

Rübcke von Veltheim, Friedrich; Deutsch, Maximilian; Beer, Lara; Schaper, Christian; Otter, Verena

Article

Der Markt für Bioenergie

German Journal of Agricultural Economics (GJAE)

Provided in Cooperation with:

Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V. (GEWISOLA)

Suggested Citation: Rübcke von Veltheim, Friedrich; Deutsch, Maximilian; Beer, Lara; Schaper, Christian; Otter, Verena (2019) : Der Markt für Bioenergie, German Journal of Agricultural Economics (GJAE), ISSN 2191-4028, Deutscher Fachverlag, Frankfurt a. M., Vol. 68, Iss. Supplement, pp. 131-148,
<https://doi.org/10.52825/gjae.v68iSupplement.2120>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/305051>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

Der Markt für Bioenergie

Friedrich Rübcke von Veltheim, Maximilian Deutsch, Lara Beer, Christian Schaper und Verena Otter
Georg-August-Universität Göttingen

1 Einleitung

Die Extremwetterereignisse des vergangenen Jahres, vor allem aber die Dürre in den Sommermonaten 2018, haben die gesellschaftliche und politische Diskussion rund um den Klimawandel und seine Auswirkungen nicht nur innerhalb Deutschlands stark angeheizt (z.B. BMU, 2018; DIE ZEIT, 2018; SÜDDEUTSCHE ZEITUNG, 2018; SPIEGEL ONLINE, 2018). Während viele Wirtschaftszweige mit starken Engpässen im Gütertransport zu Wasser fertig werden mussten, hatte die deutsche Landwirtschaft durch die extremen Wetterbedingungen erhebliche, regional stark unterschiedliche Ertragseinbußen zu verzeichnen, sowohl bei Grünland als auch bei vielen Feldfrüchten wie Winterweizen, Wintergerste, Roggen, Mais und Raps (BMEL, 2018). Der volkswirtschaftliche Schaden, der durch die Dürre im Sommer 2018 in Deutschland entstanden ist, wird auf mehrere Milliarden Euro geschätzt (WELT, 2018). Laut einer Studie des Thünen-Instituts aus dem Jahr 2015 ist auch zukünftig mit einem verstärkten Auftreten von extremen Wetterbedingungen zu rechnen. So prognostizieren GÖMANN et al. (2015) einen weiteren Anstieg an Hitze- und extrem trockenen Sommertagen, aber auch eine 50 bis 100 %ige Zunahme an Starkregen in den Wintermonaten bis zum Jahr 2100.

Da der Hauptanteil der globalen Treibhausgasemissionen und somit auch das „Global Warming Potential“ auf fossile Brennstoffe zurückzuführen ist, erhalten erneuerbare Energie nun noch stärkere Aufmerksamkeit (IPCC, 2014; KEMFERT, 2018). Denn Schätzungen zufolge sind die 80 bis 95 %ige Reduzierung der Treibhausgasemissionen, die zur Abwendung der Auswirkungen des Klimawandels bis 2050 erforderlich wären, nur durch eine konsequente Dekarbonisierung möglich. Deshalb beinhalten die Klimaziele der EU und Deutschlands, welche vor dem Hintergrund der Weltklimakonferenz 2015 in Paris gesteckt worden sind, sowohl eine Verringerung der Treibhausgasemissionen als auch eine Steigerung des Erneuerbare-Energien-Anteils am Bruttoendenergieverbrauch (BMU, 2018a; KEMFERT, 2018). Die Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) 2016/2017 sollte zur Erreichung der deutschen Ziele,

die kurzfristig wesentlich höher angesetzt sind als die der EU, beitragen, indem es die Förderung durch Ausschreibungsverfahren marktwirtschaftlicher gestaltet (BMWl, 2018). Dabei minderte es, wie bereits die Novellierungen 2012 und 2014, die relative Vorzugsbehandlung von Biogasanlagen in der Förderung, die während der „Tank oder Teller“-Debatte zunehmend in der Kritik standen, zugunsten von Photovoltaik- und Windanlagen. Auch durch die Konkurrenz zu solchen regenerativen Energien befindet sich die Bioenergiebranche seit einigen Jahren im Schrumpfungsprozess, der ihr in der Energiewende inzwischen nur noch die Nebenrolle der Flexibilisierung zuweist (REITER und LINDORFER, 2015; NITSCH, 2017; LANGENBERG et al., 2017). Dies wird auch an den Statistiken des Jahres 2017 deutlich, die, analog zur internationalen Entwicklung, ein besonders großes Investitionswachstum bei den regenerativen Energien Wind und Licht zeigen (BMWl, 2018a; BMWl, 2018c). Auch die Landwirte haben im Jahr 2017 mehr Investitionen in Windkraft- und Photovoltaikanlagen geplant als im Vorjahr. Bei den Photovoltaikanlagen geht der Trend dabei hin zu Dachanlagen, die Solarenergie für den Eigenverbrauch liefern (BAYERISCHES LANDWIRTSCHAFTLICHES WOCHENBLATT, 2017). Freiflächenanlagen waren für die Landwirte von geringerer Attraktivität, da sie bis dato nicht im EEG berücksichtigt und deshalb mit dem Wegfall des Anspruchs auf Agrarsubventionen bei landwirtschaftlichen Flächen verbunden waren. Auch sind Freiflächen-Photovoltaikanlagen mit einem gewissen Flächenverzehr verbunden, der die detaillierte Betrachtung neuer Entwicklungsansätze innovativer, ressourceneffizienter Konzepte zur Doppelnutzung des knappen Faktors Boden, wie z.B. Agrophotovoltaik, dringend erforderlich macht (TROMMSDORF, 2018).

2 Erneuerbare Energien im Energiemix

Der Primärenergieverbrauch (PEV) gilt als Maß für alle im Inland eingesetzten (Primär-) Energieträger, wie bspw. Braun- und Steinkohle, Mineralöl und Erdgas. Im Jahr 2017 lag der PEV in Deutschland mit

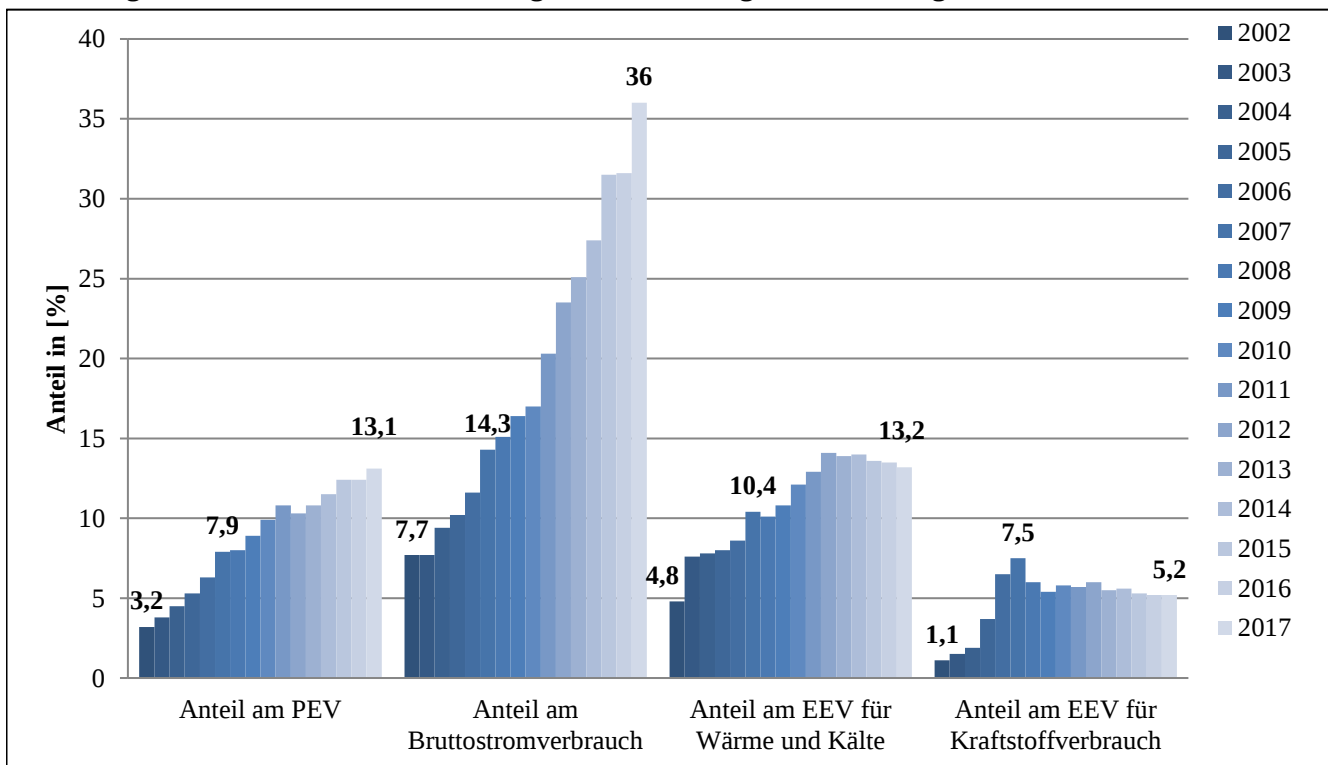
etwa 13,6 Exajoule wieder auf dem Niveau von 2011, was einer PEV-Steigerung von etwa 3 % innerhalb der letzten drei Jahre gleichkommt. Auch wenn der Anteil der erneuerbaren Energien 2017 mit 13 % (1.773 Petajoule) über dem von 2011 (11 % - 1.463 Petajoule) lag und sich im Vergleich zum Vorjahr (2016: 1.671 Petajoule) abermals gesteigert hat, erscheint die Erreichung des Ziels der Bundesregierung, den PEV von 2008 bis 2020 um 20 % und bis 2050 sogar um 50 % zu senken, immer weniger wahrscheinlich (STATISTA, 2018; UMWELTBUNDESAMT, 2018). So war von 2008 bis 2017 lediglich ein Rückgang des PEV um etwa 6 % zu verzeichnen (UMWELTBUNDESAMT, 2018). Im Zeitraum von 1990 bis 2017 kam es neben der Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien am PEV und einem Rückgang des Braunkohleeinsatzes von etwa 50 % zu einer beträchtlichen Erhöhung des Gasverbrauches (1990: 2.304 Petajoule (15 % des PEV); 2017: 3.242 Petajoule (24 % des PEV)). Die Mineralöle machen mit etwa 35 % nach wie vor den größten Anteil am PEV aus (UMWELTBUNDESAMT, 2018).

Betrachtet man die jeweiligen Anteile erneuerbarer Energien an der Energiebereitstellung in Deutschland, wird zunächst die hohe Diskrepanz zwischen den einzelnen Bereichen Strom, Wärme (und Kälte) sowie Kraftstoffverbrauch deutlich (Abbildung 1).

Den mit Abstand größten Anteil machen die erneuerbaren Energien beim Stromverbrauch aus. Verglichen mit 2015 (31,5 %) und 2016 (31,6 %), kam es im Jahr 2017 zu einer deutlichen Steigerung der erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch auf 36,2 % (STATISTA, 2018c). Somit rangieren die erneuerbaren Energien mit 217 TWh, deutlich vor Braunkohle (2017: 148 TWh) und Kernenergie (2017: 94 TWh), weiterhin auf dem ersten Platz der Bruttostromerzeugung in Deutschland (UMWELTBUNDESAMT; 2018a). Für die Wärme- und Kältebereitstellung kam es im Jahr 2017 gegenüber den Vorjahren mit 13,2 % zu einem leichten Rückgang des Anteils der erneuerbaren Energien (2016: 13,5 %; 2015: 13,6 %). Der Endenergieverbrauch erneuerbarer Energien im Bereich Verkehr bzw. Kraftstoffe blieb in 2017 unverändert auf dem Niveau des Vorjahres, das die Fortsetzung eines leicht rückläufigen Trends darstellte (2017: 5,2 %; 2016: 5,2 %; 2015: 5,3 %) (BMW i, 2018a).

