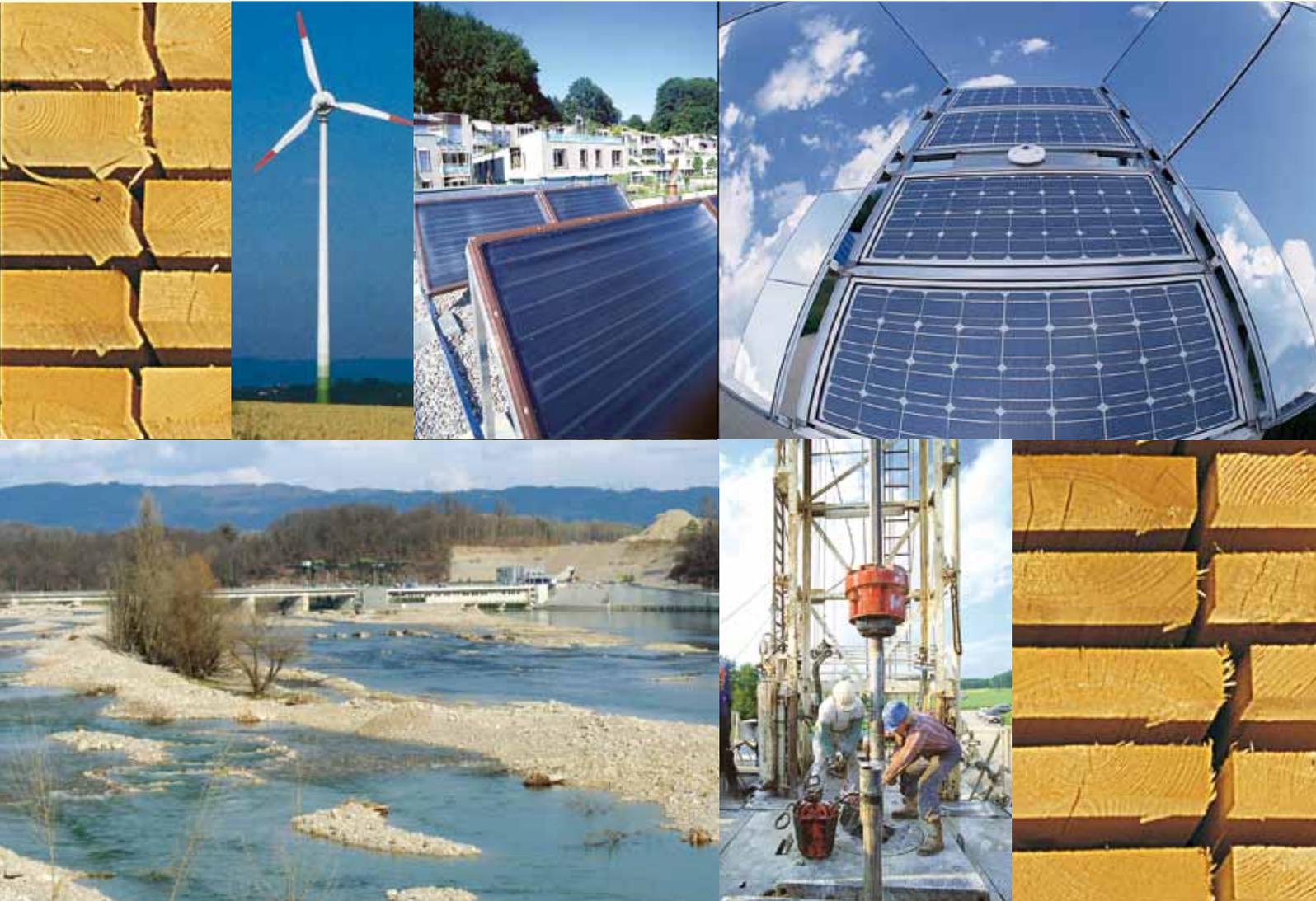


# Erneuerbare Energien in Baden-Württemberg 2016



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

## IMPRESSUM

### Herausgeber:

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg  
Kernerplatz 9  
70182 Stuttgart  
Telefon 0711 / 126 - 0  
Telefax 0711 / 126 - 2377  
Internet: <http://www.um.baden-wuerttemberg.de>  
E-Mail: [poststelle@um.bwl.de](mailto:poststelle@um.bwl.de)

### Konzeption und Redaktion:

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg  
Referat 64, Erneuerbare Energien

### Konzeption und Ausarbeitung:

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg, ZSW Stuttgart  
M. Sc. Dipl.-Wirtschafts-Ing. (FH) Tobias Kelm  
M. Sc. Anna-Lena Fuchs

### Fotonachweis:

Dipl.-Ing. Bruno Lorinser, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg

### Gestaltung Umschlag:

Axel Göhner, Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg

### Druck:

Offizin Scheufele  
Druck und Medien GmbH + Co. KG  
70597 Stuttgart



Das verwendete Papier ist mit dem „Blauen Engel“ zertifiziert.

**November 2017**

### Anmerkung:

Die vorliegende Zusammenstellung entstand in enger Zusammenarbeit und Abstimmung mit zahlreichen Verbänden, Forschungseinrichtungen und Instituten. Sämtliche Angaben in dieser Broschüre sind vorläufig und können sich im Abgleich mit den Daten der amtlichen Statistik oder anderen Quellen noch verändern.



*Großes Kollektorfeld für solarthermische Anlage in Crailsheim.*



*Historische Wasserkraftanlage an der Brenz.*

# Inhaltsverzeichnis

---

Entwicklung des Energieverbrauchs	7
Beitrag der erneuerbaren Energien zur Energiebereitstellung	8
Entwicklung der Energiebereitstellung aus erneuerbaren Energien	9
Entwicklung der Anteile erneuerbarer Energien an der Energiebereitstellung	10
Struktur der Energiebereitstellung aus erneuerbaren Energien	11
Wirtschaftliche Bedeutung der Nutzung erneuerbarer Energien	15
Umweltauswirkungen der Nutzung erneuerbarer Energien	16
Treibhausgas-Emissionen in Baden-Württemberg und Treibhausgas- Vermeidung durch die Nutzung erneuerbarer Energien	17
Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland und Europa	19
Vergütung für Strom aus erneuerbaren Energien nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz und Entwicklung der EEG-Umlage	21
Nutzung erneuerbarer Energien nach Bundesländern	22
Nutzung erneuerbarer Energien nach Landkreisen	25
Energieatlas Erneuerbare Energien	29
Anhang	
Methodische Erläuterungen	33
Glossar	39
Umrechnungstabellen	41
Quellenverzeichnis	42



*Windmessmast an einem Waldstandort mit Fledermausdetektoren.*

## Entwicklung des Primärenergieverbrauchs in Baden-Württemberg 2016

Der Primärenergieverbrauch in Baden-Württemberg ist nach ersten Schätzungen u. a. aufgrund der kühleren Witterungsbedingungen, des weiter gestiegenen Energieverbrauchs im

Verkehrssektor und aufgrund des Schaltjahres im Jahr 2016 gegenüber dem Vorjahr um 1,4 % gestiegen. Die erneuerbaren Energien trugen rund 13 % zum Primärenergieverbrauch im Land bei.

[PJ]	2015	2016	
<b>Primärenergieverbrauch</b>	<b>1.416</b>	<b>1.436</b>	<b>+1,4 %</b>
davon erneuerbare Energien (EE)	180	185	+2,5 %
davon fossil/Kernkraft	1.236	1.252	+1,3 %
<b>Anteil der EE am Primärenergieverbrauch</b>	<b>12,7 %</b>	<b>12,9 %</b>	

## Entwicklung des Endenergieverbrauchs in Baden-Württemberg 2016

Auch der Endenergieverbrauch ist im Jahr 2016 angestiegen. Dies ist primär auf Verbrauchssteigerungen im Wärme- und Verkehrssektor zurückzuführen. Der Beitrag der erneuerbaren Energien ist prozentual stärker gewachsen, womit im Jahr 2016 ein Anteil von rund 14 % am Endenergieverbrauch erreicht wurde.

[TWh]	2015	2016	
<b>Endenergieverbrauch</b>	<b>284</b>	<b>290</b>	<b>+2,2 %</b>
davon erneuerbare Energien (EE)	38,5	40,2	+4,5 %
davon fossil/Kernkraft	246	250	+1,8 %
<b>Anteil der EE am Endenergieverbrauch</b>	<b>13,6 %</b>	<b>13,9 %</b>	

Mit knapp 62 TWh (-2,2 % gegenüber dem Vorjahr) liegt die Bruttostromerzeugung in Baden-Württemberg deutlich unter dem Niveau des Vorjahres 2015. Hauptsächlich ist der Rückgang auf die geringere Erzeugung aus Steinkohlekraftwerken zurückzuführen, in denen im Jahr 2016 6 % weniger produziert wurde (-1,1 TWh). Zudem wurde in den Kernkraftwerken Baden-Württembergs 3,6 % weniger Strom als im Vorjahr erzeugt (-0,8 TWh).

Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien ist um 0,4 TWh gewachsen. Nach einem schlechten Wasserjahr 2015 ist die Stromerzeugung aus Wasserkraft im Jahr 2016 wieder angestiegen (+0,4 TWh). Obwohl das Jahr 2016 ein schlechtes Windjahr war, ist die Stromerzeugung aus Windenergieanlagen durch die zahlreichen Inbetriebnahmen 2015/2016 im Jahr 2016 weiter gewachsen (+0,14 TWh). Leicht rückläufig war die Stromerzeugung aus Photovoltaik (-0,16 TWh) aufgrund geringerer Sonnenstunden im Jahr 2016. Insgesamt leisteten die erneuerbaren Energien in Baden-Württemberg im Jahr 2016 einen Beitrag von 15,3 TWh bzw. rund 25 % zur Stromerzeugung.

Der Bruttostromverbrauch in Baden-Württemberg hat sich in den vergangenen Jahren auf einem Niveau von etwa 74 bis 75 TWh stabilisiert und im Jahr 2016 gegenüber dem Vorjahr kaum verändert. Zusammen mit der geringeren Stromerzeugung im Land ist der Stromimportsaldo gegenüber dem Vorjahr um 1,5 TWh gestiegen.

[TWh]	2015	2016	
<b>Bruttostromerzeugung <sup>1)</sup></b>	<b>63,3</b>	<b>61,9</b>	<b>-2,2 %</b>
davon erneuerbare Energien (EE)	14,9	15,3	+2,7 %
davon fossil/Kernkraft	48,4	46,6	-3,7 %
Anteil der EE an der Bruttostromerzeugung	23,5 %	24,7 %	
<b>Bruttostromverbrauch <sup>1)</sup></b>	<b>74,1</b>	<b>74,2</b>	<b>+0,1 %</b>
davon erneuerbare Energien (EE)	14,9	15,3	+2,7 %
davon fossil/Kernkraft	59,2	58,9	-0,6 %
Anteil der EE am Bruttostromverbrauch	20,1 %	20,6 %	
<b>Endenergieverbrauch zur Wärmeerzeugung <sup>2)</sup></b>	<b>130</b>	<b>134</b>	<b>+3,0 %</b>
davon erneuerbare Energien (EE)	19,6	20,8	+6,1 %
davon fossil	110	113	+2,4 %
Anteil der EE am Endenergieverbrauch für Wärme	15,1 %	15,6 %	
<b>Endenergieverbrauch Kraftstoffe</b>	<b>88,5</b>	<b>90,7</b>	<b>+2,5 %</b>
davon erneuerbare Energien (EE)	4,0	4,1	+2,8 %
davon fossil	84,5	86,6	+2,5 %
Anteil der EE am Endenergieverbrauch des Verkehrs	4,5 %	4,5 %	

Der Energieverbrauch zur Wärmeerzeugung ist 2016 witterungsbedingt gegenüber dem Vorjahr um 3 % gestiegen, parallel ist der Beitrag der erneuerbaren Energien prozentual stärker gewachsen. Insgesamt erreichen die erneuerbaren Energien einen Anteil am Endenergieverbrauch zur Wärmebereitstellung von 15,6 % im Jahr 2016. Der Kraftstoffverbrauch im Verkehrssektor ist insgesamt weiter angestiegen. Gleichzeitig ist die Nutzung von Biokraftstoffen absolut betrachtet nur geringfügig gewachsen.

Damit verharrt der Anteil der erneuerbaren Energien im Verkehrssektor bei rund 4,5 %.

1) In Baden-Württemberg wird mehr Strom verbraucht als erzeugt. Über den Anteil der erneuerbaren Energien am importierten Strom kann jedoch mangels Daten keine Aussage gemacht werden.

2) ohne Strom zur Wärmeerzeugung (analog zur Methodik auf Bundesebene)

Alle Angaben vorläufig, Stand September 2017; Abweichungen in den Summen durch Rundungen; Angaben teilweise geschätzt; Quellen: siehe Seite 8; zur Entwicklung der Anteile der erneuerbaren Energien am Energieverbrauch seit 1998 siehe Seite 10.

## Beitrag der erneuerbaren Energien zur Energiebereitstellung in Baden-Württemberg 2016

	End- energie [GWh]	Primärenergie- äquivalent <sup>1)</sup> nach Wirkungsgradmethode [PJ]	Anteil am Endenergie- verbrauch		Anteil am PEV nach Wirkungs- gradmethode <sup>1)</sup> [%]
			[%]	[%]	
<b>Stromerzeugung</b>			<b>Anteil am Bruttostrom- verbrauch <sup>2)</sup></b>	<b>Anteil an der Bruttostrom- erzeugung <sup>3)</sup></b>	
Wasserkraft <sup>4)</sup>	4.767	17,2	6,4	7,7	1,2
Windenergie	974	3,5	1,3	1,6	0,2
Photovoltaik	4.926	17,7	6,6	8,0	1,2
feste biogene Brennstoffe	1.130	11,6	1,5	1,8	0,8
flüssige biogene Brennstoffe	60	0,8	0,1	0,1	0,1
Biogas	2.760	27,8	3,7	4,5	1,9
Klärgas	192	1,4	0,3	0,3	0,1
Deponiegas	32	0,5	0,04	0,05	0,04
Geothermie	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
biogener Anteil des Abfalls <sup>5)</sup>	480	5,3	0,6	0,8	0,4
<b>Gesamt</b>	<b>15.321</b>	<b>85,8</b>	<b>20,6</b>	<b>24,7</b>	<b>6,0</b>
<b>Wärmeerzeugung</b>			<b>Anteil am Endenergie- verbrauch für Wärme <sup>6)</sup></b>		
feste biogene Brennstoffe (traditionell) <sup>7)</sup>	7.329	26,4	5,5		1,8
feste biogene Brennstoffe (modern) <sup>8)</sup>	8.462	33,1	6,3		2,3
flüssige biogene Brennstoffe	45	0,3	0,03		0,02
Biogas, Deponiegas, Klärgas	1.196	6,3	0,9		0,4
Solarthermie	1.626	5,9	1,2		0,4
tiefe Geothermie	105	0,4	0,08		0,03
Umweltwärme <sup>9)</sup>	1.155	6,7	0,9		0,5
biogener Anteil des Abfalls <sup>5)</sup>	926	5,1	0,7		0,4
<b>Gesamt</b>	<b>20.843</b>	<b>84,1</b>	<b>15,6</b>		<b>5,9</b>
<b>Kraftstoffe</b>			<b>Anteil am Endenergie- verbrauch des Verkehrs <sup>10)</sup></b>		
Biodiesel	2.843	10,2	3,1		0,7
Bioethanol	1.180	4,2	1,3		0,3
Pflanzenöl	6	0,02	0,0		0,0
Biomethan	51	0,2	0,1		0,0
<b>Gesamt</b>	<b>4.080</b>	<b>14,7</b>	<b>4,5</b>		<b>1,0</b>
<b>Energiebereitstellung aus EE</b>			<b>Anteil am gesamten Endenergieverbrauch <sup>11)</sup></b>		
<b>Gesamt</b>	<b>40.244</b>	<b>184,6</b>	<b>13,9</b>		<b>12,9</b>

Alle Angaben vorläufig, Stand September 2017. Abweichungen in den Summen durch Rundungen.

