

# Der Markt für Bioenergie

Lara Drittler, Friedrich Rübcke von Veltheim, Christian Schaper und Ludwig Theuvsen  
Georg-August-Universität Göttingen

## 1 Einleitung

„Etwa seit dem Inkrafttreten des EEG 2012 ist die Bioenergiebranche in die Reife- und teilweise sogar in die Schrumpfungsphase eingetreten.“ – diese durch LANGENBERG et al. (2017: 107) unter Bezugnahme auf das bekannte Branchenlebenszykluskonzept getätigte Aussage beschreibt auch Anfang 2018 den Zustand des Marktes für Bioenergie zutreffend. Nachdrücklicher denn je zuvor wird gegenwärtig die Frage gestellt: „Welchen Beitrag kann und soll Bioenergie zukünftig leisten?“ (MÜLLER und WAGENER-LOHSE, 2017: 3). Verstärkt hat sich die Auffassung durchgesetzt, dass aufgrund der erfolgreichen Wachstumsdynamik der vergangenen anderthalb Dekaden der energetischen Nutzung von Biomasse zunehmend Grenzen gesetzt sind, da kaum noch ökologisch verantwortbare Nutzungspotenziale erschlossen werden können. Trotzdem spielt die Bioenergie in vielen Szenarien für die zukünftige Ausgestaltung der drei Sektoren Strom, Wärme und Verkehr eine gewisse, wenn auch keine tragende Rolle (NITSCH, 2017). Dafür sind im Wesentlichen zwei Gründe erkennbar:

- Die (optimierte) Nutzung von Biomasse für die Energieerzeugung bietet der Landwirtschaft eine Chance, einen eigenen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten. Angesichts der in dieser Hinsicht anspruchsvoller werdenden Ziele, die sich die Landwirtschaft selbst setzt oder die ihr von anderen vorgegeben werden, ist dies aus sektoraler Sicht ein wichtiger Gesichtspunkt (DBV, 2018). Besonders deutlich zum Tragen kommt dieser Aspekt, wenn Abfall- und Reststoffe, etwa Gülle oder Stroh, eingesetzt werden (z.B. REINHOLD, 2014; KRÖGER, 2016). Allerdings haben neuere Untersuchungen der FNR (2015) gezeigt, dass sich in Deutschland bereits rund zwei Drittel der technisch nutzbaren Biomassepotenziale in einer stofflichen oder energetischen Nutzung befinden. Im Wesentlichen werden noch drei in Teilen ungenutzte Biomasse-Reststoffpotenziale identifiziert: Waldrestholz, tierische Exkrememente und Getreidestroh, deren vollständiger Nutzung allerdings zum Teil ökologische, ökonomische oder agronomische Gründe entgegenstehen (z.B.

GUENTHER-LÜBBERS et al., 2014b). Die Klimaschutzbeiträge der Landwirtschaft durch Bioenergieproduktion sind daher relevant, können aber nicht mehr wesentlich ausgebaut werden.

- Eine zweite Argumentationslinie verweist auf das unabhängig von der eingesetzten Biomasse breite Einsatzspektrum und die gute Speicherfähigkeit (und damit – im Unterschied zu Windkraft und Photovoltaik – die Grundlastfähigkeit; SCHRÖER, 2010) der Bioenergieproduktion, ihr Potenzial zur Etablierung dezentraler, regionaler Energieversorgungssysteme sowie ihre mögliche Rolle als „Sektorenkoppler“, etwa in Form eines Bindeglieds zwischen Strom- und Gasmarkt (WAGENER-LOHSE, 2017; VOHRER, 2017). Die Implementierung der Erzeugung erneuerbarer Energien auf lokaler und regionaler Ebene wirft dabei zahlreiche, im Einzelfall keineswegs leicht zu lösende Probleme auf, die der Fortsetzung der Energiewende in Deutschland gegenwärtig im Wege stehen (RUPPERT und IBENDORF, 2017).

Auch wenn ihre Rolle nur selten ganz grundsätzlich in Frage gestellt wird, so wird doch allgemein ein Umdenken in Bezug auf die Bioenergieproduktion eingefordert – „von Quantität zu Qualität, von Grundlast zu Flexibilität, von Umweltbelastung zu mehr Klimaschutz und von Stromorientierung zu Wärme und Mobilität“ (WAGENER-LOHSE, 2017: 51). Obwohl über die genaue Richtung, die Geschwindigkeit und die Details des als notwendig erachteten Umsterns sicherlich unterschiedliche Meinungen existieren, so kann doch als sicher gelten, dass sich ein ungebremseter Zubau etwa von Biogasanlagen, wie er sich zwischen 2008 und 2011 vollzog, nicht wiederholen wird. Eher wird die Bioenergieproduktion punktuell ihre spezifischen Stärken ausspielen müssen, wie dies etwas bei der Errichtung neuer, vergleichsweise kleiner Gülleanlagen im Biogasbereich der Fall ist. Als weiterer begrenzender Faktor kommt die zunehmende Konkurrenz durch andere Formen der Erzeugung erneuerbarer Energien hinzu. Dies sind längst nicht mehr nur Windkraft und Photovoltaik, sondern auch in der Entwicklung befindliche Konzepte wie Power-to-Gas, bei dem überschüssiger Strom dazu genutzt wird, Wasserstoff oder Methan zu erzeugen und damit

die Speicherfähigkeit von Wind- und Sonnenstrom herzustellen (REITER und LINDORFER, 2015).

## 2 Erneuerbare Energien im Energiemix

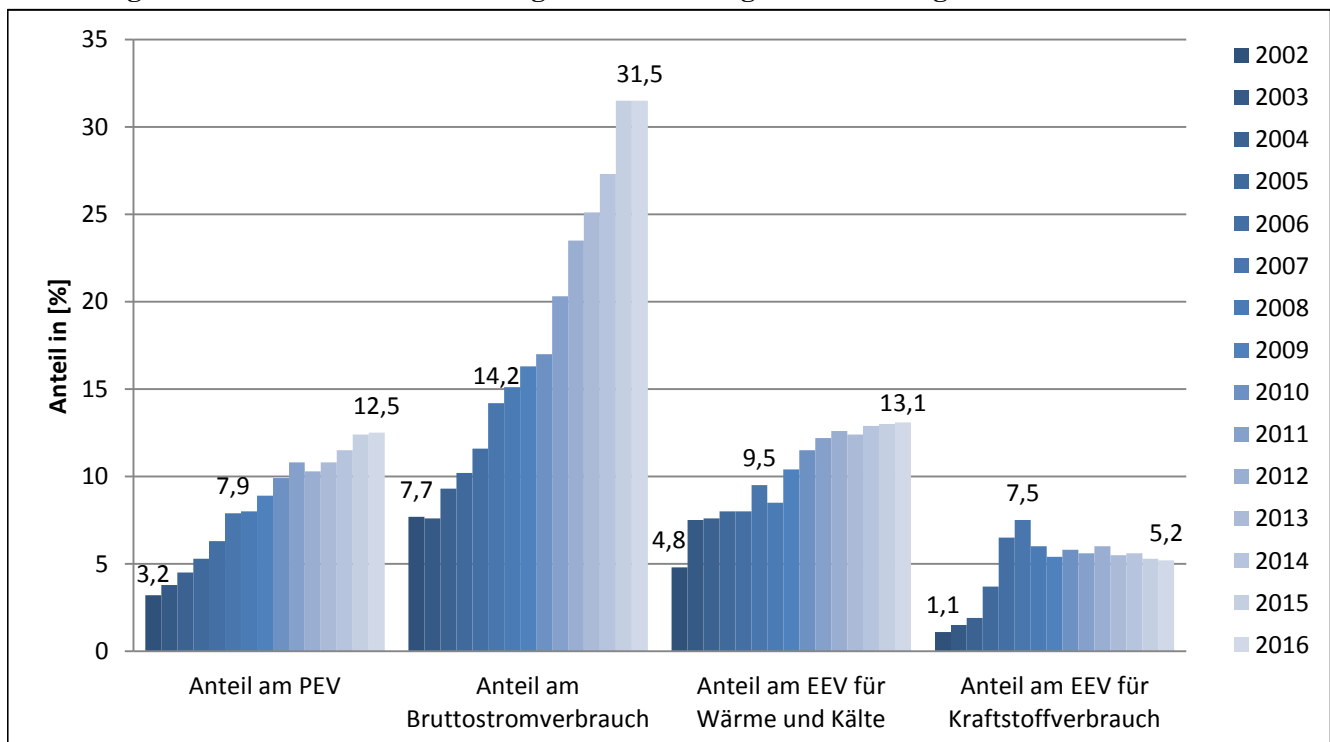
Seit Anfang der 1990er-Jahre nimmt der Primärenergieverbrauch (PEV) in Deutschland tendenziell leicht ab. Gründe dafür sind Effizienzsteigerungen durch z. B. Kraft-Wärme-Kopplung und der Ausbau der erneuerbaren Energien, welche zum Teil andere Energieträger mit geringerem Wirkungsgrad verdrängen. Allerdings ist das Ziel der Bundesregierung, den PEV von 2008 bis 2020 um 20 % und bis 2050 sogar um 50 % zu senken, immer noch in weiter Ferne. So war von 2008 bis 2016 lediglich ein Rückgang des PEV um 7 % zu verzeichnen (UMWELTBUNDESAMT, 2017a). Deutschland kann die selbstgesteckten Ziele somit nur erreichen, wenn die Energieproduktivität durch weitere Maßnahmen zur Effizienzsteigerung erhöht wird (UMWELTBUNDESAMT, 2017b). Von 1990 bis 2016 ist der Anteil der erneuerbaren Energien am PEV von 1,3 % auf 12,5 % angestiegen (2015: 12,4 %; 2014: 11,5 %) (BMWl, 2017a). Damit ist der Anteil erneuerbarer Energien am PEV mittlerweile größer als der der Steinkohle (12,3 %), der Braunkohle (11,3 %) und der Kernenergie (6,9 %). Den

größten Anteil am PEV haben weiterhin die Mineralöle (34 %).

Wie Abbildung 1 zu entnehmen ist, sind die Anteile der erneuerbaren Energien in den drei Bereichen Strom, Wärme und Kraftstoff sehr unterschiedlich. Am größten ist die Bedeutung der erneuerbaren Energien im Strombereich; im Vergleich zu 2015 (31,5 %) ist der Anteil der erneuerbaren Energien am deutschen Strommix 2016 unverändert bei 31,5 % geblieben (BMWl, 2017a). Bei der Bruttostromerzeugung liegen die erneuerbaren Energien damit mittlerweile deutlich auf dem ersten Rang vor der Braun- und der Steinkohle (AGEB, 2017). Im Bereich der Wärme- und Kältebereitstellung betrug der Anteil erneuerbarer Energien 2016 nahezu unverändert 13,1 % (2015: 13,0 %; 2014: 12,9 %). Beim Verbrauch biogener Kraftstoffe setzte sich der rückläufige Trend der letzten Jahre fort; in 2016 lag der Anteil erneuerbarer Energien am Kraftstoffverbrauch bei 5,2 % (2015: 5,3 %; 2014: 5,6 %) (BMWl, 2017a).

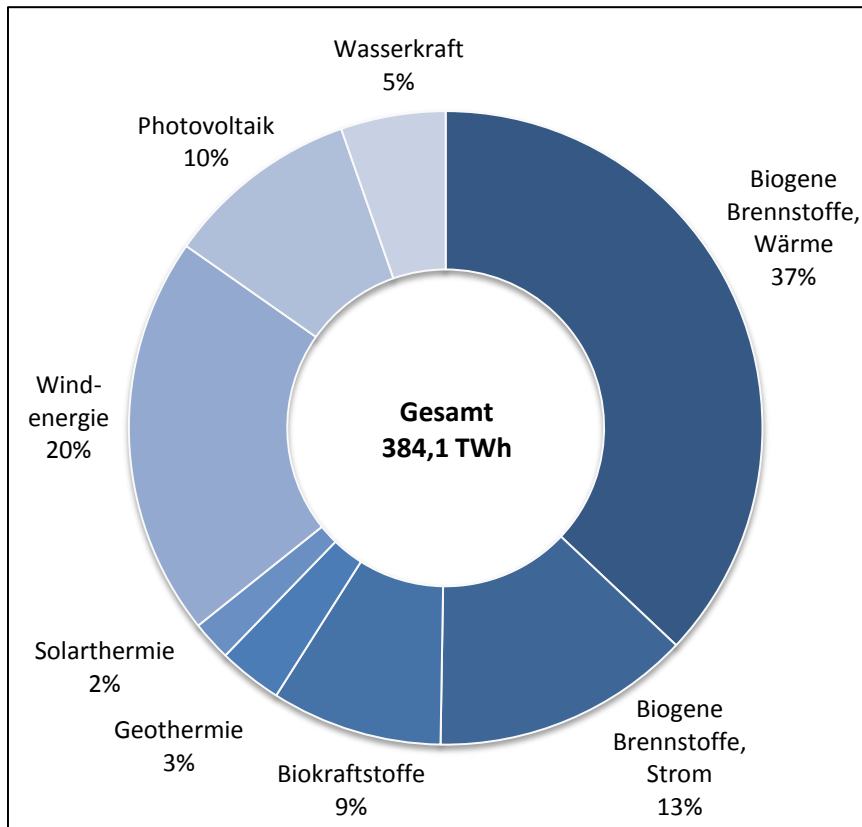
Die Gesamtenergiebereitstellung aus erneuerbaren Energien belief sich 2016 auf 384,1 TWh. Gegenüber 2015 bedeutete dies eine weitere Steigerung um 5 TWh bzw. 1,3 % (BMWl, 2017a). Der größte Anteil erneuerbarer Energien wurde mit 50 % aus Biomasse gewonnen, gefolgt von der Windenergie (20 %) und der Photovoltaik (10 %) (Abbildung 2). 2016 wurden insgesamt 188,2 TWh Strom aus erneuerbaren Energien

Abbildung 1. Anteile erneuerbarer Energien an der Energiebereitstellung in Deutschland



Quelle: eigene Darstellung nach BMWl (2017a); EEV (Endenergieverbrauch)

**Abbildung 2. Zusammensetzung der erneuerbaren Energien in Deutschland 2016**



Quelle: eigene Darstellung nach BMWi (2017a)

produziert; die Windenergie (78,7 TWh), der Einsatz von Biomasse (50,8 TWh) und die Solarenergie (38,0 TWh) rangieren dabei auf den vorderen Rängen. Der Bereich der Wärmebereitstellung (162,4 TWh) wird von der Biomassenutzung (87,6 %) dominiert. Im Verkehrssektor belief sich der Verbrauch an erneuerbaren Energien auf insgesamt 33,5 TWh; der größte Anteil wird hier in Form von Biodiesel (62,3 %) bereitgestellt (BMWi, 2017b).