Insgesamt wurden 2017 etwa 417,8 TWh aus erneuerbaren Energien bereitgestellt, was einer Steigerung von 8 % zum Vorjahr (2016: 386,4 TWh) entspricht (BMW i, 2018a). Den mit Abstand größten Anteil nahmen dabei die biogenen Brennstoffe für Wärme (37 %) und Strom (13 %) ein, gefolgt von Windenergie (20 %), Photovoltaik (10 %), Biokraftstoffen (9 %) und Wasserkraft (5 %); Geo- (3 %) und

Abbildung 1. Anteile erneuerbarer Energien an der Energiebereitstellung in Deutschland



EEV = Endenergieverbrauch

Quelle: eigene Darstellung nach BMW i (2018)

Solarthermie (2 %) machten hingegen nur einen verhältnismäßig kleinen Teil aus (Abbildung 2). Der aus erneuerbaren Energien gewonnene Strom belief sich in 2017 auf etwa 216 TWh, der zum größten Teil aus Windenergie (105,7 TWh), dem Einsatz von Biomasse (50,9 TWh) und Solarenergie (38,0 TWh) gewonnen wurde. Die Bereitstellung von Wärme bzw. Kälte (168,8 TWh) aus regenerativen Quellen wurde hingegen maßgeblich von der Biomassenutzung (87,3 %) bestimmt. Der Verbrauch erneuerbarer Energien im Verkehrssektor stieg im Vergleich zum Vorjahr (2016: 33,5 TWh) auf insgesamt 34,5 TWh (2017) an; Biodiesel (61,6 %) stellte dabei den größten Anteil innerhalb des Sektors bereit (BMWi, 2018a).

Durch den fortschreitenden Ausbau des Anteils erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch in Deutschland konnten im Jahr 2017 etwa 177,1 Mio. t CO₂ eingespart werden (+12 % zum Vorjahr). Die Treibhausgasemissionseinsparungen gingen dabei zu 36 % auf Energiegewinnung aus Biomasse, zu 40 % auf Windenergie und zu 15 % auf Solarenergie zurück (BMWi, 2018b). Dabei wurden 76,3 % der CO₂-Einsparungen durch Stromerzeugung, 19,5 % durch Wärmeherstellung und 4,2 % im Verkehrsbereich verwirklicht (BMWi, 2018a).

Erneuerbare-Energien-Anlagen (EEA) haben sich in Deutschland zu einem bedeutenden Wirtschaftsfaktor entwickelt. Dabei stieg die Summe der Investitionen in die Errichtung von EEA innerhalb der vergangenen 18 Jahre stark an; 2010 erreichte sie mit 27,9 Mrd. € ihren bislang höchsten Wert. Nach 2010

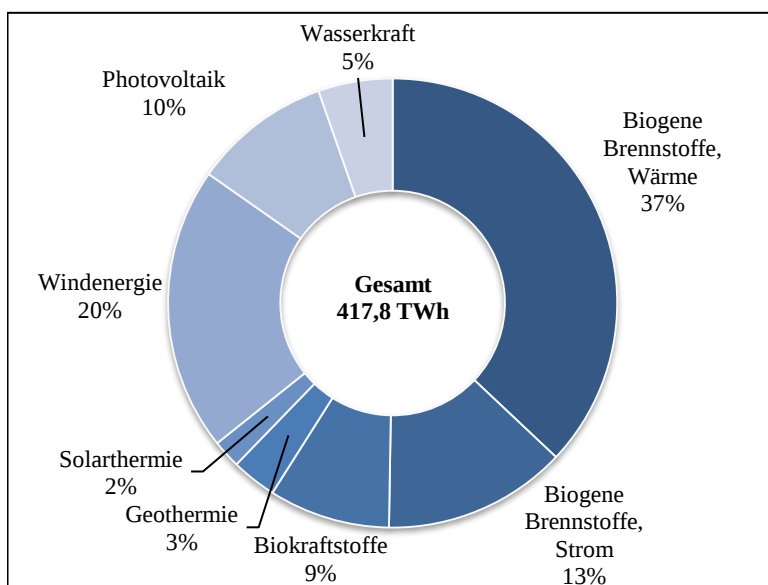
schmolz die Investitionssumme kontinuierlich, bis sie 2015 einen Wert von 13,8 Mrd. € erreichte. Von 2015 bis 2017 erhöhte sich das Gesamtinvestitionsvolumen in die Errichtung von EEA auf 15,5 Mrd. € (2017), was eine Steigerung von 2,3 % zum Vorjahr darstellt. Auch im Jahr 2017 entfielen die mit Abstand größten Investitionen innerhalb der Errichtung von EEA auf die Windenergie (10,7 Mrd. €); 2016 waren es 10,3 Mrd. € (BMWi, 2018a). In die Errichtung von Wasserkraftanlagen wurde mit einem Umfang von etwa 0,02 Mrd. € hingegen am wenigsten investiert.

Im Jahr 2016 kam es erstmals seit 2011 zu einem Anstieg der Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland. Sie wuchs von 328.600 Personen im Jahr 2015 auf 338.600 Personen (+3 %) im Jahr 2016; die Windenergie war mit 160.100 Personen (47,3 %) weiterhin die beschäftigungsstärkste Technologiebranche (BMWi, 2018b; BMWi, 2018c). Ihr folgten der Biomasse- (105.600 Personen; 31,2 %), der Solarenergie- (45.300 Personen; 13,4 %), der Geothermie- (20.300 Personen; 6 %) und der Wasserkraftbereich (7.400 Personen; 2,2 %) (BMWi, 2018c).

Ein ähnlicher Trend lässt sich auch in der globalen Betrachtung des Einsatzes und Ausbaues erneuerbarer Energien ausmachen. So werden in der Wind- und Solarenergie international die größten Wachstumsraten verzeichnet und in diesen Technologiesparten auch die größten Potenziale zur Deckung des weltweit wachsenden Energiebedarfs gesehen (BMWi, 2018c; REN21, 2018). Daneben wohnt vielen der eingesetzten Erneuerbare-Energien-Technologien

durch ihren dezentral einsetzbaren Charakter der Vorteil inne, auch in abgelegenen, ruralen Gegenden eine häusliche oder dörfliche Energieversorgung gewährleisten zu können (BMWi, 2018c). REN21 (2018) geht davon aus, dass im Jahr 2016 etwa 18,2 % des gesamten Endenergieverbrauchs aus erneuerbaren Energiequellen stammen, wobei lediglich 10,4 % auf moderne und 7,8 % auf traditionelle bzw. veraltete Nutzungsformen zurückgehen. Gerade letztere sind aus ökologischer Sicht in der Regel kritisch zu beurteilen, da sich diese meist auf die Wärmebereitstellung aus Holzkohle und Brennholz beziehen, die oft nicht nachhaltig gewonnen werden. Der globale Primärenergieverbrauch ist in 2017 auf den historischen Höchstwert von 13.511,2 Millionen Tonnen Öläquivalent angestiegen, was einer

Abbildung 2. Zusammensetzung der erneuerbaren Energien in Deutschland 2017



Quelle: eigene Darstellung nach BMWi (2018)

Steigerung von 1,9 % zum Vorjahr entspricht (STATISTA, 2018d). Den Löwenanteil davon machen die Energieträger Erdöl (34,2 %), Kohle (27,5 %) und Erdgas (23,4 %) aus. Erneuerbare Energien kommen lediglich auf einen Anteil von rd. 3,6 %.

Bei der globalen Stromerzeugung kam es ebenfalls zu einer zunehmenden Mitbestimmung von erneuerbaren Energien. Im Jahr 2017 nahm ihr Anteil am gesamten Stromverbrauch, verglichen mit dem Vorjahr (2016: 24.765 TWh) um rd. 3 % zu und erreichte einen Wert von 25.518 TWh (26,5 des Gesamtstromverbrauchs) (REN21, 2018). Maßgebend bei der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien ist noch immer die Wasserkraft mit einem Anteil von 4.184 TWh (16,4 %). Das im Jahr 2017 verzeichnete Wachstum geht vor allem auf den Ausbau von Windenergie (2016: 991 TWh; 2017: 1.430 TWh) und Photovoltaik (2016: 371 TWh; 2017: 494 TWh) zurück. Die gesamte installierte Stromerzeugungsleistung belief sich am Ende des Jahres 2017 auf rd. 2.195 Gigawatt (GW). Es wurden global 178 GW zugebaut, was 17 GW mehr sind als im Jahr 2016 (BMW, 2018c; REN21, 2018). Die Hauptrollen spielten hier Photovoltaik- (+98 GW; 402 GW gesamt) und Windkraftanlagen (+52 GW; 539 GW gesamt). Doch trotz des verstärkten Zubaus von Photovoltaik- und Windkraftanlagen machte im Jahr 2017 noch immer die Wasserkraft den größten Anteil (1.114 GW) der global installierten Stromerzeugungsleistung aus. Dabei konnte China seine globale Führungsrolle im Bereich der erneuerbaren Energien weiter ausbauen. So gingen von den 52 GW Windenergiezubau allein 19,7 GW und von den 98 GW Photovoltaikzubau 53 GW auf China zurück (BMW, 2018c). Bezogen auf die weltweit installierte Leistung aus EEA rangiert China (2017: 619 GW) mit deutlichem Abstand auf dem ersten Platz, vor den USA (2017: 230 GW), Brasilien (2017: 128 GW), Deutschland (2017: 113 GW) und Indien (2017: 106 GW) (STATISTA, 2018e).

Im Vergleich zum Vorjahr folgte dem deutlichen Rückgang der globalen Investitionen in die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen ein Anstieg von 2,1 % (2016: 274 Mrd. \$; 2017: 279,8 Mrd. \$) (BMW, 2018c). Ausschlaggebend dafür waren allen voran die Entwicklungen in der Photovoltaikbranche (FRANKFURT SCHOOL-UNEP CENTRE/BNEF, 2018). Dabei entfiel der größte Anteil (127 Mrd. \$) auf China, das seinen Photovoltaikanlagenausbau massiv vorantreibt. Dagegen kam es in Europa zu einem Rückgang der Investitionen auf rd. 41 Mrd. \$ (-36 %), wofür vor allem ein Investitionseinbruch in Groß-

britannien verantwortlich gemacht werden kann (BMW, 2018c). Mexiko, Australien und Schweden konnten im Jahr 2017 auf die stärksten Investitionssteigerungen zurückblicken. Die meisten Investitionen flossen 2017 weltweit in den Ausbau der Photovoltaiktechnik (161 Mrd. \$; +12 % zum Vorjahr). Die Windenergie musste dagegen aufgrund gesunkener Technologiekosten einen Rückgang der Investitionen auf 107 Mrd. \$ (-12 % zum Vorjahr) verzeichnen (BMW, 2018c). Die weltweite Beschäftigtenzahl im Bereich der erneuerbaren Energien stieg 2017 auf 10,3 Mio. Beschäftigten (+5,3 % zum Vorjahr) weiter an; davon waren 3,4 Mio. Beschäftigte in der Photovoltaik- und 2 Mio. Beschäftigte in der Biokraftstoffbranche tätig (IRENA, 2018).

