform. [www.solarthermietechologie.de](http://www.solarthermietechologie.de) (Zugegriffen 18. Juli 2011).
- Ethik-Kommission Sichere Energieversorgung (2011): *Deutschlands Energiewende - Ein Gemeinschaftswerk für die Zukunft*. Berlin. [http://www.bundesregierung.de/Content/DE/\\_\\_\\_Anlagen/2011/05/2011-05-30-abschlussbericht-ethikkommission.property=publicationFile.pdf](http://www.bundesregierung.de/Content/DE/___Anlagen/2011/05/2011-05-30-abschlussbericht-ethikkommission.property=publicationFile.pdf) (Zugegriffen 21. November 2011).
- ETI (o. J.): Nutzung von Biofestbrennstoffen in Brandenburg. <http://eti-brandenburg.de/energiethemen/bioenergie/biofestbrennstoffe.html> (Zugegriffen 24. Juni 2011).
- ETI (o.J.): Biogas in Brandenburg. <http://eti-brandenburg.de/energiethemen/bioenergie/biogas.html> (Zugegriffen 24. Juni 2011).
- ETI [Energie Technologie Initiative Brandenburg] (2009): Tiefengeothermie in Brandenburg. 20. Juli. <http://eti-brandenburg.de/energiethemen/geothermie/tiefengeothermie.html> (Zugegriffen 3. August 2011).
- EWI, Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln und Prognos (2005): Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030 - Energiewirtschaftliche Referenzprognose. In *Conference Name*, hg von. Editor. Series Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030 - Energiewirtschaftliche Referenzprognose Conference Location.

- FfE [Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.] (2009): *CO<sub>2</sub>- Verminderung in Deutschland Teil I - Methodik und Zusammenfassung*. [http://www.ffe.de/download/langberichte/FfE\\_CO2-Endbericht\\_komplett.pdf](http://www.ffe.de/download/langberichte/FfE_CO2-Endbericht_komplett.pdf).
- Fischedick, Manfred und Peter Hennicke (2000): *Bedeutung regenerativer Energien für ein zukunftsfähiges Energiesystem*. Wuppertal, Juni. <http://www.brandenburg.de/cms/media.php/2328/i4.pdf>.
- Fischedick, Manfred, Andrea Esken, Andreas Pastowski, Dietmar Schüwer, Nikolaus Supersberger, Joachim Nitsch, Peter Viebahn, Andreas Bandi, Ulrich Zuberbühler und Ottmar Edenhofer (2007): *RECCS - Strukturell-ökonomisch-ökologischer Vergleich regenerativer Energietechnologien (RE) mit Carbon Capture and Storage (CCS)*. Wuppertal, Stuttgart, Potsdam. 8.6.2007.
- Fischer (2006): *Feuerstättenerhebung im Auftrag des MLUV*.
- forsa (2010): Umfrage zum Thema „Erneuerbare Energien“ 2009 – Einzelauswertung Bundesländer. [http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/FORSA-Akzeptanz\\_EE\\_Einauswertung\\_Bundeslaender\\_01.pdf](http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/FORSA-Akzeptanz_EE_Einauswertung_Bundeslaender_01.pdf) (Zugegriffen 25. August 2011).
- Frey, Barbara (2011): Tiefengeothermie - Energie aus der Tiefe. *Solarthemen:kom*, Nr. Sommer 2011: 8-10.
- Germany Trade & Invest GmbH (2010): Leading PV Manufacturers Produce in Germany.
- Germany Trade & Invest GmbH (2011): Leading PV Manufacturers Produce in Germany. [http://www.gtai.com/fileadmin/user\\_upload/Downloads/Industries/Renewable\\_Energies/Photovoltaics/1\\_Englisch/FactSheet\\_PV\\_Manufacturers\\_July2011\\_GTAI.pdf](http://www.gtai.com/fileadmin/user_upload/Downloads/Industries/Renewable_Energies/Photovoltaics/1_Englisch/FactSheet_PV_Manufacturers_July2011_GTAI.pdf).
- Grundner, Christian [Betreiber: Bundesverband Solarwirtschaft/Projekträger: Deutsche Energie-Agentur, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit] (2011): *Solaratlas*. eclareon. <http://www.solaratlas.de/index.php?id=1&L=> (Zugegriffen 7. April 2011).
- GtV-BV Geothermie (2010): *Tiefe Geothermie Anlagen in Deutschland*. [http://www.geothermie.de/fileadmin/useruploads/aktuelles/projekte/tiefe/deutschland/GtV-BV\\_Uebersicht%20Anlagen%20Tiefe%20Geothermie\\_2010.pdf](http://www.geothermie.de/fileadmin/useruploads/aktuelles/projekte/tiefe/deutschland/GtV-BV_Uebersicht%20Anlagen%20Tiefe%20Geothermie_2010.pdf).