- 1) bezogen auf einen geschätzten Primärenergieverbrauch von 1.436 PJ; bei Wärme und Kraftstoffen wird Endenergie gleich Primärenergie gesetzt; für die Umrechnungsfaktoren für Strom s. Anhang II
- 2) bezogen auf einen geschätzten Bruttostromverbrauch von 74,2 TWh
- 3) bezogen auf eine geschätzte Bruttostromerzeugung von 61,9 TWh
- 4) einschließlich der Stromerzeugung aus natürlichem Zufluss in Pumpspeicherkraftwerken
- 5) der biogene Anteil in Müllverbrennungsanlagen wurde mit 50 % angesetzt
- 6) bezogen auf einen geschätzten Endenergieverbrauch für Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme (ohne Strom) von insgesamt 133,5 TWh
- 7) Kachelöfen, Kaminöfen, Kamine, Beistellherde und sonstige Einzelfeuerstätten
- 8) Zentralheizungsanlagen, Heizwerke, Heizkraftwerke
- 9) Nutzung von Umweltwärme (Luft, Grundwasser, oberflächennahe Geothermie) durch Wärmepumpen; s. Anhang I
- 10) bezogen auf einen geschätzten Endenergieverbrauch des Verkehrs von 90,7 TWh (ohne Strom)
- 11) bezogen auf einen geschätzten Endenergieverbrauch von 290 TWh

Quellen: [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21] [22] sowie vgl. Ausgaben der Vorjahre.

## Strombereitstellung (Endenergie) aus erneuerbaren Energien in Baden-Württemberg

	Wasserkraft <sup>1)</sup>		Windenergie		Photovoltaik <sup>2)</sup>		feste biogene Brennstoffe		flüssige biogene Brennstoffe		Biogas <sup>3)</sup>		Klärgas	Deponiegas	Geothermie	biogener Anteil des Abfalls <sup>4)</sup>	Summe Stromerzeugung
	[GWh]	[MW]	[GWh]	[MW]	[GWh]	[MW <sub>e</sub> ]	[GWh]	[MW]	[GWh]	[GWh]	[GWh]	[MW]					
2000	5.628	768	35	62	5	9	307	58	0	37	7	93	160	0	203	<b>6.469</b>	
2001	5.750	772	92	116	19	38	354	66	1,2	56	11	101	152	0	205	<b>6.730</b>	
2002	5.769	776	174	176	33	71	398	75	1,5	80	13	107	139	0	218	<b>6.919</b>	
2003	4.549	775	234	208	79	123	474	104	2,9	107	17	110	97	0	201	<b>5.853</b>	
2004	5.036	775	307	257	134	256	728	153	14	154	27	116	131	0	213	<b>6.834</b>	
2005	4.934	775	312	276	272	452	957	158	51	282	54	122	128	0	291	<b>7.349</b>	
2006	5.233	775	395	298	465	646	981	161	172	526	96	127	90	0	386	<b>8.376</b>	
2007	5.172	775	587	407	668	911	991	162	259	757	127	135	94	0	479	<b>9.142</b>	
2008	5.120	777	614	419	951	1.268	974	168	208	992	140	146	76	0	481	<b>9.562</b>	
2009	4.877	777	545	454	1.370	1.888	1.095	181	294	1.265	162	149	53	0,04	458	<b>10.106</b>	
2010	5.098	832	541	463	2.085	3.009	1.094	179	217	1.462	203	153	49	0,1	359	<b>11.060</b>	
2011	4.079	837	589	480	3.320	3.864	975	188	62	1.909	256	159	46	0	489	<b>11.628</b>	
2012	4.738	842	666	504	4.048	4.419	1.133	194	37	2.155	272	165	41	0,5	404	<b>13.388</b>	
2013	5.103	866	667	534	4.108	4.757	1.100	197	33	2.327	296	173	39	1,2	453	<b>14.005</b>	
2014	4.841	871	679	550	4.797	5.013	1.118	197	32	2.525	319	181	37	0,6	469	<b>14.680</b>	
2015	4.347	876	831	696	5.090	5.196	1.128	199	60	2.756	321	184	35	0	482	<b>14.913</b>	
2016	4.767	881	974	1.031	4.926	5.339	1.130	199	60	2.760	324	192	32	0,3	480	<b>15.321</b>	

Entwicklung der Energiebereitstellung

## Wärme- und Kraftstoffbereitstellung (Endenergie) aus erneuerbaren Energien in Baden-Württemberg

	feste biogene Brennstoffe (Einzelfeuerstätten) <sup>5)</sup>		feste biogene Brennstoffe (Zentralheizungen, Heizkraftwerke) <sup>6)</sup>		flüssige biogene Brennstoffe		Biogas, Deponiegas, Klärgas		Solarthermie <sup>7)</sup>		tiefe Geothermie		Umweltwärme <sup>8)</sup>		biogener Anteil des Abfalls <sup>4)</sup>		Summe Wärmeerzeugung		Biodiesel	Bioethanol	Pflanzenöl	Biomethan	Summe Kraftstoffe	Summe Endenergiebereitstellung
	[GWh]	[GWh]	[GWh]	[GWh]	[GWh]	[1.000 m <sup>2</sup> ]	[MW]	[GWh]	[GWh]	[GWh]	[GWh]	[GWh]	[GWh]	[GWh]	[GWh]	[GWh]	[GWh]	[GWh]						
2000	6.806	2.829	0	58	275	668	468	k.A.	25	922	<b>10.915</b>	148	0	10	0	157	<b>17.541</b>							
2001	7.472	3.203	0,3	73	334	882	618	k.A.	30	939	<b>12.052</b>	183	0	11	0	193	<b>18.974</b>							
2002	6.986	3.303	0,3	87	396	978	684	k.A.	36	955	<b>11.763</b>	251	0	11	0	262	<b>18.944</b>							
2003	7.453	3.803	0,4	93	518	1.126	788	64	43	827	<b>12.801</b>	366	0	13	0	379	<b>19.034</b>							
2004	7.524	4.188	2,4	87	523	1.273	891	64	52	699	<b>13.138</b>	527	25	18	0	569	<b>20.542</b>							
2005	7.690	4.601	28	104	612	1.450	1.015	64	62	736	<b>13.897</b>	2.357	232	267	0	2.856	<b>24.102</b>							
2006	7.324	4.833	108	184	709	1.706	1.194	76	77	774	<b>14.084</b>	3.895	526	1.020	0	5.441	<b>27.900</b>							
2007	6.843	5.063	166	208	782	1.883	1.318	76	163	900	<b>14.202</b>	4.329	449	1.142	0	5.920	<b>29.264</b>							
2008	7.297	5.614	166	343	883	2.231	1.562	76	191	960	<b>15.531</b>	3.594	631	565	1	4.790	<b>29.882</b>							
2009	7.324	6.390	258	557	1.033	2.551	1.786	88	253	943	<b>16.845</b>	3.236	922	144	2	4.304	<b>31.255</b>							
2010	8.126	7.273	221	659	1.107	2.786	1.950	95	277	739	<b>18.496</b>	3.290	1.171	86	22	4.569	<b>34.125</b>							
2011	6.969	6.793	68	797	1.274	3.020	2.114	102	303	727	<b>17.033</b>	3.202	1.252	29	26	4.509	<b>33.170</b>							
2012	7.471	7.591	39	832	1.326	3.257	2.280	105	332	932	<b>18.628</b>	3.303	1.240	35	56	4.634	<b>36.650</b>							
2013	7.999	8.249	32	986	1.350	3.455	2.419	105	362	727	<b>19.810</b>	2.946	1.191	1	75	4.214	<b>38.029</b>							
2014	6.646	7.565	31	1.098	1.469	3.657	2.560	105	466	700	<b>18.081</b>	3.162	1.259	9	69	4.499	<b>37.260</b>							
2015	7.101	8.116	45	1.195	1.599	3.849	2.694	105	584	891	<b>19.636</b>	2.766	1.148	3	53	3.970	<b>38.519</b>							
2016	7.329	8.462	45	1.196	1.626	4.012	2.808	105	1.155	926	<b>20.843</b>	2.843	1.180	6	51	4.080	<b>40.244</b>							

Alle Angaben zur installierten Leistung beziehen sich auf den Stand zum Jahresende. Für die mit k. A. ausgefüllten Felder konnten keine Werte ermittelt werden.

Alle Angaben vorläufig, Stand September 2017. Abweichungen in den Summen durch Rundungen. Quellen siehe Seite 8.

- Leistungsangabe ohne installierte Leistung in Pumpspeicherkraftwerken; Stromerzeugung einschließlich Erzeugung aus natürlichem Zufluss in Pumpspeicherkraftwerken; ab 2003 Abweichung zur amtlichen Statistik durch Hochrechnung einer eigenen Zeitreihe (Heimerl [5]).
- Stromerzeugung einschließlich Selbstverbrauch (d. h. einschließlich selbst verbrauchtem und nicht eingespeitem/vergütetem PV-Strom).
- Ab der Leistungsangabe des Jahres 2013 sind erstmals auch die nichtlandwirtschaftlichen Reststoff- und Abfallvergärungsanlagen enthalten.
- Der biogene Anteil in Müllverbrennungsanlagen wurde mit 50 % angesetzt.
- Kaminöfen, Kachelöfen, Pelletöfen, Kamine, Beistellherde, sonstige Einzelfeuerstätten; s. Anhang I; Wert 2010 (2014) witterungsbedingt überzeichnet (unterzeichnet).
- Zentralheizungsanlagen, Heizwerke, Heizkraftwerke; Wert 2010 (2014) witterungsbedingt überzeichnet (unterzeichnet).
- Zur Umrechnung der Kollektorfläche in Leistung wurde der Konversionsfaktor 0,7 kW<sub>th</sub>/m<sup>2</sup> verwendet.
- Nutzung von Umweltwärme (Luft, Grundwasser, oberflächennahe Geothermie) durch Wärmepumpen; ohne Warmwasser-Wärmepumpen, einschließlich Gas-Wärmepumpen; als Umweltwärme ist hier die Heizwärme abzüglich des primärenergetisch bewerteten Strom-/Gaseinsatz angegeben (vgl. auch Anhang I). Aufgrund des ab 2016 abgesenkten Primärenergiefaktors zeigt sich ein deutlicher Anstieg.

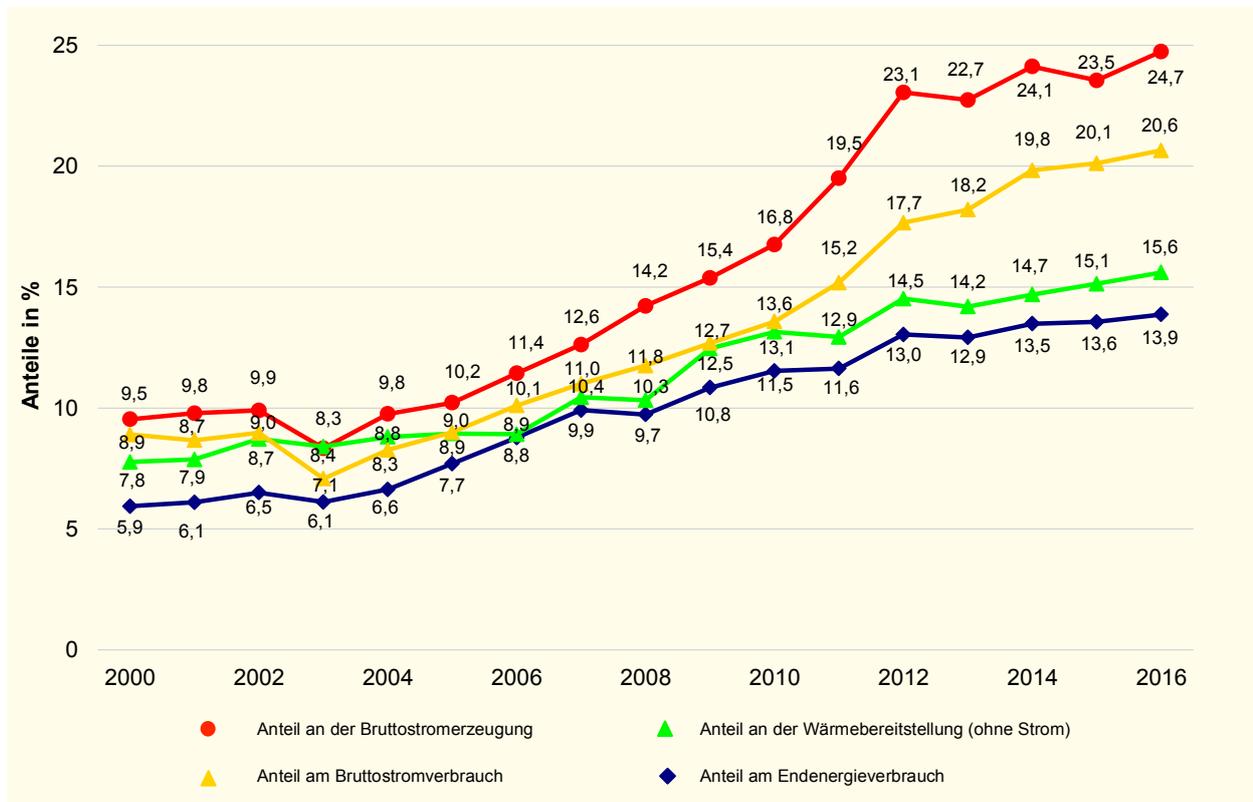
## Entwicklung des Anteils der erneuerbaren Energien an der Energieversorgung in Baden-Württemberg

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
<b>Endenergieverbrauch</b>																	
	[%]																
Anteil an der Bruttostromerzeugung	9,5	9,8	9,9	8,3	9,8	10,2	11,4	12,6	14,2	15,4	16,8	19,5	23,1	22,7	24,1	23,5	24,7
Anteil am Bruttostromverbrauch	8,9	8,7	9,0	7,1	8,3	9,0	10,1	11,0	11,8	12,7	13,6	15,2	17,7	18,2	19,8	20,1	20,6
Anteil an der Wärmebereitstellung (ohne Strom)	7,8	7,9	8,7	8,4	8,8	8,9	8,9	10,4	10,3	12,5	13,1	12,9	14,5	14,2	14,7	15,1	15,6
Anteil am Endenergieverbrauch des Verkehrs	0,2	0,2	0,3	0,4	0,7	3,3	6,3	6,9	5,7	5,3	5,5	5,3	5,5	4,9	5,1	4,5	4,5
<b>Anteil am gesamten Endenergieverbrauch</b>	<b>5,9</b>	<b>6,1</b>	<b>6,5</b>	<b>6,1</b>	<b>6,6</b>	<b>7,7</b>	<b>8,8</b>	<b>9,9</b>	<b>9,7</b>	<b>10,8</b>	<b>11,5</b>	<b>11,6</b>	<b>13,0</b>	<b>12,9</b>	<b>13,5</b>	<b>13,6</b>	<b>13,9</b>
<b>Primärenergieverbrauch</b>																	
	[%]																
Stromerzeugung	1,8	1,8	1,9	1,7	2,2	2,5	2,9	3,4	3,5	3,9	4,0	4,7	5,3	5,4	5,9	6,0	6,0
Wärmebereitstellung	2,3	2,5	2,5	2,6	2,7	2,9	3,2	3,5	4,0	4,2	4,4	5,5	5,6	5,4	5,7	5,9	5,9
Kraftstoffverbrauch	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,6	1,2	1,3	1,1	1,0	1,0	1,1	1,2	1,0	1,2	1,0	1,0
<b>Anteil am gesamten Primärenergieverbrauch</b>	<b>4,1</b>	<b>4,3</b>	<b>4,5</b>	<b>4,4</b>	<b>5,0</b>	<b>6,0</b>	<b>6,9</b>	<b>8,0</b>	<b>8,1</b>	<b>8,9</b>	<b>9,2</b>	<b>10,2</b>	<b>12,0</b>	<b>12,1</b>	<b>12,5</b>	<b>12,7</b>	<b>12,9</b>

Alle Angaben vorläufig, Stand September 2017. Abweichungen in den Summen durch Rundungen.