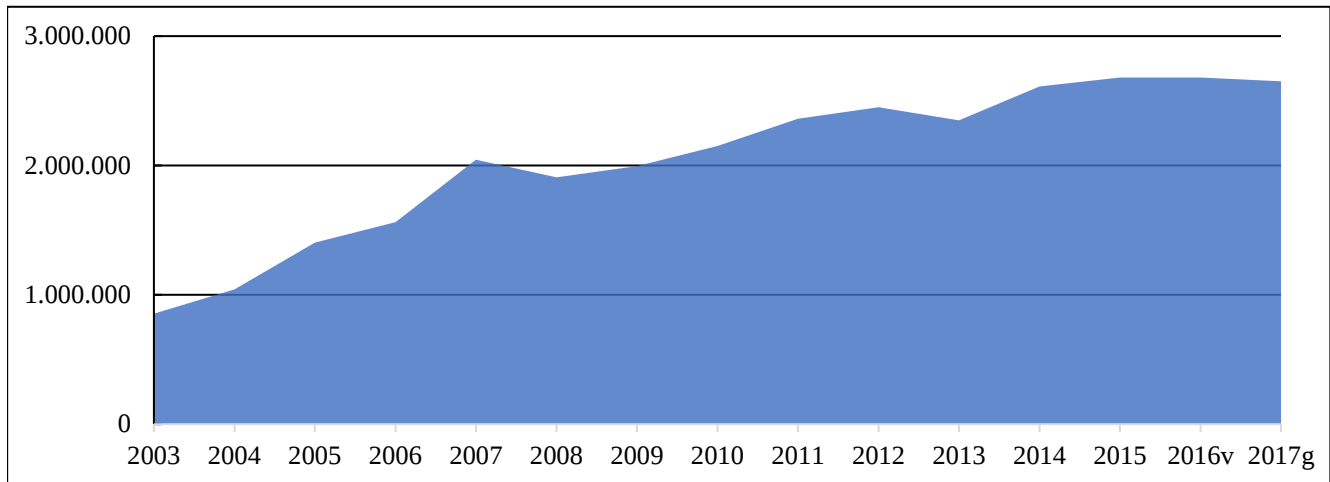
3 Entwicklung der Biomasseerzeugung in Deutschland

3.1 Biomasse aus landwirtschaftlicher Produktion

Die landwirtschaftlich genutzte Fläche nimmt mit 50,9 % der Gesamtfläche von 35,7 Mio. ha den größten Teil der Flächennutzung Deutschlands ein (DESTATIS, 2018). Von dieser landwirtschaftlichen Nutzfläche wurden 2017 Schätzungen zufolge 2,65 Mio. ha (14,55 %) zum Anbau von nachwachsenden Rohstoffen genutzt (FNR, 2018). Nach einem rasanten Wachstum zu Beginn des Jahrzehnts zeigte sich zuletzt eine Stagnation auf dem Niveau der vorherigen 3 Jahre, mit einem geschätzten leichten Rückgang in 2017 (Abbildung 3).

Den flächenmäßig größten Anteil an der NawaRo-Anbaufläche hatten dabei mit 89 % (2,35 Mio. ha) im Jahr 2017 die Energiepflanzen (Tabelle 1). Hier von entfielen, trotz eines leichten Rückgangs im Vergleich zum vorherigen Jahr, auf die Pflanzen für Biogasproduktion etwa 1.374.000 Hektar (52 % der NawaRo-Fläche), wobei Mais analog zu den Vorjahren mit 913.000 Hektar den größten Anteil stellte und im Vergleich zu 2016 Anbaufläche hinzugewonnen hatte. Bezogen auf die gesamte Maisanbaufläche in Deutschland entspricht dies einem Anteil von 36 % für Biogas-Mais und damit einem Rückgang um 2 %-Punkte im Vorjahresvergleich (FNR, 2018a). Die zweitwichtigste Energiepflanze war, mit einer erneut leicht zurückgegangenen Anbaufläche von 713.000 Hektar, Raps für die Biodiesel- und Pflanzenölproduktion. Dies entspricht einem Anteil von 27 % an der gesamten NawaRo-Fläche. Analog zu den Vorjahren

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



Anbaufläche für 2016 vorläufig (v) und 2017 geschätzt (g)
Quelle: eigene Darstellung nach FNR (2018)

hält hier der Effekt der Energiesteuererhöhung 2013 für Biodiesel und Pflanzenöl (BMJV, 2018) an, wobei 2017 auf weiterhin niedrigem Niveau eine leichte Steigerung von Produktion und Absatz stattgefunden hat (FNR, 2018b). Inwiefern dieser Trend jedoch insbesondere vor dem Hintergrund des rückläufigen Absatzes von Dieselfahrzeugen im Zuge der sogenannten „Dieselkrise“ (STATISTA, 2018f) langfristig anhalten wird, bleibt abzuwarten. Energiepflanzen für die Bioethanolherstellung hatten 2017 einen prozentual gestiegenen Anteil von gut 9,5 % (251.000 ha) an der gesamten NawaRo-Fläche. Auch hier haben die niedrigen Rohstoffpreise einen Einfluss auf Produktion und Absatz gehabt, darüber hinaus ist parallel zum genannten Rückgang der Dieselfahrzeuge eine Steigerung der Zulassungen von Fahrzeugen mit Benzinmotor festzustellen (STATISTA, 2018g). Mittel- bis langfristig wird hierbei auch der zu erwartende, steigende Anteil von Elektrofahrzeugen ein bedeutender Einflussfaktor für die Anbaufläche von Biokraftstoffgrundstoffen sein. Der Anbau sonstiger Energiepflanzen wie Agrarholz und Miscanthus ist analog zum Vorjahr mit 11.000 ha auf sehr niedrigem Niveau stagnierend. Industriepflanzen zur stofflichen Nutzung konnten 2017 im Vergleich zu den Energiepflanzen ihre Anbaufläche erneut steigern und machen jetzt 11 % der gesamten NawaRo-Fläche aus (300.000 ha). Die dominierenden Kulturen bleiben dabei Raps zur Herstellung von technischem Rapsöl (131.000 ha) sowie stärkehaltige Pflanzen zur Industriestärkeproduktion (128.000 ha), wobei das Flächenwachstum im Vergleich zum Vorjahr primär auf den gestiegenen Anteil des Zuckerrübenanbaus für Industriezucker zurückzuführen ist.

3.2 Biomasse aus biogenen Reststoffen und Abfällen

Weiterhin von großer Bedeutung für die Bioenergie bleiben die biogenen Rest- und Abfallstoffe, dies sind organische Stoffe, die als Nebenprodukt bei der nicht-energetischen Nutzung von Biomasse entstehen (FNR, 2015; MÜHLENHOFF und DANNEMANN, 2017). Hierzu zählen insbesondere Grünschnitt, Landschaftspflegematerial, Exkremente aus der Tierhaltung, Stroh, Waldrestholz sowie organische Abfälle aus dem privaten (z.B. Biomüll) und dem gewerblichen Bereich (z.B. Schlachtabfälle), wobei den mit Abstand größten Anteil die forstwirtschaftlichen Reststoffe und landwirtschaftliche Nebenprodukte haben (73 %). Das technische Gesamtpotenzial biogener Rest- und Abfallstoffe beträgt jährlich 98,4 Mio. t Trockensubstanz, von denen derzeit bereits 69 % genutzt werden (BOHNET et al., 2017; FNR, 2015). Das größte ungenutzte technische Biomassepotenzial in Bezug auf die Energiemenge liegt in der Nutzung von Waldrestholz (49 % des gesamten ungenutzten Potenzials) und Getreidestroh (31 %). Die nicht genutzten Potenziale im festen oder flüssigen Mist von Rindern und Schweinen liegen dagegen bei jeweils nur 3 % bis 5 % des gesamten ungenutzten Potenzials (FNR, 2015). Die Verwertung dieser biogenen Rest- und Abfallstoffe ist jedoch in doppelter Hinsicht von besonderer Bedeutung: Zum einen erhöht sie die Akzeptanz von Bioenergieanlagen durch die Verringerung des nötigen Energiepflanzenanbaus (ZSCHACHE et al., 2010; KRÖGER et al., 2016). Zum anderen stellt ihre Nutzung einen der wenigen Bereiche für den wirtschaftlichen Neubau von Bio

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

Rohstoff		2013	2014	2015	2016*	2017**	Anteil an NawaRo-Fläche 2017** (%)
Energiepflanzen	Raps für Biodiesel/Pflanzenöl	614.000	799.000	805.000	720.000	713.000	26,91
	Zucker/Stärke für Bioethanol	173.000	188.000	238.000	259.000	251.000	9,47
	Pflanzen für Biogas	1.269.000	1.354.000	1.340.000	1.394.000	1.374.000	51,85
	Sonstiges (u.a. Agrarholz, Miscanthus)	9.000	10.500	11.000	11.000	11.000	0,42
	Energiepflanzen insgesamt	2.060.000	2.350.000	2.390.000	2.380.000	2.350.000	88,68
Industriepflanzen	Industriestärke	107.000	106.000	108.000	128.000	128.000	4,83
	Industriezucker	17.000	12.500	12.300	12.800	15.400	0,58
	Technisches Rapsöl	139.000	116.000	138.000	132.000	131.000	4,94
	Technisches Sonnenblumenöl	7.500	6.000	7.100	7.740	7.740	0,29
	Technisches Leinöl	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	0,13
	Pflanzenfaser	500	1.000	1.490	1.520	1.520	0,06
	Arznei- und Farbstoffe	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	0,45
	Industriepflanzen insgesamt	286.000	257.000	283.000	298.000	300.000	11,32
NawaRo insgesamt		2.350.000	2.610.000	2.680.000	2.680.000	2.650.000	100,00

*vorläufige Werte

**geschätzte Werte

Quelle: eigene Darstellung nach FNR (2018); Abweichungen in den Summen ergeben sich durch Runden der Zahlen

gasanlagen dar, wenn auch auf geringem Niveau (DOTZAUER et al., 2018).

Der Anfall von biogenen Rest- und Abfallstoffen bleibt regional sehr unterschiedlich. Während insbesondere Regionen mit intensivem Ackerbau und hohen Bodenqualitäten das größte Potenzial an Stroh aufweisen, fallen die meisten tierischen Exkremamente in Regionen hoher Nutztierdichte wie Nordwestdeutschland an (MÜHLENHOFF und DANNEMANN, 2017). Aufgrund ihres relativ niedrigen Energiegehalts machen diese energiebezogen nur 14 % des gesamten Biomasseeintrags aus; ihr Substrateinsatz liegt hingegen bei rund 44 % der gesamten Masse (MÜHLENHOFF, 2013; KRÖGER et al., 2016). Um die Transportwürdigkeit der Exkremamente zu steigern und ihren Einsatz auch außerhalb der Regionen hoher Nutztierdichte zu erhöhen, findet vermehrt eine Separation zur Auftrennung in flüssige und feste Bestandteile statt (KRÖGER et al., 2016). Aufgrund der durch die Einführung der Düngeverordnung (BMJV, 2018a) verringerten Ausbringungszeiten und -mengen könnte sich hier ein vermehrter Trend zur bioenergetischen Nutzung tierischer Exkremamente ergeben. Als zukünftige Entwicklungsbereiche werden die Flexibilisierung der Energiebereitstellung aller Anlagen, hochflexible Anlagen- und Rohstoffnutzungskonzepte (z.B. verbesserte Nutzbarmachung des Strohanteils) sowie Kostenreduzierung und Effizienzsteigerung gesehen (DOTZAUER et al., 2018).