- Günnewig, Dieter, Püschel Michael, Alexandra Rohr, Roman Götze, Lucretia Löscher, Anemon Boelling und Michael Mack (2009): *Erarbeitung von Grundlagen zur regionalplanerischen Steuerung von Photovoltaik-Freiflächenanlagen am Beispiel der Region Lausitz-Spreewald*. Bosch & Partner GmbH, Götze Rechtsanwälte, Solar Engineering Decker & Mack GmbH. [http://gl.berlin-brandenburg.de/imperia/md/content/bb-gl/energie/gutachten\\_endbericht.pdf](http://gl.berlin-brandenburg.de/imperia/md/content/bb-gl/energie/gutachten_endbericht.pdf).
- Günnewig, Dieter, Michael Püschel, Ole Langniß, Tobias Kelm, Michael Mack, Burchard Decker, Matthias Reichmuth und Johannes Bohl (2008): *Monitoring zur Wirkung des novellierten EEG auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Solarenergie, insbesondere der Photovoltaik-Freiflächen*. ARGE. [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/pv\\_monitoring\\_letzbericht\\_guennewig.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/pv_monitoring_letzbericht_guennewig.pdf).
- Haller, Axel (1997): *Wertschöpfungsrechnung: Ein Instrument zur Steigerung der Aussagefähigkeit von Unternehmensabschlüssen im internationalen Kontext*. Stuttgart.
- Hirschl, Bernd, Astrid Aretz, Elisa Dunkelberg, Anna Neumann und Julika Weiß (2011a): *Potenziale erneuerbarer Energien in Berlin 2020 und langfristige Quantifizierung und Maßnahmengenerierung zur Erreichung ambitionierter Ausbauziele*. Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW). [http://www.ioew.de/uploads/tx\\_ukioewdb/IOEW\\_SR\\_198\\_EE-Potenziale-Berlin-2020\\_02.pdf](http://www.ioew.de/uploads/tx_ukioewdb/IOEW_SR_198_EE-Potenziale-Berlin-2020_02.pdf).
- Hirschl, Bernd, Astrid Aretz, Andreas Prah, Timo Böther, Katharina Heinbach, Daniel Pick und Simon Funcke (2010): *Kommunale Wertschöpfung durch erneuerbare Energien*. Berlin: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) im Auftrag der Agentur für Erneuerbare Energien (AEE).
- Hirschl, Bernd, Mark Bost, Anna Neumann und Julika Weiß (2011b): *Erneuerbare Energien Potenziale in Brandenburg 2030*.
- ICU / Witzhausen-Institut (2009): *Nutzung von Biomasse in Berlin: Endbericht - Kurzfassung*. <http://www.berlin.de>.
- IE [Institut für Energetik und Umwelt gGmbH Leipzig] (2004): *Wärmegewinnung aus Biomasse*. <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/W/waermegewinnung-aus-biomasse.property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf>.
- IER, RWI und ZEW [Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung, Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung] (2010): *Die Entwicklung der Energiemärkte bis 2030*. [ftp://ftp.zew.de/pub/zew-docs/gutachten/Energieprognose\\_2009\\_Hauptbericht.pdf](ftp://ftp.zew.de/pub/zew-docs/gutachten/Energieprognose_2009_Hauptbericht.pdf).
- IÖW (2010): *Kommunale Wertschöpfung durch Erneuerbare Energien*.
- ISE [Institut Solare Energiesysteme] (2008): *Bestimmung der Kollektorfläche von Solarthermieanlagen nach dem Erneuerbaren-Energien-Wärmegesetz*. [http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/waermegesetz\\_kollektorflaechen.pdf](http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/waermegesetz_kollektorflaechen.pdf).
- IWU/BEI [Institut für Wohnen und Umwelt/Bremer Energie Institut] (2010): *Datenbasis Gebäudebestand*. [http://www.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/dateien/energie/klima\\_altbau/Endbericht\\_Datenbasis.pdf](http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/klima_altbau/Endbericht_Datenbasis.pdf).
- Kahlbaum, Heinrich (2011): *Informationsaustausch Arbeitsgemeinschaft Wasserkraftwerke Berlin, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern e.V.*
- Kenkmann, Tanja (2010): *Erneuerbare Energien-Biomassestrategie des Landes Brandenburg*. Hrsg.: Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg. <http://www.mugv.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.2328.de/bmstrategie.pdf> (Zugegriffen 1. März 2011).