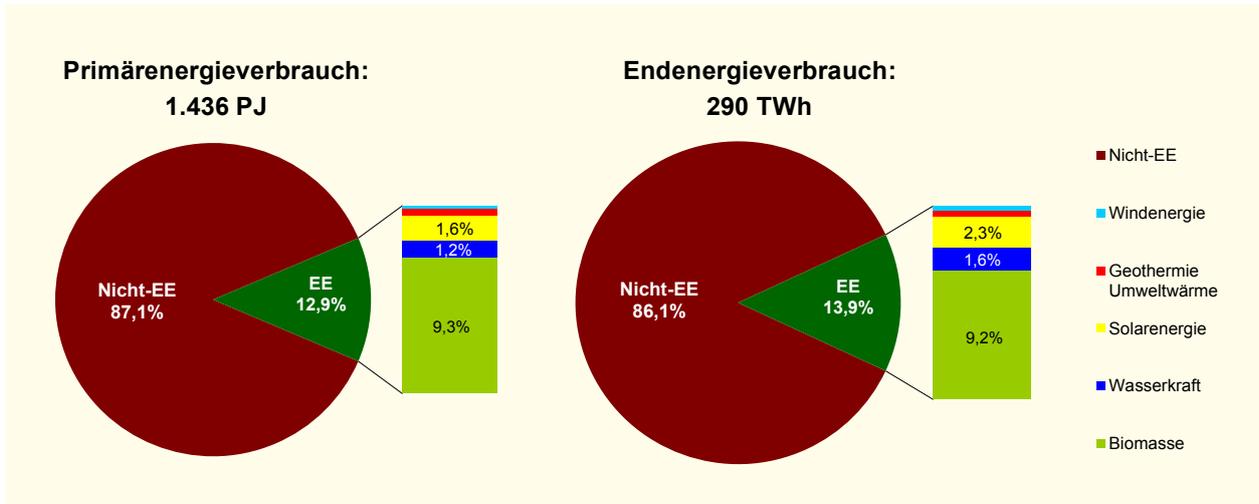
Da die Stromerzeugung in Baden-Württemberg seit dem Jahr 2008 insgesamt eine rückläufige Tendenz aufweist, sind die Anteile der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung ab 2008 überzeichnet. Ein realistischeres Bild der erneuerbaren Energien im Stromsektor erlaubt der Bezug auf den Bruttostromverbrauch, der bis 2011 vergleichsweise konstant um ein Niveau von etwa 81 TWh pendelte, allerdings seit 2012 auch eine rückläufige Tendenz aufweist. Der Anteil der in Baden-Württemberg erzeugten erneuerbaren Energien am Stromverbrauch belief sich im Jahr 2016 auf knapp 21 %.

## Entwicklung des Anteils erneuerbarer Energien an der Bruttostromerzeugung, an der Wärmebereitstellung und am Endenergieverbrauch in Baden-Württemberg

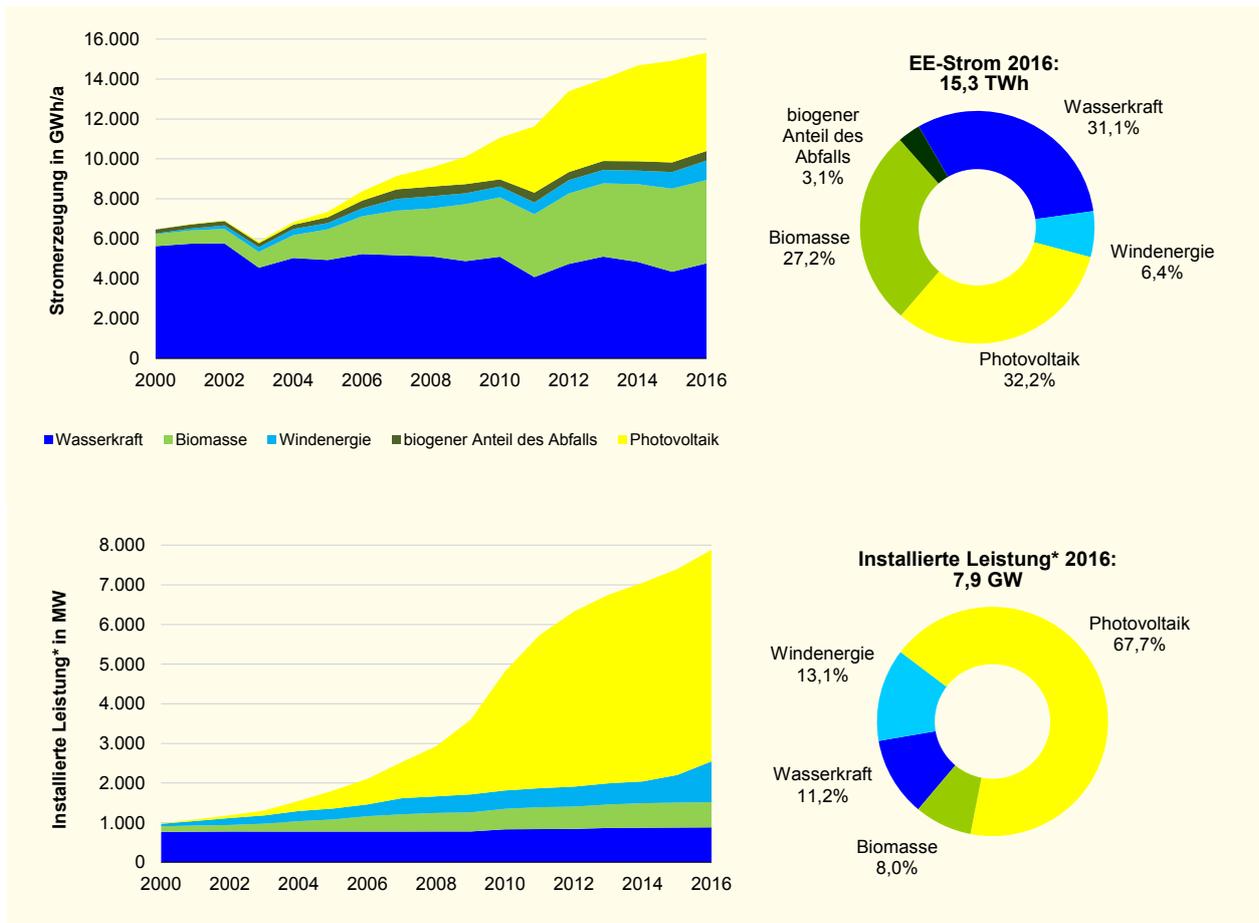


Alle Angaben vorläufig, Stand September 2017; Quellen: siehe Seite 8.

# Struktur des Primärenergie- und Endenergieverbrauchs in Baden-Württemberg 2016



## Entwicklung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und der installierten elektrischen Leistung in Baden-Württemberg

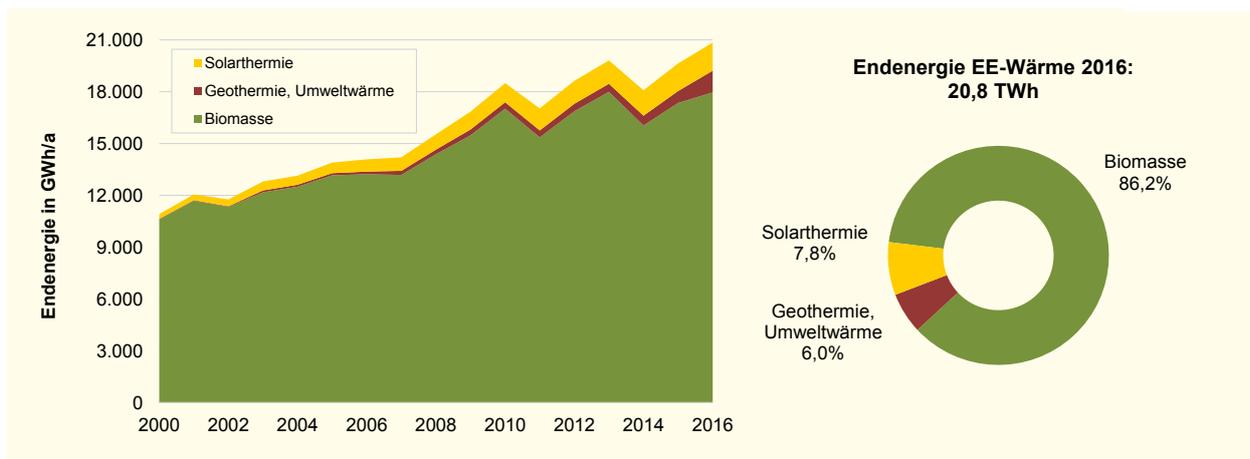


Alle Angaben vorläufig, Stand September 2017.

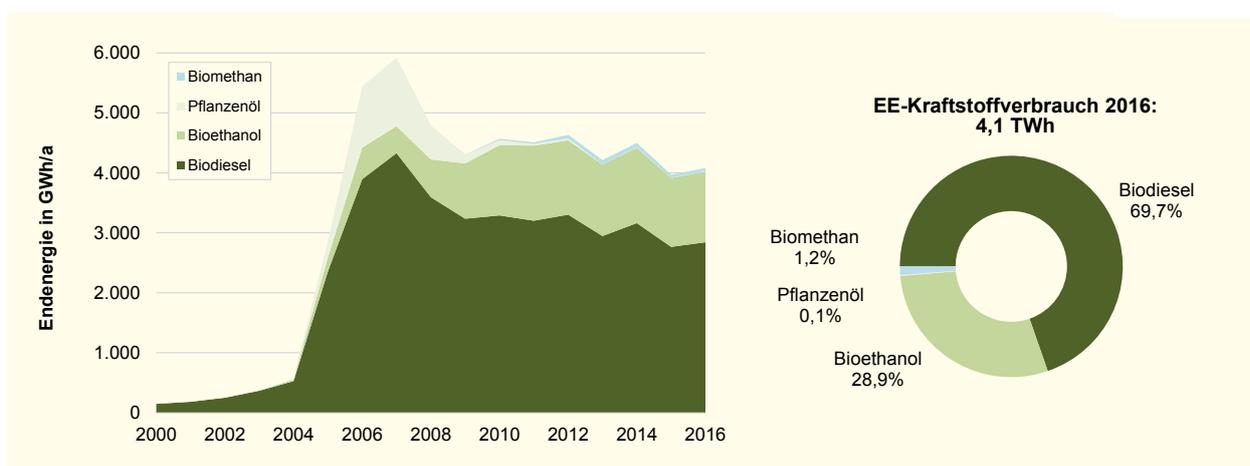


*Solarthermischer Großkollektor mit Freilandaufstellung.*

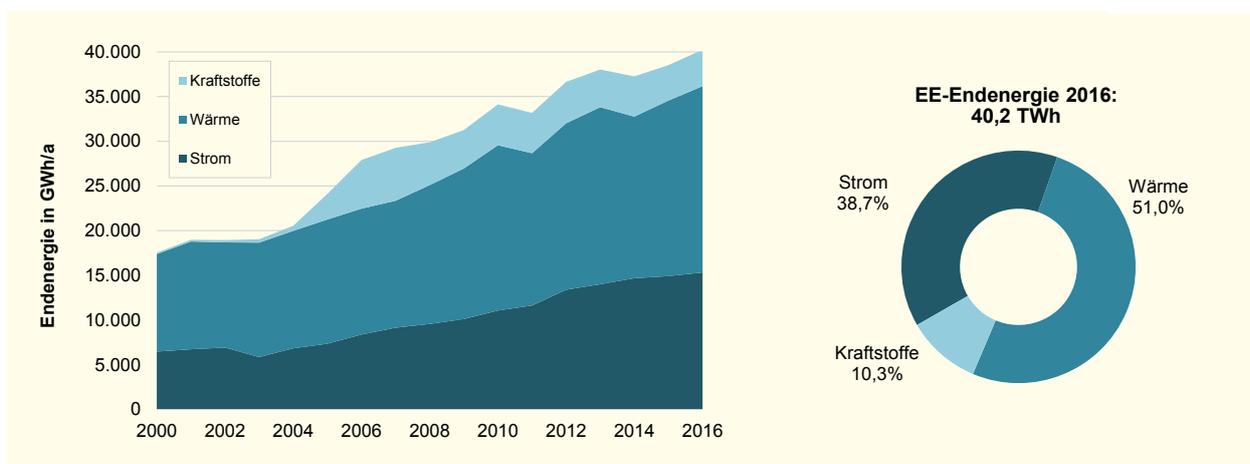
## Entwicklung der Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien in Baden-Württemberg



## Entwicklung des Biokraftstoffverbrauchs in Baden-Württemberg



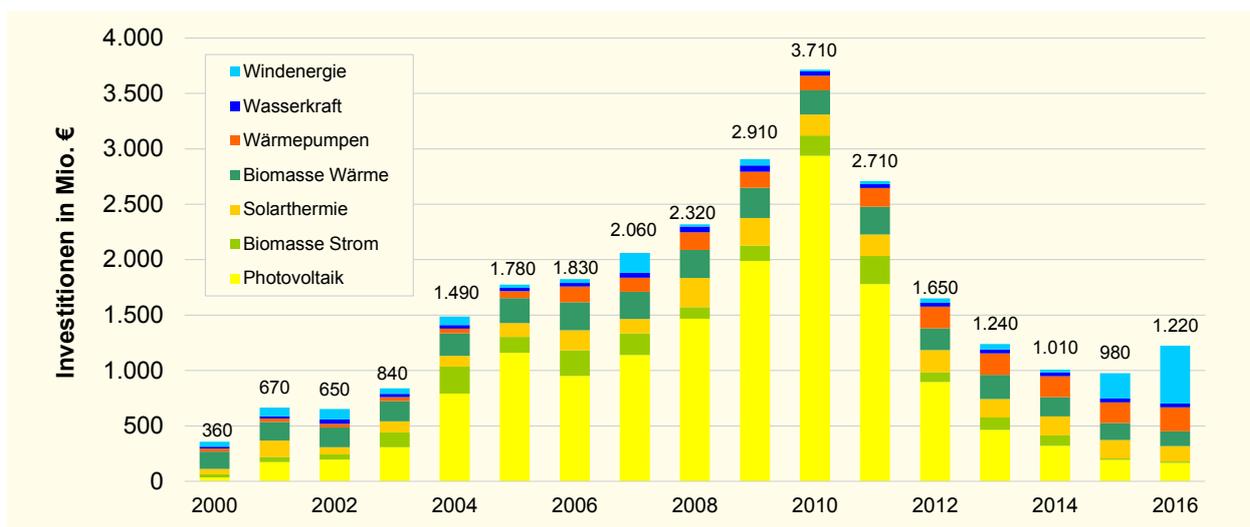
## Entwicklung der Energiebereitstellung aus erneuerbaren Energien in Baden-Württemberg



Alle Angaben vorläufig, Stand September 2017.

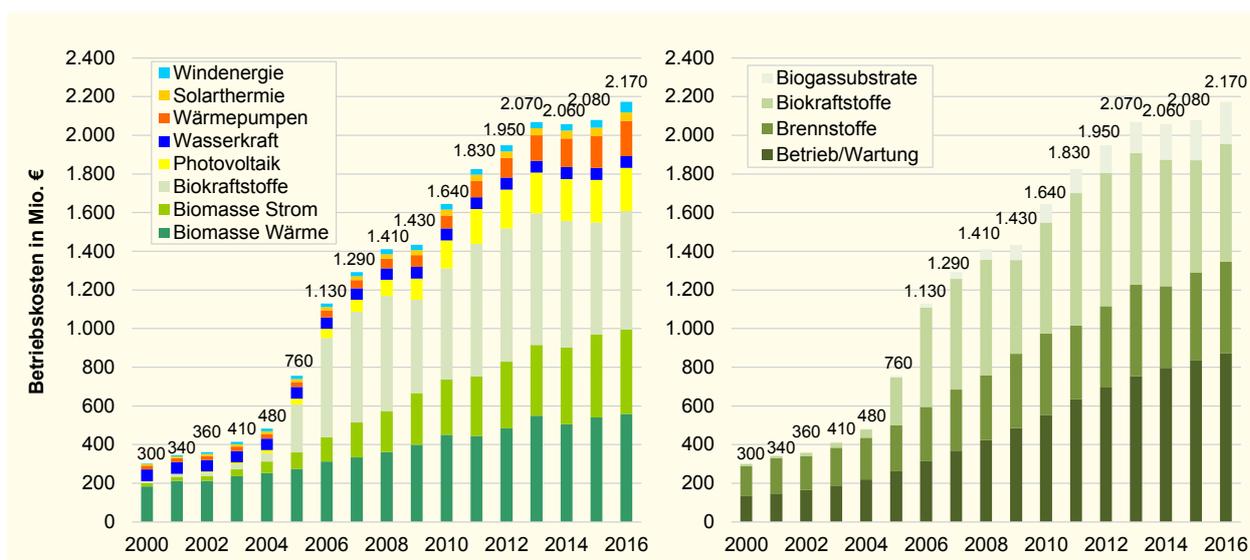


*Freiland-Photovoltaikanlage mit gestaltetem Lebensraum für Eidechsen bei Berghülen.*



Nachdem in den Jahren 2011 bis 2014 der Trend bei der Investition in Neuanlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien in Baden-Württemberg rückläufig war, sind die Investitionen im Jahr 2016 wieder angestiegen und betragen 1,22 Milliarden Euro. Weiterhin rückläufig ist der Zubau von Photovoltaikanlagen. Auch Anlagen zur Stromerzeugung aus Biomasse wurden im Jahr 2016 nur noch vereinzelt errichtet. Bei Anlagen zur Nutzung von Biomasse im Wärmebereich, Solarthermie, Wasserkraft sowie bei Wärmepumpen war in den vergangenen Jahren insgesamt ein vergleichsweise konstantes Investitionsniveau zu verzeichnen. Weiter zugelegt haben im Jahr 2016 die Investitionen in Windenergieanlagen mit insgesamt rund 500 Millionen Euro. In Summe wurden in Baden-Württemberg seit dem Jahr 2000 rund 27,4 Milliarden Euro in Neuanlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien investiert.