Der Anfall von Waldrestholz findet primär in den walddreichen Regionen Süddeutschlands statt, wobei in 2018 durch Borkenkäferkalamitäten und Trockenstress auch in den nord- und östlichen Bundesländern mit einer erhöhten Einschlags- und damit Restholzmenge zu rechnen ist. Diese Bioenergiepotenziale haben eine hohe Bedeutung für die zukünftige Bioenergienutzung, da sie auch in Regionen mit hoher Einwohnerzahl anfallen und daneben in den meisten Regionen Deutschlands den gesamten Haushaltsstrombedarf allein decken könnten (BOHNET et al., 2017).

3.3 Biomasse aus forstwirtschaftlicher Produktion

Die Landfläche der Bundesrepublik Deutschland ist zu 32 % bewaldet (ca. 11,4 Mio. ha); damit ist Deutschland eines der walddreichen Länder Europas. Auf 56 % der Waldfläche wachsen Nadelbäume, auf 44 % Laubbäume, wobei der Nadelbaumanteil seit einigen Jahren abnimmt und der Mischwaldanteil zunimmt (BMEL, 2017; SDW, 2018). Nahezu die Hälfte des Waldes befindet sich im Privatbesitz (48 %); 57 % der Betriebe sind kleiner als 20 ha, nur 13 % der Betriebe sind größer als 1.000 ha. Rund 1,3 Mio. ha Wald befinden sich im landwirtschaftlichen Besitz. Den Ländern gehören 29 % des Waldes und der Anteil des Körperschaftswaldes beträgt 19 %. Die restlichen 4 % befinden sich im Besitz des

Bundes; dabei handelt es sich v.a. um Waldflächen entlang von Straßen sowie Waldflächen, die militärisch genutzt werden (SDW, 2018b). Die Verteilung der Waldflächen innerhalb Deutschlands ist recht heterogen. Die norddeutsche Ebene wird insbesondere durch die Landwirtschaft gekennzeichnet – der Waldanteil ist dementsprechend gering (Schleswig-Holstein: 11 %). Das Mittelgebirge ist hingegen besonders walddreich (Hessen: 42 %) (BMEL, 2017). Die im letzten Jahrzehnt in Deutschland zu beobachtende Zunahme der Waldfläche um 0,4 % (SDW, 2018) steht im Kontrast zu der Abnahme der Waldfläche weltweit (BOLTE et al., 2016): Einem Waldverlust von 58.000 ha stehen 108.000 ha Zugewinn an Wald gegenüber (BMEL, 2017). Diese positive Entwicklung in Deutschland ist den rechtlichen Rahmenbedingungen geschuldet. Mittels Eingriffs-Ausgleichs-Regelung des Bundesnaturschutzgesetzes wird die Aufforstung landwirtschaftlicher Nutzflächen gefördert und eine Rodung von Waldflächen mit anschließender Umwandlung der Nutzungsart ist gemäß des Bundeswaldgesetzes nur in Ausnahmefällen zulässig (BMJV, 2018b; BMJV, 2018c).

Der jährliche Holzzuwachs liegt bei durchschnittlich 11,2 m³/ha bzw. insgesamt bei 121,6 Mio. m³. Der jährliche Holzeinschlag beträgt durchschnittlich 7,0 m³/ha bzw. insgesamt 76 Mio. m³. Aufgrund des vermehrten Holzzuwachses ist der Holzvorrat auf insgesamt ca. 336 m³/ha bzw. 3,7 Mrd. m³ angewachsen (BMEL, 2017). Damit befindet sich der Holzvorrat auf einem Rekordniveau (SDW, 2018a). Der jährliche Holzverbrauch in Deutschland liegt bei 132 Mio. m³, wobei der Anteil des Waldrohholzes 58 % beträgt. Rund zwei Drittel des eingeschlagenen Rohholzes werden stofflich genutzt; Verwendungsbereiche sind der Wohnungsbau und die Produktion von Holzwerk- und Zellstoffen sowie Papier. Einer direkten energetischen Nutzung wird rund ein Drittel des eingeschlagenen Rohholzes zugeführt (BMEL, 2017). Holz ist somit nicht nur ein wichtiger Industrierohstoff, sondern auch der bedeutendste Bioenergieträger (BUNZEL et al., 2011; KALTSCHMITT et al., 2010). Insgesamt werden jährlich rund 64 Mio. m³ Holz energetisch genutzt; der Anteil des Waldrestholzes an der energetischen Nutzung liegt bei 42,2 %, die restlichen 57,8 % stammen insbesondere aus Reststoffen der stofflichen Holzverwertung (BMEL, 2017).

4 Energetische Verwendung von Biomasse

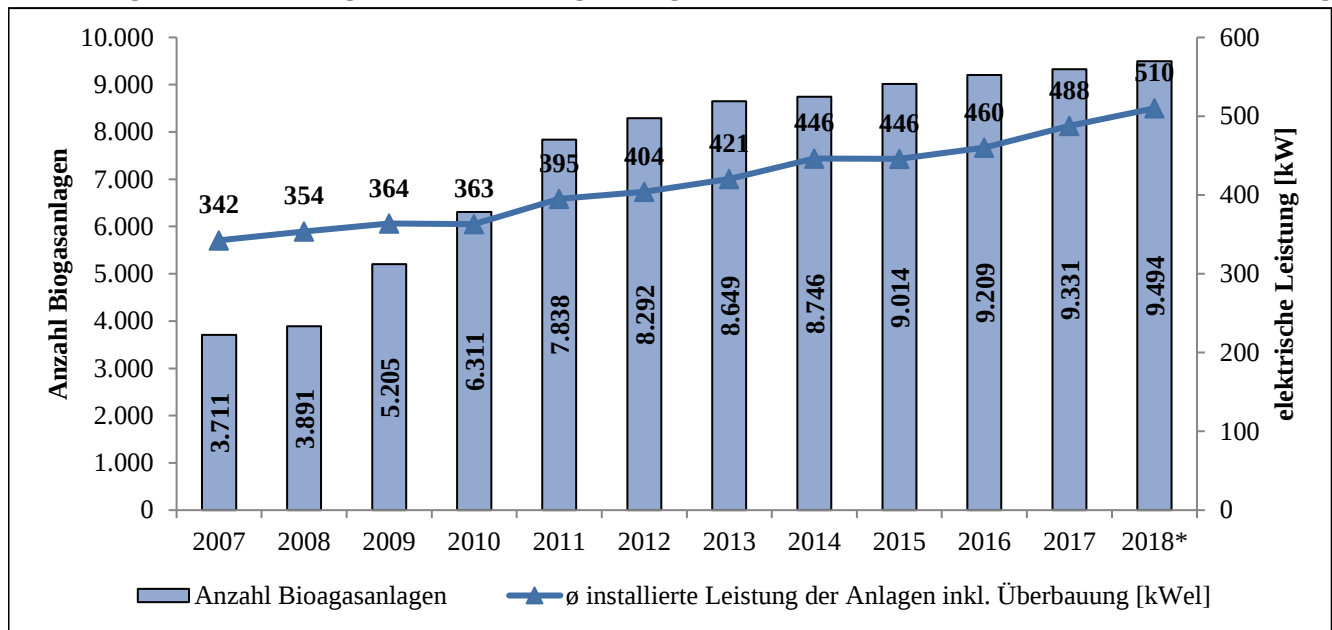
4.1 Entwicklung der Biogasproduktion

Durch die Überbauung von Biogasanlagen zur flexibleren Stromerzeugung wurden im Jahr 2017 die Stromerzeugungskapazitäten aus Biogas um 315 MW erhöht, was, verglichen mit dem Vorjahr, einer 55 %igen Steigerung (2016: +202 MW) des Zubaus entspricht (BMWl, 2018c). Für 2018 wird von einem Rückgang des Zubaus um 36 MW ausgegangen und die installierte elektrische Leistung von Biogasanlagen mit 4.843 MW (inkl. Einspeisung durch Biomethan) vorhergesagt (FvB, 2018). Doch gerade aufgrund des Zugewinns an Kapazität durch eine Überbauung der Anlagen im Rahmen der Flexibilisierung ist der Einfluss auf den Umfang des tatsächlich aus Biogas erzeugten Stroms im Jahr 2017 relativ gering. Hier kam es lediglich zu einem Anstieg von 0,2 % (2016: 29,26 Mrd. KWh; 2017: 29,32 Mrd. KWh) (BMWl, 2018c). Damit rangiert die Stromgewinnung aus Biogas, wie auch im Vorjahr, auf dem dritten Platz der Stromerzeugung durch erneuerbare Energien hinter der Windenergie (48,8 %) und Photovoltaik (18,2 %). Der Trend eines wenn auch verhaltenen Anstiegs der Anzahl neu gebauter Biogasanlagen konnte in 2017 fortgeführt werden (Abbildung 4). Für das Jahr 2018 wurde der Bau von 163 (2017: 122) neuen Anlagen prognostiziert, was einem Anstieg der Gesamtanzahl an Biogasanlagen auf 9.494 (+1,7 % im Vergleich zum Vorjahr) entspricht (FvB, 2018). 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. Die Anzahl der Beschäftigten im Biogassektor lag im Jahr 2017 bei 47.000. Für das Jahr 2018 wird keine Veränderung der Anzahl der Arbeitsplätze prognostiziert (FvB, 2018).

4.2 Entwicklung der Biokraftstoffproduktion

Der Klimawandel wird als eine der größten Herausforderungen dieses Jahrhunderts eingeschätzt. Um die Auswirkungen möglichst gering zu halten, hat die EU

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



*Prognose

Quelle: eigene Darstellung nach STATISTA (2018a, 2018b)

die Dekarbonisierung als ein politisches Ziel gefestigt (EU-KOMMISSION, 2018; DRITTLER et al., 2018). Vor diesem Hintergrund trat im Mai 2018 die neue Verordnung (2018/842/EG) in Kraft, die die Festlegung verbindlicher nationaler Jahressziele für die Reduzierung der THG-Emissionen im Zeitraum 2021 bis 2030 regelt. Für Deutschland gilt nunmehr ein Minderungsziel von 38 % gegenüber dem Referenzjahr 2005. In Zahlen bedeutet dies für die hiesige Land- und Forstwirtschaft eine THG-Minderungs Vorgabe von ca. 14 Mio. t CO₂-Äquiv. bis 2030 (UFOP, 2018). Um die gesetzten Ziele zu erreichen, stehen verschiedene Maßnahmen zur Flexibilisierung zur Verfügung. Eine der zentralen Herausforderungen, um die gesteckten Ziele zu erreichen, stellt die in 2050 auf mehr als neun Milliarden Menschen gewachsene Weltbevölkerung und das damit einhergehend steigende globale Verkehrsaufkommen dar, das insbesondere in den Schwellenländern zunehmen wird. Dabei stellt sich die Frage nach der Gestaltung des Transformationsprozesses, also dem Umstieg auf effiziente und bezahlbare THG-neutrale alternative Kraftstoffe und Antriebe (UFOP, 2018; VDB, 2019). In diesem Zusammenhang stehen Politik und Wirtschaft unter einem massivem Handlungs- bzw. Innovationsdruck. Vonseiten der Biokraftstoffbranche werden dabei verschiedene Bereiche von entscheidender Bedeutung sein und den Markt zukünftig in die richtige Richtung zu beeinflussen. Auch nachhaltige Biokraftstoffe müssen dabei kurz- bis mittelfristig ihren Beitrag leisten.