- Klärle, Martina, Dorothea Ludwig, Sandra Lanig und Katharina Meik (2009): Das Solarpotenzial-Dachkataster des Forschungsprojektes SUN-AREA - Ein Erfahrungsbericht aus der praktischen Umsetzung. *Solarzeitalter*, Nr. 1: 85-90.
- Köhler, Ralf (2011): Wasserkraft in Brandenburg - Stand und Perspektive aus Sicht der WRRL.  
[http://www.mugv.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.2334.de/koehler\\_wasserkraft.pdf](http://www.mugv.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.2334.de/koehler_wasserkraft.pdf).
- Kohler, Stephan (2011): Arbeitsgruppe Netzentwicklungsplan Berlin.  
[http://www.dena.de/fileadmin/user\\_upload/Download/Dokumente/Projekte/ESD/110705\\_AGNEP\\_dena\\_Bericht\\_PlattformNetze.pdf](http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Download/Dokumente/Projekte/ESD/110705_AGNEP_dena_Bericht_PlattformNetze.pdf) (Zugegriffen 21. November 2011).
- LAK-Energiebilanzen (2011a): Fernwärmeerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern seit 2003. [www.lak-energiebilanzen.de](http://www.lak-energiebilanzen.de) (Zugegriffen 20. Juli 2011).
- LAK-Energiebilanzen (2011b): Fernwärmeerzeugung. [www.lak-energiebilanzen.de](http://www.lak-energiebilanzen.de) (Zugegriffen 20. Juli 2011).
- Lambauer, J., U. Fahl, M. Ohl, M. Bleiß und A. Voß (2008): Industrielle Großwärmepumpen - Potentiale, Hemmnisse und Best-Practice-Beispiele. IER Stuttgart. (Zugegriffen 20. Juni 2011).
- Landesregierung Brandenburg (2008a): *Energiestrategie 2020 des Landes Brandenburg*. Hrsg.: Ministerium für Wirtschaft des Landes Brandenburg. [http://eti-brandenburg.de/fileadmin/eti\\_upload/downloads2009/Energiestrategie\\_2020.pdf](http://eti-brandenburg.de/fileadmin/eti_upload/downloads2009/Energiestrategie_2020.pdf) (Zugegriffen 2. März 2011).
- Landesregierung Brandenburg (2008b): *Energiestrategie 2020 des Landes Brandenburg, Umsetzung des Beschlusses des Landtages, DS 4/2893-B, vom 18. Mai 2006*. Hrsg.: Ministerium für Wirtschaft des Landes Brandenburg, 20. Mai.  
<http://brandenburg.de/cms/media.php/gsid=lbm1.a.1312.de/Energiestrategie%202020.pdf> (Zugegriffen 2. März 2011).
- Langniß, Ole, Hans-Friedrich Wülbeck, Michael Nast, Martin Pehnt, Stephanie Frick, Harald Drück, Elke Streicher, Hans Hartmann und Klaus Reisinger [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit] (2010): *Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (Marktanreizprogramm) für den Zeitraum 2009 bis 2011*. Zwischenbericht. [http://www.fichtner.de/pdf/MAP-Evaluationsbericht\\_2009.pdf](http://www.fichtner.de/pdf/MAP-Evaluationsbericht_2009.pdf) (Zugegriffen 12. April 2011).
- LASA [Landesagentur für Struktur und Arbeit Brandenburg GmbH] (2010): *Energiewirtschaft in Brandenburg. Branchenstruktur und Fachkräftebedarfe*. LASA-Studie Nr. 50. Potsdam.
- Linke, Carsten [Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg] (2007): *Potentiale erneuerbarer Energien*. MLUV. [http://www.nachhaltigkeitsbeirat.brandenburg.de/cms/media.php/bb2.a.5490.de/nb\\_linke.pdf](http://www.nachhaltigkeitsbeirat.brandenburg.de/cms/media.php/bb2.a.5490.de/nb_linke.pdf).
- LUA (2007): *Umweltdaten Brandenburg - Bericht 2007*. Landesumweltamt Brandenburg.  
<http://www.brandenburg.de/cms/media.php/2320/udat07kf.pdf>.
- LUGV [Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz] (2010): *Ausbaustand der erneuerbaren Energien im Land Brandenburg für das Jahr 2009 (31.12.2009)*. Hrsg.: LUGV.  
<http://www.mugv.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.2328.de/eeausbau.pdf>.
- LUGV [Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz] (2011): *Ausbaustand der erneuerbaren Energien im Land Brandenburg für das Jahr 2010 (31.12.2010)*. Hrsg.: LUGV.  
<http://www.mugv.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.2328.de/eeausbau.pdf>.
- Meyer, J.-P. (2007): Auf der Schwelle zum Markt. *Sonne Wind & Wärme*, Nr. 12/2007.
- MIL [Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft Brandenburg] (2011): Verkehrsstatistik MIL.  
[http://www.mil.brandenburg.de/cms/detail.php?template=bbo\\_mir\\_vst](http://www.mil.brandenburg.de/cms/detail.php?template=bbo_mir_vst) (Zugegriffen 25. Juli 2011).
- Ministerium für Wirtschaft des Landes Brandenburg (2007): Branchenstrategie zur Unterstützung des Branchenkompetenzfeldes Mineralölwirtschaft/Biokraftstoffe.
- Ministerium für Wirtschaft des Landes Brandenburg (2009): Jahreswirtschaftsbericht 2009.
- MLUV [Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg] (2006): *Biomasseaktionsplan Brandenburg - Strategie zur energetischen Nutzung von Biomasse bis 2010*.  
<http://www.mugv.brandenburg.de/cms/detail.php/lbm1.c.358220.de> (Zugegriffen 7. Juni 2011).
- MLUV [Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg] (2008): *Zwischenbericht Landtagsbeschluss zur Solarflächenanalyse in Brandenburg (LT-DS 4/6449; beschlossen am 10.07.2008)*.
- Möller, Jochen (2003): Möglichkeiten und Grenzen der Nutzung erneuerbarer Energieträger am Beispiel des Landes Brandenburg. Brandenburgische Technische Universität Cottbus. [http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=971436673&dok\\_var=d1&dok\\_ext=pdf&filename=971436673.pdf](http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=971436673&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=971436673.pdf) (Zugegriffen 2. März 2011).
- MUGV [Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz] (2010): *Siedlungsabfallbilanz Brandenburg 2009*.  
<http://www.mugv.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.2320.de/bilanz09.pdf> (Zugegriffen 6. Juni 2011).
- MUGV [Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz] (2011): Alternative Kraftstoffe und Antriebsformen in Berlin und Brandenburg. <http://www.mugv.brandenburg.de/cms/detail.php/bb2.c.544346.de> (Zugegriffen 21. November 2011).
- Müller, Chris [Bundesverband Wärmepumpe e.V.] (2009): *Status Quo der Nutzung oberflächennaher Geothermie in Brandenburg*. BWP. [http://eti-brandenburg.de/fileadmin/eti\\_upload/vortraege-2009/geothermietag2009/Vortrag-Mueller.pdf](http://eti-brandenburg.de/fileadmin/eti_upload/vortraege-2009/geothermietag2009/Vortrag-Mueller.pdf).
- Murach, Dieter, Lisa Knur und Mareike Schultze (2008a): DENDROM - Zukunftsrohstoff Dendromasse.  
<http://www.dendrom.de/daten/downloads/DendromFinSmall1.pdf>.

