

Entwicklung der gekoppelten Strom- und Wärmebereitstellung aus Biomasse in Baden-Württemberg

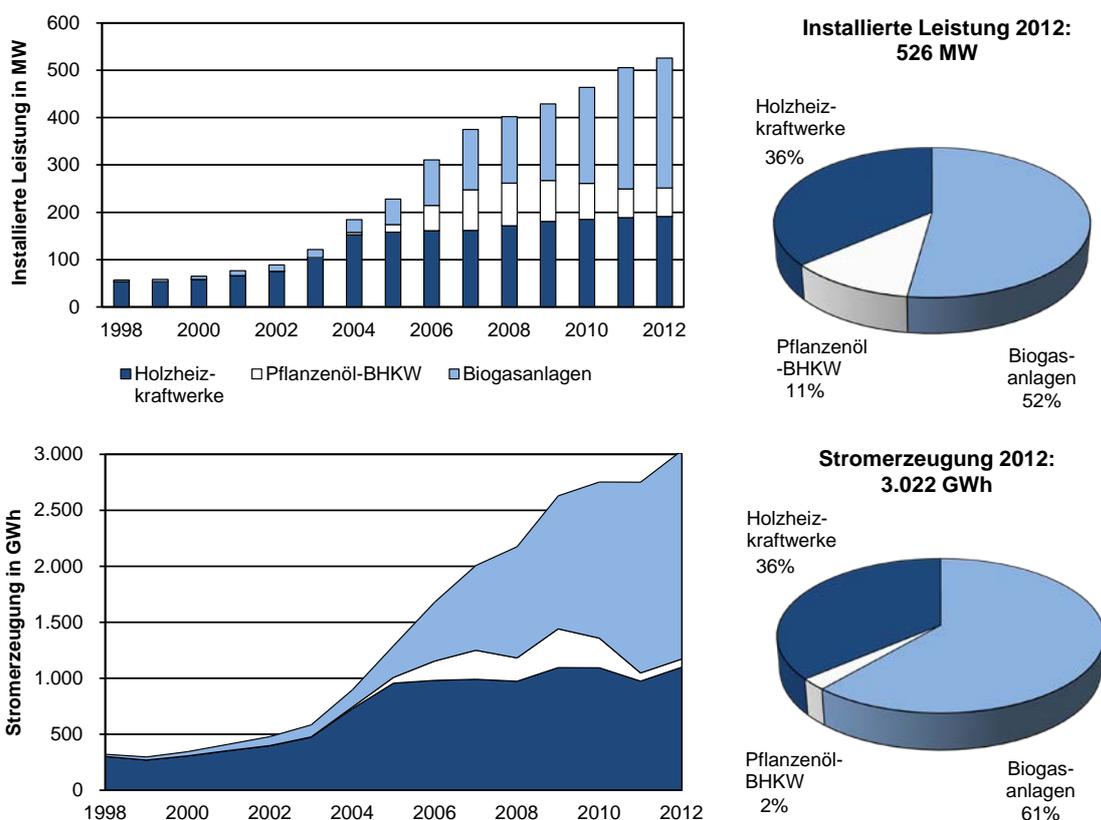
Tobias Kelm, Michael Taumann
 Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg
 tobias.kelm@zsw-bw.de, michael.taumann@zsw-bw.de
 Stuttgart, Oktober 2013

Hintergrund

Im Jahr 2011 hat das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) erstmals die Entwicklung der gekoppelten Strom- und Wärmebereitstellung in Baden-Württemberg bis zum Jahr 2010 in einem Kurzpapier vorgestellt. Das vorliegende Dokument aktualisiert die Auswertung und ergänzt die Jahre 2011 und 2012.