Biodiesel und Bioethanol haben historisch gesehen die höchste „Integrationsfähigkeit“ in bestehende Verarbeitungs- und Distributionsstrukturen nachgewiesen. Eine Elektrifizierung über sehr große Strecken ist in vielen Flächenländern beispielsweise nicht machbar. Der Verbrennungsmotor wird daher seine Perspektive behalten, bei gleichzeitiger Verbesserung der Verbrauchseffizienz und der Abgasqualität. In diesem Umfeld wird der Kraftstoffmix aufgrund unterschiedlicher Produktionsverfahren und Rohstoffherkünfte vielfältiger werden (UFOP, 2018). Von entscheidender Bedeutung ist es dabei, dass sich die Ziele in den nationalen Energie- und Klimaplänen widerspiegeln müssen, die die EU-Mitgliedsstaaten der EU-Kommission bis 2019 und die Unterzeichnerstaaten des Pariser Klimaschutzabkommens bis 2020 vorlegen müssen. Die wichtigste Entscheidung für die zukünftige Marktentwicklung nach 2020 ist somit in der zukünftigen EU-Politik zu sehen (PUTTKAMMER und GRETHE, 2015).

In Deutschland belief sich der Kraftstoffverbrauch im Jahr 2017 auf insgesamt 57,6 Mio. t Kraftstoffe (2016: 56,7 Mio. t; 2015: 56 Mio. t; 2014: 55 Mio. t). Dabei entfielen in 2017 63,8 % (2016: 63,4 %) auf Diesel- und 30,5 % (2016: 30,1 %) auf Ottokraftstoffe. Der Anteil biogener Kraftstoffe lag, wie auch in 2016, bei 4,7 % (bezogen auf den Energiegehalt). Der Wert für den Anteil biogener Kraftstoffe am Gesamtkraftstoffverbrauch mit rd. 3,4 Mio. t (2016: 3,35 Mio. t) stagniert damit weitestgehend auf

den Vorjahreswerten. Biodiesel ist in Deutschland mit rd. 2,1 Mio. t und einem Marktanteil von 60,29 % nach wie vor der wichtigste Biokraftstoff, gefolgt von Bioethanol mit rd. 1,6 Mio. t (33,97 %), hydrierten Pflanzenölen mit 163.200 t (4,79 %), Biomethan mit 28.000 t (0,82 %) und Pflanzenölen mit 4.000 t (0,12 %) (FNR, 2018e).

4.2.1 Biodieselproduktion

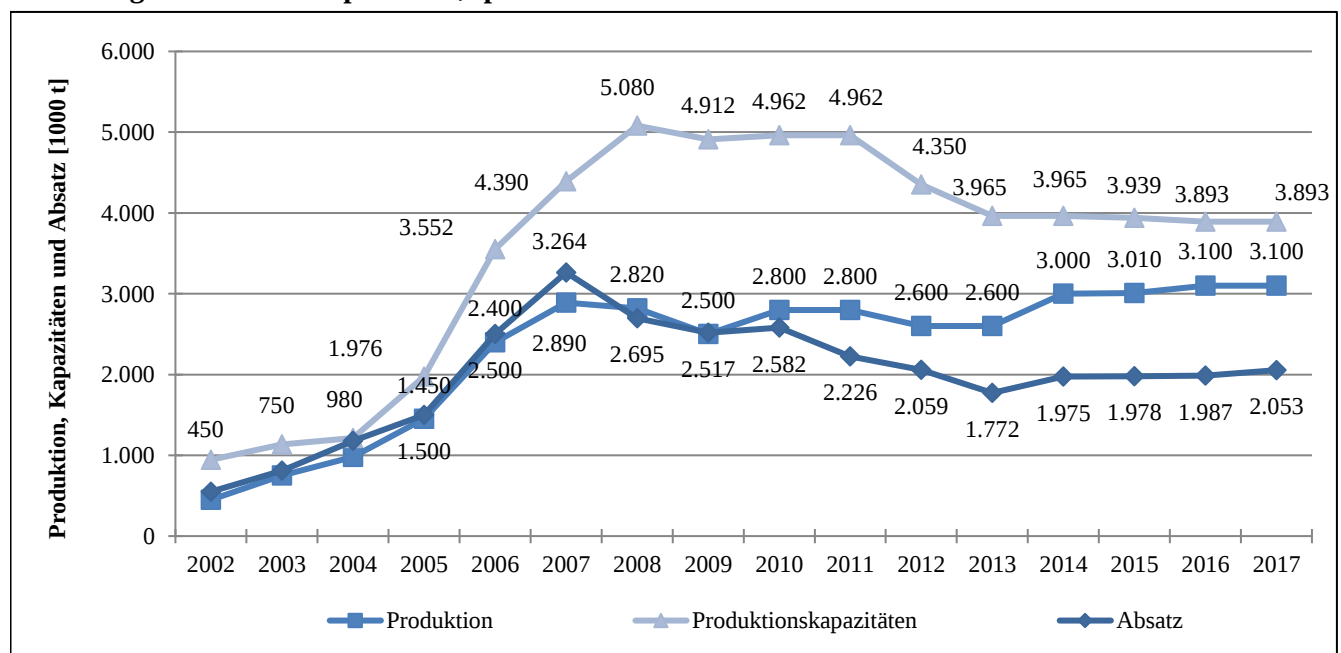
In 2017 stagnierte die Biodieselproduktion in Deutschland mit 3,1 Mio. t auf dem Vorjahresniveau. 2015 lag dieser Wert bei 3,01 Mio. t und in 2014 bei 3,0 Mio. t (Abbildung 5) (FNR, 2018e). Auch die Produktionskapazitäten verblieben auf dem Vorjahresniveau von 3,89 Mio. t; die Kapazitätsauslastung der Biodieselanlagen betrug in 2017 aber nach wie vor rd. 80 %. Der Biodieselabsatz im Inland blieb annähernd konstant und erhöhte sich leicht von rd. 1,98 Mio. t in 2016 auf 2,05 Mio. t in 2017 (FNR, 2018e). Abbildung 5 zeigt auch, dass durch die veränderten politischen Rahmenbedingungen Biodiesel seit 2008 deutliche Absatzeinbußen verzeichnet. Auch durch die Einführung der THG-Quote seit dem 01.01.2015 stagniert der Absatz von Biodiesel weiter (DRITTLER et al., 2018)

Die EU-27 ist nach wie vor der weltweit größte Hersteller von Biodiesel. Die Erzeugung belief sich in 2017 einschließlich der Produktion von hydrierten Pflanzenölen (HVO) auf rd. 10,39 Mio. t (2016: 10,61 Mio. t). Somit stagnierte in 2017 die Produktion, der Absatz und der Verbrauch im Vergleich zu

2016 weiter. Gegenüber 2016 (20,3 Mio. t) haben sich die Biodieselproduktionskapazitäten in der EU etwas erhöht und liegen aktuell bei rd. 21,12 Mio. t. Dieser Wachstumsschritt vollzieht sich aber weitestgehend auf den Bereich von hydriertem Pflanzenöl (HVO), der sich bisher auf die Niederlande, Finnland, Italien, Frankreich und Spanien konzentriert. Schwerpunktländer der europäischen Biodieselproduktion sind nach wie vor Deutschland (2017: 3,1 Mio. t; 2016: 3,2 Mio. t), Frankreich (2017: 1,7 Mio. t; 2016: 1,8 Mio. t), Spanien (2017: 1,5 Mio. t; 2016: 1,1 Mio. t), Polen (2017: 0,9 Mio. t; 2016: 0,80 Mio. t) und die Niederlande (2017: 0,5 Mio. t; 2016: 0,64 Mio. t) (UFOP, 2018). In der EU wird bis 2020 mit keinen signifikanten Änderungen bei der Biodieselherstellung gerechnet (BWK, 2018).

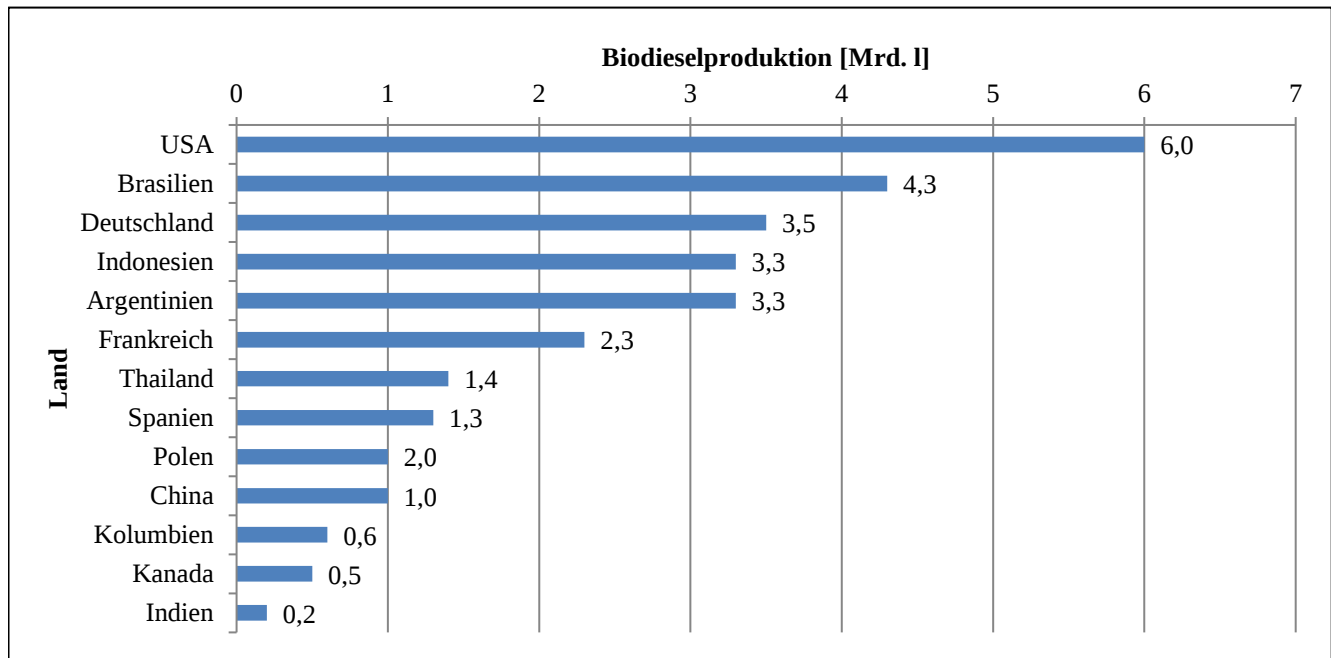
Weltweit stieg der Biodiesel- einschließlich des HVO-Verbrauchs im Jahr 2016 von 28,57 Mio. t auf 28,84 Mio. t in 2017 an. Neben der EU mit einem Verbrauch von 10,83 Mio. t sind vor allem die USA mit 6,45 Mio. t sowie Brasilien 3,37 Mio. t und Argentinien mit 1,17 Mio. t zu nennen. Die Betrachtung der weltweiten Produktionsmengen von Biodiesel zeigt ein ähnliches Bild. Mit einer Produktionsmenge von 10,4 Mio. t Biodiesel liegt die EU-27 nach wie vor an der Spitze, gefolgt von den USA mit rd. 6 Mio. t, Brasilien mit 4,3 Mio. t, Argentinien mit 3,3 Mio. t und Indonesien mit 2,5 Mio. t (Abbildung 6) (STATISTA, 2019; UFOP, 2018). Experten gehen für die nächsten Jahre u.a. wegen der Konkurrenz zum Nahrungs- und Futtermittelmarkt, der Ausweitung der

Abbildung 5. Biodieselpkapazitäten, -produktion und -absatz in Deutschland



Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an FNR (2018e)

Abbildung 6. Weltweit größte Biodieselproduzenten (2017)



Quelle: STATISTA (2019)

Ölanbauflächen insbesondere in Südostasien sowie des begrenzten Klimagas-minderungspotenzials von nur eingeschränkten Zuwächsen aus. Allerdings kann der Biodieselmärkte zum Teil von den Entwicklungen auf dem Futtermittelmarkt profitieren. Insgesamt ist bis 2020 nur von geringen Mengenzuwächsen bei der globalen Biodieselproduktion auszugehen. Innerhalb des Biodieselsortimentes ist mit einer wachsenden Bedeutung von HVO-Kraftstoffen zu rechnen. Neben den europäischen Produzenten stellen vor allem die USA und Singapur wachsende HVO-Kraftstoffmärkte dar (BWK, 2018).