- Murach, Dieter, Lisa Knur und Mareike Schultze (2008b): *DENDROM - Zukunftsrohstoff Dendromasse. Systemische Analyse, Leitbilder und Szenarien für die nachhaltige energetische und stoffliche Verwendung von Dendromasse aus Wald- und Agrarholz*. Verlag Dr. Norbert Kessel. [www.dendrom.de/daten/downloads/DendromFinSmall1.pdf](http://www.dendrom.de/daten/downloads/DendromFinSmall1.pdf).
- Nitsch, Joachim und Bernd Wenzel [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit] (2009): *Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland. Leitszenario 2009*. Reihe Umweltpolitik. Berlin.
- Nitsch, Joachim, Thomas Pregger, Yvonne Scholz, Tobias Naegler, Michael Sterner, Norman Gerhardt, Amany von Oehsen, Carsten Pape, Yves-Marie Saint-Drenan und Bernd Wenzel (2010): *Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. Leitstudie 2010*. Stuttgart, Kassel, Teltow.
- Oeser, Michael (2006): *Systemanalyse der Umweltwirkungen hoher Windstromanteile*. Diplomarbeit. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart; Institut für Energie- und Umweltforschung GmbH (IFEU), Heidelberg.
- Pauschinger, Thomas (2011): Solarthermie in der Nah- und Fernwärmeversorgung – Aktuelle Entwicklungen in Deutschland und Europa. Beitrag bei den Berliner Energietagen (BET) am 20.05.2011.
- Photon - Das Solarstrom-Magazin (2011): Das Jahr des Tigers. April.
- PhotovoltaikZentrum - Michael Ziegler (2010): Ermittlung des Bekanntheitsgrades von Wechselrichterherstellern. <http://www.photovoltaikstudie.de/shop/marktstudien/studie1003wechselrichterhersteller.php>.
- Platt, Michael, Stephan Exner und Rolf Bracke (2010): *Analyse des deutschen Wärmepumpenmarktes - Bestandsaufnahme und Trends*. Geothermie Zentrum Bochum (GZB). [http://www.geothermiezentrum.de/fileadmin/media/geothermiezentrum/Projekte/WP-Studie/Abschlussbericht\\_WP-Marktstudie\\_Mar2010.pdf](http://www.geothermiezentrum.de/fileadmin/media/geothermiezentrum/Projekte/WP-Studie/Abschlussbericht_WP-Marktstudie_Mar2010.pdf).
- Prognos AG (2010): Investitionen durch den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland.
- Prognos AG (2011): Bedeutung der Braunkohle in Ostdeutschland. [http://www.prognos.com/fileadmin/pdf/publikationsdatenbank/Prognos\\_Studie\\_Braunkohle\\_Ostdeutschland\\_2011\\_Langfassung.pdf](http://www.prognos.com/fileadmin/pdf/publikationsdatenbank/Prognos_Studie_Braunkohle_Ostdeutschland_2011_Langfassung.pdf).
- Prognos, EWI und GWS [Prognos AG, Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln, Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH] (2010): *Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung*. [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/energieszzenarien\\_2010.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/energieszzenarien_2010.pdf).
- Ragnitz, Joachim, Beate Grundig, Carsten Pohl, Marcel Thum, Helmut Seitz, Stefan Eichler, Harald Lehmann und Lutz Schneider (2006): *Demographische Entwicklung in Ostdeutschland; Forschungsauftrag des BMWi; IWH (Hrsg.)*. Halle.
- Scheps, Volker [Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz Brandenburg] (2009): *Stand und Potential von erneuerbaren Energien im Land Brandenburg. Vortrag auf dem 15. Brandenburger Stalltag*. MLUV Brandenburg. [www.brandenburg.de/sixcms/media.php/4055/scheps.pdf](http://www.brandenburg.de/sixcms/media.php/4055/scheps.pdf) (Zugegriffen 1. März 2011).
- Schmitt, B., C. Lauterbach und C. Vajen (2009): Solare Prozesswärme. Stand der Technik und Perspektiven; VDI-Wissensforum Heizen und Kühlen mit der Sonne, Ludwigsburg. 06.-07.10.09. [http://solar-publicationen.umwelt-uni-kassel.de/uploads/2009\\_Schmitt\\_VDI%20Wissensforum\\_Solare%20Prozesswaerme.pdf](http://solar-publicationen.umwelt-uni-kassel.de/uploads/2009_Schmitt_VDI%20Wissensforum_Solare%20Prozesswaerme.pdf) (Zugegriffen 20. Juli 2011).
- Schulz, Detlef (2009): *Speicherpotenziale von Pumpspeicherwerken in Tagebaurestlöchern ehemaliger Braunkohlereviere*. Deutsche Umwelt Hilfe (DUH), Helmut Schmidt Universität. [http://www.forum-netzintegration.de/uploads/media/DUH\\_Schulz\\_300909\\_01.pdf](http://www.forum-netzintegration.de/uploads/media/DUH_Schulz_300909_01.pdf).
- Schüwer, Dietmar, Karin Arnold, Carmen Dienst und et. al (2010): *Erdgas: Die Brücke ins regenerative Zeitalter. Bewertung des Energieträgers Erdgas und seiner Importabhängigkeit*.
- Schwarz, H., R. Bitsch und W. Fichtner (2008): *Netzintegration Erneuerbarer Energien in Brandenburg*. Centrum für Energietechnologie Brandenburg (CEBra), Brandenburgische Technische Universität Cottbus (BTU) im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft des Landes Brandenburg. [http://brandenburg.de/media\\_fast/bb2.a.5599.de/Netzstudie\\_erneuerbarer\\_Energien\\_Schlussbericht.pdf](http://brandenburg.de/media_fast/bb2.a.5599.de/Netzstudie_erneuerbarer_Energien_Schlussbericht.pdf).
- Schwarz, Harald, Klaus Pfeiffer, André Fuchs, Tobias Porsinger und Alexander Feige (2011): *Fortführung der Studie zur Netzintegration der Erneuerbaren Energien im Land Brandenburg*. Studie der Brandenburgischen Universität Cottbus (BTU) im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft und Europaangelegenheiten des Landes Brandenburg, Juli.
- Seefeldt, Friedrich, Jutta Struwe und Marco Wünsch (2007): *Grundlagen für die Fortschreibung der Energiestrategie Brandenburg*. Prognos AG. [http://www.energie.brandenburg.de/media\\_fast/bb1.a.2865.de/prognos\\_EnergiestrategieBB\\_Endbericht.pdf](http://www.energie.brandenburg.de/media_fast/bb1.a.2865.de/prognos_EnergiestrategieBB_Endbericht.pdf).
- Solarregion Berlin Brandenburg (2011): Handlungsfeldkonferenz Solarenergie im Cluster Energietechnik Berlin-Brandenburg. [http://www.zab-energie.de/files/documents/Handlungsfeldkonferenz\\_Solarenergie\\_im\\_Cluster\\_Energietechnik.pdf](http://www.zab-energie.de/files/documents/Handlungsfeldkonferenz_Solarenergie_im_Cluster_Energietechnik.pdf).
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2010): Bevölkerung - Brandenburg. *Gemeinsames Datenangebot der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder*. [http://www.statistik-portal.de/Statistik-Portal/de\\_zs01\\_bb.asp](http://www.statistik-portal.de/Statistik-Portal/de_zs01_bb.asp) (Zugegriffen 13. Mai 2011).
- Statistisches Bundesamt (2008): Klassifikation der Wirtschaftszweige - mit Erläuterungen.
- Statistisches Bundesamt (2009): *Baufertigstellungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden*. <http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Publikationen/Fachveroeffentlichungen/BauenWohnen/BautaetigkeitWohnungsbau/BaufertigstellungenBauherren5311201097004.property=file.pdf>.
- Statistisches Bundesamt (2010): Produzierendes Gewerbe, Tätige Personen und Umsatz der Betriebe im Baugewerbe, Fachserie 4 Reihe 5.1.