Baden-Württemberg profitiert neben der Herstellung und Installation von Anlagen für den eigenen Markt und für Exporte (vgl. Seite 31) auch von deren Betrieb, insbesondere durch die Wartung und Instandhaltung der Anlagen sowie durch die Bereitstellung von Brennstoffen, Biokraftstoffen und Substraten für Biogasanlagen. Der Betrieb des Ende 2016 in Baden-Württemberg befindlichen Anlagenbestands im Bereich erneuerbarer Energien ist mit Kosten in Höhe von rund 2,2 Milliarden Euro verbunden.



Mit rund 30 % entfällt ein gewichtiger Anteil der Betriebskosten auf die Bereitstellung von Brennstoffen und Substraten, rund 30 % auf die Nutzung von Biokraftstoffen. Das restliche Drittel fällt für Betrieb, Wartung und Instandhaltung (Betriebsstrom, Schornsteinfeger, Reparaturen, Versicherung, etc.) der EE-Anlagen an.

Berechnungsstand September 2017. Ohne Umsatzsteuer und in Preisen der jeweiligen Jahre (nicht inflationsbereinigt). Änderungen gegenüber den Vorjahreszahlen aufgrund aktualisierter Berechnungsgrundlagen. Quelle: Berechnungen ZSW.

## Vermiedene Emissionen durch die Nutzung der erneuerbaren Energien im Jahr 2016 in Baden-Württemberg

Bei der Ermittlung der durch den Einsatz erneuerbarer Energien vermiedenen Emissionen wird eine Nettobilanzierung eingesetzt. Diese berücksichtigt einerseits die vermiedenen Emissionen aus der Nutzung fossiler Energieträger, andererseits auch die Emissionen, die bei der Bereitstellung erneuerbarer Energien anfallen. Darüber hinaus werden die Vorketten der Energiebereitstellung (indirekte Emissionen) durchgängig berücksichtigt. Die so ermittelten Werte stellen die vermiedenen Gesamtemissionen der Nutzung erneuerbarer Energien dar. Insbesondere bei den traditionellen Feuerungsanlagen wie Kachel- und Kaminöfen steht der Verminderung von Treibhausgasen eine Mehremission an Luftschadstoffen im Vergleich zur fossilen Wärmebereitstellung gegenüber. Dies betrifft hauptsächlich die Emission von Kohlenmonoxid (CO), flüchtigen organischen Verbindungen (NMVOC) sowie Staub aller Partikelgrößen.

	Strom		Wärme	
	Vermeidungs-faktor <sup>1)</sup> [g/MWh <sub>el</sub> ]	vermiedene Emissionen [1.000 t]	Vermeidungs-faktor <sup>1)</sup> [g/MWh <sub>th</sub> ]	vermiedene Emissionen [1.000 t]
<b>Treibhausrelevante Gase</b>				
CO <sub>2</sub>	618.034	<b>9.469</b>	235.133	<b>4.901</b>
CH <sub>4</sub>	1.022,3	<b>15,7</b>	-68,6	<b>-1,4</b>
N <sub>2</sub> O	-29,8	<b>-0,5</b>	-5,9	<b>-0,1</b>
<b>CO<sub>2</sub>-Äquivalent</b>	<b>634.719</b>	<b>9.724</b>	<b>231.650</b>	<b>4.828</b>
<b>Versauernd wirkende Gase<sup>2)</sup></b>				
SO <sub>2</sub>	129,1	<b>2,0</b>	43,8	<b>0,9</b>
NO <sub>x</sub>	18,9	<b>0,3</b>	-149,5	<b>-3,1</b>
<b>SO<sub>2</sub>-Äquivalent</b>	<b>142,3</b>	<b>2,2</b>	<b>-60,3</b>	<b>-1,3</b>
<b>Ozonvorläufersubstanzen</b>				
CO	-584,5	<b>-9,0</b>	-4.638,7	<b>-96,7</b>
NM <sub>V</sub> OC	-5,5	<b>-0,1</b>	-149,5	<b>-3,1</b>
Staub	-0,2	<b>0,0</b>	-178,4	<b>-3,7</b>

Bei der Nutzung von Biokraftstoffen sind das Emissionsniveau und die gegenüber fossilen Kraftstoffen eingesparte Emissionsmenge abhängig von der Rohstoffbasis und der Herkunft der Biokraftstoffe. Derzeit erreicht man mit dem Einsatz von Pflanzenöl die höchste spezifische Emissionsminderung, gefolgt von Bioethanol und Biodiesel.

- 1) Zur Bestimmung der Emissionsfaktoren sowie zur Gewichtung der treibhausrelevanten Gase siehe Anhang II.
- 2) Für weitere Luftschadstoffe mit Versauerungspotenzial liegen zurzeit keine Daten vor.

	Kraftstoffe	
	Vermeidungs-faktor <sup>1)</sup> [g/MWh]	vermiedene Emissionen [1.000 t]
CO <sub>2</sub>	240.049	<b>979</b>
<b>CO<sub>2</sub>-Äquivalent</b>	<b>210.893</b>	<b>860</b>

## Einsparung fossiler Energieträger durch die Nutzung der erneuerbaren Energien im Jahr 2016 in Baden-Württemberg

Die nebenstehende Tabelle zeigt die durch die Nutzung erneuerbarer Energien in Baden-Württemberg eingesparten fossilen Energieträger. Da in Deutschland fossile Energieträger zu einem hohen Anteil importiert werden müssen, verringert sich durch die Einsparungen auch der Anteil der Energieimporte nach Deutschland bzw. Baden-Württemberg.

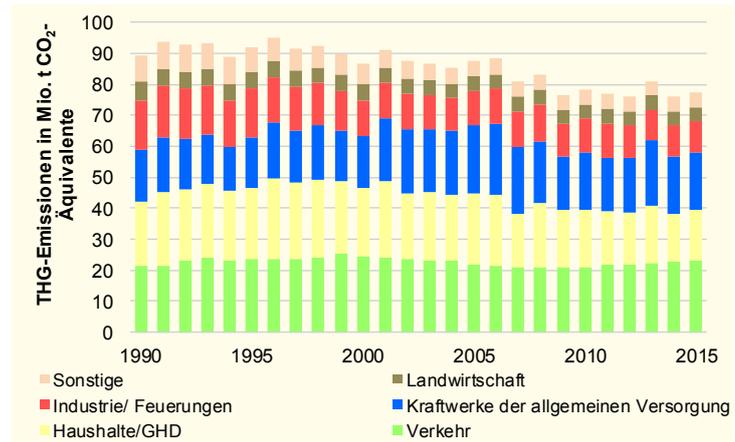
	Braun-kohle	Stein-kohle	Erdgas	Diesel-kraftstoff	Otto-kraftstoff	Mineral-öl	Gesamt
Primärenergie [TWh]							
<b>Strom</b>	0,0	22,2	9,7	-	-	0,0	31,9
<b>Wärme</b>	2,6	2,0	12,2	-	-	11,9	28,7
<b>Kraftstoffe</b>	-	-	0,0	1,7	1,0	-	2,8
<b>Gesamt</b>	<b>2,6</b>	<b>24,2</b>	<b>21,9</b>	<b>1,7</b>	<b>1,0</b>	<b>11,9</b>	<b>63,4</b>
Primärenergie [PJ]							
<b>Gesamt</b>	<b>9,3</b>	<b>87,2</b>	<b>78,8</b>	<b>6,3</b>	<b>3,6</b>	<b>42,9</b>	<b>228,2</b>
<b>Mengen</b>	<b>0,5</b>	<b>3,2</b>	<b>2.241</b>	<b>175</b>	<b>111</b>	<b>1.201</b>	
	Mio. t	Mio. t	Mio. m <sup>3</sup>	Mio. Liter	Mio. Liter	Mio. Liter	

Zur Berechnungsgrundlage und -methodik siehe Anhang II.  
Alle Angaben vorläufig. Abweichungen in den Summen durch Rundungen.

## Energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen in Baden-Württemberg

Die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen in Baden-Württemberg sind im Jahr 2015 gegenüber dem Vorjahr um mehr als eine Million Tonnen auf 67,4 Mio. t gestiegen. Eine seit 2010 steigende Tendenz ist im Verkehrssektor zu verzeichnen, während in den Haushalten und in der Industrie in den vergangenen Jahren die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Trend gesunken sind.

Quelle: StaLa.

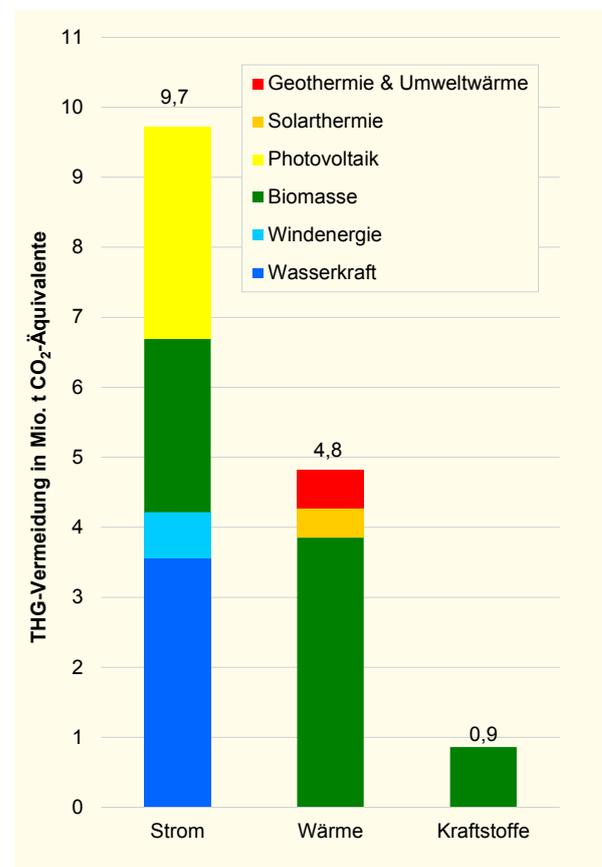


## THG-Vermeidung durch die Nutzung erneuerbarer Energien in Baden-Württemberg 2016

Ohne die Nutzung erneuerbarer Energien würden die gesamten Treibhausgas-Emissionen in Baden-Württemberg deutlich höher liegen. So konnten durch die Nutzung erneuerbarer Energien in Baden-Württemberg im Jahr 2016 rund 15 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente vermieden werden. Den erneuerbaren Energien kommt damit eine Minderung der Treibhausgas-Emissionen in der Größenordnung von 17% zu.

Die Berechnung der vermiedenen Emissionen erfolgt getrennt für die einzelnen erneuerbaren Energieträger, da diese die konventionellen Energieträger zu unterschiedlichen Anteilen ersetzen (s. Anhang II, Vorgehensweise zur Ermittlung der Emissionsfaktoren und eingesparten fossilen Energieträger).

	Vermeidungs- faktor	vermiedene Emissionen	Anteil
	[g/kWh]	[1.000 t]	[%]
<b>Strom</b>			
Wasserkraft	746	3.555	36,6
Windenergie	681	663	6,8
Photovoltaik	614	3.024	31,1
feste biogene Brennstoffe	690	780	8,0
flüssige biogene Brennstoffe	560	34	0,3
Biogas	423	1.167	12,0
Klärgas	614	118	1,2
Deponiegas	633	20	0,2
Geothermie	564	0	0,0
biogener Anteil des Abfalls	759	364	3,7
<b>Summe Strom</b>		<b>9.724</b>	<b>100,0</b>
<b>Wärme</b>			
feste biogene Brennstoffe (traditionell)	150	1.098	22,7
feste biogene Brennstoffe (modern)	273	2.307	47,8
flüssige biogene Brennstoffe	249	11	0,2
Biogas, Deponiegas, Klärgas	193	231	4,8
Solarthermie	260	423	8,8
tiefe Geothermie	327	34	0,7
Umweltwärme	184	518	10,7
biogener Anteil des Abfalls	223	206	4,3
<b>Summe Wärme</b>		<b>4.828</b>	<b>100,0</b>
<b>Kraftstoffe</b>			
Biodiesel	210	597	70,3
Bioethanol	213	252	29,6
Pflanzenöl	173	1	0,1
Biomethan	203	10	1,2
<b>Summe Kraftstoffe</b>		<b>860</b>	<b>100,0</b>
<b>Summe Strom, Wärme &amp; Kraftstoffe</b>		<b>15.413</b>	

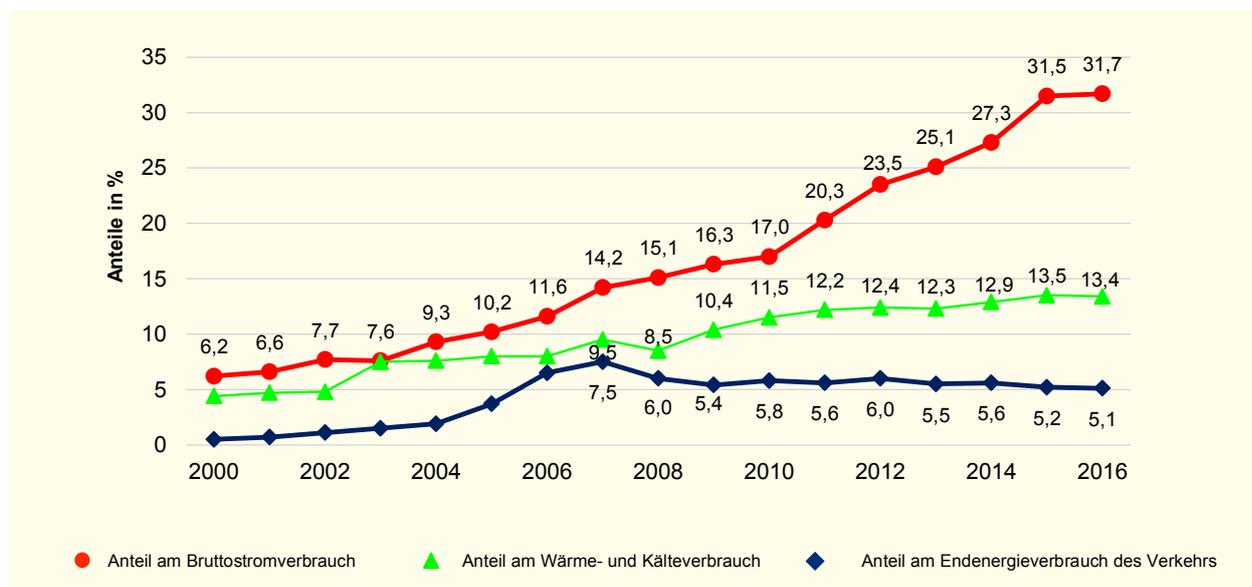


Alle Angaben vorläufig. Zur Berechnungsgrundlage und -methodik siehe Anhang II. Abweichungen in den Summen durch Rundungen.