4.2.2 Bioethanolproduktion

Laut dem Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft (BDBE) stieg die Produktion von Bioethanol in Deutschland bis zum Jahr 2015 kontinuierlich auf insgesamt 739.821,0 t an. Für das Jahr 2016 konnte ein leichter Rückgang der Produktion auf 738.169,0 t festgestellt werden. Auch in 2017 verzeichnete die Branche einen weiteren Rückgang der Produktion um rd. 9 % auf 673.000,0 t (BDBE, 2018). Die Produktion von Bioethanol aus Industrierüben, Futtergetreide sowie Reststoffen und Abfällen betrug in 2017 672.930 t. Dies entspricht einem Rückgang um 8,8 % gegenüber dem Vorjahr mit einer Produktionsmenge von 738.169 t. Aus Industrierüben wurden 141.401 t Bioethanol und damit 26 % weniger als in 2016 (191.270 t) hergestellt (FNR, 2018e). Der Rückgang der Bioethanolproduktion auf Rübenbasis ist vor

allem auf die mehrmonatige Stilllegung eines Bioethanolwerkes zurückzuführen (BDBE, 2018). Weiterhin wurden aus Futtergetreide 522.638 t Bioethanol hergestellt (-2,2 %; 2016: 534.589 t). Dabei wurden 2,1 Mio. t Futtergetreide (4,7 % der deutschen Getreideernte von 45,5 Mio. t im Jahr 2017) als Rohstoff zur Bioethanolproduktion eingesetzt. Aus Reststoffen und Abfällen wurden rd. 9.000 t Bioethanol gewonnen, was einem Minus von 28 % gegenüber dem Vorjahr (12.310 t) entspricht (DRITTLER et al., 2018; BDBE, 2018).

Auf dem deutschen Benzinmarkt wurde in 2017 ein Absatz von rd. 18,3 Mio. t erreicht. Bioethanol erreichte am gesamten Benzinmarkt einen fast unveränderten Anteil von 6,0 Vol.-Prozent (2016: 6,1 Vol.-Prozent). Im Jahr 2017 wurden knapp 1,2 Mio. t Bioethanol für Kraftstoffanwendungen verbraucht. Trotz eines insgesamt höheren Benzinverbrauchs ist ein leichter Rückgang des Bioethanolverbrauchs um 1,6 % gegenüber dem Vorjahr zu verzeichnen gewesen. Die wichtigste Verwendung von Bioethanol in Deutschland ist die Beimischung zu Benzin für die Sorten Super, Super Plus (E5) und Super E10, gefolgt von der Verwendung als Benzinadditiv ETBE (Ethyl-Tertiär-Butylether). Super E5 erreichte mit 15 Mio. t in 2017 einen Marktanteil von 82,1 %. Im Vorjahr waren es 15,1 Mio. t mit einem Marktanteil von 82,8 % gewesen. Der Marktanteil von Super Plus lag mit rd. 830.000 t ähnlich wie im Vorjahr auf 4,5 %. Der Absatz der bis zu 10 % Bioethanol enthaltenden

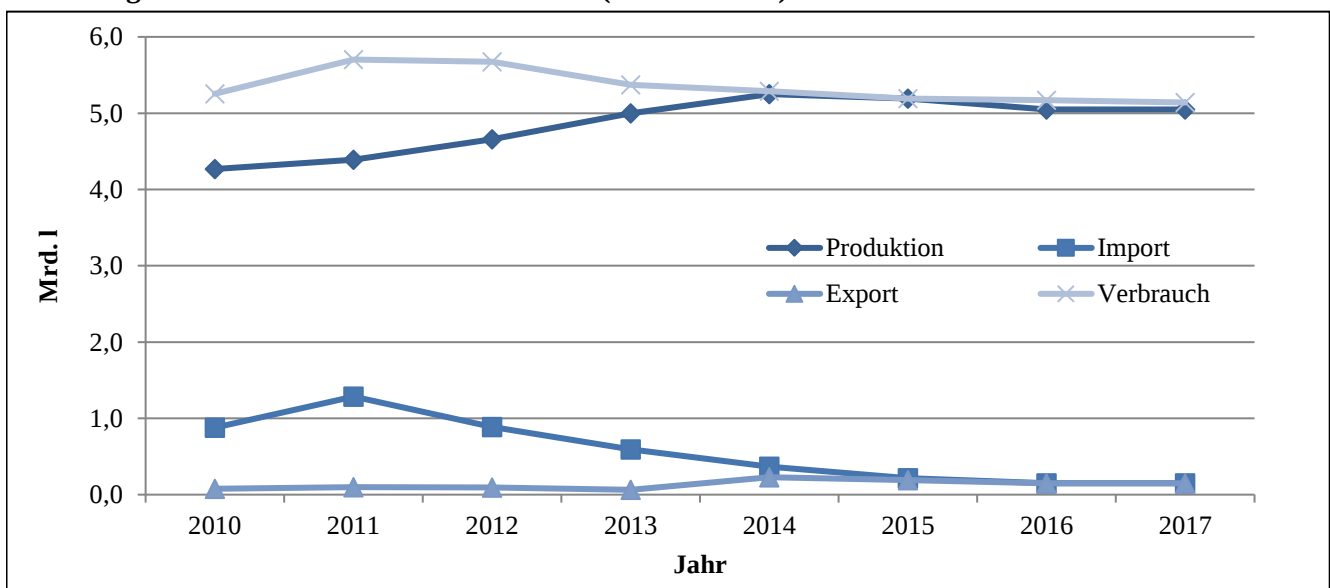
Kraftstoffsorte Super E10 stieg in 2017 auf 2,4 Mio. t. Dies bedeutet einen Marktanteil von 13,4 % und einem leichten Zuwachs gegenüber dem Vorjahr mit 12,6 %. Der Verbrauch von ETBE sank von 128.761 t auf 111.400 t Bioethanol (BDBE, 2018). Nach ersten Schätzungen wird in Deutschland für 2018 eine leicht positive Entwicklung von Produktion und Verbrauch erwartet. Ein Grund wird in der gestiegenen Treibhausgas-Minderungsquote liegen, die sich in diesem Jahr positiv auf den Einsatz von Bioethanol als Beimischung zu Benzin auswirken wird. Erste Prognosen des Bafas weisen darauf hin, das von Januar bis Ende April 2018 der Verbrauch von Bioethanol im Vergleich zum entsprechenden Vorjahreszeitraum um mehr als 9 % gestiegen ist (BDBE, 2018).

Die Bioethanolproduktion in der EU erreichte im Jahr 2015 rd. 5,3 Mrd. l (Abbildung 7). Bis 2015 profitierte die Branche von niedrigen Rohstoffpreisen und restriktiven Maßnahmen für Bioethanolimporte. Seit 2016 stiegen Verbrauch und Produktion von Kraftstoffethanol nur noch sehr langsam und lagen bei 5,34 Mrd. l. In 2017 lag die Bioethanolproduktion bei rd. 5,84 Mrd. l. Auch für 2018 wird mit 5,84 Mrd. l keine weitere Steigerung prognostiziert (EPURE, 2018; USDA, 2017). Frankreich ist mit 970 Mio. l weiterhin größter Produzent vor Deutschland mit 950 Mio. l, Ungarn mit 640 Mio. l, Belgien mit 560 Mio. l, die Niederlande mit 450 Mio. l und Spanien mit 400 Mio. l. Die deutsche Bioethanolnachfrage machte 2015 mit 1,17 Mio. t einen europaweiten Anteil von 27,2 % aus und liegt damit deutlich vor Frankreich (0,67 Mio. t) und dem Vereinigten Königreich

(0,63 Mio. t) (FNR, 2018e; BDBE, 2018). Das Potenzial von Bioethanol in Bezug auf die schnelle und kostengünstige Senkung von Treibhausgasemissionen wird aktuell nicht weiter ausgeschöpft. Jedoch wird mit der weiteren Umsetzung der „Erneuerbare-Energien-Richtlinie“, die für das Jahr 2020 im Verkehrssektor 10 % erneuerbare Energien verbindlich vorschreibt, in den Ländern der EU nach wie vor mit einer zunehmenden Nachfrage nach Bioethanol gerechnet. Die Kapazitäten zur Produktion von Bioethanol belaufen sich in der EU zurzeit auf rd. 9,3 Mrd. l und sind zu ca. 85 % (5,84 Mrd. l) ausgelastet. Die Produktionskapazitäten haben sich seit 2012 nicht signifikant erhöht; auch in 2018 wird nicht mit weiteren Anlagenerweiterungen gerechnet (USDA, 2017; EPURE, 2018).