- Statistisches Bundesamt (2011): Durchschnittshebesätze der Realsteuern: Bundesländer, Jahre, Realsteuern.
- Sterner, Michael, Norman Gerhardt, Mareike Jentsch, Yves-Marie Saint-Drenan, Carsten Pape und Jürgen Schmid (2011): *Die Speicheroption Power-to-GasAusgleichs- und Integrationsmaßnahmen für EE*. Kassel: Fraunhofer IWES, 11. Januar. [http://www.iset.uni-kassel.de/abt/FB-I/publication/2011-014\\_Die\\_Speicheroption-VKU.pdf](http://www.iset.uni-kassel.de/abt/FB-I/publication/2011-014_Die_Speicheroption-VKU.pdf) (Zugegriffen 6. Oktober 2011).
- Stryi-Hipp, Gerhard, Martin Schnauss und Frederik Moch (2007): GroSol. Studie zu großen Solarthermieanlagen. Bundesverband Solarwirtschaft e.V.
- Swider, Derk J. und Christoph Weber (2007): The costs of wind's intermittency in Germany: application of a stochastic electricity market model. *European Transactions on Electrical Power* 17, Nr. 2: 151-172.
- TAB (2003): *Möglichkeiten geothermischer Stromerzeugung in Deutschland*. TAB-Arbeitsbericht Nr. 84. Berlin: Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag.
- UBA (2010): *Energieziel 2050: 100 Prozent Strom aus erneuerbaren Quellen*. Umweltbundesamt. <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3997.pdf>.
- UBA [Umweltbundesamt] (2011): *Liste der sich in Betrieb befindlichen Kraftwerke bzw. Kraftwerksblöcke ab einer elektrischen Bruttoleistung von 100 Megawatt (Stand 8.4. 2011)*. [http://www.umweltbundesamt.de/energie/archiv/kraftwerke\\_in\\_deutschland.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/energie/archiv/kraftwerke_in_deutschland.pdf).
- Urbschat, Christoph [Betreiber: Eclareon] (2011): *Biomasseatlas*. <http://www.biomasseatlas.de/index.php?id=5> (Zugegriffen 18. April 2011).
- VERBIO (2011): VERBIO Geschäftsbericht 2010. [http://www.verbio.de/fileadmin/user\\_upload/pdf/Finanzberichte/VERBIO\\_GB2010\\_de\\_final\\_encoded.pdf](http://www.verbio.de/fileadmin/user_upload/pdf/Finanzberichte/VERBIO_GB2010_de_final_encoded.pdf) (Zugegriffen 21. November 2011).
- Vertraulich (2011): Windenergiebranche in Brandenburg.
- Vohrer, Philipp (2011): *Erneuerbare Wärme*. Renewes Spezial. Berlin: Agentur für Erneuerbare Energien. [http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/47\\_Renews\\_Spezial\\_Erneuerbare\\_Waerme\\_jan11\\_02.pdf](http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/47_Renews_Spezial_Erneuerbare_Waerme_jan11_02.pdf).
- Weiß, Julika und Elisa Dunkelberg (2010): *Erschließbare Energieeinsparpotenziale im Ein- und Zweifamilienhausbestand*. ENEF-Haus Projektbericht. Berlin.
- Wenke, Klaus-Georg (1987): *Theorie der Wertschöpfung und der Wertschöpfungsrechnung*. Mainz.
- Wenzel, Bernd (2009): *Nutzen durch erneuerbare Energien im Jahr 2008. Vermiedene fossile Energieimporte und externe Kosten*. Teltow.
- Wraneschitz, Heinz (2011): Wie Windkraftwerke Fledermäuse schonen. *Solarthemen*, Nr. 356, 21. Juli: 7.
- Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, DLR-Institut für Technische Thermodynamik und Institut für Energetik und Umwelt, Leipzig (2006): *Anhang zur Studie: Anforderungen an Nah- und Fernwärmenetze sowie Strategien für Marktakteure in Hinblick auf die Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung bis zum Jahr 2020*.
- ZAB (o.J.): Mineralölwirtschaft/Biokraftstoffe. <http://www.zab-brandenburg.de/de/3600.aspx>.
- ZAB (2011a): Informationsaustausch.
- ZAB (2011b): Produktions- und Beschäftigungsdaten Biokraftstoffe 2009.
- Ziesing, Hans-Joachim (2008): KWK-Potenziale in Deutschland und ihre Erschließung. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 58. Jg., Nr. Heft 3: 50-59.
- ZSW [Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg] (2010): *Neuer Weltrekord mit effizienter Solarzelle*. Pressemitteilung. 27. Juli. [http://www.zsw-bw.de/fileadmin/ZSW\\_files/Infoportal/Presseinformationen/docs/pi11-2010-ZSW-Weltrekord2-DS-CIGS.pdf](http://www.zsw-bw.de/fileadmin/ZSW_files/Infoportal/Presseinformationen/docs/pi11-2010-ZSW-Weltrekord2-DS-CIGS.pdf).