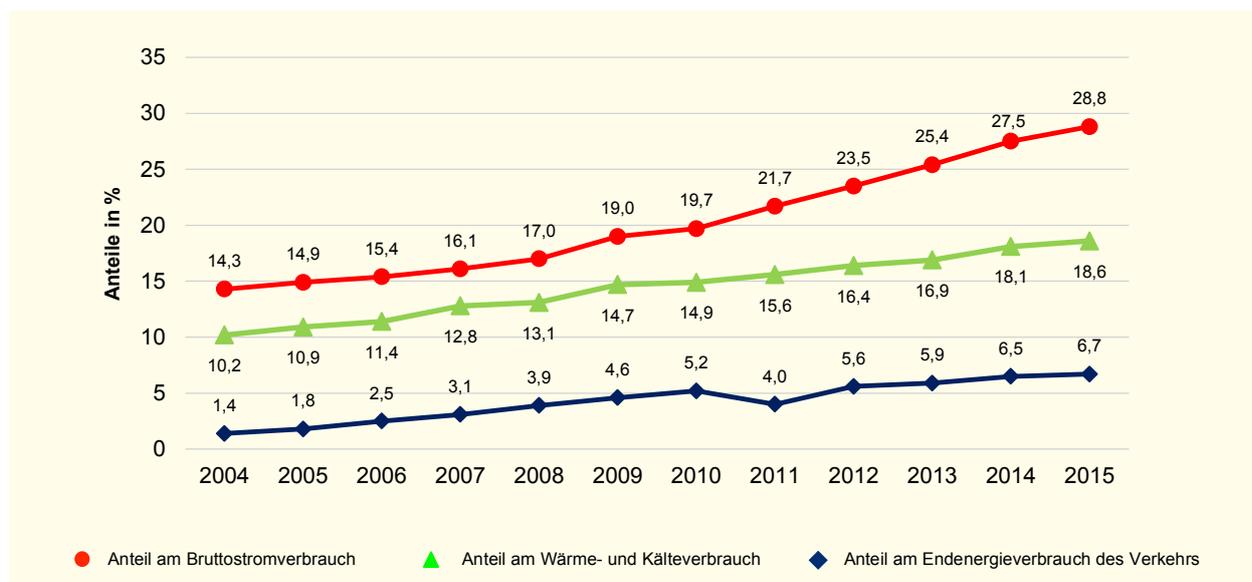
*Windkraftanlage auf der Schwäbischen Alb bei Berghülen.*

## Entwicklung des Anteils der erneuerbaren Energien an der Energieversorgung in Deutschland



Die Entwicklung der Anteile der erneuerbaren Energien an der Energieversorgung in Deutschland zeigt seit 1998 einen stabilen Aufwärtstrend. Insbesondere die Strombereitstellung aus erneuerbaren Energien hat sich seit Inkrafttreten des EEG im Jahr 2000 sehr dynamisch entwickelt. Einen bedeutenden Anteil für die Strombereitstellung aus erneuerbaren Energien in Deutschland hat die Nutzung der Windkraft, die die Nutzung der Wasserkraft bereits seit 2004 übersteigt. Auf Bundesebene ist für das Jahr 2025 ein Anteil der erneuerbaren Energien an der Strombereitstellung von 40 % bis 45 % vorgesehen. Der Anteil der erneuerbaren Energien an der Wärmebereitstellung soll im selben Zeitraum auf 14 % steigen. Zusammen mit einer weiteren Steigerung der Nutzung von Biokraftstoffen soll der Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch 18 % betragen.

## Entwicklung des Anteils der erneuerbaren Energien an der Energieversorgung in der EU-28



Die EU hat sich das Ziel gesetzt, im Jahr 2020 mindestens 20 % des Bruttoendenergieverbrauchs durch erneuerbare Energien zu decken. Dieser Anteil wird unter Berücksichtigung verschiedener Faktoren auf die Mitgliedsländer der Europäischen Union verteilt. Deutschland hat dabei bis 2020 einen Anteil von 18 % erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch vorzuweisen.

Quellen: [3], [23].



*Freiland-Photovoltaikanlage mit ökologischem Konzept und Schafbeweidung.*

## Stromeinspeisung und Vergütung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz in Baden-Württemberg

	2016				2015			
	EEG-Einspeisung	EEG-Vergütungen	Direktvermarktung	Markt- und Flexibilitätsprämien	EEG-Einspeisung	EEG-Vergütungen	Direktvermarktung	Markt- und Flexibilitätsprämien
	GWh	Mio. €	GWh	Mio. €	GWh	Mio. €	GWh	Mio. €
Wasserkraft	538	58	995	39	468	50	907	32
Deponie-, Gruben-, Klärgas	28	2,1	3,5	0,2	28	2,2	4,0	0,2
Biomasse	1.283	269	2.916	418	1.478	308	2.755	381
Geothermie	0,3	0,1	0	0	0,0	0,0	0	0
Windenergie	229	20	1.037	69	283	25	622	42
Photovoltaik	4.385	1.565	391	79	4.676	1.676	327	65
<b>Gesamt</b>	<b>6.465</b>	<b>1.914</b>	<b>5.343</b>	<b>606</b>	<b>6.933</b>	<b>2.061</b>	<b>4.615</b>	<b>521</b>

Die Angaben beziehen sich auf den in der Regelzone der TransnetBW aufgenommenen EEG-Strom. Da die Grenzen der Regelzone nicht vollständig deckungsgleich mit denen des Landes Baden-Württemberg sind, ergeben sich Abweichungen zu den für Baden-Württemberg angegebenen Strommengen in der vorliegenden Broschüre. Darüber hinaus wird ein großer Teil des Stroms aus Wasserkraftanlagen nicht nach dem EEG vergütet, sondern außerhalb des EEG vermarktet.

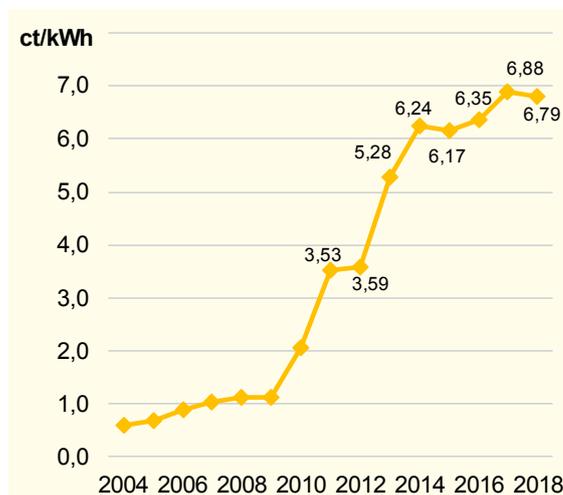
Quelle: [24].

Die Einspeisung von Strom, der nach dem EEG vergütet wird, hat in den vergangenen Jahren stetig zugenommen. Im Jahr 2016 wurden in Baden-Württemberg rund 6,5 TWh EE-Strom eingespeist und nach dem EEG mit insgesamt 1,9 Milliarden Euro vergütet. Zusätzlich wurden 5,3 TWh EE-Strom direkt vermarktet, wofür Prämien in Höhe von 0,6 Milliarden Euro gezahlt wurden (einschl. 7 Millionen Euro Flexibilitätsprämie für Biomasseanlagen). Dem gegenüber steht auf Bundesebene eine EE-Einspeisung von 44 TWh im Jahr 2016, die mit insgesamt 11,6 Milliarden Euro vergütet wurde, sowie 118 TWh direkt vermarkteter Strom (12,7 Milliarden Euro Marktprämien und 56,5 Millionen Euro Flexibilitätsprämien).

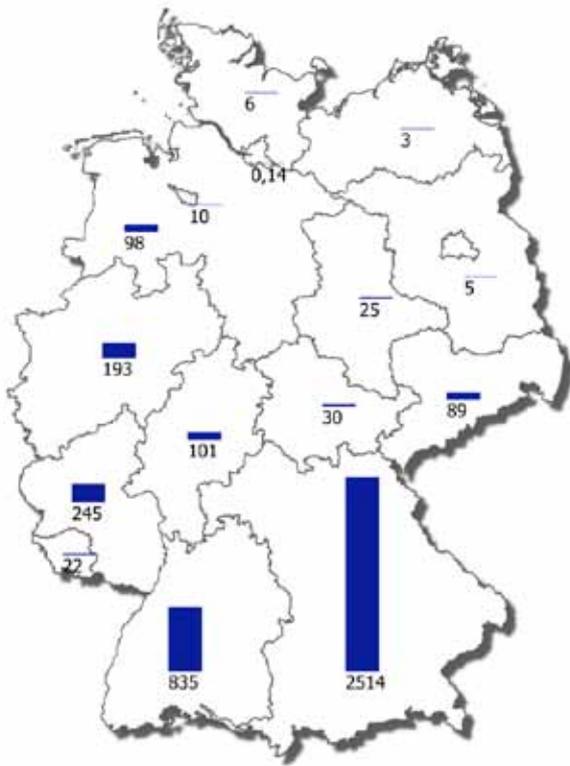
Mit der Direktvermarktung wird ein Teil des nach EEG vergütungsfähigen Stroms außerhalb des EEG-Vermarktungsmechanismus an Großhändler oder an der Strombörse verkauft. Ein direkter Vergleich von EEG-Vergütungszahlungen und Markt- bzw. Flexibilitätsprämien ist nicht möglich, da die EEG-Vergütungszahlungen zunächst um die Vermarktungserlöse bereinigt werden müssen. Die Prämienzahlungen werden dagegen zusätzlich zum jeweiligen Vermarktungserlös an die Anlagenbetreiber ausbezahlt. In der Direktvermarktung befinden sich heute hauptsächlich Anlagen zur Stromerzeugung aus Biomasse und Wasserkraft, zunehmend aber auch Windenergie- und Photovoltaikanlagen.

### Entwicklung der EEG-Umlage

Die EEG-Umlage ist in den vergangenen Jahren stetig angestiegen. Ursächlich dafür war nicht nur der sehr dynamische EE-Zubau (insb. Photovoltaik-Anlagen), sondern darüber hinaus auch das geringe Börsenstrompreisniveau und der Rückgang des nichtprivilegierten Letztverbraucherabsatzes. Durch die Regelungen des novellierten EEG 2014, das am 1. August 2014 in Kraft getreten ist, aber auch durch die in den vergangenen Jahren stark abgesenkten Vergütungssätze für neue Photovoltaikanlagen, wird sich der zukünftige Anstieg der EEG-Umlage voraussichtlich deutlich abschwächen. Der geringfügige Rückgang der EEG-Umlage 2015 ist jedoch weniger auf die Wirkungen des novellierten EEG, als auf einen Einmaleffekt zurückzuführen.



## Installierte Leistung von Wasserkraftanlagen

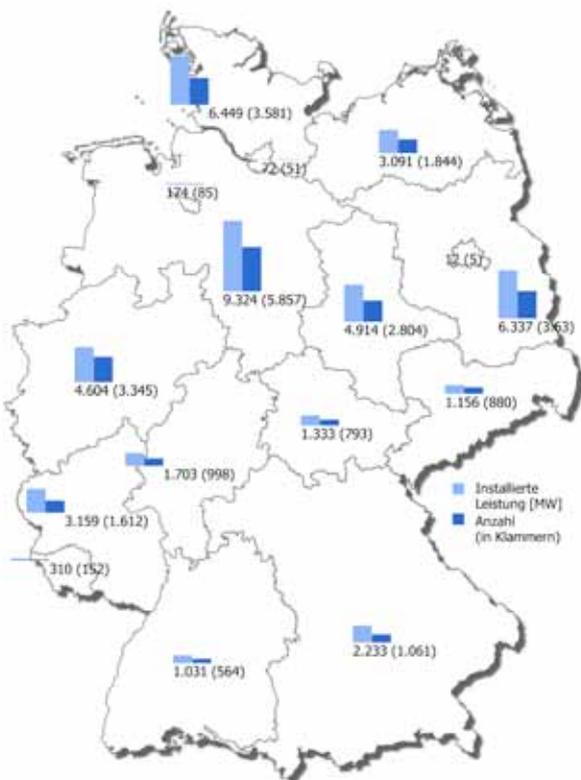


Über 80% der insgesamt knapp 4.200 MW Leistung von Laufwasser- und Speicherwasserkraftwerke in Deutschland sind in Bayern und Baden-Württemberg installiert. Wegen der günstigen topographischen Gegebenheiten entfallen mehr als drei Viertel des gesamten Potenzials auf diese beiden Bundesländer.

An der Verteilung der Anlagenleistung auf die Bundesländer hat sich in den vergangenen Jahren nur wenig geändert.

Leistungsangaben in MW<sub>el</sub>  
 Erfasst sind Laufwasser- und Speicherwasserkraftwerke.  
 Stand: Anfang 2010.  
 Quelle: [25].

## Installierte Leistung und Anzahl von Windenergieanlagen nach Bundesländern Ende 2016



In Deutschland wurden im Jahr 2016 insgesamt rund 1.620 Windenergieanlagen an Land mit einer Gesamtleistung von 4,6 GW errichtet. Knapp ein Siebtel der neu installierten Leistung entfällt auf Repoweringprojekte.

In Baden-Württemberg wurden im Jahr 2016 120 Anlagen mit einer Gesamtleistung von insgesamt gut 330 MW installiert, womit der Anlagenbestand auf rund 1.030 MW wächst.

Auch vor der Küste wächst der Bestand an Windenergieanlagen weiter. So waren Ende 2016 insgesamt 947 Offshore-Windenergieanlagen mit einer Gesamtleistung von 4,1 GW am Netz. Davon entfallen 89% auf Anlagen in der Nordsee.

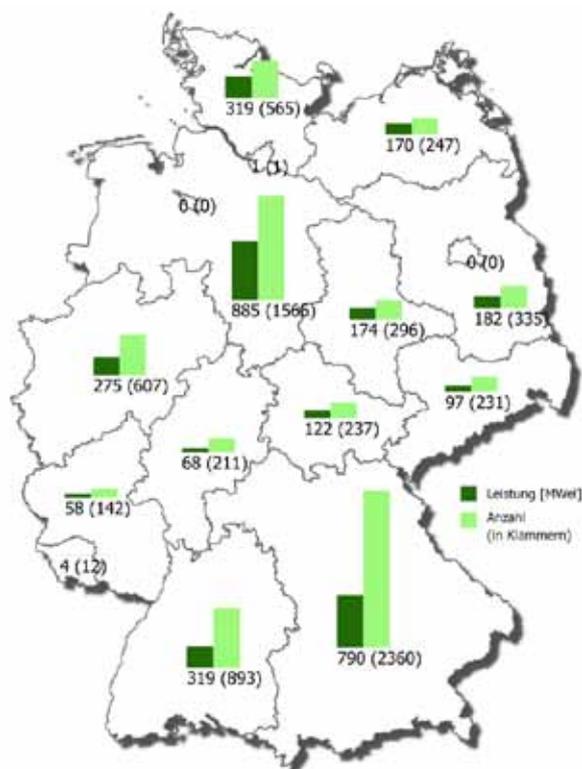
Stand: Ende 2016.  
 Quellen: [26, 27].

## Installierte elektrische Leistung und Anzahl von Biogasanlagen Ende 2014

Die in Deutschland installierte Leistung zur Stromerzeugung aus Biogas beläuft sich Ende 2014 auf rund 3,5 GW<sub>el</sub>, die sich auf rund 7.700 Anlagen verteilen. In Baden-Württemberg sind etwa 890 Anlagen mit einer Leistung von knapp 320 MW<sub>el</sub> in Betrieb.

Während in Süddeutschland überwiegend kleinere Biogasanlagen vorzufinden sind, werden in den übrigen Bundesländern aufgrund anderer landwirtschaftlicher Strukturen deutlich größere Anlagen betrieben. Zum Vergleich: die mittlere Anlagenleistung in Baden-Württemberg beträgt 360 kW, in Niedersachsen 565 kW und in Mecklenburg-Vorpommern 690 kW.

Leistungsangaben in MW<sub>el</sub>  
Stand: Ende 2014.  
Aktuellere Angaben liegen derzeit nicht vor.  
Quelle: [28].