Insgesamt konnten in Deutschland im Jahr 2016 aufgrund des kontinuierlich ansteigenden Anteils an erneuerbaren Energien 160,1 Mio. t CO<sub>2</sub> eingespart werden (+2,5 % zum Vorjahr). Die Verminderung der Treibhausgasemissionen ist dabei zu 36,2 % der Energiegewinnung aus Biomasse, zu 33,5 % der Windenergie und zu 14,6 % der Solarenergie zu verdanken (BMWi, 2017b). 74,5 % der CO<sub>2</sub>-Einsparungen wurden bei der Stromerzeugung, 21,6 % bei der Wärmeherstellung und 4 % im Verkehrsbereich realisiert (BMWi, 2017a).

Erneuerbare Energien sind seit Jahren ein bedeutender Wirtschaftsfaktor für Deutschland (UMWELTBUNDESAMT, 2017c). Seit 2000 ist das Investitions-

volumen in Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien deutlich angewachsen; 2010 erreichte es mit 27,9 Mrd. € seinen bislang höchsten Wert. Dieser Spitzenwert wurde in den letzten Jahren nicht mehr annähernd erreicht; allerdings sind die Investitionen in Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien 2016 mit 15,1 Mrd. € im Vergleich zum Vorjahr (14,0 Mrd. €) wieder leicht angestiegen (+6,4 %) (BMWi, 2017c). Die Windenergie war 2016 erneut mit weitem Abstand führend mit einem Investitionsvolumen von 10,1 Mrd. € (2015: 9,1 Mrd. €) (BMWi, 2017b; BMWi, 2017c). Insgesamt waren 2015 rund 330.000 Beschäftigte in der Erneuerbaren-Energien-Branche beschäftigt, davon 43,3 % im Windenergie-, 34,3 % im Biomasse- und 12,8 % im Solarenergiebereich (STATISTA, 2017a).

Weltweit ist China der größte Produzent erneuerbarer Energien, gefolgt von den USA, Brasilien,

Deutschland und Kanada (REN21, 2017). Global besitzen die Wind- und Solarenergie die größten Potenziale zur Deckung des zunehmenden Energiebedarfs; sie ließen dementsprechend in den letzten Jahren auch die größten Wachstumsraten erkennen (BMWi, 2017c). Die Kapazitäten zur Windenergieerzeugung verzeichneten 2016 einen Zuwachs um 12 % auf insgesamt rund 487 GW; China ist dabei der mit Abstand größte Windenergieproduzent. Die weltweiten Kapazitäten zur Solarenergieproduktion aus Photovoltaikanlagen betragen zum Ende des Jahres 2016 303 GW. Asien lag 2016 das vierte Jahr in Folge vorn mit einem Anteil von zwei Dritteln an der globalen Solarenergieerzeugung (REN21, 2017). Der Anteil erneuerbarer Energien am globalen Stromverbrauch ist 2016 auf 24,5 % angestiegen (2015: 23,7 %); Wasserkraft nimmt dabei den Spitzenplatz ein (16,6 %), gefolgt von der Windenergie (4 %), Energie aus Biomasse (2 %) und der Solarenergie (1,5 %). 2016 wurden insgesamt 6.065 TWh Strom aus erneuerbaren Energien produziert. Nach dem Allzeithoch der weltweiten Investitionen in Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien in 2015 ist 2016 trotz Rekordinstallationen

das globale Investitionsvolumen um 23 % auf 241,6 Mrd. US-Dollar zurückgegangen. Ein wichtiger Grund hierfür sind die fallenden Preise für Solar- und Windenergieanlagen. Insbesondere in den Schwellen- und Entwicklungsländern waren die Investitionen um 30 % geringer als im Vorjahr; allein in China war ein Rückgang um 32 % zu verzeichnen. In den Industrieländern war der Rückgang der Investitionen weniger stark ausgeprägt (-14 %). Die meisten Investitionen flossen 2016 weltweit in die Solarenergie (113,7 Mrd. \$) und die Windenergie (112,5 Mrd. \$) (BMWl, 2017c). Die weltweite Beschäftigtenzahl im Bereich der erneuerbaren Energien stieg 2016 auf 9,8 Mio. (+1,1 %) weiter an, davon 3,1 Mio. im Solar-energie- und 2,7 Mio. im Bioenergiebereich (IRENA, 2017).

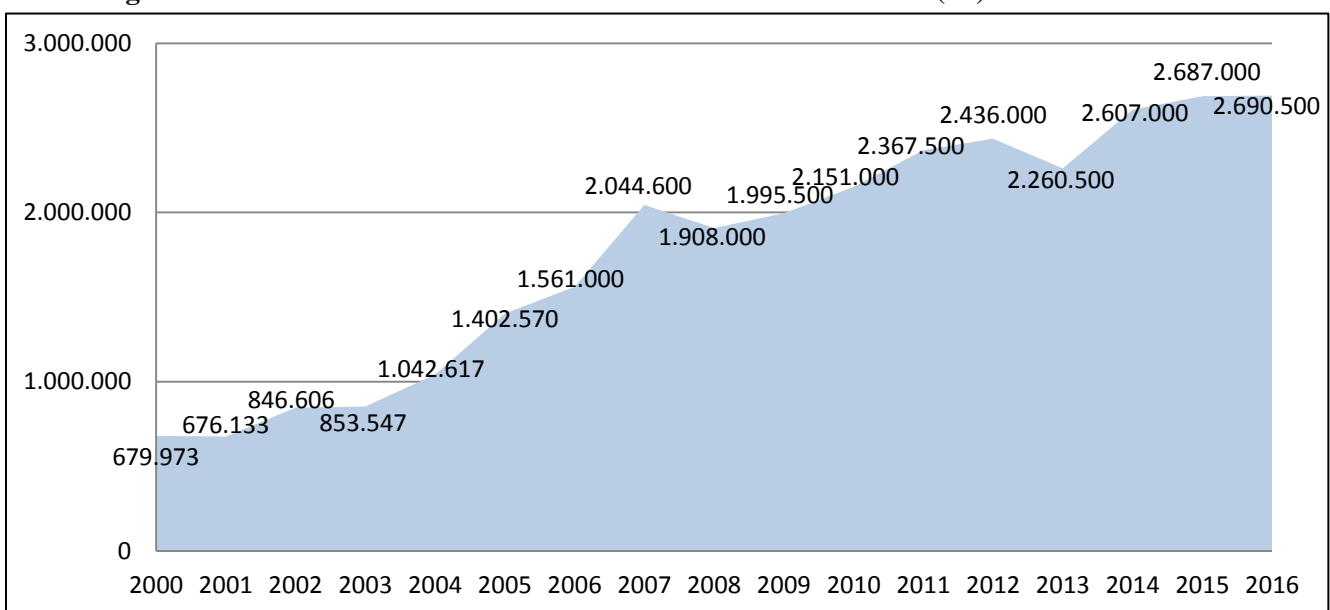
### 3 Entwicklung der Biomasseerzeugung in Deutschland

#### 3.1 Biomasse aus landwirtschaftlicher Produktion

46,6 % der gesamten Fläche Deutschlands (35,7 Mio. ha) werden landwirtschaftlich genutzt (STATISTA, 2017b, 2017c). Schätzungen zufolge wurden 2016 auf 2,7 Mio. ha und damit 16,1 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche nachwachsende Rohstoffe angebaut (FNR, 2017g). Seit der Jahrtausendwende hat sich die NawaRo-Anbaufläche vervierfacht; zuletzt ist sie allerdings nur noch geringfügig angewachsen (Abbildung 3).

Mit knapp 90 % machten die Energiepflanzen 2016 den größten Anteil an der gesamten NawaRo-Anbaufläche aus (2.421.000 ha) (Tabelle 1). Allein knapp 54 % der NawaRo-Fläche nehmen Pflanzen für die Biogasproduktion ein (1.450.000 ha); davon entfielen knapp 1 Mio. ha auf den Anbau von Biogasmais. Dies entspricht 38 % der gesamten Maisanbaufläche in Deutschland (FNR, 2017a). Die zweitwichtigste Energiepflanze war mit einem Anteil von gut 28 % der Raps, der 2016 auf 760.000 ha für die Biodiesel- und Pflanzenölproduktion angebaut wurde. Das hohe Niveau der Jahre 2010 (940.000 ha) und 2011 (910.000 ha) wurde damit erneut deutlich verfehlt. Bis 2012 wurden die Reinkraftstoffe Biodiesel und Pflanzenöl durch reduzierte Steuersätze (18,6 bzw. 18,5 ct/l) entlastet; seit 2013 beträgt die Energiesteuer auf Biodiesel und Pflanzenölkraftstoffe dagegen 45,03 ct/l (BMJV, 2017a; FNR, 2017b). Des Weiteren wird die Nachfrage nach Biodiesel und Pflanzenöl durch die seit längerem vergleichsweise niedrigen Erdölpreise geschwächt (AMI, 2016). Energiepflanzen für die Bioethanolherstellung hatten 2016 einen Anteil von gut 7 % an der gesamten NawaRo-Fläche; dies entsprach 200.000 ha. Der Anbau sonstiger Energiepflanzen wie Agrarholz und Miscanthus ist mit 11.000 ha nach wie vor unbedeutend. Industriepflanzen zur stofflichen Nutzung machen ca. 10 % der gesamten NawaRo-Fläche aus (269.500 ha). Die dominierenden Kulturen sind dabei Raps zur Herstellung von technischem Rapsöl (122.500 ha) sowie stärkehaltige Pflanzen zur Industriestärkeproduktion (108.000 ha).

Abbildung 3. Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe in Deutschland (ha)



Anbaufläche für 2016 geschätzt  
 Quelle: eigene Darstellung nach FNR (2017g)

**Tabelle 1. Anbau von Energie- und Industriepflanzen in Deutschland (ha)**

| Rohstoff                |  | 2012             | 2013             | 2014             | 2015*            | 2016**           | Anteil an NawaRo-Fläche 2016** (%) |
|-------------------------|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------------------------|
| Energiepflanzen         | Raps für Biodiesel/Pflanzenöl          | 786.000          | 557.000          | 798.500          | 800.000          | 760.000          | 28,25                              |
|                         | Zucker/Stärke für Bioethanol           | 201.000          | 173.000          | 188.000          | 200.000          | 200.000          | 7,43                               |
|                         | Pflanzen für Biogas                    | 1.158.000        | 1.250.000        | 1.353.500        | 1.400.000        | 1.450.000        | 53,89                              |
|                         | Sonstiges (u.a. Agrarholz, Miscanthus) | 10.500           | 9.000            | 10.500           | 11.000           | 11.000           | 0,41                               |
|                         | <b>Energiepflanzen insgesamt</b>       | <b>2.155.500</b> | <b>1.989.000</b> | <b>2.350.500</b> | <b>2.411.000</b> | <b>2.421.000</b> | <b>89,98</b>                       |
| Industriepflanzen       | Industriestärke                        | 121.500          | 101.500          | 106.000          | 108.500          | 108.000          | 4,01                               |
|                         | Industriezucker                        | 10.000           | 10.500           | 12.500           | 15.000           | 16.000           | 0,59                               |
|                         | Technisches Rapsöl                     | 127.000          | 136.500          | 115.500          | 129.000          | 122.500          | 4,55                               |
|                         | Technisches Sonnenblumenöl             | 7.500            | 7.000            | 6.000            | 6.500            | 6.000            | 0,22                               |
|                         | Technisches Leinöl                     | 4.000            | 3.500            | 3.500            | 3.500            | 3.500            | 0,13                               |
|                         | Pflanzenfaser                          | 500              | 500              | 1.000            | 1.500            | 1.500            | 0,06                               |
|                         | Arznei- und Farbstoffe                 | 10.000           | 12.000           | 12.000           | 12.000           | 12.000           | 0,45                               |
|                         | <b>Industriepflanzen insgesamt</b>     | <b>280.500</b>   | <b>271.500</b>   | <b>256.500</b>   | <b>276.000</b>   | <b>269.500</b>   | <b>10,02</b>                       |
| <b>NawaRo insgesamt</b> | <b>2.436.000</b>                       | <b>2.260.500</b> | <b>2.607.000</b> | <b>2.687.000</b> | <b>2.690.500</b> | <b>100,00</b>    |                                    |