# Anhang

## 10 Ergänzende Berechnungen zu den vermiedenen CO<sub>2</sub>-Emissionen und Brennstoffkosten

Mit dem Modell des IÖW lassen sich zusätzlich auch die vermiedenen CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie die eingesparten Kosten für fossile Brennstoffimporte berechnen. Daher werden hier ergänzend zu den oben im Hauptteil der Studie entwickelten Szenarien und der Bestandsaufnahme für 2010 die entsprechenden Emissions- und Kostenwerte ermittelt und dargestellt.

Der Ausbau erneuerbarer Energien führt zu einer zunehmenden Substitution der Bereitstellung von Strom, Wärme und Kraftstoffen aus fossilen Energieträgern wie Kohle, Erdgas und Öl. Dies hat zur Folge, dass der Ausstoß von Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) und anderen klimarelevanten Emissionen verringert wird. Zudem bedeutet die Einsparung fossiler Energieträger eine Verringerung der Brennstoffeinfuhren nach Deutschland, da diese zu einem großen Anteil importiert werden. Im Folgenden wird die Methodik zur Ermittlung der vermiedenen CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie der eingesparten Kosten für fossile Brennstoffimporte durch EE im Land Brandenburg kurz beschrieben und die Ergebnisse für das Basisjahr 2010 und die Szenarien 2030 dargestellt.<sup>36</sup> Mit Blick auf die spezielle Situation in Brandenburg als Energieexportland ist jedoch nur von einer anteiligen Substitution in Brandenburg selbst auszugehen; allerdings gilt der Substitutionseffekt rechnerisch vollständig auf der nationalen bzw. internationalen Ebene.

### 10.1 Vermiedene CO<sub>2</sub>-Emissionen

Die Berechnung der im Land Brandenburg vermiedenen CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den Einsatz erneuerbarer Energieträger basiert auf spezifischen CO<sub>2</sub>-Vermeidungsfaktoren des BMU (2011a, 26 ff.), welche die durchschnittliche Vermeidung dieses Treibhausgases (THG) in Deutschland widerspiegeln. Die Faktoren errechnen sich aus der Substitution fossiler Energieträger durch erneuerbare Energien sowie den Emissionsfaktoren der Strom-, Wärme- und Kraftstoffbereitstellung. Im Strombereich bilden die von Klobasa und Sensfuß ermittelten Substitutionsbeziehungen die Grundlage für die Ermittlung der CO<sub>2</sub>-Vermeidung (siehe BMU 2011a, 99). Hintergrund ist dabei, dass die erneuerbaren Energien je nach Einspeisecharakteristik unterschiedliche konventionelle Kraftwerke verdrängen. Hierbei spielen regionale technische Aspekte, wie der Kraftwerksmix in Brandenburg oder das dazugehörige Verteil- oder Übertragungsnetz keine Rolle. Da die Übertragungsnetzbetreiber die nach EEG vergütete Strommenge nach §1 AusglMechAV am Spotmarkt einer Strombörse zu veräußern haben, findet die Verdrängung fossiler und nuklearer Strommengen im gesamten Marktgebiet der für Deutschland relevanten Leipziger Strombörse (EEX) statt. Daher