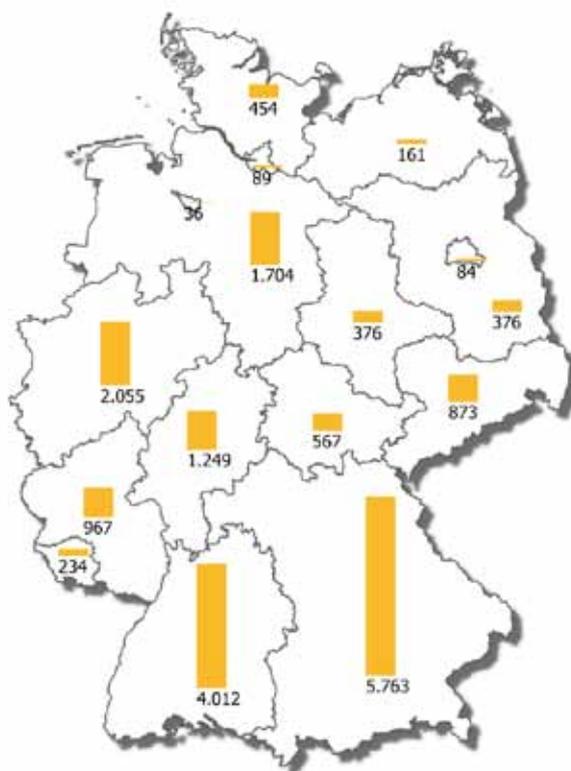
Nutzung nach Bundesländern

## Regionale Verteilung der installierten Kollektorfläche von solarthermischen Anlagen Ende 2016

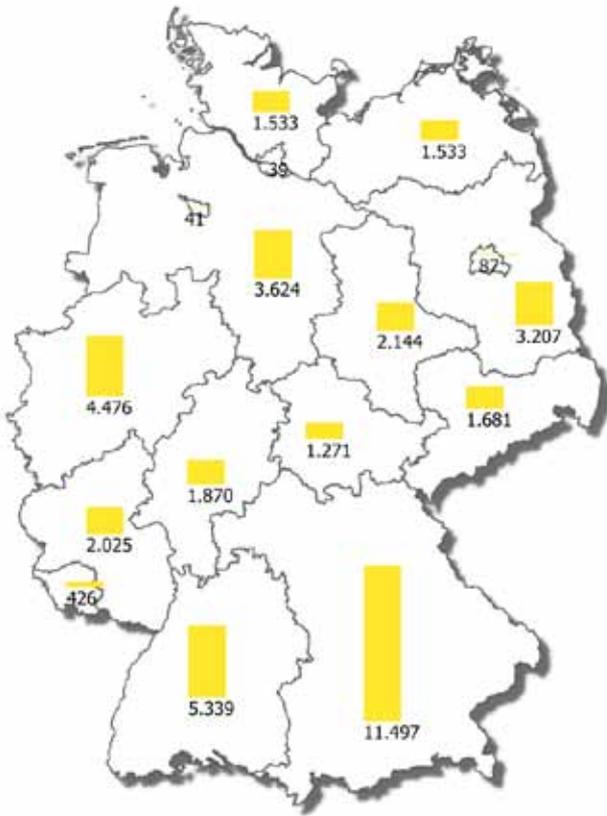
Insgesamt waren in Deutschland zum Ende des Jahres 2016 thermische Solaranlagen mit einer Kollektorfläche von rund 19 Mio. m<sup>2</sup> installiert. Maßgeblich zum Aufbau des Bestands von Solarwärmeanlagen hat das Marktanzreizprogramm beigetragen. Mehr als die Hälfte der Kollektoren sind in den einstrahlungsreichen südlichen Bundesländern Bayern und Baden-Württemberg installiert.

Etwa jede zweite neue solarthermische Anlage wird nicht nur zur Warmwasserbereitung genutzt, sondern auch zur Unterstützung der Heizung (Kombianlagen). Bezogen auf die neu installierte Kollektorfläche beträgt der Anteil der Kombianlagen knapp zwei Drittel.

Angaben in 1.000 m<sup>2</sup>  
Grobabschätzung anhand der Daten aus dem Marktanzreizprogramm.  
Stand: Ende 2016.  
Quellen: [29, 30].



## Installierte Leistung von Photovoltaikanlagen Ende 2016

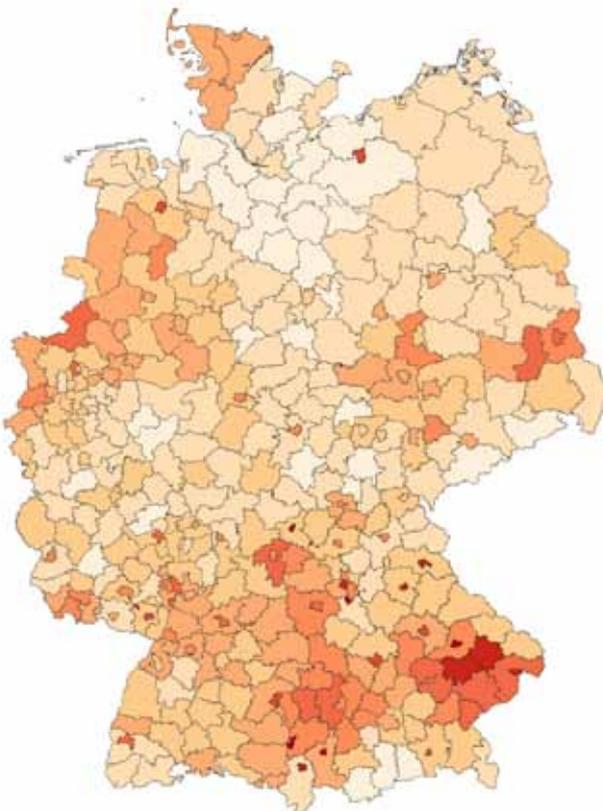


Im Jahr 2016 wurden bundesweit PV-Anlagen mit einer Leistung von insgesamt 1,5 GW neu installiert, davon rund 140 MW in Baden-Württemberg. Schwerpunkte beim Zubau zeigten sich in den südlichen Bundesländern, aber auch in Sachsen-Anhalt, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz.

In den vergangenen Jahren war eine deutliche Verlagerung des Zubaus hin nach Ost- und Mitteldeutschland zu beobachten. Dies war primär auf die Errichtung großer Solarparks zurückzuführen, während in Baden-Württemberg eher kleine Anlagen installiert wurden.

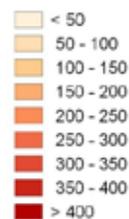
Angaben in MW  
Stand: Ende 2016.  
Quelle: ÜNB [31].

## Verteilung der Installationsdichte von Photovoltaikanlagen in Deutschland



Als Ergänzung zur Verteilung der installierten Photovoltaikleistung auf die Bundesländer zeigt die nebenstehende Abbildung die installierte Leistung pro Fläche für die einzelnen Landkreise Deutschlands. Schwerpunkte zeigen sich insbesondere in Niederbayern, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Brandenburg, wo besonders viele Solarparks installiert sind sowie in Schwaben, aber auch im Westen Schleswig-Holsteins.

Legende: Installierte PV-Leistung in kW pro km<sup>2</sup>



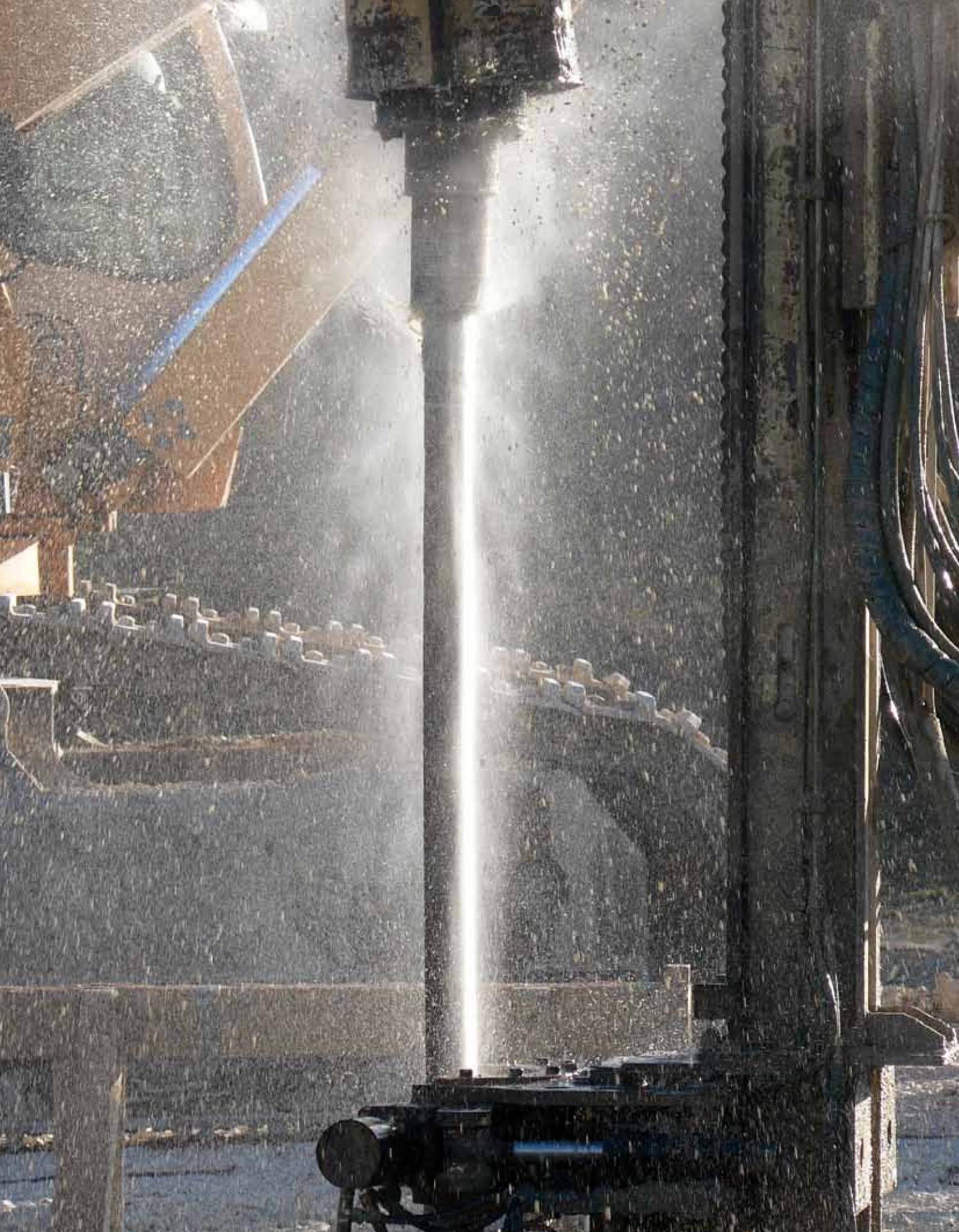
Stand: Ende 2016.  
Quelle: ZSW, Auswertung EEG-Daten [31].







*Biogasanlage mit Fermenter und automatischer Substratzuführung.*



*Bohrung für oberflächennahe Geothermie.*

## Energieatlas Baden-Württemberg



Der Energieatlas Baden-Württemberg ist das gemeinsame Internet-Portal des Umweltministeriums und der LUBW für Daten und Karten zum Thema erneuerbare Energien. Bürgerinnen und Bürgern, Kommunen, Verwaltung, Forschung und Wirtschaft werden damit wichtige Informationen zum Stand der dezentralen Energieerzeugung und zum regionalen Energiebedarf zur Verfügung gestellt. Der Energieatlas bietet mit seinem landesweiten Überblick Energieberaterinnen und Energieberatern, Planerinnen und Planern sowie interessierten Akteurinnen und Akteuren Hintergrundinformationen und Handreichungen an. Lokale, kommunale und regionale Planungen können dadurch aber nicht ersetzt werden. Ziel ist es, mit Hilfe vernetzter Informationen, Möglichkeiten effizienter Energieverwendung anzuregen, um somit langfristig und nachhaltig Energie einzusparen. Der Energieatlas ist abrufbar unter [www.energieatlas-bw.de](http://www.energieatlas-bw.de)



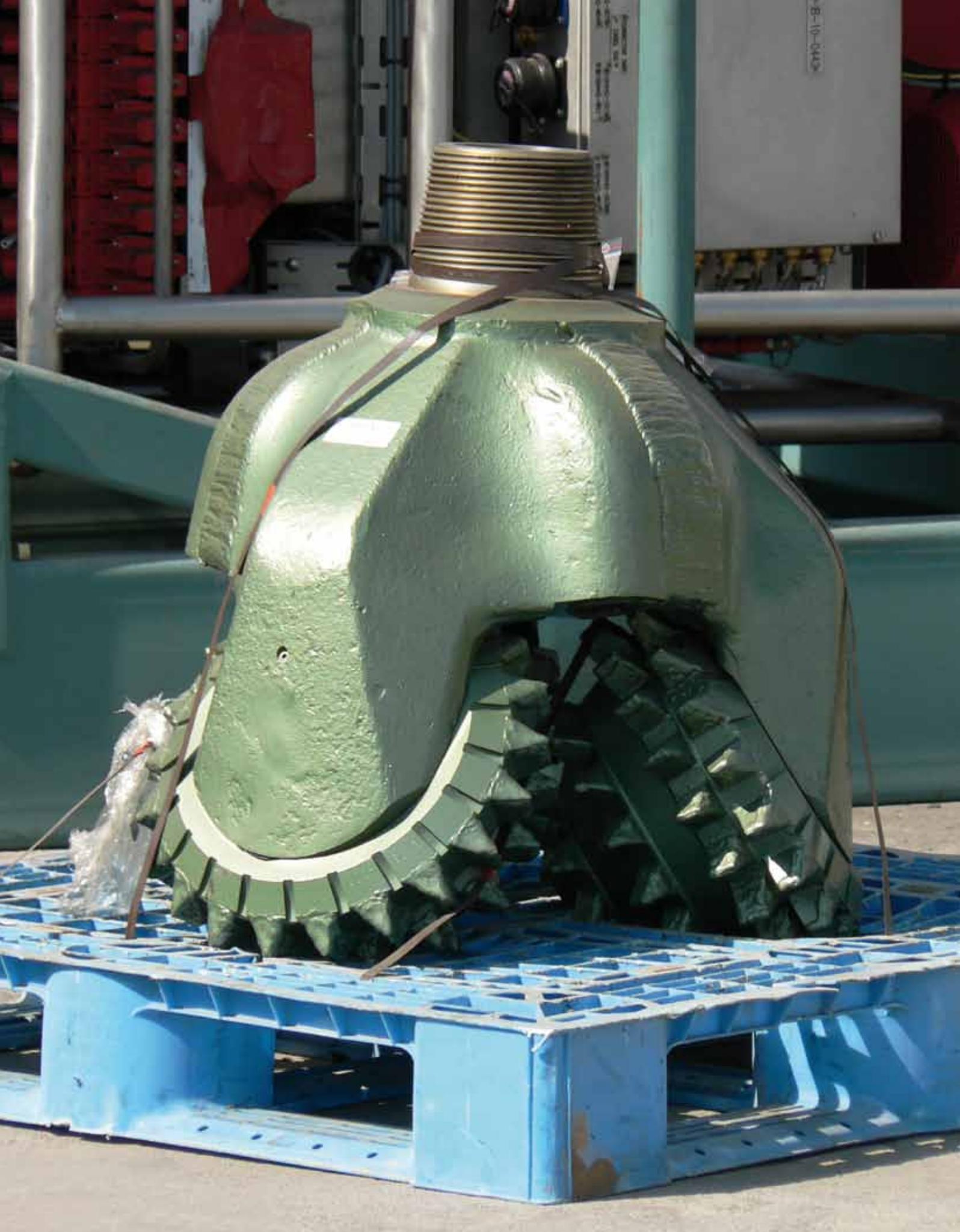
Maschinenhaus einer modernen Windkraftanlage.



*Ökologisch gestaltete Freiland-Solaranlage in Crailsheim mit hoher Biodiversität.*



*Windkraftanlage mit integriertem Wasserspeicher bei Gaildorf.*



*Bohrmeißel für geothermische Tiefbohrung.*

## Anhang I: Berechnung der Energiebereitstellung aus erneuerbaren Energien

### Solarthermie

Die Berechnung der Wärmebereitstellung mit Solarkollektoren basiert methodisch auf der international gebräuchlichen IEA-Methode [34]. Grundlage für die Berechnung ist die mittlere jährliche Globalstrahlung auf eine horizontale Fläche. Da mittlere Globalstrahlungswerte für Baden-Württemberg nicht verfügbar sind sondern nur gemittelt über Deutschland, wurde angenommen, dass die Einstrahlung in Baden-Württemberg rund 10 % höher ist als im Bundesmittel. Die so ermittelten jährlichen Globalstrahlungswerte werden mit 0,44 (Trinkwasseranlagen) bzw. 0,33 (Kombianlagen) sowie der Aperturfläche der Kollektoren multipliziert. Da die Kollektorflächen als Bruttoangaben vorliegen, wurden diese mit einem Umrechnungsfaktor von 0,9 in Aperturflächen überführt.

### Wärmeerzeugung aus geothermischen Anlagen

Unter tiefegeothermischen Anlagen sind durch Tiefbohrungen erschlossene warme bis heiße Grundwässer sowie frei ausfließende Thermalwässer zusammengefasst, die für Bade- bzw. balneologische Zwecke eingesetzt werden. Einige der Thermal-Badewässer werden zusätzlich vor oder nach dem Badebetrieb zur Wärmergewinnung (Warmwasserbereitung, Heizung) genutzt. Der Wärmeaustausch wurde auf eine typische Rücklauftemperatur von 20 °C bezogen [35], die Auslastung wurde mit 6.000 h angesetzt. Die bei einigen Quellen notwendige Antriebsenergie für Pumpen wurde vernachlässigt.