\*vorläufige Werte

\*\*geschätzte Werte

Quelle: eigene Darstellung nach FNR (2017g)

### 3.2 Biomasse aus biogenen Reststoffen und Abfällen

Biogene Rest- und Abfallstoffe sind organische Stoffe, die als Nebenprodukt bei der nicht energetischen Nutzung von Biomasse entstehen; sie sind in der Bioenergieproduktion von großer Bedeutung (KALTSCHMITT et al., 2016; MÜHLENHOFF und DANNEMANN, 2017). Zu den biogenen Rest- und Abfallstoffen gehören insbesondere Grünschnitt, Landschaftspflegematerial, Exkremate aus der Tierhaltung, Stroh, Altholz sowie organische Abfälle aus dem privaten (z.B. Biomüll) und dem gewerblichen Bereich (z.B. Schlachtabfälle). Das technische Gesamtpotenzial biogener Rest- und Abfallstoffe beträgt jährlich 98,4 Mio. t Trockensubstanz, von denen derzeit bereits 69 % genutzt werden (DBFZ, 2015; FNR, 2015). Die in der ersten Stufe der stofflich-industriellen Biomassenutzung entstehenden biogenen Rest- und Abfallstoffe werden auf der zweiten und dritten Stufe der Mehrfachnutzung einer energetischen oder nährstofflichen Nutzung zugeführt. Diese Mehrfachnutzung fördert im Vergleich zur direkten Energieerzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen die Effizienz der Biomassenutzung (GAIDA et al., 2013). Darüber hinaus wirkt die Verwertung von biogenen Rest- und Abfallstoffen der immer wieder aufflammenden „Tank oder Teller“-Diskussion, dem in einigen Regionen verbreiteten Monokulturanbau von Energiemais

und der steigenden Flächenkonkurrenz entgegen (ZSCHACHE et al., 2010; KRÖGER et al., 2016b).

Biogene Rest- und Abfallstoffe fallen in Deutschland regional sehr unterschiedlich an. Bio- und Grünabfälle sind typisch für dichtbesiedelte Ballungsräume, während Regionen mit intensivem Ackerbau und hohen Bodenqualitäten das größte Potenzial an Stroh aufweisen. In den Hochburgen der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, etwa Nordwestdeutschland, fallen die meisten tierischen Exkremate an (MÜHLENHOFF und DANNEMANN, 2017). Wirtschaftsdünger besitzen ein erhebliches Potenzial zur Substitution von Energiepflanzen in Biogasanlagen (GUENTHER-LÜBBERS et al., 2014a). Obwohl ungefähr die Hälfte der Wirtschaftsdünger als wirtschaftlich erschließbar gilt, werden in Deutschland nur ca. 15 bis 20 % aller tierischen Exkremate zur Energieerzeugung genutzt. Aufgrund des relativ niedrigen Energiegehalts im Vergleich zu Energiepflanzen machen tierische Exkremate, bezogen auf die eingesetzte Energie, nur 14 % des gesamten Biomasseeintrags aus; der Substrateinsatz liegt hingegen bei rund 44 % der gesamten Masse (MÜHLENHOFF, 2013; KRÖGER et al., 2016b). Da der Transport organischer Stoffe kostenintensiv ist, werden Wirtschaftsdünger hauptsächlich in Biogasanlagen in der jeweiligen Entstehungsregion verwertet. Auch die anschließende Verbringung des Gärsubstrates findet bevorzugt vor Ort statt. Trotz des

kostenintensiven Transports werden aber auch biogene Reststoffe aus der Tierhaltung über zunehmend größere Entfernungen transportiert, da in den Intensivgebieten der Nutztierhaltung die regional zur Verfügung stehenden Biogasanlagenkapazitäten sowie die Flächen den gesamten anfallenden Wirtschaftsdünger oftmals nicht mehr aufnehmen können. Zur Steigerung der Transportwürdigkeit findet vermehrt eine Gülleseparation statt; da Güllefeststoffe eine größere Nährstoff- bzw. Energiedichte aufweisen, lassen sie sich wirtschaftlicher in Ackerbauregionen transportieren (KRÖGER et al., 2016a; KRÖGER et al., 2016b). Der Einsatz von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen in Ackerbauregionen trägt zudem in erheblichem zur Reduktion der Emissionen klimarelevanter Gase bei (GUENTHER-LÜBBERS et al., 2015; WELLNER und THEUVSEN, 2017).

### 3.3 Biomasse aus forstwirtschaftlicher Produktion

Rund 11,4 Mio. ha und damit ca. 32 % der Bundesrepublik Deutschland sind bewaldet. Besonders waldreich sind die Mittelgebirge, wohingegen die norddeutschen Ebenen durch die Landwirtschaft geprägt und dementsprechend wenig bewaldet sind. Der höchste Waldanteil findet sich im Landkreis Suhl in Thüringen, der niedrigste im Landkreis Emden in Niedersachsen. 48 % der Waldfläche befinden sich im Privatbesitz, 29 % im Eigentum der Länder, 19 % im Eigentum von Körperschaften und 4 % im Eigentum des Bundes (BMEL, 2017a). Während weltweit die Waldfläche abnimmt (BOLTE et al., 2016), ist in Deutschland eine geringe jährliche Zunahme um rund 5.000 ha zu beobachten. Im letzten Jahrzehnt stand einem Waldverlust von 58.000 ha ein Zugewinn von 108.000 ha neuem Wald gegenüber (BMEL, 2017a). Diese positive Entwicklung ist auf die rechtlichen Rahmenbedingungen in Deutschland zurückzuführen: So erlaubt zum einen das Bundeswaldgesetz nur in Ausnahmefällen eine Rodung von Waldflächen mit anschließender Umwandlung der Nutzungsart; zum

anderen fördert das Bundesnaturschutzgesetz durch die Eingriffs-Ausgleichs-Regelung die Aufforstung von landwirtschaftlichen Nutzflächen (BMJV, 2017b, 2017c).

Der jährliche Holzzuwachs befindet sich mit durchschnittlich 11,2 m<sup>3</sup> pro Hektar und Jahr bzw. einem jährlichen Mittel von insgesamt 121,6 Mio. m<sup>3</sup> weiterhin auf einem hohen Niveau. Rund 87 % des Holzzuwachses werden genutzt (BMEL, 2017a), davon zwei Drittel stofflich und ein Drittel energetisch (BOLTE et al., 2016). In 2016 wurden insgesamt 52,2 Mio. ha Holz eingeschlagen (Tabelle 2); im Vergleich zum Vorjahr stellt dies ein Minus von 6,2 % dar. Der stärkste Rückgang des Holzeinschlags war im Privatwald zu beobachten (-7,6 %). Die allmähliche Zunahme der Holzeinschlagsmenge, deren Tiefststand 2009 mit lediglich 48,1 Mio. m<sup>3</sup> erreicht wurde, wurde damit beendet (BMEL, 2017b).

Da der Holzzuwachs 2016 die Holznutzung überstieg, ist der Holzvorrat auf 336 m<sup>3</sup> pro Hektar bzw. insgesamt 3,7 Mrd. m<sup>3</sup> angestiegen. Er hat damit den höchsten Stand seit Beginn einer geregelten Forstwirtschaft erreicht. Mit einem Anstieg des Holzvorrates um 7 % innerhalb der letzten 10 Jahre nimmt Deutschland eine Spitzenposition innerhalb Europas ein. Da der Wald eine natürliche Kohlenstoffsene darstellt, wird die Atmosphäre durch den Holzzuwachs jährlich um rund 52 Mio. t CO<sub>2</sub> entlastet (BMEL, 2016, 2017a).

Holz ist nicht nur ein wichtiger Industrierohstoff, der bspw. für die Herstellung von Papier, Bau- und Möbelholz eingesetzt wird, sondern auch der bedeutendste Bioenergieträger (BUNZEL et al., 2011; KALTSCHMITT et al., 2010). Speziell in der Wärmeerzeugung ist Holz in den letzten 10 Jahren verstärkt eingesetzt worden. Jährlich werden in Deutschland insgesamt rund 64 Mio. m<sup>3</sup> Holz energetisch genutzt; 42,2 % des energetisch genutzten Holzes stammen direkt aus dem Wald, die restlichen 57,8 % insbesondere aus Reststoffen der stofflichen Verwertung von Holz (BMEL, 2017a).

**Tabelle 2. Holzeinschlag nach Waldbesitzarten in Deutschland in Mio. m<sup>3</sup>**

| Jahr              | 2006         | 2007         | 2008         | 2009         | 2010         | 2011         | 2012         | 2013         | 2014         | 2015         | 2016         |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Staatswald        | 21,94        | 26,83        | 18,99        | 17,51        | 19,90        | 20,39        | 19,51        | 19,87        | 19,43        | 19,81        | 19,00        |
| Körperschaftswald | 13,41        | 16,15        | 12,87        | 11,17        | 12,68        | 11,57        | 10,60        | 10,40        | 10,73        | 11,35        | 10,61        |
| Privatwald        | 26,93        | 33,75        | 23,50        | 19,39        | 21,84        | 24,18        | 22,23        | 22,94        | 24,16        | 24,45        | 22,58        |
| <b>Insgesamt</b>  | <b>62,29</b> | <b>76,73</b> | <b>55,37</b> | <b>48,07</b> | <b>54,42</b> | <b>56,14</b> | <b>52,34</b> | <b>53,21</b> | <b>54,36</b> | <b>55,61</b> | <b>52,19</b> |

Quelle: eigene Darstellung nach BMEL (2017b)

## 4 Energetische Verwendung von Biomasse

### 4.1 Entwicklung der Biogasproduktion

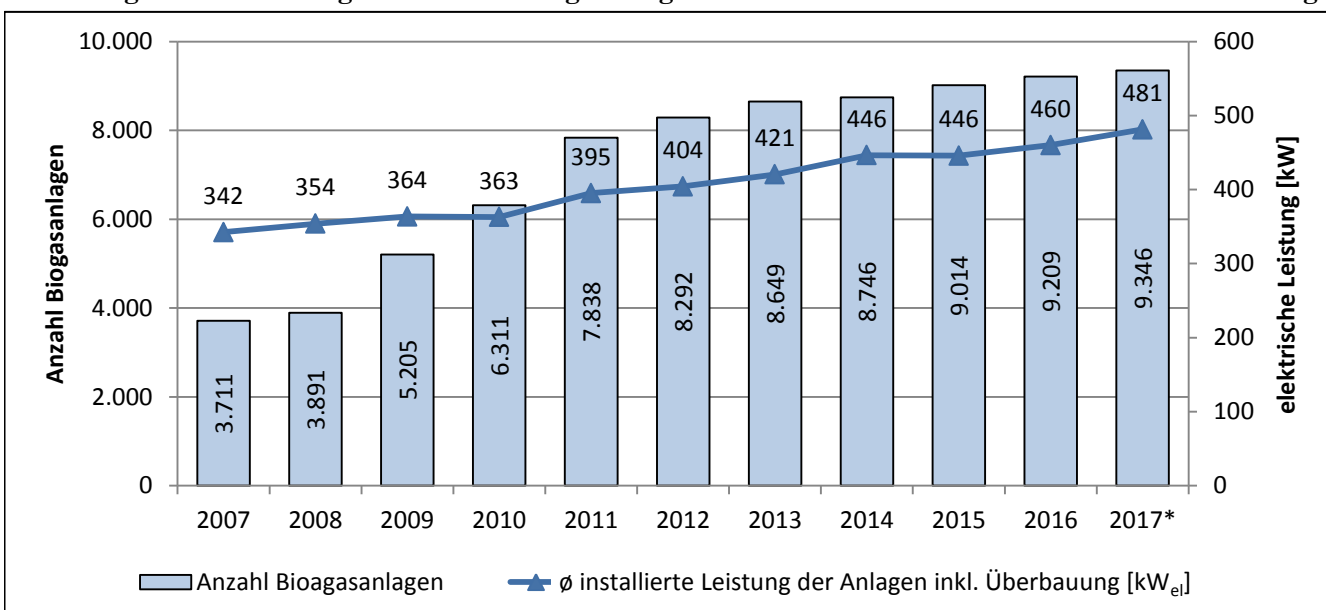
Die Produktion von Biogas und dem durch Veredlung entstehenden Biomethan ist nach wie vor eines der Zugpferde des Ausbaus regenerativer Energien in Deutschland, obwohl sich der Anteil der Biogasanlagen an der Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien 2016 nur unwesentlich von 16,8 %, auf 16,9 % erhöht hat (BMWf, 2017c). Damit rangiert die Stromgewinnung aus Biogas unter den regenerativen Energien auf dem dritten Platz hinter der Windenergie (42,3 %) und der Photovoltaik (20,7 %). Der Rückgang der Zahl neuer Biogasanlagen wurde gestoppt; so wurden im Jahr 2016 195 Anlagen zugebaut, was einer Steigerung um 30 % gegenüber dem Vorjahr entspricht, allerdings immer noch einen Rückgang um 82 % gegenüber dem Jahr 2011 bedeutet. Für das Jahr 2017 wurden 137 Neu- bzw. Zubauten prognostiziert (FvB, 2017). Insgesamt belief sich die Anlagenanzahl im Jahr 2016 auf 9.209 Biogas- und Biomethananlagen; für 2017 wurde mit 9.346 Anlagen gerechnet (Abbildung 4). Der vergleichsweise verhaltene Anstieg der Zahl der Biogasanlagen in den letzten Jahren ist vor allem auf die diversen Novellierungen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) zurückzuführen; zu nennen ist unter anderem der Wegfall substrat- oder technikbezogener Prämien nach 2014.