Gesamtentwicklung

Die installierte Gesamtleistung aller in Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) betriebenen Biomasse-Anlagen umfasste Ende 2012 523 MW (ohne Klär- und Deponiegas sowie biogenen Abfall). Die Stromerzeugung ist auf rund 3.000 GWh angestiegen, was einem Anteil von 5 % der Bruttostromerzeugung in Baden-Württemberg entspricht. Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der Biomasse-Anlagen in Baden-Württemberg hinsichtlich der installierten Leistung und der Stromerzeugung im Bereich der gasförmigen (Biogasanlagen), festen (Holzheizkraftwerke) und der flüssigen (Pflanzenöl-BHKW) Bioenergieträger.



Alle Angaben vorläufig

Abbildung 1: Entwicklung der installierten Leistung und der Stromerzeugung der Biomasse-Anlagen in Baden-Württemberg

Biogasanlagen

Während im Jahr 2011 im Vergleich zu 2010 ein ähnlich hoher Zubau an Biogasanlagen zu verzeichnen war, wurden 2012 deutlich weniger Biogasanlagen zugebaut (Tabelle 1). Der Zubau umfasste im Jahr 2012 26 Anlagen mit insgesamt ca. 16 MW elektrischer Leistung. Zum Stand Ende 2012 sind in Baden-Württemberg 824 Biogasanlagen mit rund 275 MW installierte Leistung in Betrieb, mit denen 1.850 GWh Strom erzeugt wurden.

Tabelle 1: *Zeitreihe zum Anlagenbestand und zur Strom- und Wärmebereitstellung aus Biogas in Baden-Württemberg¹*

Jahr	Bestand <i>MW_{el}</i>	Anzahl	Strom <i>GWh</i>	KWK- Strom <i>GWh</i>	KWK- Anteil	Wärme <i>GWh</i>	Primär- energie <i>GWh</i>	PE Strom <i>GWh</i>	PE Wärme <i>GWh</i>
2000	7	k. A.	37	1	1 %	1	167	165	1
2001	11	k. A.	56	1	1 %	1	251	249	2
2002	13	k. A.	80	2	3 %	2	357	352	5
2003	17	k. A.	107	3	3 %	3	478	470	8
2004	27	283	154	9	6 %	10	678	656	22
2005	54	394	282	42	15 %	49	1.232	1.133	99
2006	96	485	526	112	21 %	130	2.278	2.027	251
2007	127	546	757	125	16 %	146	3.283	2.995	288
2008	140	558	992	242	24 %	279	4.272	3.746	526
2009	162	612	1.187	365	31 %	419	5.109	4.343	766
2010	203	709	1.394	458	33 %	527	6.024	5.067	957
2011	256	796	1.703	557	33 %	643	7.386	6.213	1.173
2012	275	824	1.850	629	34 %	726	8.025	6.708	1.317

Alle Angaben vorläufig. Die Strom- und Wärmebereitstellung des Jahres 2012 wurde auf Basis der Daten des Jahres 2011 hochgerechnet. Die Zahlen zum KWK-Strom bzw. zur Wärmeauskopplung berücksichtigen nur die externe Wärmenutzung (d.h. keine Anrechnung der Fermenterbeheizung).

Der KWK-Anteil des Stroms aus Biogasanlagen blieb in den letzten zwei Jahren nahezu konstant (2010: 33 %, 2012: 34 %). In absoluten Zahlen wurde jedoch im Jahr 2012 mit rund 630 GWh ein Drittel mehr KWK-Strom als in 2010 (ca. 460 GWh) erzeugt. Die entsprechende Nutzwärmemenge von rund 730 GWh entspricht einem Heizöläquivalent von ungefähr 80 Mio. Litern. Rund 55 % der Anlagen (bzw. 48 % der installierten Leistung) wiesen im Jahr 2011 einen KWK-Anteil von weniger als 20 % auf und haben demnach ein unzureichendes Wärmenutzungskonzept². 22 % der Anlagen (bzw. 23 % der installierten Leistung) kommen auf einen KWK-Anteil von 20 bis 50 %. Mehr als 50 % KWK-Anteil leisten 23 % der Anlagen (bzw. 29 % der installierten Leistung). Im Vergleich zum Vorjahr 2010 ist damit die Verteilung der KWK-Anteile nahezu gleichgeblieben [1]. Das Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) fordert für Neuanlagen ab 2012 ein KWK-Anteil von mindestens 35 % (das EEG sieht einen KWK-Anteil von mindestens 60 % vor; wobei 25 % als Wärme zur Beheizung des Fermenters angerechnet wird). Biogasanlagen, die einen Anteil von 60 Massenprozent Gülle einsetzen, sowie Anlagen in der Direktvermarktung sind von dieser KWK-Mindestanforderung nicht betroffen. Der Wegfall des KWK-Bonus für Neuanlagen wird die Ermittlung des jeweiligen KWK-Anteils zukünftig erschweren.