Wärmepumpenanlagen zur Nutzung von Umweltwärme (Luft, Grundwasser, oberflächennahe Geothermie) benötigen für den Betrieb in der Regel elektrische Antriebsenergie. Als Jahresarbeitszahlen (das Verhältnis der pro Jahr gelieferten Wärmemenge zur benötigten Antriebsenergie) wurden für Luft/Wasser-Wärmepumpen 2,7, für Wasser/Wasser-Wärmepumpen 3,3, für Sole/Wasser-Wärmepumpen 3,6 und für Gas-Wärmepumpen 1,38 angesetzt. Die regenerativ erzeugte Wärme wird aus der gesamten Heizwärmemenge abzüglich des primärenergetisch bewerteten Strom- bzw. Erdgaseinsatzes (Primärenergiefaktoren nach EnEV) berechnet und ist nicht direkt mit den auf Bundesebene ausgewiesenen Werten vergleichbar.

### Endenergieeinsatz zur Wärmeerzeugung aus Biomasse mit traditionellen Anlagen

Zu den Einzelfeuerstätten im Bereich der Holznutzung gehören im Wesentlichen Kaminöfen, Kachelöfen, Pelletöfen und Kamine. Darüber hinaus wird in Zentralheizungsanlagen und Heizwerken Holz verfeuert. Eine belastbare Ermittlung der in diesem Segment eingesetzten Holzmenge bzw. der damit erzeugten Wärmemenge ist nur begrenzt möglich, da der Markt lediglich eine geringe Transparenz aufweist. So wird z. B. ein großer Teil des dafür eingesetzten Holzes nicht kommerziell gehandelt.

Die Zeitreihe zur Nutzung von biogenen Festbrennstoffen zur Wärmebereitstellung wurde mit Stand April 2017 komplett überarbeitet; u. a. wurden die Annahmen zum Rückbau von Bestandsanlagen und die Zuordnung von Heizanlagen zu den beiden Gruppierungen Einzelfeuerstätten und Zentralheizungen/Heiz(kraft)werke aktualisiert. Die Zeitreihe basiert auf Studien zum Emissionsaufkommen in den Sektoren Haushalten und Kleinverbraucher in Baden-Württemberg (LUBW [36], IVD [14]). Darüber hinaus werden jeweils aktuelle Angaben des Landesinnungsverbands des Schornsteinfegerhandwerks Baden-Württemberg eingearbeitet (LIV [13]). Zukünftige Änderungen auf Basis einer verbesserten oder geänderten Datenlage sind nicht auszuschließen.

## Anhang II: Vorgehensweise zur Ermittlung der Emissionsfaktoren, Emissionsvermeidung und eingesparten fossilen Energieträger

	Kernkraft	Braunkohle	Steinkohle	Erdgas	Mineralöl
Wind	0%	0%	61%	39%	0%
Wasser	0%	0%	61%	39%	0%
feste Biomasse	0%	0%	59%	41%	0%
Photovoltaik	0%	0%	65%	35%	0%
Biogas	0%	0%	65%	35%	0%
Klär- u. Deponiegas	0%	0%	65%	35%	0%
Geothermie	0%	0%	65%	35%	0%
Flüssige Biomasse	0%	0%	65%	35%	0%
biogener Anteil des Abfalls	0%	0%	65%	35%	0%

Mit den vorliegenden Berechnungen zur Substitution fossiler Energieträger werden die Vorketten der Energiebereitstellung durchgängig berücksichtigt, sowohl für die fossilen Energieträger, als auch für erneuerbaren Energien.

Die vorliegenden Berechnungen basieren

auf den Berechnungsfaktoren des Umweltbundesamts für das Jahr 2016 [37].

### Emissionsvermeidungsfaktoren und eingesparte fossile Energieträger für die Stromerzeugung

Strom	kWh <sub>prim</sub> /kWh <sub>el</sub>
Braunkohle	2,56
Steinkohle	2,47
Erdgas	1,88
Mineralöl	2,82
Wasserkraft	0,04
Windenergie	0,03
Photovoltaik	0,26
Feste Biomasse (HKW)	0,21
Flüssige Biomasse (BHKW)	0,44
Biogas (BHKW)	0,30
Klär-/Deponiegas (BHKW)	0,18
Biogener Anteil des Abfalls	0,00
Geothermie	0,74

Für die Berechnung der vermiedenen Emissionen durch die Nutzung erneuerbarer Energien müssen Annahmen über den substituierten Stromerzeugungsmix getroffen werden. Je nach Einspeisecharakteristik ersetzen die erneuerbaren Energieträger in unterschiedlichem Maße konventionelle Energieträger im vorhandenen Kraftwerkspark. Der unter Berücksichtigung der verschiedenen Erzeugungscharakteristika und -mengen der erneuerbaren Energien und der damit verbundenen unterschiedlichen Substitutionseffekte gewichtete THG-Minderungsfaktor beträgt für alle erneuerbaren Energien zur Strombereitstellung in Baden-Württemberg rund 635 g/kWh<sub>el</sub> (vgl. Seite 16).

Zur Ermittlung der durch die Nutzung erneuerbarer Energien eingesparten Primärenergie werden auch die oben erläuterten Substitutionsbeziehungen angesetzt. Wie bei der Bilanzierung der eingesparten Emissionen werden auch hier die vorgelagerten Prozesse der Gewinnung, Aufbereitung und Bereitstellung sowohl der erneuerbaren als auch der fossilen Energieträger berücksichtigt.

Die Primärenergieeinsparung im Stromsektor berücksichtigt neben den Substitutionsfaktoren die mittleren Nutzungsgrade des deutschen Kraftwerksparks sowie den kumulierten Primärenergieaufwand zur Bereitstellung und Nutzung der fossilen Energieträger. Von der so ermittelten Bruttoeinsparung wird der Primärenergieverbrauch zur Bereitstellung von Biomasse sowie zur Herstellung und zum Betrieb der erneuerbaren Stromerzeugungsanlagen abgezogen. Für Baden-Württemberg ergibt sich damit für die Stromerzeugung ein mittlerer Netto-Einsparungsfaktor von 2,08 kWh Primärenergie pro kWh erneuerbar bereitgestelltem Strom.

### Emissionsvermeidungsfaktoren und eingesparte fossile Energieträger für die Wärmeerzeugung

	Heizöl	Gas	Steinkohle	Braunkohle	Fernwärme	Strom
Solarthermie	45%	51%	0%	0%	2%	3%
Wärmepumpen	43%	48%	0%	1%	4%	3%
Holz (Einzelfeuerung)	41%	50%	0%	1%	2%	6%
Holz (Zentralheizung)	65%	20%	2%	3%	0%	10%
Feste Biomasse (Industrie)	6%	55%	7%	17%	16%	0%
Flüssige Biomasse (BHKW)	33%	50%	0%	1%	10%	6%
Biogas (BHKW)	56%	42%	1%	0%	0%	0%
Biomasse-H(K)W	6%	55%	7%	17%	16%	0%
Biogener Anteil des Abfalls	0%	0%	0%	0%	100%	0%
Tiefengeothermie	0%	0%	0%	0%	100%	0%

Zur Berechnung der vermiedenen Emissionen durch die Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien wird wie auch bei der Stromerzeugung für jeden erneuerbaren Energieträger ein substituiertes Energieträgermix unterstellt. Im Vergleich zur bisherigen Methodik wird für die

verschiedenen erneuerbaren Energieträger jeweils ein eigener substituiertes fossiler Wärmebereitstellungsmix angenommen. Diese Verteilung ist im Gegensatz zu den Substitutionsfaktoren auf Stromseite wesentlich unsicherer, da im Wärmesektor eine große technologische Vielfalt und Dezentralität vorherrscht.

In die Ermittlung der vermiedenen Emissionen im Wärmesektor gehen die Emissionsfaktoren für die aus fossilen Energieträgern vermiedenen und die durch die erneuerbare Energiebereitstellung verursachten Emissionen in privaten Haushalten, Landwirtschaft und Industrie ein. Analog zur Berechnung im Stromsektor wird die gesamte Vorkette sowohl für die fossile als auch für die erneuerbare Energiebereitstellung berücksichtigt. Zur Ermittlung der Netto-Einsparung werden von den vermiedenen fossilen Emissionen die bei der Nutzung erneuerbarer Energien verursachten Emissionen abgezogen. Die Primärenergieeinsparung durch die Nutzung von Wärme aus erneuerbaren Energien wird anhand der gezeigten Substitutionsfaktoren berechnet. Ähnlich zur Ermittlung der Primärenergieeinsparung im Stromsektor gehen Angaben zum kumulierten fossilen Primärenergieaufwand für die fossile und erneuerbare Wärmebereitstellung in die Berechnung ein.

Insgesamt ergibt sich für die Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien im Mittel eine Einsparung von 1,38 kWh Primärenergie pro kWh erneuerbarem Endenergieeinsatz zur Wärmeerzeugung.

Wärme	kWh <sub>prim</sub> /kWh <sub>input</sub>
Erdgas	1,29
Heizöl	1,38
Braunkohlebrikett	1,53
Steinkohlekoks	1,76
Fernwärme (incl. Verluste)	2,15
Grundlaststrom	2,57
Brennholz (Heizung)	0,03
Biomasse (Industrie)	0,05
Biomasse (HKW)	0,18
Flüssige Biomasse (BHKW)	0,26
Biogas (BHKW)	0,07
Biogener Anteil des Abfalls	0,00
Tiefe Geothermie	0,25
Wärmepumpen	0,70
Solarthermie	0,14

### Emissionsvermeidungsfaktoren und eingesparte fossile Energieträger für Kraftstoffe

Der heute überwiegend eingesetzte Biokraftstoff Biodiesel gilt nicht als CO<sub>2</sub>-neutral, weil bei seiner Herstellung u. a. Methanol fossilen Ursprungs eingesetzt wird. Dieses kann aber zumindest teilweise durch eine entsprechende Nutzung der bei der Biodieselherstellung anfallenden Nebenprodukte Glycerin und Rapsschrot kompensiert werden. Zur Ermittlung der im Rahmen der Nutzung biogener Kraftstoffe (einschließlich der gesamten Bereitstellungskette) entstehenden Emissionen kommt die nebenstehende Verteilung auf die einzelnen Rohstoffe zur Anwendung. Dabei werden die gesamten Vorketten mitberücksichtigt. Eine Bilanzierung der direkten und indirekten Landnutzungsänderungen ist jedoch bislang nicht Teil der Berechnung. Die Höhe der Primärenergieeinsparung durch Biokraftstoffe ist hauptsächlich bestimmt durch die Herkunft sowie die Allokationsmethode zur Aufteilung des Energieverbrauchs auf Haupt- und Nebenprodukte. Für die Substitution fossiler Kraftstoffe durch Biokraftstoffe wird angenommen, dass Bioethanol Benzin ersetzt, während Biodiesel und Pflanzenöl mineralischen Diesel substituieren. Mit Berücksichtigung des Primärenergieaufwands für die Biokraftstoffe ergibt sich für Biodiesel eine Primärenergieeinsparung von 0,61 kWh bzw. für Pflanzenöl 0,86 kWh gegenüber mineralischem Diesel. Durch Bioethanol werden 0,85 kWh gegenüber Benzin eingespart, für Biomethan beträgt der Nettoeinsparfaktor 0,95. Für alle Biokraftstoffe, die in Baden-Württemberg genutzt werden, ergibt sich im Mittel eine Primärenergieeinsparung von rund 0,67 kWh pro kWh erneuerbarem Kraftstoffeinsatz.

	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> -Äquivalent [g/kWh]
Biodiesel	240	210
Pflanzenöl	245	173
Bioethanol	243	213
Biomethan	197	203

Kraftstoff	kWh <sub>prim</sub> /kWh <sub>input</sub>
Benzin	1,20
Diesel	1,14
Biodiesel	0,53
Pflanzenöl	0,28
Bioethanol	0,35
Biomethan	0,15
Erdgas	1,10

### CO<sub>2</sub>- und SO<sub>2</sub>-Äquivalent

Wichtige Treibhausgase sind die so genannten Kyoto-Gase, die im Rahmen des Kyoto-Protokolls reduziert werden sollen. Diese tragen in unterschiedlichem Maße zum Treibhauseffekt bei. Um die Treibhauswirkung der einzelnen Gase vergleichen zu können, wird ihnen das relative Treibhauspotenzial zugeordnet, das ein Maß für ihre Treibhauswirkung bezogen auf die Referenzsubstanz CO<sub>2</sub> darstellt. Das CO<sub>2</sub>-Äquivalent der Kyoto-Gase berechnet sich aus der Multiplikation des relativen Treibhauspotenzials mit der Masse des jeweiligen Gases. Es gibt an, welche Menge CO<sub>2</sub> in einem Betrachtungszeitraum von 100 Jahren die gleiche Treibhauswirkung verursachen würde.

Kategorie	Gas	Kürzel	Relatives Treibhausgas- bzw. Versauerungspotenzial (für Strom und Wärme / Verkehr)	
Treibhausgase	Kohlendioxid	CO <sub>2</sub>	1	CO <sub>2</sub> -Äq.
	Methan	CH <sub>4</sub>	21 / 25	
	Distickstoffoxid	N <sub>2</sub> O	310 / 298	
säurebildende Schadstoffe	Schwefeldioxid	SO <sub>2</sub>	1	SO <sub>2</sub> -Äq.
	Stickstoffoxide	NO <sub>x</sub>	0,696	

Die oben gezeigten relativen Treibhausgas- bzw. Versauerungspotenziale wurden vom Umweltbundesamt für die Emissionsbilanzierung der erneuerbaren Energien angesetzt, auf deren Basis im vorliegenden Bericht die Einsparungen für Baden-Württemberg berechnet wurden.

Für die Bilanz im Strom- und Wärmesektor wurden die Werte der Treibhausgaspotenziale mit hundertjährigem Zeithorizont aus dem Zweiten IPCC-Sachstandsbericht aus dem Jahr 1996 herangezogen (IPCC, 1996), um konsistent mit den Vorgaben der Emissionsberichterstattung nach der Klimarahmenkonvention in Verbindung mit dem Kyoto-Protokoll sowie den entsprechenden Richtlinien und Verordnungen der EU zu verfahren. Im Verkehrssektor werden hingegen aus Gründen der Konsistenz mit RL 2009/28/EG die Werte aus dem Vierten IPCC-Sachstandsberichts aus dem Jahr 2007 verwendet.

### Anhang III: Berechnung der Primärenergieäquivalente für Strom und Wärme aus erneuerbaren Energien

Für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien wird die Wirkungsgradmethode angewandt, mit der die Primärenergieäquivalente berechnet werden können. Hierbei wird das jeweilige Primärenergieäquivalent für die Elektrizität aus erneuerbaren Energien, denen kein Heizwert zugeordnet werden kann, gleich der Stromerzeugung gesetzt. Dies entspricht einem Wirkungsgrad für die Energieumwandlung von 100 %. Für die Kernenergie wird ein Wirkungsgrad von 33 % angesetzt.

Die Primärenergieäquivalente der gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung aus Biomasse wurden auf Basis der finnischen Methode [18] auf die Bereiche Strom und Wärme aufgeteilt. Zur Ermittlung des Primärenergieäquivalents der Bereitstellung von Wärme und Kraftstoffen aus erneuerbaren Energien werden Endenergie und Primärenergie gleichgesetzt.

### Anhang IV: Umsatzerlöse aus der Nutzung erneuerbarer Energien

Für die vorliegende Ausgabe wurden die Zeitreihen zu den Investitionen und Betriebskosten fortgeschrieben, die sich aus der Errichtung von Neuanlagen sowie dem Betrieb des Anlagenbestandes ergeben. Grundsätzlich setzen sich die Umsätze aus dem Betrieb der Anlagen aus den Wartungs- und Betriebskosten sowie für Biomasseanlagen zusätzlich aus den Kosten für die Brennstoffe bzw. Substrate zusammen. Die Brennstoffeinsätze aus der thermischen Nutzung der festen Biomasse zur Strom- und/oder Wärmeerzeugung wurden den verschiedenen Brennstoffsegmenten Altholz, Stückholz, Pellets sowie Holzhackschnitzel zugeordnet und mit den entsprechenden Brennstoffpreisen bewertet. Zur Ermittlung der Umsätze aus der Nutzung von Stückholz wird angesetzt, dass lediglich 50 % kommerziell gehandelt werden. Die restlichen 50 % stammen zum überwiegenden Teil aus der Selbstwerbung und werden für die Umsatzberechnung nicht berücksichtigt. Für Anlagen zur Nutzung von Klärgas, Deponiegas sowie des biogenen Abfalls werden keine Betriebskosten angesetzt. Für die Wartungs- und Betriebskosten werden anlagentypische Werte angesetzt.