Ein konstanter Anstieg lässt sich auch bei der durchschnittlich installierten Leistung der Biogasanla-

gen beobachten. In den letzten zehn Jahren stieg diese von rund 342 kW<sub>el</sub> (2007) auf 460 kW<sub>el</sub> (2016) an. Für das Jahr 2017 wurde eine durchschnittliche Leistung von 481 kW<sub>el</sub> prognostiziert. Allerdings sind Stilllegung und Überbauung hierbei nicht herausgerechnet, sodass die arbeitsrelevante elektrische Leistung niedriger ausfällt.

Der Trend geht weiterhin in Richtung flexibilisierter Biogasanlagen, die eine bedarfsabhängige Steuerung zulassen und somit den von Windenergie und Photovoltaik ungedeckten Strombedarf – die sogenannte Residuallast – bedienen können (HOLZHAMMER et al., 2015). Dabei können die Betreiber von Bestandsanlagen entweder ein weiteres Blockheizkraftwerk (BHKW) bauen oder das bestehende durch ein leistungsstärkeres BHKW ersetzen. Für Neuanlagen sind Flexibilisierung und Direktvermarktung des erzeugten Stroms verpflichtend. Seit Inkrafttreten des EEG 2017 wird die Vergütung für Bioenergieanlagen auf Grundlage eines Ausschreibungsverfahrens festgelegt, wie es ähnlich bei der Wind- und der Solarenergie praktiziert wird (vgl. Kapitel 5). Bei der ersten Ausschreibungsrunde im Jahr 2017 erhielten lediglich rund 28 MW der insgesamt ausgeschriebenen 122 MW installierter Leistung einen Zuschlag (BUNDESNETZAGENTUR, 2017). Als Gründe dafür führen Bioenergieverbände die relativ niedrigen Gebotshöchstwerte sowie die mangelnde Attraktivität einer Beteiligung von Bestandsanlagen, deren Vergütungszeitraum erst Ende 2021 oder später endet, an (BBE et al., 2017). Darüber hinaus wird eine Verbesserung des Ausschreibungsdesigns gefordert.

**Abbildung 4. Entwicklung der Zahl der Biogasanlagen und der durchschnittlichen installierten Leistung**



\*Prognose

Quelle: eigene Darstellung nach FvB (2017)

## 4.2 Entwicklung der Biokraftstoffproduktion

Um die Auswirkungen des Klimawandels möglichst gering zu halten, hat die EU die Dekarbonisierung als politisches Ziel ausgegeben (UMWELTBUNDESAMT, 2013); u.a. soll bis 2020 ein Anteil von mindestens 10 % erneuerbarer Energie im Verkehrssektor erreicht werden (EUROPÄISCHES PARLAMENT, 2009). Dabei wurde bisher auf Beimischquoten gesetzt, die die Kraftstoffindustrie verpflichteten, den fossilen Kraftstoffen zu einem gewissen Anteil Biokraftstoffe beizumischen. Zur Erfüllung starrer Beimischquoten können allerdings auch Biokraftstoffe eingesetzt werden, die nur geringfügig weniger Treibhausgasemissionen als fossile Kraftstoffe verursachen. Zudem sind in der Spitze CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten in Höhe von 500 € pro t bei Biodiesel und 1.500 € pro t bei Bioethanol entstanden (WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT AGRARPOLITIK, 2007). Dagegen könnten CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten von 20 € je t CO<sub>2</sub> erreicht werden, wenn Abgasreinigungssysteme an Fabrikschornsteinen nachgerüstet würden (MCKINSEY & COMPANY, 2007). Schließlich kam unter dem Eindruck zwischenzeitlich hoher Nahrungsmittelpreise, die vor allem Menschen in Schwellen- und Entwicklungsländern trafen, die sogenannte „Tank oder Teller“-Debatte auf, die die öffentliche Akzeptanz von Biokraftstoffen zunehmend schwinden ließ (ZSCHACHE et al., 2010). Die geringen CO<sub>2</sub>-Einsparungen und sehr hohen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten der Biokraftstoffe der ersten Generation verschärften die Diskussion noch (BERNHART, 2008). Deutschland hat daraufhin als bisher einziges Land weltweit mit der THG-Minderungsquote ein neues

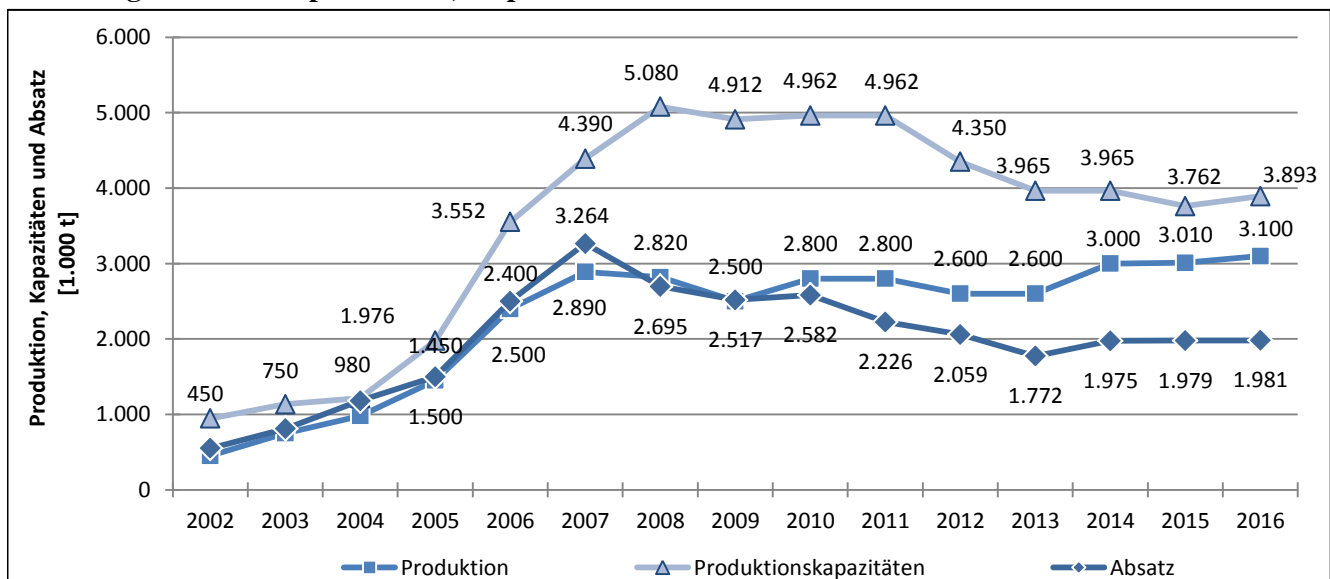
System etabliert, das die Kraftstoffhersteller verpflichtet, gegenwärtig 4 % und ab 2020 6 % CO<sub>2</sub> pro Jahr einzusparen (BIMSCHG, 2014). Allerdings haben die vergleichsweise geringen Minderungsquoten zu einer Stagnation bzw. teilweise sogar zu einem Rückgang des Biokraftstoffabsatzes beigetragen. Problematisch ist auch die Alleinstellung des deutschen Marktes, die dazu führt, dass die klimagünstigen Biokraftstoffe gezielt in Deutschland verwendet und die weniger günstigen Biokraftstoffe in Ländern mit Beimischquote eingesetzt werden (ZEDDIES und SCHÖNLEBER, 2016; PUTTKAMMER und GRETHE, 2015).

In Deutschland belief sich der Gesamtkraftstoffverbrauch im Jahr 2016 auf 56,7 Mio. t (2015: 56 Mio. t; 2014: 55 Mio. t; 2013: 54 Mio. t). Dabei entfielen 2016 63,4 % auf Diesel- und 30,1 % auf Ottokraftstoffe. Der Anteil biogener Kraftstoffe lag – bezogen auf den Energiegehalt – 2016 bei 4,7 %. Der Absatz biogener Kraftstoffe stagnierte mit 3,35 Mio. t weitestgehend auf Höhe der Vorjahreswerte. Biodiesel ist mit knapp 2,0 Mio. t und einem Anteil von 64,6 % der wichtigste Biokraftstoff in Deutschland, gefolgt von Bioethanol mit 1,2 Mio. t (27,6 %), hydrierten Pflanzenölen mit 169.000 t (6,6 %), Biomethan mit 26.000 t (1,2 %) und Pflanzenölen mit 3.600 t (0,1 %) (FNR, 2017f).

### 4.2.1 Biodieselproduktion

2016 ist die Biodieselproduktion in Deutschland leicht auf 3,1 Mio. t angestiegen (2015: 3,01 Mio. t; 2014: 3,0 Mio. t) (Abbildung 5) (FNR, 2017f; VDB 2017). Die Produktionskapazitäten erhöhten sich 2016 ge-

Abbildung 5. Biodieselproduktion, -kapazitäten und -absatz in Deutschland



Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an FNR (2017f)



ringfügig auf 3,89 Mio.t (2015: 3,76 Mio. t); die Kapazitätsauslastung der Biodieselanlagen betrug 2016 nach wie vor rund 80 %. Der Biodieselsatz im Inland lag zuletzt annähernd konstant bei 1,98 Mio. t (FNR, 2017f). Abbildung 5 zeigt, dass Biodiesel seit 2008 aufgrund der veränderten politischen Rahmenbedingungen deutliche Absatzeinbußen erlitten hat (VDB, 2017).

Die EU-28 ist nach wie vor der weltweit größte Hersteller von Biodiesel. Die Erzeugung belief sich 2016 einschließlich der Produktion von hydrierten Pflanzenölen (HVO) auf rund 14,7 Mrd. l (2015: 14,4 Mrd. l). Für 2017 wird die Produktion auf 15,3 und für 2018 auf 16,12 Mrd. l geschätzt. Der Verbrauch in der EU betrug 2016 rund 14,9 Mrd. l Biodiesel; auf den Import entfielen dabei 0,53 und auf den Export 0,45 Mrd. l. Für 2017 wurde ein Verbrauch von 15,4, ein Import von 0,57 und ein Export von 0,45 Mrd. l erwartet (USDA, 2017). Erste Prognosen für 2018 weisen auf einen leicht steigenden Verbrauch von 16,2 Mrd. l bei gleichbleibendem Im- und Export hin. 2015 und 2016 lagen die Produktionskapazitäten für Biodiesel in der EU bei rund 25,0 Mrd. l. Für 2017 wurde ein Anstieg auf 25,5 bis 26 Mrd. l prognostiziert, wobei sich das Wachstum weitgehend auf den Bereich der hydrierten Pflanzenöle (HVO) beschränkt, die in der EU ausschließlich in den Niederlanden, Finnland, Italien, Frankreich und Spanien erzeugt werden (USDA, 2016). Schwerpunktländer der europäischen Biodieselproduktion sind ansonsten nach wie

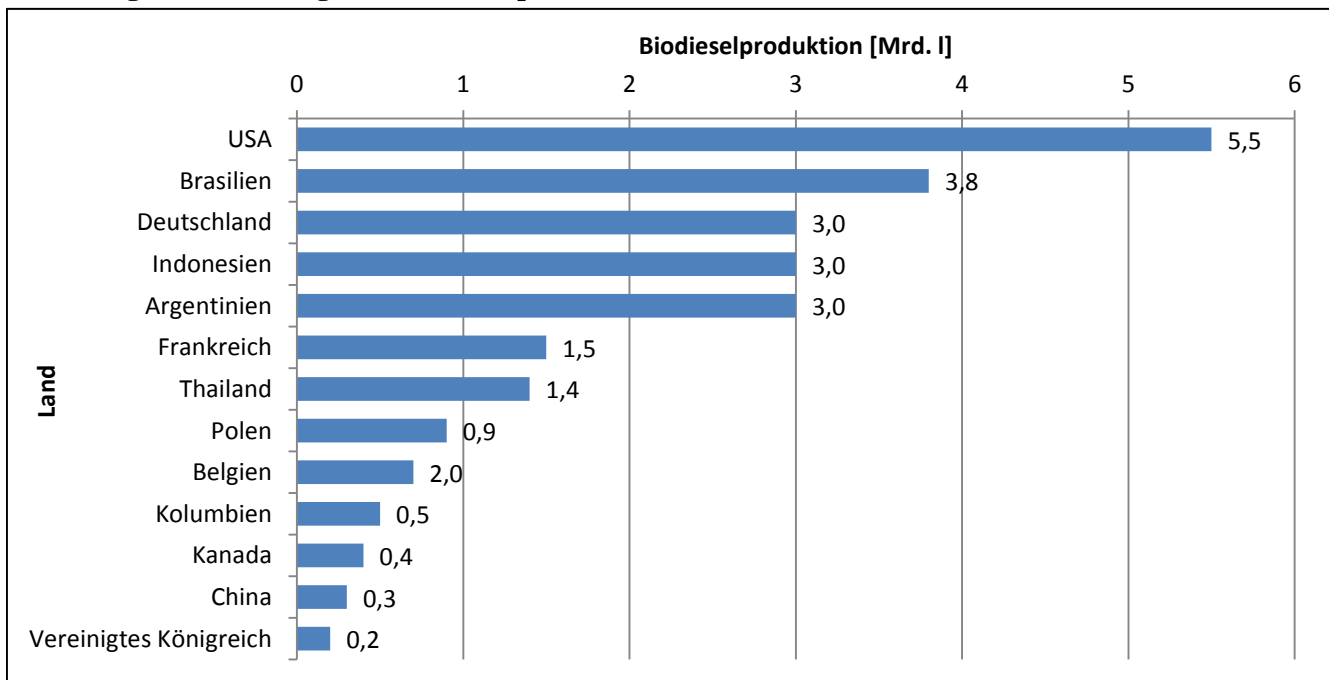
vor Deutschland (2017: 3,4 Mrd. l), Frankreich (2,4 Mrd. l), die Niederlande (1,99 Mrd. l), Spanien (1,08 Mrd. l) und Polen (0,8 Mrd. l) (USDA, 2017, 2016). Mit 2,15 Mio. t wurden 2015 16,6 % des europäischen Biodiesels in Deutschland abgesetzt, das damit hinter Frankreich (2,83 Mio. t) und vor Italien (1,3 Mio. t) auf dem zweiten Platz lag (EUROSTAT, 2017).