---

36 Zur Methodik siehe auch IÖW/ZEE (2010, 227 f.)

kann an dieser Stelle der Kraftwerksmix Brandenburgs nicht berücksichtigt werden. Die CO<sub>2</sub>-Vermeidungsfaktoren sind auf Grundlage des bundesweiten Kraftwerksmix berechnet, so dass bspw. bei der Einsparung fossiler Primärenergieträger größtenteils Steinkohle verdrängt wird, obwohl diese in Brandenburg nicht zur Stromproduktion eingesetzt wird.

Die Substitutionsfaktoren der erneuerbaren Wärmebereitstellung sowie die Emissionsfaktoren der Energieträger wurden vom BMU (2011a, 100) zusammengestellt. Hinsichtlich der Kraftstoffe wird angenommen, dass eine kWh Biokraftstoff eine kWh fossilen Treibstoff ersetzt (siehe BMU 2011a, 101). Die im Land Brandenburg durch die Energiebereitstellung aus erneuerbaren Quellen vermiedenen CO<sub>2</sub>-Emissionen ergeben sich aus dem Produkt der spezifischen Vermeidungsfaktoren und der Bereitstellung von EE im Jahr 2010 sowie der zwei Szenarien für das Jahr 2030 (siehe Tab. 10.1) und sind in Tab. 10.2 aufgeführt. Es handelt sich dabei um die Gesamtemissionen, da neben den direkten Emissionen der Energiebereitstellung auch der CO<sub>2</sub>-Ausstoß der Vorketten berücksichtigt wird.

**Tab. 10.1: Energiebereitstellung aus EE in Brandenburg im Jahr 2010 und im Jahr 2030**

Quelle: Hirschl et al. (2011b).

Energieerzeugung in [GWh]	2010	2030	
		EE-50BK	EE-0BK
Wasserkraft	27,8	55,6	83,3
Windenergie	7.611	23.000	28.944
Photovoltaik	556	4.361	5.500
feste Biomasse	1.015	675	675
Biogas	1.402	1.825	1.825
<b>Summe Stromerzeugung</b>	<b>10.611</b>	<b>29.917</b>	<b>37.028</b>
Solarthermie	111	1.472	1.639
Wärmepumpen	194	5.167	5.167
feste Biomasse KFA	3.305	5.417	5.417
<b>Summe Wärmeerzeugung</b>	<b>3.611</b>	<b>12.056</b>	<b>12.222</b>
<b>Summe Kraftstoffbereitstellung</b>	<b>6.254</b>	<b>6.279</b>	<b>6.279</b>

**Tab. 10.2: Vermiedene CO<sub>2</sub>-Emissionen durch die Energiebereitstellung aus EE im Land Brandenburg 2010 und 2020 in 1000 t CO<sub>2</sub>**

Quelle: eigene Berechnungen.

EE-Technologien	2010	2030	
		EE-50BK	EE-0BK
Wasserkraft	22	44	66
Windenergie	5.602	16.928	21.303
Photovoltaik	377	2.961	3.735
feste Biomasse	790	525	525
Biogas	792	1.031	1.031
<b>Summe EE-Strom</b>	<b>7.583</b>	<b>21.490</b>	<b>26.660</b>
Solarthermie	25	331	369
Wärmepumpen	16	434	434
feste Biomasse KFA	1.000	1.636	1.636
<b>Summe EE-Wärme</b>	<b>1.041</b>	<b>2.401</b>	<b>2.439</b>
<b>Summe Biokraftstoffe</b>	<b>864</b>	<b>868</b>	<b>868</b>
<b>Gesamt</b>	<b>9.488</b>	<b>24.759</b>	<b>29.966</b>

## 10.2 Eingesparte Kosten für fossile Brennstoffimporte

Die Einsparung fossiler Primärenergie durch die Strom- und Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien im Jahr 2010 wird mit Hilfe der oben genannten Substitutionsfaktoren für EE-Strom und EE-Wärme und dem vom BMU (2011a, 103) ausgewiesenen Verbrauch an Primärenergie zur Bereitstellung und Nutzung der fossilen Energieträger ermittelt. Im Verkehrssektor wird zusätzlich noch der Anteil der Rohstoffe an der Biokraftstoffverwendung (BMU 2011a, 101) berücksichtigt, da die Art des Rohstoffes ein wesentliches Kriterium für die Höhe des Primärenergieverbrauchs darstellt. Mit Hilfe der jeweiligen Heizwerte (BMU 2011a, 32) lässt sich aus der eingesparten Primärenergie die entsprechende Menge an substituierten fossilen Brennstoffen berechnen. Bei der Ermittlung der eingesparten fossilen Primärenergie durch EE im Jahr 2030, wird vereinfachend davon ausgegangen, dass die prozentualen Anteile der konventionellen Energieerzeugung, welche durch Strom und Wärme aus erneuerbaren Energien verdrängt werden, konstant bleiben. Im Stromsektor wird bei den Berechnungen eine veränderte Zusammensetzung des Kraftwerkparks im Jahr 2030 berücksichtigt. Die prognostizierte Einsparung an fossiler Primärenergie ergibt sich in diesem Fall aus den Substitutionsfaktoren für EE-Strom, den mittleren Brennstoffausnutzungsgraden der fossilen Kraftwerke im Jahr 2030 (nach BMU 2011a, 102; Nitsch et al. 2010, 27) sowie dem Aufwand an Primärenergie zur Bereitstellung der fossilen Energieträger (BMU 2011a, 103). Die nachfolgende Tabelle zeigt eine Übersicht über die Einsparung fossiler Energieträger in den Jahren 2010 und 2030.