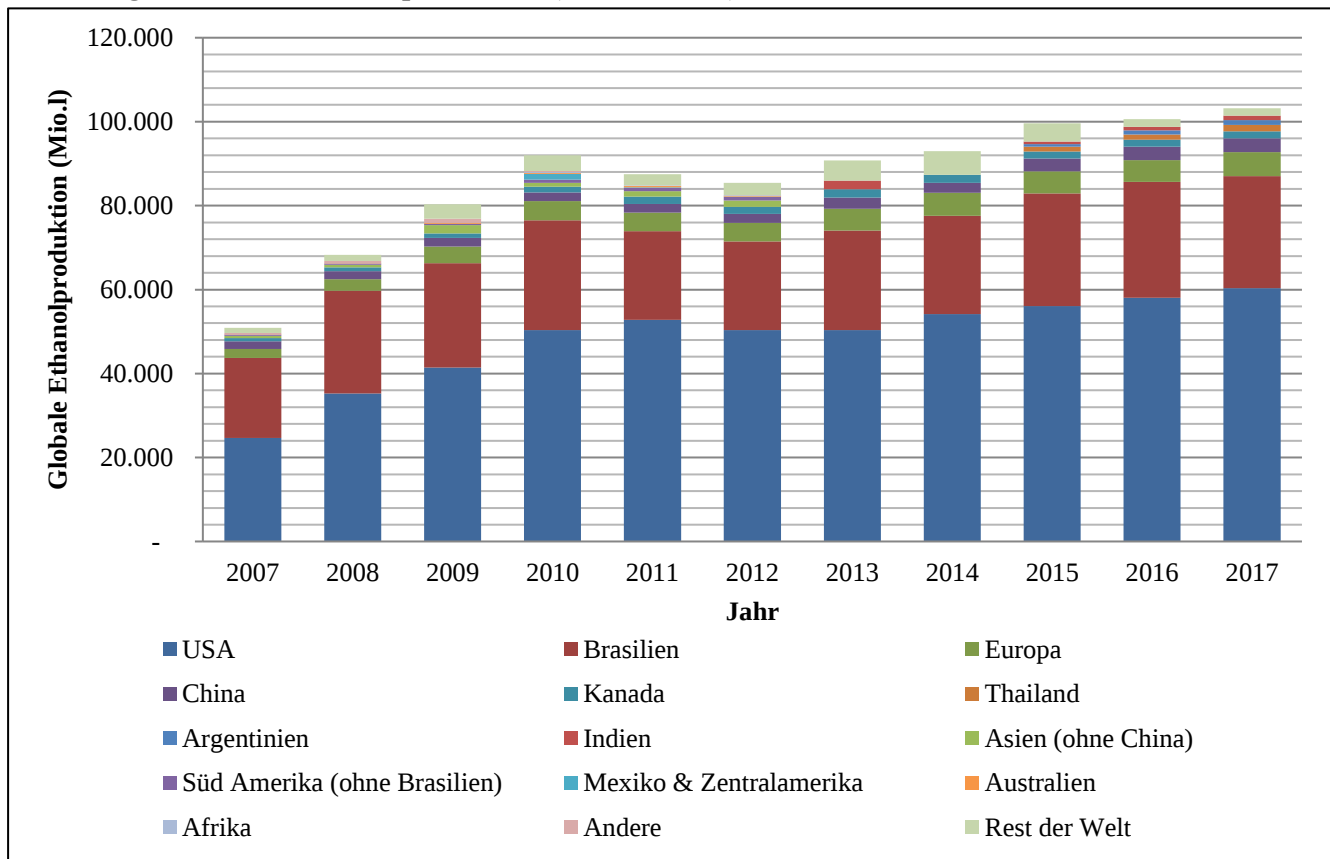
Die Welt-Ethanolproduktion lag in 2015 bei rd. 97,2 Mrd. l (Abbildung 8). Davon entfallen auf die USA 56,0 Mrd. l, auf Brasilien 26,8 Mrd. l, auf Europa 5,25 Mrd. l, auf China 3,0 Mrd. l und auf Kanada 1,65 Mrd. l (Abbildung 8; RFA, 2019). In 2016 stieg die Weltethanolproduktion nur leicht auf 97,6 Mrd. l an. Vor allem weiteten die USA und Brasilien ihre Produktion etwas aus. Die USA produzierten in 2016 rd. 58 Mrd. l, Brasilien 27,6 Mrd. l. In der EU nahm die Produktion leicht ab und bewegte sich bei rd. 5,25 Mrd. l. China baute die Vorjahresproduktion von 3,0 Mrd. l auf knapp 3,2 Mrd. l weiter aus und hat sich als viertgrößter Ethanolproduzent in der Welt etabliert. In 2017 belief sich die Weltethanolproduktion auf rd. 103 Mrd. l. Vor allem die USA haben ihre Produktion noch einmal auf knapp über 60 Mrd. l

Abbildung 7. Der Bioethanolmarkt in der EU (2009 bis 2017)



Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an USDA (2017)

Abbildung 8. Globale Ethanolproduktion (2007 bis 2017)



Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an RFA (2019)

steigern können. In Brasilien stagnierte die Menge mit einer Produktion von rd. 26,7 Mrd. l genauso wie in Europa mit 5,6 Mrd. l. China behauptete seine Position als viertgrößter Bioethanolproduzent mit einer Menge von 3,3 Mrd. l. Ferner sind im asiatischen Raum noch Thailand mit 1,4 Mrd. l und Indien mit rd. 1,0 Mrd. l als bedeutende Erzeugerländer zu nennen. Experten sehen vor allem in der Ausweitung der brasilianischen Produktion ein zukünftiges Wachstumspotenzial des Marktes, da Brasilien zunehmend die steigende Inlandsnachfrage decken muss. Aber auch dem asiatischen Raum werden weitere Wachstumschancen zugesprochen (OECD-FAO, 2018).

4.3 Strom- und Wärmeerzeugung aus biogenen Festbrennstoffen

Bei biogenen Festbrennstoffen handelt es sich um Brennstoffe organischer Herkunft, wie z.B. Waldrestholz, Holzkohle, Heu oder Rapsstroh; sie liegen zum Zeitpunkt ihrer energetischen Nutzung in fester Form vor. Innerhalb der Biomasse, die zur energetischen Nutzung eingesetzt wird, nehmen biogene Festbrennstoffe den bedeutendsten Anteil ein. Verfügbare und technisch nutzbare biogene Festbrennstoffe werden in

Rückstände/Nebenprodukte (z.B. Waldrest- und Schwachholz, Stroh, Industrierestholz, Bau- und Altholz) und speziell angebaute Energiepflanzen (Holz aus Kurzumtriebsplantagen, Miscanthus) unterteilt. Des Weiteren wird zwischen holzartigen, halmartigen und sonstigen Brennstoffen unterschieden (FNR, 2014). Biogene Festbrennstoffe werden ohne vorherige Umwandlung in Feuerungsanlagen zur Strom und Wärmeerzeugung eingesetzt (LfU, 2018).

Elektrische Energie aus biogenen Festbrennstoffen wird mittels einer Turbine erzeugt, die durch Wasserdampf angetrieben wird. Der Wasserdampf entsteht durch thermische Energie, die bei der Verbrennung von biogenen Festbrennstoffen in Biomassekraftwerken bzw. Biomasseheizkraftwerken entsteht. Die im Wege der Kraft-Wärme-Kopplung in Biomasseheizkraftwerken gleichzeitig produzierte Wärme findet darüber hinaus als Fern-, Nah- oder Prozesswärme Verwendung; aufgrund der geringen Abgabe ungenutzter Abwärme an die Umgebung können bei der Kraft-Wärme-Kopplung Wirkungsgrade von bis zu 90 % erreicht werden (SCHAUMANN und SCHMITZ, 2010). Insgesamt wurden in 2017 rund 51,4 TWh Strom aus Biomasse erzeugt, davon 20,7 % aus biogenen Festbrennstoffen (FNR, 2018c).

Der Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte ist in 2017 um 0,3 % auf 13,2 % gesunken. Die absolute Nutzung erneuerbarer Wärme ist um 2,6 % von 164,5 TWh in 2016 auf 168,8 TWh in 2017 angestiegen; gleichzeitig ist jedoch auch ein Anstieg fossiler Energieträger im Wärmesektor zu verzeichnen. Biogene Festbrennstoffe nehmen dabei mit ca. 67 % (rund 113 TWh) den bedeutendsten Anteil an der erneuerbaren Wärmebereitstellung ein (UMWELTBUNDESAMT, 2018b). Holz ist der wichtigste Bioenergieträger in der Wärmeerzeugung aus biogenen Festbrennstoffen. In Deutschland verfügt ca. jeder vierte Haushalt über eine Holzfeuerung zur Wärmebereitstellung. Insgesamt gibt es ca. 16 Mio. Feuerstätten für Holzbrennstoffe, in denen jährlich ca. 38 Mio. Festmeter Holz verfeuert werden. Scheitholz aus dem Wald stellt dabei den bedeutendsten Holzbrennstoff dar. Mit Einzelraumfeuerstätten (z.B. Kaminöfen oder Grund- und Kachelöfen), die eine Ergänzung zur Zentralheizung darstellen und nur gelegentlich genutzt werden, werden v.a. in privaten Haushalten einzelne Wohnbereiche beheizt. Holzzentralheizungen (z.B. Scheitholzvergaserkessel, Pelletheizungen, Hackschnitzelheizungen) versorgen hingegen alle Räume eines Gebäudes über eine wasserführende Zentralheizung mit Wärme und erwärmen zugleich das Brauchwasser der Haushalte; in Deutschland verfügen ca. eine Million Haushalte über eine Holzzentralheizung (FNR, 2018d).

5 Doppelte Ernte durch Agrophotovoltaik

Für die sich immer wieder entfachende Diskussion der Flächennutzungskonkurrenz zwischen der Produktion von Lebensmitteln und der direkten bzw. indirekten Gewinnung von Energie existieren seit längerem verschiedene Lösungsansätze. Ein solcher Ansatz zur Begegnung dieses auch als „Tank oder Teller“-Debatte bekannten Disputs ist die komplementäre Nutzung landwirtschaftlicher Flächen durch Agrophotovoltaik (VOGELPOHL, 2018; PHILIPPS et al., 2018). Hierunter versteht man die Kombination von Photovoltaikanlagen mit darunter angebauten Feldfrüchten, um so eine ressourceneffizientere Doppelnutzung des knappen Faktors Boden zu erzielen.

Dazu gibt es verschiedene Umsetzungsmöglichkeiten. Eine davon sieht die Errichtung von Gewächshäusern vor, die beispielsweise gerahmte, kristalline Glas-Glas-Module, die in regelmäßigen Abständen

zueinander auf einer etwa 2,20 Meter hohen Unterkonstruktion angeordnet sind, zur Stromgewinnung nutzen. Durch die transparente Folie, in die die Zellen zwischen den Modulgläsern laminiert sind, dringen noch etwa 20 bis 30 % des Sonnenlichts zu den Pflanzen vor. Die Leistung der Module bleibt dabei auf einem vergleichbaren Niveau wie die herkömmlicher Standardmodule. Damit eine solche Anlage ökonomisch sinnvoll betrieben werden kann, müssen nach Angaben des Unternehmens Sunfarming wenigstens 60 Hektar landwirtschaftliche Fläche überdacht werden, aus der eine Leistung von bis zu 30 Megawatt gewonnen werden kann (ULRICH, 2018). Bisher zielen solche Konzepte vor allem auf die Errichtung in sonnenreichen Regionen der Erde ab. Entsprechende Testanlagen stehen bereits in afrikanischen, asiatischen und karibischen Ländern, wo auch netzferne Anlagen z.B. zur Aufbereitung von Salz- zu Süßwasser eingesetzt werden könnten. Gerade die teilweise Beschattung der darunter liegenden Pflanzen kann in Ländern des Sonnengürtels eine positive Auswirkung auf den Pflanzenertrag haben, da diese sonst Gefahr laufen zu „verbrennen“.

Ein anderes, derzeit in Deutschland im Test befindliches Konzept sieht die Installation von Agrarphotovoltaik-Freiflächenanlagen (APV) auf 4 bis 7 Meter hohen Gestellen vor. Auf diese Weise kann die überbaute Fläche weiterhin durch Landmaschinen bewirtschaftet werden. Die Abschattung der Nutzpflanzen kann durch verschieden große Abstände zwischen den APV-Reihen angepasst werden, um so bestmöglich den Bedürfnissen der Pflanzenkultur entsprechen zu können. Pflanzen, die über eine gewisse Schattentoleranz verfügen oder sogar vom Halbschatten profitieren, kommen hierfür besonders infrage. Bisher haben sich vor allem Gerste, Kartoffeln, Kohl, Raps, Salat oder Spargel bewährt (TROMMSDORF, 2018). Auf einer aktuellen Testfläche am Bodensee werden auch Weizen, Sellerie und Klee gras hinsichtlich Ertragsentwicklung untersucht. In diesem, durch das BMBF geförderte FONA-Projekt „APV-RESOLA“ werden bifaziale Solarmodule verwendet, die mit etwas größerem Reihenabstand als bei klassischen Freiflächenanlagen in 5 Metern Höhe installiert wurden (ISE, 2018). Es wurde untersucht, welchen Einfluss die Beschattung durch die APV-Reihen auf die Entwicklung der darunter liegenden Pflanzen hat. Dafür galt es, auf dem Testfeld jeweils 80 % des Ertrages einer gleich großen PV-Freiflächenanlage (für Strom) und eines Referenzfeldes ohne APV (für Feldfrüchte) zu erzielen. Das Ergebnis war, dass die land-

wirtschaftlichen Erträge der angepflanzten Kulturen unter den APV-Reihen zwar etwas geringer ausfielen als ohne APV. Doch durch die im ersten Jahr gewonnenen rd. 1,3 MWh (1.266 kWh) Strom bei einer installierten Leistung von 194 kW wurde die Flächennutzungseffizienz um bis zu 60 % erhöht (ISE, 2018; ULRICH, 2018). Der Minderertrag der angepflanzten Kulturen setzte sich im Detail wie folgt zusammen: -5,3 % (Klee gras) und -18 bis -19 % für Stärkepflanzen (Kartoffeln, Sellerie und Weizen) im Vergleich zum Referenzstreifen. Auch in anderen Ländern gibt es Forschungsaktivitäten, in deren Rahmen teilweise auch schon wesentlich größere Installationen getestet wurden (TROMMSDORF, 2018; VITI, 2018). Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) hat jüngst damit begonnen, einen Technologietransfer in Entwicklungs- und Schwellenländer durchzuführen und an neuen Anwendungsfeldern für APV zu arbeiten (ISE, 2018a). Dafür wurden Kooperationen mit drei Gemeinden in Chile eingegangen, da das Potenzial für APV gerade in den ariden und semi-ariden Regionen Nord- und Zentralchiles als besonders groß eingeschätzt wird. So hilft die Teilbeschattung der landwirtschaftlichen Fläche durch APV-Anlagen den Wasserverbrauch zu reduzieren und bietet gleichzeitig schattigen Unterstand für etwaige Nutztiere. Die installierten APV-Anlagen sind die ersten ihrer Art in Lateinamerika.