Weltweit stieg die Biodiesel- einschließlich der HVO-Produktion von 27,16 Mio. t im Jahr 2015 auf 29,26 Mio. t in 2016 an. Neben der EU waren 2016 vor allem die USA mit 5,5 Mrd. l (2015: 4,8 Mrd. l), Brasilien mit 3,8 Mrd. l (2015: 4,1 Mrd. l), Argentinien mit 3 Mrd. l (2015: 2,1 Mrd. l) und Indonesien mit 3,0 Mrd. l (2015: 1,7 Mrd. l) bedeutende Biodieselproduzenten (Abbildung 6) (STATISTA, 2017d).

#### 4.2.2 Bioethanolproduktion

Die Produktion von Bioethanol stieg in Deutschland bis zum Jahr 2015 kontinuierlich auf insgesamt rund 740.000 t an; 2016 ging die Produktion dann leicht auf 738.000 t zurück (BDBE, 2017). 2016 wurden aus Industrierüben 191.270 t, aus Futtergetreide knapp 534.600 t und aus sonstigen Stoffen, zum Beispiel Reststoffen und Abfällen aus der Lebensmittelindustrie, 12.310 t Bioethanol hergestellt (BDBE, 2017). Der Verbrauch von Bioethanol belief sich in Deutschland im Jahr 2016 auf 1,2 Mio. t (2015: 1,17 Mio. t; 2014; 1,23 Mio. t). Die wichtigste Verwendung ist in Deutschland die Beimischung zu Benzin, gefolgt von der Verwendung als Benzinadditiv ETBE (Ethyl-

Abbildung 6. Weltweit größte Biodieselproduzenten (2016)



Quelle: Statista (2017d)

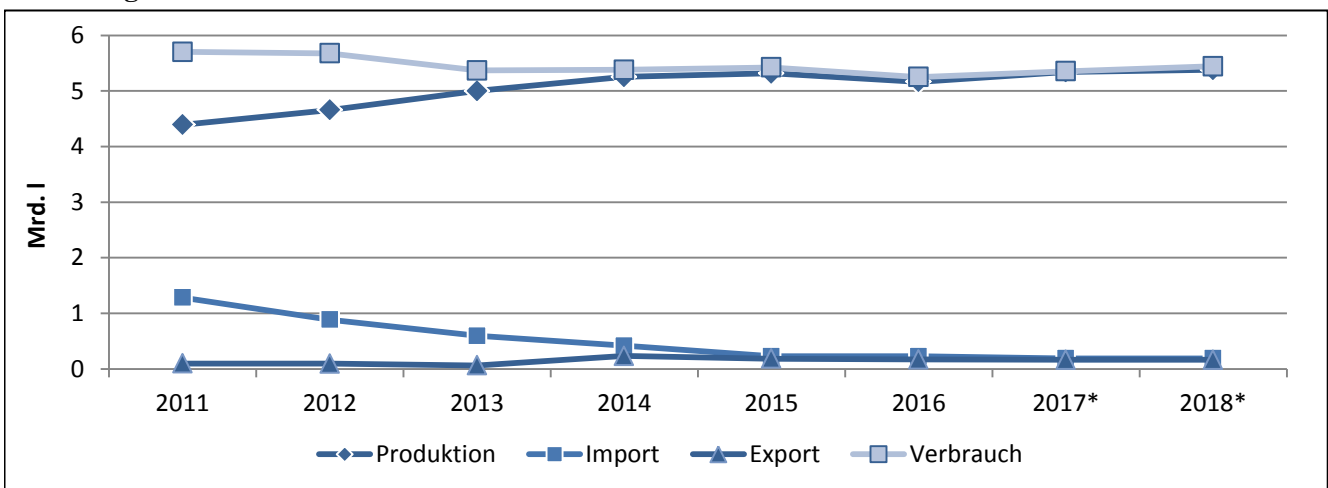
Tertiär-Butylether). Für 2017 wurden in Deutschland leichte Zuwächse bei Produktion und Verbrauch erwartet (BDBE, 2017; USDA, 2016).

Seit einigen Jahren stagnieren der Verbrauch und die Produktion von Kraftstoffethanol in der EU (Abbildung 7). In 2017 lag die Bioethanolproduktion bei rund 5,34 Mrd. l; auch für 2018 wird mit 5,38 Mrd. l keine nennenswerte Steigerung prognostiziert (USDA, 2017). Frankreich ist mit 970 Mio. l weiterhin größter Produzent vor Deutschland (950 Mio. l); danach folgen Ungarn (640 Mio. l), Belgien (560 Mio. l), die Niederlande (450 Mio. l) und Spanien (400 Mio. l) (USDA, 2017). Die deutsche Bioethanolnachfrage lag 2015 mit 1,17 Mio. t bzw. einem europaweiten Anteil von 27,2 % deutlich vor der in Frankreich (0,67 Mio. t) und Großbritannien (0,63 Mio. t) (EUROSTAT, 2017). Trotz der zuletzt verhaltenen Entwicklung wird im Zuge der weiteren Umsetzung der Er-

neuerbare-Energien-Richtlinie, die für das Jahr 2020 im Verkehrssektor 10 % erneuerbare Energien verbindlich vorschreibt, in der EU wieder mit einer zunehmenden Nachfrage nach Bioethanol gerechnet. Vor allem deutsche Bioethanol-Produzenten könnten davon profitieren, da die hohe Energieeffizienz ihrer Anlagen zu höheren Treibhausgasreduktionswerten führt und das deutsche Bioethanol wettbewerbsfähiger macht. Die Kapazitäten zur Produktion von Bioethanol belaufen sich in der EU zurzeit auf rd. 8,5 Mrd. l; sie sind zu ca. 65 % ausgelastet. Die Produktionskapazitäten wurden seit 2012 nicht signifikant erhöht (USDA, 2017, 2016).

Die Weltethanolproduktion lag 2016 bei rd. 97,6 Mrd. l. Davon entfielen auf die USA 58,0, auf Brasilien 27,61, auf Europa 5,21, auf China 3,2 und auf Kanada 1,65 Mrd. l (Abbildung 8; RFA, 2017). Vor allem die USA und Brasilien weiteten ihre Pro-

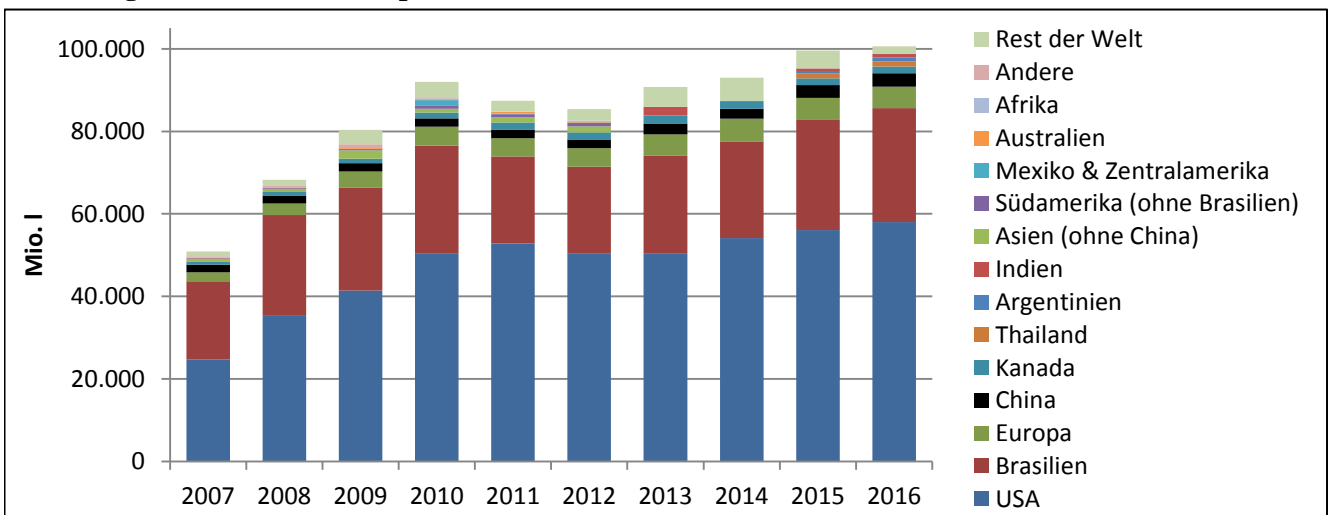
Abbildung 7. Der Ethanolmarkt in der EU



\*Prognose

Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an USDA (2017)

Abbildung 8. Globale Ethanolproduktion



Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an RFA (2017)

duktion leicht auf 58,0 bzw. 27,6 Mrd. l aus. China baute die Produktion von 3 auf 3,2 Mrd. l weiter aus und hat sich als viertgrößter Ethanolproduzent der Welt etabliert. Ferner sind im asiatischen Raum noch Thailand mit 1,21 und Indien mit rund 1 Mrd. l bedeutende Erzeugerländer (OECD-FAO, 2015).

### 4.3 Strom- und Wärmeerzeugung aus biogenen Festbrennstoffen

Bei biogenen Festbrennstoffen handelt es sich um Biomassebrennstoffe, die zum energetischen Nutzungzeitpunkt in fester Form vorliegen (FNR, 2014). Der bedeutendste biogene Festbrennstoff ist Holz, das hauptsächlich aus forst- und landwirtschaftlicher Produktion stammt, aber auch Industrie-, Verpackungs- sowie Bauholz werden in Kaskadennutzung zur Energiegewinnung genutzt. Weitere biogene Festbrennstoffe sind Olivenkernpellets, Stroh, Strohpellets sowie andere Halmgüter wie Miscanthus und Bagasse, ein Nebenprodukt der Zuckerherstellung (HARTMANN, 2005; KALTSCHMITT et al., 2016).

Zur Stromerzeugung werden biogene Festbrennstoffe in Biomassekraftwerken bzw. Biomasseheizkraftwerken verbrannt, in denen durch die thermische Energie Wasserdampf erzeugt wird, der eine Turbine zur Erzeugung elektrischer Energie antreibt. In Biomasseheizkraftwerken wird im Wege der Kraft-Wärme-Kopplung neben Strom gleichzeitig auch Wärme produziert, die als Nah-, Fern- oder Prozesswärme Verwendung findet. Bei einer Kraft-Wärme-Kopplung können aufgrund der nur geringen Abgabe ungenutzter Abwärme an die Umgebung Wirkungsgrade von bis zu 90 % erreicht werden (SCHAUMANN und SCHMITZ, 2010). In 2016 wurden durch Biomasse 8,6 % (51,6 TWh) des Bruttostromverbrauchs bereitgestellt, davon 21,3 % aus biogenen Festbrennstoffen (BBE, 2017; BMWI, 2017a; FNR, 2017c).