Für den Kraftstoffbereich wird der Erlös unmittelbar aus dem Verkauf von Biokraftstoffen ermittelt. Zu berücksichtigen sind dabei die unterschiedlichen Kraftstoffarten sowie Vertriebswege. Für den Kraftstoffabsatz an öffentlichen Tankstellen, für die Abgabe an Fahrzeugflotten und für Beimischungen zu Dieselkraftstoff werden unterschiedlich hohe Werte angesetzt.



*Doppelt geregelte Kaplanmaschine einer kleinen Wasserkraftanlage im Schwarzwald.*



*Photovoltaik-Module mit Doppelfunktion als Zaun.*

**Bruttostromerzeugung**

Die Bruttostromerzeugung ist die elektrische Arbeit, die an den Generatorklemmen eines Kraftwerks oder einer Erzeugungseinheit gemessen wird. Wird von der Bruttostromerzeugung der Eigenverbrauch des Kraftwerks abgezogen, ergibt sich die Nettostromerzeugung.

**Bruttostromverbrauch**

Der Bruttostromverbrauch entspricht der in einem abgegrenzten Gebiet erzeugten Gesamtstrommenge aus allen Quellen (fossile Energieträger, Kernkraft, erneuerbare Energien, sonstige Energieträger) einschließlich der Stromimporte und abzüglich der Stromexporte.

**Endenergie**

Als Endenergie bezeichnet man die dem Nutzer nach der Umwandlung und Verteilung zur Verfügung stehenden Energieträger und Energieformen (z. B. Heizöl oder Holzpellets).

**Jahresnutzungsgrad**

Der Jahresnutzungsgrad eines Energieumwandlungsprozesses bezeichnet das Verhältnis zwischen der Summe der abgegebenen Nutzenergie und der Summe der zugeführten Energie in einem Jahr. Bei der Berechnung des Jahresnutzungsgrades werden Abgasverluste, Betriebsverluste und Stillstandsverluste einbezogen. Der Jahresnutzungsgrad ist damit im Gegensatz zum Wirkungsgrad die geeignete Kenngröße, um die Umwandlungseffizienz einer Anlage darzustellen.

**Primärenergie**

Primärenergie (Rohenergie) ist der Energieinhalt von Energieträgern, die noch keiner Umwandlung unterworfen wurden. Dazu gehören die fossilen Brennstoffe Stein- und Braunkohle, Erdöl, Erdgas sowie Kernbrennstoffe und die erneuerbaren Energien Wasserkraft, Sonnenenergie, Windkraft, Erdwärme und unbehandelte Biomasse.

**Primärenergieäquivalent**

Bei der Bestimmung des Primärenergieinhaltes der Elektrizität aus erneuerbaren Energien besteht die Schwierigkeit, dass, mit Ausnahme der Biomasse, den erneuerbaren Energieträgern kein Heizwert zugeordnet werden kann. Seit 1995 wird in Deutschland für diese Energieträger die so genannte Wirkungsgradmethode angewandt, mit der Primärenergieäquivalente berechnet werden können. Hierbei wird das jeweilige Primärenergieäquivalent gleich der Stromerzeugung gesetzt. Dies entspricht einem Wirkungsgrad für die Energieumwandlung von 100 %. Für die Kernenergie wird ein Wirkungsgrad von 33 % angesetzt.

Für die Stromerzeugung aus biogenen Brennstoffen wurden anlagenscharf die leistungsabhängigen Jahresnutzungsgrade zur Ermittlung des Primärenergieäquivalents ermittelt. Die Aufteilung auf die Bereiche Strom und Wärme erfolgt nach der finnischen Methode.

Ein anderer Ansatz ist die Substitutionsmethode, bei der ermittelt wird, wie viel Brennstoff in konventionellen Kraftwerken durch erneuerbare Energien ersetzt wird. Der so genannte Substitutionsfaktor gibt dabei das Verhältnis von Brennstoffverbrauch zur Bruttostromerzeugung an.

**Wirkungsgrad**

Der Wirkungsgrad einer technischen Anlage kennzeichnet das Verhältnis von erreichtem Nutzen zu eingesetztem Aufwand, d. h. den Quotient aus abgegebener Nutzleistung zu zugeführter Leistung. Die Differenz zwischen zugeführter und abgegebener Leistung ergibt die Verlustleistung. Je höher der Wirkungsgrad ist, desto verlustärmer arbeitet eine Anlage.



*Aufbau einer Windenergieanlage mit Speicherfunktion bei Gaildorf.*

## Vorsätze und Vorzeichen

k	Kilo	10 <sup>3</sup>	Tausend
M	Mega	10 <sup>6</sup>	Million (Mio.)
G	Giga	10 <sup>9</sup>	Milliarde (Mrd.)
T	Tera	10 <sup>12</sup>	Billion (Bill.)
P	Peta	10 <sup>15</sup>	Billiarde (Brd.)

## Umrechnungen

		PJ	GWh	Mio. t SKE	Mio. t RÖE
<b>1 PJ</b>	Petajoule	1	277,78	0,034	0,024
<b>1 GWh</b>	Gigawattstunde	0,0036	1	0,00012	0,000086
<b>1 Mio. t SKE</b>	Mio. Tonnen Steinkohleeinheit	29,31	8.141	1	0,70
<b>1 Mio. t RÖE</b>	Mio. Tonnen Rohöleinheit	41,87	11.630	1,43	1

## Typische Eigenschaften von Kraftstoffen

	Dichte [kg/l]	Heizwert [kWh/kg]	Heizwert [kWh/l]	Heizwert [MJ/kg]	Heizwert [MJ/l]
<b>Biodiesel</b>	0,88	10,3	9,1	37,1	32,6
<b>Bioethanol</b>	0,79	7,4	5,9	26,7	21,1
<b>Rapsöl</b>	0,92	10,4	9,6	37,6	34,6
<b>Diesel</b>	0,84	11,9	10,0	42,7	35,9
<b>Benzin</b>	0,76	11,9	9,0	42,7	32,4

## Typische Eigenschaften von festen und gasförmigen Energieträgern

	Dichte [kg/l] bzw. [kg/m <sup>3</sup> ]	Heizwert [kWh/kg]	Heizwert [kWh/l] bzw. [kWh/m <sup>3</sup> ]	Heizwert [MJ/kg]	Heizwert [MJ/l] bzw. [MJ/m <sup>3</sup> ]
<b>Steinkohle</b>	-	8,3 - 10,6	-	30,0 - 38,1	-
<b>Braunkohle</b>	-	2,6 - 6,2	-	9,2 - 22,2	-
<b>Erdgas H (in m<sup>3</sup>)</b>	0,76	12,9	9,8	46,3	35,2
<b>Heizöl EL</b>	0,86	11,5	9,9	41,6	35,7
<b>Biogas (in m<sup>3</sup>)</b>	1,20	4,2 - 6,3	5,0 - 7,5	15,0 - 22,5	18,0 - 27,0
<b>Holzpellets</b>	0,65	4,9 - 5,4	3,2 - 3,5	17,5 - 19,5	11,4 - 12,7

- [1] **STATISTISCHES LANDESAMT BADEN WÜRTTEMBERG.**  
Energiebericht Baden-Württemberg. Diverse Ausgaben.
- [2] **STATISTISCHES LANDESAMT BADEN WÜRTTEMBERG.**  
Energie. Verfügbar unter: <http://www.statistik-bw.de/Energie/>
- [3] **ERNEUERBARE ENERGIEN IN ZAHLEN.**  
Verfügbar unter: [http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare\\_Energien\\_in\\_Zahlen/erneuerbare\\_energien\\_in\\_zahlen.html](http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/erneuerbare_energien_in_zahlen.html)
- [4] **SOLARENERGIE-FÖRDERVEREIN und DEUTSCHLAND E.V.**  
Regionale Stromertragsdaten von PV-Anlagen. Verfügbar unter: <https://www.pv-ertraege.de/>
- [5] **HEIMERL, Stephan.** Persönliche Mitteilungen.
- [6] **ARBEITSGRUPPE ERNEUERBARE ENERGIEN-STATISTIK (AGEE-STAT).**  
Persönliche Mitteilungen.
- [7] **KLIMASCHUTZ- UND ENERGIEAGENTUR BADEN-WÜRTTEMBERG (KEA).**  
Persönliche Mitteilungen 2005 bis 2014.
- [8] **AG ENERGIEBILANZEN.** Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2016. Februar 2017.  
Verfügbar unter: [http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article\\_id=29&fileName=ageb\\_jahresbericht2016\\_20170301\\_interaktiv\\_dt.pdf](http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=ageb_jahresbericht2016_20170301_interaktiv_dt.pdf)
- [9] **MINISTERIUM FÜR LÄNDLICHEN RAUM UND VERBRAUCHERSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG.** Infodienst Landwirtschaft – Ernährung – Ländlicher Raum.  
Verfügbar unter: <http://www.landwirtschaft-bw.info/pb/site/lel/node/3310931/Lde/index.html>
- [10] **STOBER, Ingrid.** Persönliche Mitteilungen 2007 bis 2010.
- [11] **BUNDESVERBAND WÄRMEPUMPE E.V.** Diverse Pressemeldungen.
- [12] **INTERNATIONALES GEOTHERMIEZENTRUM BOCHUM.**  
Analyse des deutschen Wärmepumpenmarktes. Bestandsaufnahme und Trends. Februar 2014.  
Verfügbar unter: [http://www.geothermie-zentrum.de/fileadmin/media/geothermiezentrum/GeothermieCampus\\_Bochum/Forschung\\_und\\_Projekte/Analyse\\_des\\_deutschen\\_Waermepumpenmarktes/WP-StudieII\\_GZB\\_2014.pdf](http://www.geothermie-zentrum.de/fileadmin/media/geothermiezentrum/GeothermieCampus_Bochum/Forschung_und_Projekte/Analyse_des_deutschen_Waermepumpenmarktes/WP-StudieII_GZB_2014.pdf)
- [13] **LANDESINNUNGSVERBAND DES SCHORNSTEINFEGERHANDWERKS BADEN-WÜRTTEMBERG.** Persönliche Mitteilungen.
- [14] **KILGUS, Daniel, STRUSCHKA, Michael und BAUMBACH, Günter.**  
Ermittlung des Emissionsaufkommens für Staub im Bereich der Haushalte und Kleinverbraucher in Baden-Württemberg. Dezember 2007.
- [15] **INTERESSENGEMEINSCHAFT DER THERMISCHEN ABFALLBEHANDLUNGSANLAGEN IN DEUTSCHLAND E.V.** Angaben zu Abfallverwertungsanlagen.  
Verfügbar unter: <https://www.itad.de/information/abfallverwertungsanlagen>
- [16] **INSTITUT WOHNEN UND UMWELT (IWU).** Gradtagszahlen in Deutschland.
- [17] **ZENTRUM FÜR SONNENENERGIE- UND WASSERSTOFF-FORSCHUNG BADEN-WÜRTTEMBERG (ZSW).** Evaluierung der KfW-Förderung für Erneuerbare Energien im Inland. Diverse Evaluierungsberichte.
- [18] **AG ENERGIEBILANZEN.** Vorwort zu den Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland. November 2015. Verfügbar unter: <http://www.ag-energiebilanzen.de/files/vorwort.pdf>
- [19] **ÜBERTRAGUNGSNETZBETREIBER.** EEG-Stamm- und Bewegungsdaten.
- [20] **BUNDESNETZAGENTUR.** Anlagenregister.
- [21] **BUNDESNETZAGENTUR.** Datenmeldungen Photovoltaikanlagen.

- [22] **AG ENERGIEBILANZ E.V. (AGEB)**. Ausgewählte Effizienzindikatoren zur Energiebilanz Deutschland 1990-2015. 2016.
- [23] **EUROSTAT**. Anteil von Energie aus erneuerbaren Quellen. Verfügbar unter: [http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg\\_ind\\_335a&lang=de](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_ind_335a&lang=de)
- [24] **INFORMATIONSPLATTFORM DER DEUTSCHEN ÜBERTRAGUNGSNETZBETREIBER**. EEG-Jahresabrechnungen. Verfügbar unter: [https://www.netztransparenz.de/de/EEG\\_Jahresabrechnungen.htm](https://www.netztransparenz.de/de/EEG_Jahresabrechnungen.htm)
- [25] **KEUNEKE, Rita, MOSER, Albert, KASPER, Ulf, RUPRECHT, Albert, WOLF-SCHUMANN, Ulrich, HEIMERL, Stephan, DUMONT, Ulrich, ANDERER, Pia, MASSMANN, Edith und STARK, Bettina**. Vorbereitung und Begleitung der Erstellung des Erfahrungsberichts 2014 gemäß § 65 EEG. Vorhaben IId Stromerzeugung aus Wasserkraft. Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft der RWTH Aachen, 2014.  
Verfügbar unter: <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/XYZ/zwischenbericht-vorhaben-2d,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>
- [26] **DEUTSCHE WINDGUARD GMBH**. Status des Offshore-Windenergieausbaus in Deutschland. 2016.
- [27] **DEUTSCHE WINDGUARD GMBH**. Status des Windenergieausbaus an Land in Deutschland. 2016.
- [28] **DEUTSCHES BIOMASSEFORSCHUNGSZENTRUM (DBFZ)**. Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse, Zwischenberichte 2009 bis 2014, Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Leipzig, 2010.
- [29] **BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (BMWI)**. Erneuerbare Energien in Zahlen – Nationale und internationale Entwicklung im Jahr 2015. 2016. Verfügbar unter: [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/erneuerbare-energien-in-zahlen-2015-09.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=14](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/erneuerbare-energien-in-zahlen-2015-09.pdf?__blob=publicationFile&v=14)
- [30] **BUNDESAMT FÜR WIRTSCHAFT UND AUSFUHRKONTROLLE (BAFA)**. Daten zum Marktanzreizprogramm.
- [31] **INFORMATIONSPLATTFORM DER DEUTSCHEN ÜBERTRAGUNGSNETZBETREIBER**. EEG-Jahresabrechnungen. Verfügbar unter: <https://www.netztransparenz.de/EEG/Jahresabrechnungen>
- [32] **ULRICH, Philip und LEHR, Ulrike**. Erneuerbar beschäftigt in den Bundesländern: Bericht zur aktualisierten Abschätzung der Bruttobeschäftigung 2013 in den Bundesländern. Verfügbar unter: [http://www.gws-os.com/discussionpapers/EE\\_besch%20besch%C3%A4ftigt\\_bl\\_2013.pdf](http://www.gws-os.com/discussionpapers/EE_besch%20besch%C3%A4ftigt_bl_2013.pdf)
- [33] **LÖCKENER, Ralf, SUNDMACHER, Torsten, TIMMER, Birgit, VORDERWÜLBECKE, Arne, ULRICH, Philip, LEHR, Ulrike und SCHMIDT, Maike**. Energiewende in Baden-Württemberg. Auswirkungen auf die Beschäftigung. In Veröffentlichung.
- [34] **IEA SOLAR HEATING AND COOLING PROGRAMME**. Converting Installed Solar Collector Area & Power Capacity into Estimated Annual Solar Collector Energy Output. Verfügbar unter: [https://www.iea-shc.org/Data/Sites/1/documents/statistics/Calculation\\_Method.pdf](https://www.iea-shc.org/Data/Sites/1/documents/statistics/Calculation_Method.pdf)
- [35] **PESTER, S., SCHELLSCHMIDT, R. und SCHULZ, R.** Verzeichnis geothermischer Standorte – Geothermie Anlagen in Deutschland auf einen Blick. Geothermische Energie 56/57.
- [36] **LANDESANSTALT FÜR UMWELT, MESSUNGEN UND NATURSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (LUBW)**. Emissionskataster. Verfügbar unter: <http://www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/11163/>
- [37] **UMWELTBUNDESAMT (UBA)**. Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger. 2017.



Die erneuerbaren Energien:  
Ein starkes Stück Natur.