¹ Leistung und Anzahl wurden den Angaben des MLR bzw. der Biogasberatung BW entnommen.

² Für 2012 liegen noch keine EEG-Bewegungsdaten vor, deshalb ist nur eine Auswertung für 2011 möglich. Anlagen, die im Jahr 2011 keinen Strom erzeugten sowie Anlagen, die erst im Jahr 2011 in Betrieb gegangen sind, wurden von dieser der Auswertung ausgenommen.

Holzheizkraftwerke

Die Nutzung fester Biomasse zur gekoppelten Strom- und Wärmebereitstellung basiert auf den klassischen Kraftwerkstechnologien, wie sie in fossil befeuerten Dampfkraftwerken eingesetzt werden. Dementsprechend wurden Rest- und Abfallstoffe aus der Papierindustrie (Schwarzlauge, Rinde, sonstige Holzabfälle) und holzverarbeitenden Industrie bereits vor zehn Jahren energetisch genutzt. Mit dem EEG 2000 bzw. 2004 wurden die Rahmenbedingungen für eine verstärkte Nutzung fester Biomasse zur gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung geschaffen. Der KWK-Bonus hat Anreize gesetzt, dass neben der Nutzung von Prozesswärme ein wirtschaftlicher Betrieb von Nahwärmeprojekten ermöglicht wurde. Diese Entwicklung wurde auch unterstützt durch den Technologiebonus, der u.a. kleinere ORC-Projekte von 0,5 bis 2 MW_{el} im kommunalen Bereich angestoßen hat (z.B. Scharnhäuser Park, Ludwigsburg, Neckarsulm). Zum Stand Ende 2012 sind in Baden-Württemberg über 60 Holzheizkraftwerke mit einer elektrischen Leistung von rund 190 MW_{el} in Betrieb, mit denen 1,1 TWh Strom erzeugt wurden (Tabelle 2).

Tabelle 2: *Zeitreihe zum Anlagenbestand und zur Strom- und Wärmebereitstellung aus Holzheizkraftwerken in Baden-Württemberg**

Jahr	Bestand <i>MW_{el}</i>	Anzahl*	Strom <i>GWh</i>	KWK- Strom <i>GWh</i>	KWK- Anteil	Wärme <i>GWh</i>	Primär- energie <i>GWh</i>	PE Strom <i>GWh</i>	PE Wärme <i>GWh</i>
2000	58	14	307	123	40 %	584	1.183	606	577
2001	66	19	354	111	31 %	525	1.585	910	675
2002	75	21	398	117	29 %	552	1.879	1.109	769
2003	104	25	474	133	28 %	628	2.330	1.401	929
2004	153	31	728	171	24 %	726	3.538	2.361	1.178
2005	158	33	957	220	23 %	790	4.500	3.184	1.315
2006	161	38	981	220	22 %	842	4.629	3.239	1.390
2007	162	40	991	220	22 %	995	4.751	3.163	1.589
2008	168	44	974	232	24 %	967	4.811	3.215	1.596
2009	181	49	1.095	339	31 %	1.362	5.291	3.262	2.028
2010	179	53	1.094	349	32 %	1.413	5.384	3.271	2.114
2011	188	61	975	322	33 %	1.383	4.788	2.801	1.988
2012	191	62	1099	377	34 %	1.598	5.556	3.217	2.339