Im Bereich der Wärmebereitstellung ist die Bedeutung biogener Festbrennstoffe weitaus höher. 2016 wurden insgesamt 88,1 % (109,1 TWh) der Wärmebereitstellung aus regenerativen Energien durch Biomasse erzeugt; 68 % der Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien gehen auf den Einsatz biogener Festbrennstoffe zurück (FNR, 2017d; UMWELTBUNDESAMT, 2017d). In Deutschland gibt es derzeit insgesamt rund 16 Mio. Feuerstätten für Holzbrennstoffe, in denen jährlich rund 38 Mio. Festmeter Holz verbrannt werden (FNR, 2017e). Jeder vierte Haushalt in Deutschland nutzt Holz u.a. in Form von Scheitholz, Hackschnitzeln, Pellets oder Briketts, wobei selbst

gewonnenes Scheitholz aus dem Wald die größte Bedeutung besitzt. Bei den Feuerstätten handelt es sich vornehmlich um Einzelraumfeuerstätten, z.B. Kamin- oder Kachelöfen, die die Zentralheizung ergänzen. In ca. 1 Mio. Haushalte ist eine Holzzentralheizung installiert, die das gesamte Haus mit Wärme versorgt und gleichzeitig zur Brauchwassererwärmung genutzt wird (FNR, 2017e).

## 5 Zukunft der Biogasproduktion

Die Vergütung von regenerativ erzeugtem Strom regelt seit dem Jahr 2000 das EEG, welches das Stromeinspeisungsgesetz von 1990 abgelöst hat. Im EEG wurde u.a. Biogasanlagenbetreibern für 20 Kalenderjahre eine Stromabnahme zu einem festgelegten Vergütungssatz garantiert. Die ersten Pionieranlagen erreichen in absehbarer Zukunft das Ende dieses Zwanzigjahreszeitraums; damit gehen für die Anlagenbetreiber viele Unsicherheiten im Hinblick auf den Weiterbetrieb der Anlagen einher. Hinzu kam im Jahr 2017 eine Novellierung der Düngeverordnung (DüV), die in ihrer jetzigen Ausgestaltung Biogasanlagenbetreiber vor neue Herausforderungen stellt. Diese Novelle war notwendig geworden aufgrund eines Vertragsverletzungsverfahrens, das die Europäische Kommission gegen die Bundesrepublik Deutschland wegen anhaltender Verunreinigungen von Gewässern durch Nitrat und damit wegen Verletzung der Verpflichtungen aus der Nitratrichtlinie (Richtlinie 91/676/EWG des Rates) eingeleitet hat (EUROPEAN COMMISSION, 2016).

Das EEG unterlag seit dem Jahr 2000 zahlreichen Novellierungen, deren letzte im Januar 2017 in Kraft trat. Darin wurde nicht zuletzt der Abschnitt 3, der vor allem die Einspeisevergütungen regelt, grundlegend geändert. Die Vergütungssätze werden danach nicht mehr durch den Gesetzgeber vorgegeben, sondern mithilfe von Ausschreibungen ermittelt, in der sich die Stromerzeuger gegenseitig unterbieten sollen. Das BMWI (2017d) begründet diesen Schritt wie folgt: „Der weitere Ausbau der erneuerbaren Energien ist und bleibt eine tragende Säule der Energiewende. Ihr Anteil lag im Jahr 2016 nach vorläufigen Angaben bei rund 32 Prozent und soll bis zum Jahr 2025 auf 40 bis 45 Prozent steigen. Mit dem Erneuerbare-Energien-Gesetz 2014 (EEG 2014) wurden die Weichen gestellt, um die erneuerbaren Energien planbar und verlässlich auszubauen und sie fit für den Markt zu machen. Das EEG 2017 läutet nun die nächste Phase der

Energiewende ein.“ Als Argumente für die sich daraus ergebenden Vergütungskürzungen werden neben Wirtschaftlichkeits- vor allem Umweltaspekte angeführt.

Eine der wichtigsten Neuerungen des EEG 2017 mit Blick auf die Biogasproduktion ist ohne Zweifel das neue Ausschreibungsverfahren, durch das für Bestands- und Neuanlagen die künftige Förderhöhe ermittelt wird. Für Anlagen über 150 kW besteht eine Ausschreibungspflicht; die maximale Anlagengröße pro Angebot liegt bei 20 MW (§ 39 Abs. 4 EEG 2017). Das jährliche Ausschreibungsvolumen beträgt 150 MW installierte Leistung im Zeitraum von 2017 bis 2019 bzw. 200 MW von 2020 bis 2022 (§ 28 Abs. 3 EEG 2017). Dabei erhöht sich das Volumen um das im Vorjahr nicht realisierte Ausschreibungsvolumen, während es sich um die Leistung von Anlagen, die außerhalb der Ausschreibung installiert wurden, verringert. Stilllegungen oder Reduzierungen von Anlagenleistungen werden hierbei nicht berücksichtigt. § 39h Abs. 1 EEG 2017 hält fest, dass für Anlagen, die an einer Ausschreibung teilnehmen, der Deckel für den Mais- und Getreideanteil am eingesetzten Substrat aufrechterhalten wird. Der Getreidekorn- und Maisanteil darf 50 % im Jahr nicht überschreiten (ab 2019: 47 %, ab 2021: 44 %).

Für Bestandsanlagen gilt für 2017 ein Höchstwert für erzeugten Strom aus Biogas in Höhe von 16,9 ct/kWh, für Neuanlagen von 14,88 ct/kWh. Diese Werte werden ab 2018 jährlich um ein Prozent reduziert (§ 39b EEG 2017). Für Bestandsanlagen wurden darüber hinaus eine Reihe von Sonderregelungen in das EEG aufgenommen:

- Anlagen, die vor dem 01.01.2017 in Betrieb genommen wurden, dürfen freiwillig an einer Ausschreibung teilnehmen. Es besteht keine Pflicht zur Ausschreibung, wenn der EEG-Förderanspruch höchstens noch 8 Jahre besteht (§ 39f Abs. 1 EEG 2017). In diesem Fall entfällt auch die Mindestgröße für eine Ausschreibungsteilnahme.
- Als Zuschlagswert bei Bestandsanlagen mit 150 kW oder weniger installierter Leistung gilt das höchste noch bezuschlagte Gebot der Ausschreibungsrunde (auch bekannt als „uniform pricing“).
- Bei erfolgreichem Gebot kann der Anlagenbetreiber frühestens nach einem und spätestens nach drei Jahren den neuen Zahlungsanspruch geltend machen. Die neue Vergütung gilt dann für 10 Jahre (§ 39f Abs. 2 EEG 2017).
- Für eine solche Anschlussförderung ist ein Umweltgutachten erforderlich, das einen bedarfs-

orientierten Betrieb der Anlage im Sinne der Markt- und Systemintegration nachweist (§ 39f Abs. 4 EEG 2017) und ggf. eine Modernisierung älterer Bestandsanlagen notwendig macht.

Für Biogasanlagen mit einer Leistung von bis zu 150 kW besteht die Möglichkeit, eine gesetzlich festgelegte Vergütung in Höhe von 13,32 ct/kWh in Anspruch zu nehmen. Für Anlagen bis zu 500 kW sind es 11,49 ct/kWh, für Anlagen bis zu 5 MW 10,29 ct/kWh und für Anlagen bis zu 20 MW 5,71 ct/kWh (§ 42 EEG 2017). Diese Preise gelten aber nur für eine Übergangszeit und können nur von Anlagen beantragt werden, die vor dem 01.01.2017 genehmigt und vor dem 01.01.2019 gebaut wurden.

Als Folge des weitgehenden Auslaufens der festen Einspeisevergütungen und der in der Folge unsicheren wirtschaftlichen Zukunft vieler (Bestands-)Anlagen gewinnen bei der Biogastechnologie Systemdienstleistungen, z.B. das Aufrechterhalten der Netzfrequenz, die Bereitstellung von Blindleistung zur Spannungshaltung oder die Notstromlieferung bei eventuellen Stromausfällen, zunehmend an Bedeutung. In Zukunft sollen die Biogasanlagen durch Erweiterungen von Gasspeicher, BHKW und Prozessregulierung sowie eine Anpassung des Fütterungsregimes in der Lage sein, diese bislang von fossilen Stromerzeugungsanlagen bereitgestellten Systemdienstleistungen zu übernehmen (LIEBETRAU et al., 2015). Aber auch die geforderte Optimierung der Nährstoffkreisläufe in der Landwirtschaft sowie die energetisch günstige Verwertung von Bioabfällen lassen vermehrt Themen wie Effizienzsteigerung, Flexibilisierung und das Nährstoffmanagement der Gärprodukte in den Fokus der Forschung rücken (NEUMANN, 2017). Diese Entwicklung gewinnt dadurch weiter an Bedeutung, dass in der ebenfalls 2017 novellierten Düngeverordnung mit neuen Vorschriften zur Lagerung, Aufbringung und Dokumentation von Gärprodukten auch die Biogasbranche adressiert wurde. Als wichtigste Auswirkungen der neuen Düngeverordnung auf die Biogasproduktion gelten (GRUNERT, 2017; WILKEN, 2017):

- Genauere Düngebedarfsermittlung und eine Stickstoffobergrenze für organische Düngemittel (170 kg N pro ha). Bei mehr Stickstoffbedarf muss auf mineralischen Dünger zurückgegriffen werden. Dazu kommen gesenkte Stickstoff- und Phosphatbilanzgrenzen.
- Die Mindestlagerkapazität für Wirtschaftsdünger mit wesentlichem Stickstoffgehalt, die kontinuierlich im Betrieb erzeugt werden (z.B. Gülle und

Gärreste), beträgt aufgrund erweiterter Aufbringsperrfristen grundsätzlich sechs Monate. Bei mehr als drei Großvieheinheiten pro Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche oder wenn keine eigenen Aufbringflächen vorhanden sind, gelten ab 2020 sogar neun Monate Mindestlagerkapazität.

- Bei der Gärrestverwertung gelten fortan große Einschränkungen der Herbstdüngung. Dazu kommen eine vorgegebene Methodik der Düngedarfsermittlung mit ertrags- und kulturartbezogenen Stickstoffobergrenzen und verschärften Vorgaben zur Aufbringtechnik sowie erweiterte, arbeitsaufwändigere Dokumentationspflichten.

Aufgrund der Veränderungen im EEG wird nach Wegen gesucht, die Inputkosten von Biogasanlagen weiter zu senken. So hat bspw. SCHWARZ (2016) den Einsatz strohbasierter Biogaspellets als alternatives Gärsubstrat vorgeschlagen. Stroh ist preiswert, relativ beständig und in vielen Regionen reichlich verfügbar. Das Problem der störenden, sich in den Fermentern bildenden Schwimmschichten hat er durch die Beisetzung von Natronlauge beim Pelletieren gelöst. Die so erzeugten Pellets sind gut zu verarbeiten, zu lagern und zu dosieren. Durch die besondere Behandlung sollen bis zu 40 % mehr Gasausbeute aus dem Stroh möglich sein (FRAUNHOFER IKTS, 2018). Neben Stroh sind auch Feststoffe aus der Gülleseparation verstärkt in die Diskussion eingebracht worden (KRÖGER et al., 2014; KRÖGER et al., 2016b).

In dieser Phase der Neuorientierung u.a. der Biogasproduktion ist der Begriff der „Smart Bioenergy“ geprägt worden (THRÄN, 2015). Darunter wird die Weiterentwicklung von modernen Biomassennutzungssystemen hin zu integrierten Systemen verstanden, in denen zum einen verschiedene regenerative Energiequellen intelligent miteinander vernetzt sind und zum anderen eine Kopplung dieser Quellen mit der stofflich-energetischen Nutzung im Rahmen der Bioökonomie besteht. Dieses Konzept umfasst nach DBFZ (2018) drei wesentliche Komponenten: die Nutzung nachhaltiger Rohstoffe, die Weiterentwicklung smarter Technologien und die Integration in künftige Konzepte der Bioökonomie. Das Entwicklungsziel ist es dabei, dass flexibel steuerbare, kleinere energieeinspeisende Einheiten zuverlässig und intelligent vernetzt betrieben werden können – ganz im Sinne des Konzepts der Industrie 4.0 (BMBF, 2013). So soll dem Umbruch in der Branche begegnet und eine dezentrale, aus erneuerbaren Quellen gespeiste Energieversorgung in Deutschland ermöglicht werden. Da

diese Energiequellen aber größtenteils von fluktuierenden Umweltfaktoren abhängig sind, ist die mit dem EEG in Angriff genommene Flexibilisierung der Biogasanlagen ein wichtiger Schritt hin zur „Smart Bioenergy“. Denn flexible Anlagen sollen zukünftig immer dann zum Tragen kommen, wenn andere regenerative Energiequellen, wie Wind und Sonne, nicht in ausreichendem Maße zur Verfügung stehen (DOTZAUER et al., 2015). Dafür werden die Biogasanlagen um zusätzliche Gasspeicher erweitert, die kurzfristige Lastgangschwankungen ausgleichen können. Für saisonale Schwankungen bedarf es nach CASARETTO et al. (2013) einer zusätzlichen Aufbereitung des Biogases zu Biomethan für das Erdgasnetz.