**Tab. 10.3: Einsparung fossiler Energieträger durch die Energiebereitstellung aus EE in Brandenburg 2010 und 2030**

Quelle: eigene Berechnungen.

	2010	2030	
		EE-50BK	EE-0BK
<b>EE-Strom</b>			
Braunkohle [1000 t]	687	6.207	7.679
Steinkohle [1000 t]	2.110	19.799	24.507
Erdgas [Mio. m <sup>3</sup> ]	716	6.705	8.295
<b>EE-Wärme</b>			
Braunkohle [1000 t]	0,5	821	826
Steinkohle [1000 t]	7,3	194	195
Erdgas [Mio. m <sup>3</sup> ]	166	2.270	2.307
Mineralöl [Mio. Liter]	220	2.487	2.519
<b>Biokraftstoffe</b>			
Kraftstoff [Mio. Liter]	402	405	405

Aus der Substitution fossiler Energieträger durch EE ergibt sich in der Folge eine Verringerung der Energieimporte, beziehungsweise der Kosten für fossile Brennstoffimporte. Diese können mittels der Importquoten und der Importpreise<sup>37</sup> der jeweiligen fossilen Brennstoffe berechnet werden. Es wird angenommen, dass für die Menge der eingesparten fossilen Energieträger Erdgas und Mineralöl die gleiche Importquote gilt, wie für die eingesetzten Mengen. Da für deutsche Steinkohle eine garantierte Abnahmemenge vereinbart ist, kann der Rückgang der Nachfrage nach Steinkohle durch eine Zunahme des EE-Stroms nur den Import betreffen, d.h. es wird bei Steinkohle von einer Importquote von 100 % ausgegangen. Braunkohle wird aus dem Inland bezogen, wodurch diese bei der Betrachtung von importierten fossilen Brennstoffen keine Rolle spielt (Wenzel 2009, 15).

Durch die Energiebereitstellung aus EE wurden in Brandenburg im Jahr 2010 rechnerisch 544 Mio. Euro weniger für die Einfuhr fossiler Brennstoffe ausgegeben (siehe Tab. 10.4). Erfolgt der Ausbau gemäß dem Szenario EE-50BK, so kann im Jahr 2030 eine Einsparung in Höhe von rund 10,6 Mrd. Euro erreicht werden. Unter Annahme des Szenarios EE-0BK können die Ausgaben für fossile Brennstoffimporte im Jahr 2030 um 12,4 Mrd. Euro verringert werden.

<sup>37</sup> Angaben zu Importquoten und –preisen im Jahr 2010 wurden BMWi (2011b) entnommen. Die angenommene Entwicklung der Importpreise fossiler Brennstoffe bis zum Jahr 2030 basiert auf dem „Preisfad A“ der Leitstudie 2010 des Bundesumweltministeriums (Nitsch et al. 2010, 19). Annahmen zu den Importquoten im Jahr 2030 basieren auf Nitsch und Wenzel (2009, 33 und 76).

**Tab. 10.4: Vermiedene fossile Brennstoffimporte in Brandenburg 2010 und 2030 in Mio. €**  
 Quelle: eigene Berechnungen.

	2010	2030	
		EE-50BK	EE-0BK
Steinkohle	1856	4.150	5.137
Erdgas	106	3.422	4.233
<b>EE-Strom gesamt</b>	<b>292</b>	<b>7.572</b>	<b>9.370</b>
Steinkohle	1,2	46	47
Erdgas	24,6	1.152	1.170
Mineralöl	82,5	1.537	1.557
<b>EE-Wärme gesamt</b>	<b>108</b>	<b>2.735</b>	<b>2.774</b>
<b>Biokraftstoffe</b>	<b>144</b>	<b>245</b>	<b>245</b>
<b>Gesamt</b>	<b>544</b>	<b>10.552</b>	<b>12.389</b>

# 11 Umrechnungsfaktoren

		<b>PJ</b>	<b>TWh</b>	<b>Mio. t SKE</b>	<b>Mio. t RÖE</b>
1 Petajoule	<b>PJ</b>	1	0,2778	0,0341	0,0239
1 Terawattstunde	<b>TWh</b>	3,6	1	0,123	0,0861
1 Mio. t Steinkohleeinheit	<b>Mio. t SKE</b>	29,308	8,14	1	0,7
1 Mio. t Rohöleinheit	<b>Mio. t RÖE</b>	41,869	11,63	1,429	1

1 TWh = 1 Mrd. kWh	Kilo (k)	$10^3$	Tera (T)	$10^{12}$	
1 GWh = 1 Mio. kWh	Mega (M)	$10^6$	Peta (P)	$10^{15}$	
1 MWh = 1.000 kWh	Giga (G)	$10^9$	Exa (E)	$10^{18}$	

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](mailto:mailbox@ioew.de)

[www.ioew.de](http://www.ioew.de)