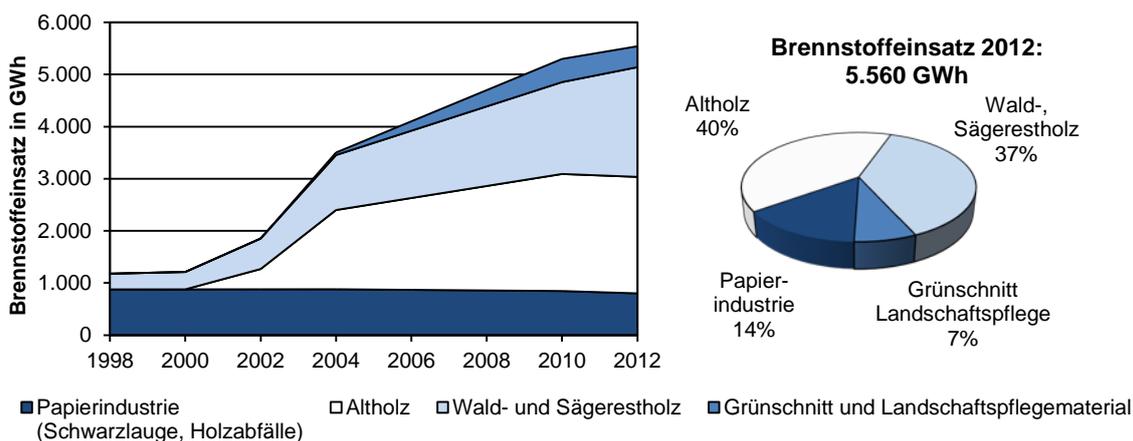
* Ohne Kleinstanlagen (Stirling-BHKW im einstelligen kW-Bereich).

Alle Angaben vorläufig. Die Strom- und Wärmebereitstellung des Jahres 2012 wurde auf Basis der Daten des Jahrs 2011 hochgerechnet.

Der KWK-Anteil erreichte im Jahr 2012 gut ein Drittel und wird voraussichtlich aufgrund der Anforderungen im EEG 2012 langsam weiter wachsen. Der im EEG ab 2012 geforderte KWK-Anteil von 60 % für Neuanlagen wird zwar einerseits zu einer verbesserten Wärmenutzung von Neuanlagen führen. Gleichzeitig bestehen durch den geforderten KWK-Anteil von 60 % hohe Hürden für Neuprojekte. Insbesondere Anlagen mit Turbinen, aus denen Dampf zur Prozesswärmeversorgung entnommen wird, dürften den geforderten Anteil kaum erreichen können.

Da im Bereich der Holzheizkraftwerke eine große Technologie- und Brennstoffvielfalt vorherrscht, wurde die Auswertung der EEG-Daten um eine Betreiberbefragung ergänzt. Auf Basis der EEG-Daten und der Befragungsergebnisse wurde die Verteilung auf die Stromerzeugungstechnologien sowie Brennstoffeinsatz und -zusammensetzung ermittelt.