Für die weitere Entwicklung der Biogasbranche ist neben den politischen Rahmenbedingungen auch der gesellschaftliche Rückhalt von großer Bedeutung. In der öffentlichen Diskussion dominierten in den letzten Jahren Begriffe wie „Vermaisung der Landschaft“, „Gülletourismus“ und „Tank oder Teller“, die zu einem erheblichen Akzeptanzverlust und zu Verschlechterungen der politischen Rahmenbedingungen für die Biogasproduktion beigetragen haben (ZSCHACHE et al., 2010; LINHART und DUNGEL, 2013; DBFZ, 2016). Diese sehr pauschale Diskussion übersieht aber vielfach regionale Unterschiede, etwa im Hinblick auf die Bedeutung des Maisanbaus, verkennet die erheblichen CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale, beispielsweise des Einsatzes von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen in Ackerbauregionen (GUENTHER-LÜBBERS et al., 2015), und ignoriert den bedeutsamen Beitrag der Biogasproduktion zur Wertschöpfung in ländlichen Räumen (DBFZ, 2016; GUENTHER-LÜBBERS und THEUVSEN, 2015; GUENTHER-LÜBBERS et al., 2016). Es besteht demnach – wie in der gesamten Landwirtschaft (HELMLE, 2011) – ein Kommunikations- und Rezeptionsproblem, welchem mit dem Ziel einer erfolgreichen Zukunft der Biogaserzeugung begegnet werden muss.

Die Bundesregierung hat eine schrittweise Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energiequellen an der Gesamtstromerzeugung beschlossen, der bis zum Jahr 2050 mindestens 80 % betragen soll (§ 1 Abs. 2 EEG 2017). Ganz ohne Biogas wird dieses ambitionierte Ziel nicht zu bewerkstelligen sein, wenngleich der Anlagenneubau durch die neue Ausschreibungspraxis des EEG 2017 zunächst einmal weiter ausgebremst worden ist und die novellierte Düngerverordnung die Anlagenbetreiber vor neue Herausforderungen stellt.

## Literatur

- AGEB (Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.) (2017): Bruttostromerzeugung in Deutschland ab 1990 nach Energieträgern. In: <https://www.ag-energiebilanzen.de/>, Abruf: 06.12.2017.
- AMI (Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH) (2016): Biodiesel weiterhin kaum konkurrenzfähig gegenüber Diesel. In: <https://www.ami-informiert.de/ami-maerkte/maerkte/ami-pflanzenbau/ami-meldungen-pflanzenbau/meldungen-single-ansicht/article/biodiesel-weiterhin-kaum-konkurrenzfaehig-gegenueber-diesel.html>, Abruf: 13.12.2017.
- BBE (Bundesverband Bioenergie) (2017): Strom. In: <https://www.bioenergie.de/themen/strom>, Abruf: 08.12.2017.
- BBE (Bundesverband Bioenergie), DBV (Deutscher Bauernverband), FvB (Fachverband Biogas) und FVH (Fachverband Holzenergie) (2017): Bundesregierung muss EEG-Ausschreibungen nachbessern. In: <https://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/de-bundesregierung-muss-bei-eeg-ausschreibungen-nachbessern->, Abruf: 18.12.2017.
- BDBE (Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft e.V.) (2017): Die deutsche Bioethanolwirtschaft in Zahlen. In: <https://www.bdbe.de/daten/marktdaten-deutschland>, Abruf: 20.12.2017.
- BERNHARDT, D. (2008): In den Tank oder auf den Teller?. Der kritische Agrarbericht 2008. In: <http://www.kritischer-agrarbericht.de/fileadmin/Daten-KAB/KAB-2008/Bernhardt.pdf>, Abruf: 16.10.2017.
- BIMSCHG (2014): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge. In: <https://www.gesetze-im-internet.de/bimschg/>, Abruf: 21.12.2017.
- BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) (2013): Zukunftsbild „Industrie 4.0“. In: [https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKEwi-1KLTxcjYAhVnKVAKHZuBBXgQFggyMAE&url=https%3A%2F%2Fwww.bmbf.de%2Fpub%2FZukunftsbild\\_Industrie\\_4.0.pdf&usq=AOvVaw0YqP8S8aOcZdKx7MlcySqK](https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKEwi-1KLTxcjYAhVnKVAKHZuBBXgQFggyMAE&url=https%3A%2F%2Fwww.bmbf.de%2Fpub%2FZukunftsbild_Industrie_4.0.pdf&usq=AOvVaw0YqP8S8aOcZdKx7MlcySqK), Abruf: 08.01.2018.
- BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft) (2016): Der Wald in Deutschland – Ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur. 2. Auflage. Berlin.
- (2017a): Waldbericht der Bundesregierung 2017. Bonn.
- (2017b): Holzmarktbericht 2016 – Abschlussergebnisse für die Forst- und Holzwirtschaft des Wirtschaftsjahres 2016. Bonn.
- BMJV (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz) (2017a): Energiesteuergesetz. In: <https://www.gesetze-im-internet.de/energiestg/>, Abruf: 13.12.2017.
- (2017b): Bundeswaldgesetz. In: <http://www.gesetze-im-internet.de/bwaldg/>, Abruf: 17.12.2017.
- (2017c): Bundesnaturschutzgesetz. In: [https://www.gesetze-im-internet.de/bnatschg\\_2009/](https://www.gesetze-im-internet.de/bnatschg_2009/), Abruf: 17.12.2017.
- BMWl (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) (2017a): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. In: [http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare\\_Energien\\_in\\_Zahlen/Zeitreihen/zeitreihen.html](http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/Zeitreihen/zeitreihen.html), Abruf: 06.12.2017.
- (2017b): Erneuerbare Energien in Deutschland: Das Wichtigste im Jahr 2016 auf einen Blick. In: [https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/entwicklung\\_der\\_erneuerbaren\\_energien\\_in\\_deutschdeutschvorlage.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/entwicklung_der_erneuerbaren_energien_in_deutschdeutschvorlage.pdf?__blob=publicationFile&v=6), Abruf: 06.12.2017.
- (2017c): Erneuerbare Energien in Zahlen: Nationale und internationale Entwicklung im Jahr 2016. Berlin.
- (2017d): Die nächste Phase der Energiewende: Das EEG 2017. In: <https://www.bmw.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/eeg-2017-start-in-die-naechste-phase-der-energie-wende.html>, Abruf: 20.12.2017.
- BOLTE, A., J. BÖRNER, N. BRÄSICKE, B. DEGEN, M. DIETER, B. SAAKE und B.U. SCHNEIDER (2016): Perspektiven der Forst- und Holzwirtschaft in Deutschland. In: [http://biooekonomierat.de/fileadmin/Publikationen/berichte/Hintergrundpapier\\_Forstwirtschaft\\_280416\\_\\_final.pdf](http://biooekonomierat.de/fileadmin/Publikationen/berichte/Hintergrundpapier_Forstwirtschaft_280416__final.pdf), Abruf: 01.02.2018.
- BUNDESNETZAGENTUR (2017): Gebotstermin 1. September 2017. In: [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen\\_Institutionen/Ausschreibungen/Biomasse/Gebotstermin\\_01\\_09\\_2017/gebotstermin\\_2017\\_node.html;jsessionid=FB8A130A648053FFD0DBFC0B7EF7EAB1#doc727830bodyText3](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Ausschreibungen/Biomasse/Gebotstermin_01_09_2017/gebotstermin_2017_node.html;jsessionid=FB8A130A648053FFD0DBFC0B7EF7EAB1#doc727830bodyText3), Abruf: 18.12.2017.
- BUNZEL, K., D. THRÄN, U. SEYFERT, V. ZELLER und M. BUCHHORN (2011): Forstwirtschaftliche Biomassepotenziale und Rohstoffpotenziale in Deutschland. In: BBSR und BBR (Hrsg.): Biomasse: Perspektiven räumlicher Entwicklung 5/6: 297-308.
- CASARETTO, R., U. HOLZHAMMER, T. KRAUSE und M. PAPROTH (2013): Biogas macht PV im Sommer Platz. In: *Biogasjournal* 1 (1/2013): 64-69.
- DBFZ (Deutsches Biomasseforschungszentrum) (2015): Potenziale biogener Rest- und Abfallstoffe für eine nachhaltige Energie- und Rohstoffbereitstellung. Presseinformation vom 09.09.2015.
- (2016): DBFZ-Jahrestagung 2016: Smart Bioenergy – Wie sieht die Zukunft der Bioenergie aus? In: [https://www.dbfz.de/fileadmin/user\\_upload/Referenzen/Schriftenreihen/Tagungsband/DBFZ\\_Jahrestagung\\_2016.pdf](https://www.dbfz.de/fileadmin/user_upload/Referenzen/Schriftenreihen/Tagungsband/DBFZ_Jahrestagung_2016.pdf), Abruf: 20.12.2017.
- (2018): Die Rolle der Bioenergie in der Energiewende – das „Smart Bioenergy“-Konzept. In: <https://www.dbfz.de/aktuelles/feature/smart-bioenergy.html>, Abruf: 08.01.2018.
- DBV (Deutscher Bauernverband) (2018): Klimastrategie 2.0 des Deutschen Bauernverbandes von 2018. In: *Agrar-Europa* vom 22.01.18, Dokumentation: 1-25.
- DOTZAUER, M., K. NAUMANN, E. BILLIG und D. THRÄN (2015): Demand for flexible provision of bioenergy carriers: An overview of the different sectors in Germany. In: Thrän, D. (Hrsg.): *Smart Bioenergy. Technologies and concepts for a more flexible bioenergy provision in future energy systems*. Springer, Heidelberg: 11-32.
- EUROPÄISCHES PARLAMENT (2009): Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung und Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen. Richtlinie 2009/28/EG, Amtsblatt L 140/16. Brüssel.

- EUROPEAN COMMISSION (2016): Wasser: Kommission verklagt Deutschland vor dem Gerichtshof der EU wegen Gewässerunreinigung durch Nitrat. In: [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-16-1453\\_de.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-16-1453_de.htm).
- EUROSTAT (2017): Versorgung, Umwandlung, Verbrauch - erneuerbare Energien. Jährliche Daten, nrg\_107a. In: <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do>, Abruf: 20.05.2017.
- FNR (Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe) (2014): Leitfaden Bioenergie. Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. Gülzow.
- (2015): Biomassepotenziale von Rest- und Abfallstoffen. Status quo in Deutschland. Gülzow.
  - (2017a): Maisanbau in Deutschland. In: <https://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/bioenergie/biogas/maisanbau-in-deutschland.html>, Abruf: 13.12.2017.
  - (2017b): Energiesteuergesetz (EnergieStG). In: <https://bioenergie.fnr.de/rahmenbedingungen/gesetze-verordnungen-richtlinien/gesetzeslage/energiesteuergesetz/>, Abruf: 13.12.2017.
  - (2017c): Stromerzeugung aus Biomasse. In: <https://mediathek.fnr.de/stromerzeugung-aus-biomasse.html>, Abruf: 08.12.2017.
  - (2017d): Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien. In: <https://mediathek.fnr.de/waermebereitstellung-aus-erneuerbaren-energien.html>, Abruf: 08.12.2017.
  - (2017e): Festbrennstoffe: Feste Bioenergieträger. In: <https://bioenergie.fnr.de/bioenergie/festbrennstoffe/>, Abruf: 11.12.2017).
  - (2017f): Basisdaten Bioenergie Deutschland 2017. Gülzow.
  - (2017g): Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland. In: <https://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten.html>, Abruf: 01.02.2018.
- FRAUNHOFER IKTS (2018): IKTS-Forscher erhält Biogas-Innovationspreis für die Entwicklung von Biogaspellets. In: [https://www.ikts.fraunhofer.de/de/press\\_media/press\\_releases/2016\\_05\\_biogas-innovationspreis.html](https://www.ikts.fraunhofer.de/de/press_media/press_releases/2016_05_biogas-innovationspreis.html), Abruf: 08.01.2018.
- FvB (Fachverband Biogas e.V.) (2017): Branchenzahlen 2015 und Prognose der Branchenentwicklung 2016. Stand: Juli 2016. In: [https://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE\\_Branchenzahlen/\\$file/17-11-29\\_Biogas\\_Branchenzahlen-2016\\_Prognose-2017.pdf](https://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/$file/17-11-29_Biogas_Branchenzahlen-2016_Prognose-2017.pdf), Abruf: 12.12.2017.
- GAIDA, B., I. SCHÜTTMANN, H. ZORN und B. MAHRO (2013): Bestandsaufnahme zum biogenen Reststoffpotential der deutschen Lebensmittel- und Biotechnik-Industrie. Schlussbericht zum Forschungsvorhaben der Hochschule Bremen und der Universität Gießen. BMELV, Berlin.
- GRUNERT, M. (2017): Was bringt die novellierte Düngeverordnung für das Themenfeld Biogas? Vortrag im Rahmen Sächsischen Biogastagung, 19.10.2017, Nossen.
- GUENTHER-LÜBBERS, W., A. DIEKMANN und L. THEUVSEN (2014a): Rechtliche und ökonomische Aspekte des Einsatzes von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen – Eine Szenarioanalyse. In: Guenther-Lübbbers, W., R. Kröger und L. Theuvsen (Hrsg.): Nährstoffmanagement von Wirtschaftsdüngern und Gärresten. Ökonomie, Ökologie, Technik und Logistik. Cuvillier Verlag, Göttingen: 81-103.
- GUENTHER-LÜBBERS, W., R. KRÖGER und L. THEUVSEN (Hrsg.) (2014b): Nährstoffmanagement von Wirtschaftsdüngern und Gärresten. Ökonomie, Ökologie, Technik und Logistik. Cuvillier Verlag, Göttingen.
- GUENTHER-LÜBBERS, W. und L. THEUVSEN (2015): Regionalwirtschaftliche Effekte der Biogasproduktion: Eine Analyse am Beispiel Niedersachsens. In: Berichte über Landwirtschaft 93 (2): 1-21.
- GUENTHER-LÜBBERS, W., M. GARBS, H.-J. BRAUCKMANN, J. GELDERMANN, G. BROLL und L. THEUVSEN (2015): Nachhaltige Biomassenutzung in Biogasanlagen auf der Grundlage der Wirtschaftsdüngerpotenziale in Niedersachsen – „Bauernhof Niedersachsen“. In: [https://www.3-n.info/media/4\\_Downloads/pdf\\_WssnSrc\\_Srvc\\_Biogas\\_AbschlussberichtBauernhofNds1502.pdf](https://www.3-n.info/media/4_Downloads/pdf_WssnSrc_Srvc_Biogas_AbschlussberichtBauernhofNds1502.pdf), Abruf: 01.02.2018.
- GUENTHER-LÜBBERS, W., H. BERGMANN und L. THEUVSEN (2016): Potential Analysis of the Biogas Production – as measured by Effects of Added Value and Employment Potential. In: Journal of Cleaner Production 129: 556-564.
- HARTMANN, H. (2005): Produktion, Bereitstellung und Eigenschaften biogener Festbrennstoffe. In: FNR (Hrsg.): Leitfaden Bioenergie. Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. Gülzow: 52-90.
- HELMLE, S. (2011): Nah und doch entfernt? Strukturgleichungsmodell zum Image der Landwirtschaft. In: Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues 45: 495-496.
- HOLZHAMMER, U., B. KRAUTKREMER, M. NELLES und F. SCHOLWIN (2015): Stand und zukünftige Chancen der steuerbaren Biogasanlagen. In: KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.) (Hrsg.): Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven. FNR/KTBL-Kongress, 22. bis 23. September 2015, Potsdam: 42-52.
- IRENA (International Renewable Energy Agency) (2017): Renewable Energy and Jobs: Annual Review 2017. Abu Dhabi.
- KALTSCHMITT, M., D. THRÄN und J. PONITKA (2010): Holz als Energieträger – Möglichkeiten und Grenzen im Kontext von globalen Entwicklungen. In: Forst und Holz 12/2010: 18-25.
- KALTSCHMITT, M., H. HARTMANN und H. HOFBAUER (2016): Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. 3. Auflage. Springer, Heidelberg.
- KRÖGER, R. (2016): Gülleseparation und Güllefeststoffvergärung: Akzeptanz und Wirtschaftlichkeit. Cuvillier Verlag, Göttingen.
- KRÖGER, R., L. THEUVSEN und J.R. KONERDING (2014): Güllefeststoffe als Gärsubstrat für Biogasanlagen – Ergebnisse einer empirischen Erhebung unter Biogasanlagenbetreibern. In: Berichte über Landwirtschaft 92 (3): 1-19.
- KRÖGER, R., W. GUENTHER-LÜBBERS und L. THEUVSEN (2016a): Güllefeststoffvergärung in Biogasanlagen: Ein Beitrag zur Verminderung regionaler Nährstoffüberschüsse? In: Berichte über Landwirtschaft 94 (1): 1-17.
- KRÖGER, R., J. R. KONERDING und L. THEUVSEN (2016b): Identifikation von Einflussfaktoren auf die Nutzung von Güllefeststoffen als Gärsubstrat in Biogasanlagen. In: German Journal of Agricultural Economics 65 (2): 112-131.