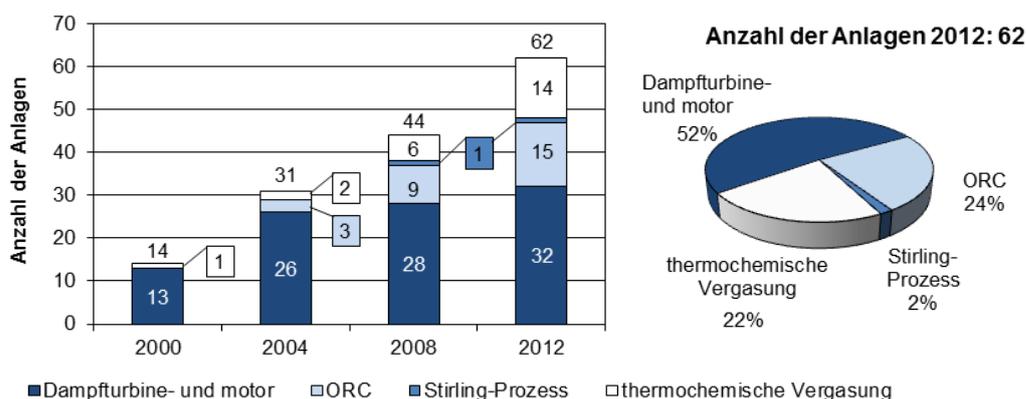
Der Brennstoffeinsatz im Jahr 2012 setzte sich heizwertbezogen zu 41 % aus Altholz, zu 37 % aus Wald- und Sägerestholz und zu 7 % aus Grünschnitt bzw. Landschaftspflegematerial zusammen (Abbildung 2 rechts). Weitere 13 % sind den Rest- und Abfallstoffen sowie Nebenprodukten aus der Papierindustrie zuzurechnen (Schwarzlauge, Rinde, etc.). Während der absolute Anteil der Papierindustrie am Brennstoffeinsatz - von rund 800 GWh in 1998 auf gut 750 GWh in 2012 - in etwa konstant geblieben ist, ist der relative Anteil der Papierindustrie - von 74 % in 1998 auf 13 % in 2012 - stark gefallen (Abbildung 2). Der Grund hierfür sind neuinstallierte Anlagen, die insbesondere mit Altholz und Wald- und Sägerestholz betrieben werden.



Alle Angaben vorläufig

Abbildung 2: Entwicklung und Verteilung des Brennstoffeinsatzes bei Holzheizkraftwerken in Baden-Württemberg bis zum Jahr 2012

Der Technologiebonus im EEG hat dazu geführt, dass ab 2004 zunehmend neue und innovative Technologien wie ORC-Turbinen, aber auch Stirling-Motoren und Anlagen zur thermochemischen Vergasung eingesetzt wurden (Abbildung 3, ohne kleine Stirling-BHKW).



Alle Angaben vorläufig

Abbildung 3: Entwicklung der Anzahl der Holzheizkraftwerke nach Stromerzeugungstechnologien in Baden-Württemberg bis zum Jahr 2012 (ausgenommen kleine Stirling-BHKW im einstelligen kW-Bereich)

Da der elektrische Wirkungsgrad dieser neuen Technologien im Vergleich zu Dampfturbinen und -motoren geringer ist, war der Zuwachs beim Brennstoffeinsatz (vgl. Abbildung 2) in den vergangenen höher, als im Hinblick auf die Stromerzeugung.

Da mit den neuen Technologien heute nur vergleichsweise kleine Anlagen realisiert werden können, zeigt sich leistungsbezogen nach wie vor die starke Dominanz von Dampfturbinen und Dampfmotoren (Abbildung 4).