- LANGENBERG, J., L. DRITTLER, T. VON BIERBRAUER, C. SCHAPER und L. THEUVSEN (2017): Der Markt für Bioenergie. In: *German Journal of Agricultural Economics* 66 (Supplement): 107-125.
- LIEBETRAU, J., J. DANIEL-GROMKE und F. JACOBI (2015): Flexible power generation from biogas. In: Thrän, D. (Hrsg.): *Smart Bioenergy. Technologies and concepts for a more flexible bioenergy provision in future energy systems*. Springer, Heidelberg: 67-82.
- LINHARD, E. und A.K. DHUNGEL (2013): Das Thema Vermaischung im öffentlichen Diskurs. In: *Berichte über Landwirtschaft* 91 (2).
- MCKINSEY & COMPANY (2007): *Kosten und Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland*, Berlin. In: [https://bdi.eu/media/presse/publikationen/Publikation\\_Kosten\\_und\\_Potenziale\\_der\\_Vermeidung\\_von\\_Treibhausgasemissionen\\_in\\_Deutschland.pdf](https://bdi.eu/media/presse/publikationen/Publikation_Kosten_und_Potenziale_der_Vermeidung_von_Treibhausgasemissionen_in_Deutschland.pdf), Abruf: 20.12.2017.
- MÜHLENHOFF, J. (2013): *Reststoffe für Bioenergie nutzen – Potentiale, Mobilisierung und Umweltbilanz*. Agentur für Erneuerbare Energien, Berlin.
- MÜHLENHOFF, J. und B. DANNEMANN (2017): *Biogene Test- und Abfallstoffe. Flexibler Baustein der Energiewende*. In: AEE (Agentur für Erneuerbare Energien): *Renews Spezial* 81.
- MÜLLER, M.C.M. und G. WAGENER-LOHSE (Hrsg.) (2017): *Nachhaltiges Energiesystem: Welche Bioenergie brauchen wir?* Evangelische Akademie Loccum, Rehburg-Loccum.
- NEUMANN, H. (2017): *Biogasbranche bereit für die Neuorientierung*. In: <https://www.topagrar.com/news/Energie-Energieneuws-Biogasbranche-bereit-fuer-die-Neuorientierung-8947299.html>, Abruf: 08.01.2018.
- NITSCH, J. (2017): *Notwendige Zielsetzungen für ein nachhaltiges Energiesystem und möglicher Beitrag der Biomasse*. In: Müller, M.C.M. und G. Wagener-Lohse (Hrsg.): *Nachhaltiges Energiesystem: Welche Bioenergie brauchen wir?* Evangelische Akademie Loccum, Rehburg-Loccum: 13-31.
- OECD-FAO (2015): *Agricultural Outlook 2015-2025*. In: <http://www.fao.org/3/a-i4738e.pdf>, Abruf: 12.12.2017.
- PUTTKAMMER, J. und H. GRETHE (2015): *The public debate on biofuels in Germany: Who drives the discourse?* In: *German Journal of Agricultural Economics, Special Issue: The Political Economy of the Bioeconomy* 64 (4): 263-273.
- REITER, G. und J. LINDORFER (2015): *Global warming potential of hydrogen and methane production from renewable electricity via power-to-gas technology*. In: *The International Journal of Life Cycle Assessment* 20 (4): 477-489.
- REINHOLD, G. (2014): *Standpunkt zur Vergärung von Stroh in landwirtschaftlichen Biogasanlagen*. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena.
- REN21 (2017): *Renewables 2017 Global Status Report*. Paris.
- RFA (Renewable Fuels Association) (2017): *World Fuel Ethanol Production*. In: <http://www.ethanolrfa.org/resources/industry/statistics/#1454099103927-61e598f7-7643>, Abruf: 09.12.2017.
- RUPPERT, H. und J. IBENDORF (Hrsg.) (2017): *Bioenergie im Spannungsfeld. Wege zu einer nachhaltigen Bioenergieversorgung*. Universitätsverlag, Göttingen.
- SCHAUMANN, G. und K.W. SCHMITZ (2010): *Kraft-Wärme-Kopplung*. 4. Auflage. Springer, Berlin.
- SCHRÖER, S. (2010): *Das Erneuerbare-Energien-Gesetz: Förderungspolitik am Scheideweg*. In: *Wirtschaftsdienst* 90 (10): 656-660.
- SCHWARZ, B. (2016): *Endbericht – Entwicklung einer hoch-effizienten Prozesskette zur Effizienzsteigerung bei der Vergärung von Geflügelmist unter Nutzung modifizierter Strohfraktionen und mit prozessintegrierter Gewinnung marktfähigen Düngers (EFFIGEST)*. In: [https://www.energetische-biomassenutzung.de/fileadmin/Steckbriefe/dokumente/03KB081B-D\\_Effigest\\_Schlussbericht\\_TIB.pdf](https://www.energetische-biomassenutzung.de/fileadmin/Steckbriefe/dokumente/03KB081B-D_Effigest_Schlussbericht_TIB.pdf), Abruf: 08.01.2018.
- STATISTA (2017a): *Anzahl der Beschäftigten im Sektor Erneuerbare Energien nach Bereichen in Deutschland im Jahresvergleich 2004 und 2015*. In: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/186954/umfrage/beschaeftigte-im-bereich-der-erneuerbaren-energien-nach-branchen/>, Abruf: 07.12.2017.
- (2017b): *Landwirtschaftliche Nutzfläche in Deutschland in den Jahren 1949 bis 2016 (in 1.000 Hektar)*. In: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/206250/umfrage/landwirtschaftliche-nutzflaeche-in-deutschland/>, Abruf: 13.12.2017.
- (2017c): *Fläche der deutschen Bundesländer (in Quadratkilometern) zum 31.Dezember 2015*. In: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/154868/umfrage/flaeche-der-deutschen-bundeslaender/>, Abruf: 13.12.2017.
- (2017d): *Biokraftstoffstatistiken*. In: <http://de.statista.com/>, Abruf 20.12.2017.
- THRÄN, D. (2015): *Smart Bioenergy – Technologies and concepts for a more flexible bioenergy provision in future systems*. Springer, Berlin.
- UMWELTBUNDESAMT (2013): *Und sie erwärmt sich doch – Was steckt hinter der Debatte um den Klimawandel?* In: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/sie-erwaermt-sich-doch-was-steckt-hinter-debatte-um>, Abruf: 20.12.2017.
- (2017a): *Primärenergieverbrauch*. In: [www.umweltbundesamt.de/daten/energie/primaeernergieverbrauch#textpart-2](http://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/primaeernergieverbrauch#textpart-2), Abruf: 06.12.2017.
- (2017b): *Energieproduktivität*. In: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieproduktivitaet#textpart-3>, Abruf 06.12.2017.
- (2017c): *Erneuerbare Energien in Deutschland: Daten zur Entwicklung im Jahr 2016*. Dessau-Roßlau.
- (2017d): *Erneuerbare Energien in Zahlen*. In: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#waerme>, Abruf: 08.12.2017.
- USDA (U.S. Department of Agriculture) (2016): *Gain Report. EU Biofuels Annual 2016*. Nr. NL6021. In: [https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual\\_-The%20Hague\\_EU-28\\_6-29-2016.pdf](https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual_-The%20Hague_EU-28_6-29-2016.pdf), Abruf: 20.12.2017.
- (2017): *Gain Report. EU Biofuels Annual 2017*. Nr. NL7015. In: [https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual\\_The%20Hague\\_EU-28\\_6-19-2017.pdf](https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual_The%20Hague_EU-28_6-19-2017.pdf), Abruf: 20.12.2017.
- VDB (Verband der deutschen Biokraftstoffindustrie) (2017): *Biodiesel*. In: <http://www.biokraftstoffverband.de/index.php/biodiesel.html>, Abruf 20.12.2017.



- VOHRER, P. (2017): Beitrag der Bioenergie für die regionale Energieversorgung. In: Müller, M.C.M. und G. Wagener-Lohse (Hrsg.): Nachhaltiges Energiesystem: Welche Bioenergie brauchen wir? Evangelische Akademie Loccum, Rehburg-Loccum: 57-71.
- WAGENER-LOHSE, G. (2017): Nachhaltiges Energiesystem: Welche Bioenergie brauchen wir? In: Müller, M.C.M. und G. Wagener-Lohse (Hrsg.): Nachhaltiges Energiesystem: Welche Bioenergie brauchen wir? Evangelische Akademie Loccum, Rehburg-Loccum: 33-55.
- WELLNER, M. und L. THEUVSEN (2017): Klimaschutz durch Biogasanlagen. In: KTBL (Hrsg.): Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven. KTBL, Darmstadt: 427-429.
- WILKEN, D. (2017): Neue Düngeverordnung und AwSV: Auswirkungen für Biogasanlagen. Vortrag im Rahmen des Biogasseminars, 16.02.2017, Wittlich.
- WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT AGRARPOLITIK (2007): Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung. Empfehlungen an die Politik. In: [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Ministerium/Beiraete/Agrarpolitik/GutachtenWBA.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Ministerium/Beiraete/Agrarpolitik/GutachtenWBA.pdf?__blob=publicationFile), Abruf: 20.12.2017.
- ZEDDIES, J und N. SCHÖNLEBER (2016): Auswirkungen politischer Beschlüsse auf Biokraftstoffe und Rohstoffmärkte. Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen, Berlin.
- ZSCHACHE, U., S. VON CRAMON-TAUBADEL und L. THEUVSEN (2010): Öffentliche Deutungen im Bioenergiediskurs. In: Berichte über Landwirtschaft 88 (3): 502-512.

Kontaktautor:

**PROF. DR. LUDWIG THEUVSEN**

Georg-August-Universität Göttingen

Department für Agrarökonomie und Rural Entwicklung

Platz der Göttinger Sieben 5, 37073 Göttingen

E-Mail: [theuvsen@uni-goettingen.de](mailto:theuvsen@uni-goettingen.de)