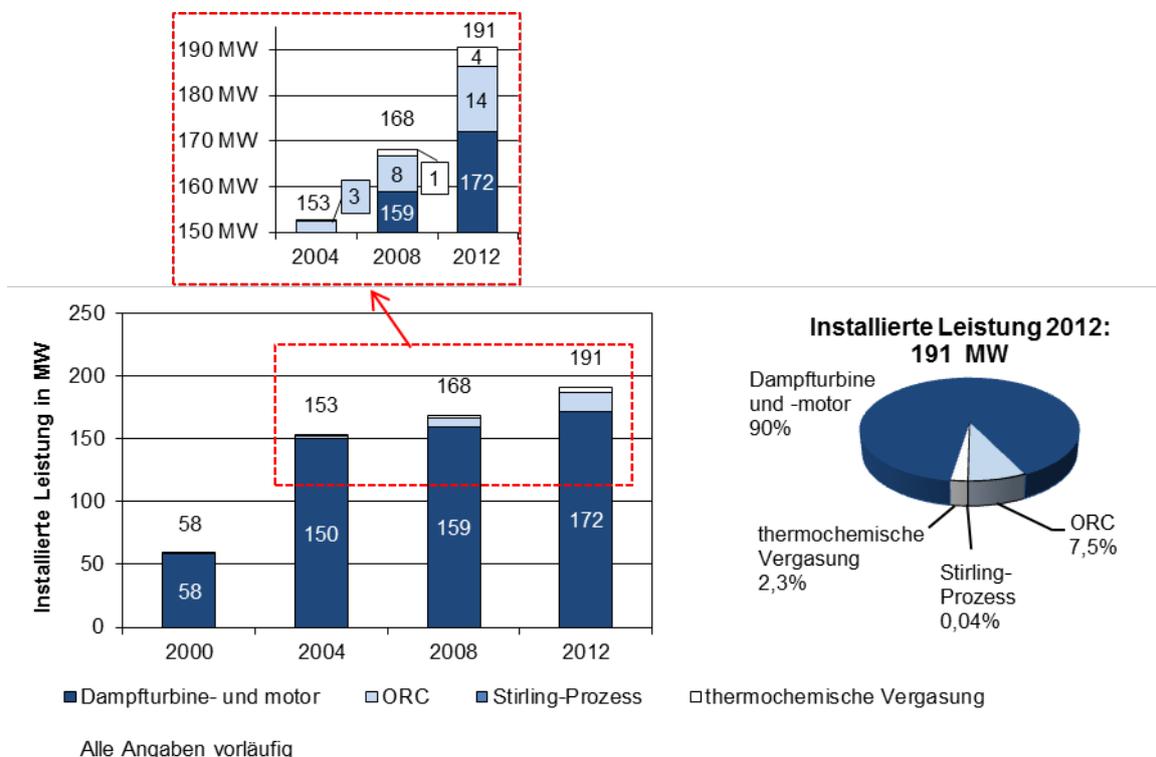


Abbildung 4: Entwicklung der Verteilung der installierten Leistung der Holzheizkraftwerke nach Stromerzeugungstechnologien in Baden-Württemberg bis 2012

Im Verlauf der Jahre 2011 und 2012 wurden in Baden-Württemberg 4 Holzheizkraftwerke mit ORC-Turbinen mit einer Gesamtleistung von 4 MW_{el} in Betrieb genommen. Damit waren Ende 2012 15 Holzheizkraftwerke mit ORC-Turbinen bei einer Gesamtleistung von 14 MW_{el} installiert [1]. Da diese Anlagen üblicherweise in Nahwärmeprojekte eingebunden sind, ist der KWK-Anteil dieser Heizkraftwerke mit rund 75 % überdurchschnittlich hoch. Anlagen zur thermochemischen Vergasung von Holz mit anschließender Nutzung des Holzgases in einem BHKW wurden hauptsächlich ab 2008 installiert. Ende 2012 befanden sich 14 dieser Anlagen mit einer installierten elektrischen Leistung von insgesamt 4,3 MW in Betrieb. 2010 waren es 9 Anlagen mit einer elektrischen Leistung von 2,1 MW. Damit wächst der Anteil der thermochemischen Vergasung langsam aber stetig. Die geringe Durchschnittsleistung (2010: 230 MW; 2012: 310 MW) zeigt aber auch, dass diese Anlagen sich noch nicht in großem Maßstab durchsetzen konnten.

In der obigen Abbildung 4 ausgenommen sind kleine Stirling-Motoren im einstelligen kW-Bereich. Die EEG-Daten umfassen etwa 30 Anlagen mit 3 kW, die den Technologiebonus erhalten. Es kann davon ausgegangen werden, dass es sich in diesem Fall um holzpelletbefeuerte Stirling-Motoren handelt, da die Anlagen größtenteils im Jahr 2009 im Zuge der Markteinführungsphase installiert wurden. Der Betrieb dieser Anlagen ist jedoch von technischen Problemen geprägt; die Anlagen weisen überwiegend eine für Blockheizkraftwerke geringe Auslastung von 500 bis 1 500 Volllaststunden auf. Bis Stand Ende 2012 wurden zwischenzeitlich von diesen 30 Anlagen ca. 20 Anlagen aufgrund von Betriebsproblemen und der mangelnden Verfügbarkeit von Ersatzteilen stillgelegt.

Pflanzenöl-Blockheizkraftwerke

Im Rahmen der Regelungen des EEG 2004 sind auch in Baden-Württemberg zahlreiche Pflanzenöl-Blockheizkraftwerke in Betrieb genommen worden (Tabelle 3). Die im Laufe des Jahres 2008 massiv angestiegenen Preise für Pflanzenöl führten zu einem Erliegen dieser Entwicklung. Das vorübergehende Absinken der Pflanzenölpreise in 2009 bewirkte eine temporäre Erhöhung der Stromproduktion. 2010 stieg der Pflanzenölpreis erneut stark an und verharrte 2011 auf hohem Niveau. Daraus erfolgte eine fortschreitende Stilllegung von Pflanzenöl BHKW. Zahlreiche Anlagen wurden – auf eine Erholung der Preise hoffend – zum Teil vorübergehend außer Betrieb genommen. Einige Anlagen wurden komplett stillgelegt oder auf andere Brennstoffe, z.B. Heizöl, umgerüstet. Im Jahr 2011 wurden rund 120 Anlagen mit einer installierten Leistung von 23 MW nicht betrieben und 84 Anlagen mit 15 MW stillgelegt oder umgerüstet.

Tabelle 3: *Zeitreihe zum Anlagenbestand und zur Strom- und Wärmebereitstellung aus Pflanzenöl in Baden-Württemberg*

Jahr	Bestand <i>MWel</i>	Anzahl*	Strom <i>GWh</i>	KWK- Strom <i>GWh</i>	KWK- Anteil	Wärme <i>GWh</i>	Primär- energie <i>GWh</i>	PE Strom <i>GWh</i>	PE Wärme <i>GWh</i>
2000	0,2	3	0,5	0,2	-	0	3	3	0,0
2001	0,3	11	1,2	0,3	29 %	0,3	7	6	0,6
2002	0,3	17	1,5	0,3	23 %	0,3	9	8	0,7
2003	0,9	23	2,9	0,3	12 %	0,4	17	16	0,7
2004	4,9	41	14	2	16 %	2	71	67	4
2005	15,8	127	51	27	53 %	28	251	216	35
2006	53,5	323	172	105	61 %	108	845	714	130
2007	85,8	475	259	161	62 %	166	1248	1.053	195
2008	89,8	500	208	161	77 %	166	1013	829	184
2009	86,3	493	346	262	76 %	268	1672	1.374	297
2010	76,2	462	264	228	86 %	233	1284	1.036	248
2011	61,0	379	73	66	91 %	68	354	284	71
2012	60,3	371	73	66	91 %	68	354	284	71

* Anzahl Blockheizkraftwerke. Anlagen sind z.T. modular aus mehreren Blockheizkraftwerken zusammengestellt. Alle Angaben vorläufig. Die Strom- und Wärmebereitstellung des Jahres 2012 wurde auf Basis der Daten des Jahres 2011 hochgerechnet.

Der KWK-Anteil an der Stromerzeugung ist in den Jahren von 2007 bis 2011 von 62 % auf 91 % gestiegen. Zu dieser Entwicklung hat beigetragen, dass vor allem stromgeführte Anlagen aufgrund der schwankenden und hohen Pflanzenölpreise außer Betrieb genommen wurden, während Anlagen, die aufgrund vertraglicher Vereinbarungen zu Wärmelieferungen verpflichtet sind, weiterhin betrieben werden [2].

Da Neuanlagen, die Strom aus Pflanzenöl erzeugen, mit dem Inkrafttreten des EEG 2012 keinen Anspruch auf eine EEG-Vergütung haben, ist kein Anlagenzubau zu verzeichnen. Der stark gesunkene Palmölpreis im 4. Quartal 2012 und das Stagnieren auf diesem Niveau (Stand August 2013) können dazu führen, dass einige vorübergehend stillgelegte Anlagen, die mit Palmöl betrieben werden, wieder zum Einsatz kommen. Es ist jedoch damit zu rechnen, dass sich dieser Effekt mit der Umrüstung auf alternative Brennstoffe ausgleicht.

Vorgehensweise

Anhand der Anlagengröße, des Inbetriebnahmejahrs, der Auslastung sowie den jeweiligen EEG-Vergütungskategorien wurde eine Zuordnung der EEG-Anlagenstammdaten auf die Anlagentypen Biogasanlagen, Pflanzenöl-Blockheizkraftwerke und Holzheizkraftwerke vorgenommen. Mit aufgenommen wurden auch einige Anlagen, die – obwohl biogene Stoffe eingesetzt werden – keine Vergütung nach dem EEG erhalten (Altanlagen, insb. Anlagen in der Holz- und Papierindustrie). Für die einzelnen Anlagen erfolgte schließlich die Auswertung der EEG-Anlagenbewegungsdaten, die für die Jahre 2007 bis 2011 vollständig zur Verfügung standen. Für jede Anlage existiert mindestens ein Datensatz³, mit denen die Strommengen den EEG-Vergütungskategorien zugeordnet werden. Auf Basis dieser Angaben kann für die einzelnen Anlagen die erzeugte KWK-Strommenge ermittelt werden. Die Strommengen bzw. KWK-Anteile für die Jahre vor 2007 wurden auf Basis der EEG-Daten 2007 bis 2011 berechnet. Für das Jahr 2012 liegen bis dato (Stand September 2013) nur für einige Verteilnetzbetreiber EEG-Bewegungsdaten vor, so dass die Strommengen bzw. die KWK-Anteile für 2012 auf Basis der Daten von 2011 größtenteils hochgerechnet wurden.

Anhand der ASUE BHKW-Kenndaten [3] sowie eigener Recherchen wurden Regressionsgleichungen für Stromkennzahlen und elektrische Wirkungsgrade von Biogas- und Pflanzenöl-BHKW in Abhängigkeit von der elektrischen Leistung ermittelt. Für Holzheizkraftwerke wurden diese Kenngrößen über eine Befragung der Anlagenbetreiber ermittelt bzw. je nach Stromerzeugungstechnologie (Dampfturbine, -motor, ORC, etc.) abgeschätzt. Aus den anlagenscharfen KWK-Strommengen und Stromkennzahlen wurde für jede Anlage die ausgekoppelte Nutzwärmemenge bestimmt.

Um die entsprechenden Jahresnutzungsgrade zu ermitteln, wurden die Wirkungsgrade um zwei Prozentpunkte vermindert. Über die Jahresnutzungsgrade sowie weitere Nutzungsgrade (Dampferzeuger bei Holzheizkraftwerken, fermentativer Wirkungsgrad bei Biogasanlagen) wurde der Primärenergieeinsatz (PE) berechnet. Anhand der finnischen Methode [4] erfolgte die Aufteilung des Primärenergieeinsatzes auf die Produkte Strom und Wärme.

Literatur

- [1] Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW): Entwicklung der gekoppelten Strom- und Wärmebereitstellung aus Biomasse in Baden-Württemberg 2010. Unveröffentlicht. Stand November 2011.
- [2] Deutsches BiomasseForschungszentrum (DBFZ): Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse. Endbericht zur EEG-Periode 2009 bis 2011, März 2012.
- [3] Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. (ASUE): BHKW-Kenndaten 2005 und BHKW-Kenndaten 2011.
- [4] EU-RL 2008/8/EG in Verbindung mit AG Energiebilanzen, Vorwort zu den Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland, Stand November 2008.

³ Mehrere Datensätze, wenn Mischbetrieb (KWK-Betrieb bzw. reine Stromerzeugung) und wenn die Anlagenleistung sich über mehrere Leistungsklassen erstreckt.