Neben dem großen Potenzial einer effizienteren Landnutzung durch den mithilfe von APV erzielten „doppelten Ertrag“ (PV-Strom und Feldfrüchte) ist eine Vielzahl von weiteren Synergieeffekten denkbar. Gerade in rural geprägten Gegenden in Deutschland, aber auch im globalen Kontext können mit APV bebaute Flächen mittelfristig zu einer höheren Wertschöpfung führen und gleichzeitig sensiblen Nutzpflanzen Schutz vor Wetterextremen, wie Dürre, Frost und Hagel, bieten (NIEPELT, 2018). Daneben wären auch Konzepte zur Eindämmung einer fortschreitenden Desertifikation denkbar (TROMMSDORF, 2018). Denn APV-Flächen liefern nicht nur Schatten, sondern erzeugen auch Strom, der zur Bewässerung oder zur Aufbereitung von Grundwasser in ariden Regionen genutzt werden kann.

Zu der Feld überspannenden Bauweise gibt es auch die Alternative, bifaziale Photovoltaikmodule senkrecht aufzustellen (RÖPCKE, 2018; MERTENS, 2018). Auf diese Weise können die Module das von beiden Seiten aufgefangene Sonnenlicht in elektrische Energie umwandeln. Daneben wohnt solchen Konstruktionen der Vorteil inne, dass zwischen den zaun-

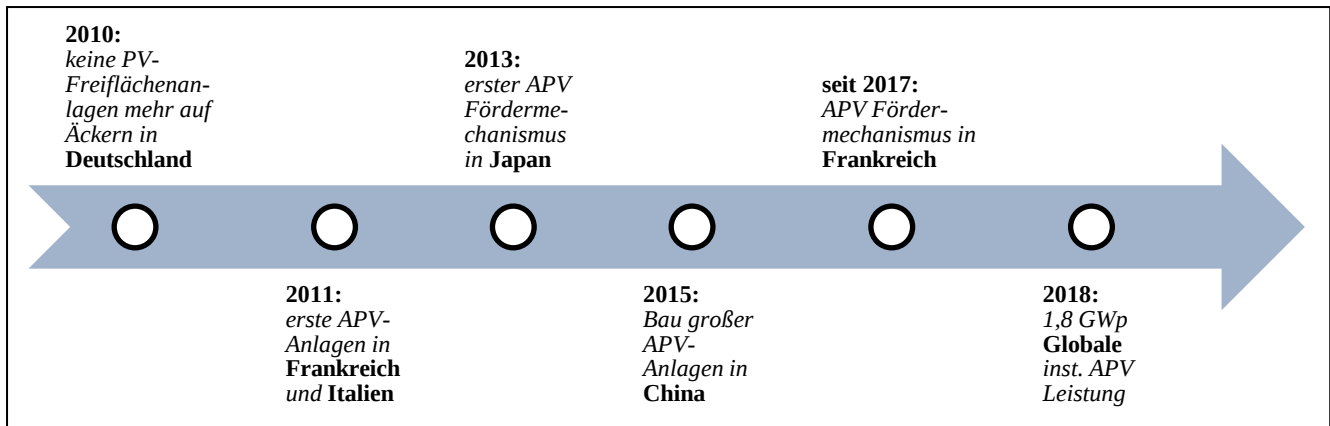
artig stehenden APV-Reihen die landwirtschaftliche Nutzung nur geringfügig eingeschränkt wird. In Zusammenarbeit mit dem Unternehmen Next2Sun GmbH entsteht im Saarland auf rd. 10 Hektar Ackerland derzeit der größte bifaziale Solarpark Europas (rd. 2 MW peak) (NEXT2SUN, 2018; WOCHENSPIEGEL, 2018). Im August 2018 wurde am Standort Dirmingen (Saarland) bereits der erste Wechselrichter der Großanlage in Betrieb genommen.

In Deutschland bestehen zurzeit noch eine Reihe rechtlicher Hürden, die einer wirtschaftlichen Attraktivität von APV-Anlagen im Weg stehen. Denn diese Form der Flächennutzung ist (noch) nicht Teil des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG), womit eine erhöhte Vergütung für den auf diese Weise gewonnenen Strom entfällt. Darüber hinaus gelten landwirtschaftliche Flächen, die mit APV bebaut werden, als Sondernutzungsflächen, für die kein Anspruch auf europäische Agrarsubventionen im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) erhoben werden kann. Es ist allerdings davon auszugehen, dass das hohe Potenzial zur Entschärfung von Flächenkonkurrenzen sowie die Möglichkeit einer Ertragssteigerung bei Feldfrüchten durch ein Abmildern von Extremwettererscheinungen, was vor allem für südliche EU-Mitgliedstaaten, in extrem trockenen Jahren (wie 2018) auch für Deutschland, von Relevanz ist, zu einer mittelfristigen Entschärfung der benannten rechtlichen Hürden führen. Daneben ist der mithilfe von APV erzeugte Strom deutlich teurer (Gestehungskosten: 12 bis 16 ct/kWh) als Strom aus herkömmlichen Standardmodulen und somit entsprechend schwieriger zu vermarkten (TROMMSDORF, 2018). Eine deutlich größere Attraktivität kann die Eigennutzung von APV-Strom sein, da für eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung in diesem Fall der erhöhte Endkundenpreis als Referenz dient (ibid.). Denkbar wäre auch die Nutzung des auf diese Weise gewonnenen Stroms in elektrisch betriebenen stationären und mobilen Land- bzw. Kleinmaschinen. Denn im Zuge der fortschreitenden Energiewende wird die Sektorenkopplung auch in der Landwirtschaft an Wert gewinnen.

Wirft man einen Blick auf die fortschreitende Entwicklung des APV-Konzepts, fällt auf, dass das Thema in jüngerer Zeit an Relevanz gewonnen hat (Abbildung 9).

In Japan existiert bereits seit 2013 ein Fördermechanismus für APV-Anlagen, dessen Beispiel Frankreich als erster europäischer Staat im Jahr 2017 gefolgt ist (MOVELLAN, 2013). Man hat dies dort nach erfolgreichen Feldversuchen durchsetzen können. So

Abbildung 9. Zeitstrahl Entwicklung von Agrarphotovoltaik-Anlagen



Quelle: eigene Darstellung nach TROMMSDORF (2018)

wurden beispielsweise an der Universität von Montpellier an einer kleinen APV-Anlage verschiedene Untersuchungen durchgeführt, die bestätigten, dass die Erträge einer lichtliebende Pflanze, wie Weizen, unter der Beschattung durch die APV-Anlage geringer ausfielen als in der nicht beschatteten Kontrollgruppe (DUPRAZ et al., 2011). In einer daran angeschlossenen Studie konnten dieselben Forscher bereits ein Jahr später bestätigen, dass eine solche Teilbeschattung für die Ertragsentwicklung bestimmter Salatsorten hingegen von Vorteil sein kann (MARROU et al., 2013a; MARROU et al., 2013b). Eine mögliche Gestaltung einer APV-Regulierung in Deutschland wurde im August 2014 vom Fraunhofer ISE und der Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH (Wuppertal Institut) im Zuge einer Stellungnahme erörtert und aufgezeigt, aus welchen Gründen eine solche notwendig sei (ISE und WUPPERTAL INSTITUT, 2014).

Literatur

- BAYERISCHES LANDWIRTSCHAFTLICHES WOCHENBLATT (2017): Landwirte vermehrt bei Windkraft und Photovoltaik aktiv. In: <https://www.agrarheute.com/wochenblatt/feld-stall/energie/landwirte-vermehrt-windkraft-photovoltaik-aktiv-540183>, Abrufdatum: 15.01.2019.
- BDBe (Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft e.V.) 2018: Die deutsche Bioethanolwirtschaft in Zahlen. In: <https://www.bdbe.de/daten/marktdaten-deutschland>, Abrufdatum: 10.01.2019.
- BWK (Brennstoff, Wärme, Kraft – Das Energie-Fachmagazin) (2018): Erneuerbare Energien weltweit. In: <https://www.energiefachmagazin.de/2017/Ausgabe-7-8/Special-Erneuerbare-Energien/Erneuerbare-Energien-weltweit?page=14>, Abrufdatum: 06.01.2019.
- BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft) (2017): Waldbericht der Bundesregierung 2017. Bonn.
- (2018): Erntebericht 2018. In: https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Pflanzenbau/Ackerbau/_Texte/Ernte2018.html, Abrufdatum: 14.01.2019.
- BMJV (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz) (2018): Energiesteuergesetz. In: <https://www.gesetze-im-internet.de/energiestg/>, Abrufdatum: 10.12.2018.
- (2018a): Verordnung über den Umgang mit Nährstoffen im Betrieb und betriebliche Stoffstrombilanzen In: <https://www.gesetze-im-internet.de/stoffbilv/>, Abrufdatum: 10.12.2018.
- (2018b): Bundeswaldgesetz. In: <https://www.gesetze-im-internet.de/bwaldg/>, Abrufdatum: 14.11.2018.
- (2018c): Bundesnaturschutzgesetz. In: https://www.gesetze-im-internet.de/bnatschg_2009/BJNR254210009.html, Abrufdatum: 14.11.2018.
- BMU (Bundesministerium Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit) (2018): Svenja Schulze zu Hilfen für von der Dürre bedrohte Landwirte. In: <https://www.bmu.de/meldung/svenja-schulze-zu-hilfen-fuer-von-der-duerre-bedrohte-landwirte/>, Abrufdatum: 14.01.2019.
- (2018a): Klimaschutz in Zahlen: Klimaschutzziele Deutschland und EU. In: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutz_in_zahlen_klimaziele_bf.pdf, Abrufdatum: 14.01.2019.
- BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) (2018): Die nächste Phase der Energiewende: Das EEG 2017. In: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/eeg-2017-start-in-die-naechste-phase-der-energie-wende.html>, Abrufdatum: 14.01.2019.
- (2018a): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland – Stand: August 2018. In: https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbare-n-energien-in-deutschland-1990-2017.pdf?__blob=publicationFile&v=16, Abrufdatum: 05.12.2018.
- (2018b): Erneuerbare Energien in Zahlen: Nationale und internationale Entwicklung im Jahr 2017. In: https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/Berichte/erneuerbare-energien-in-zahlen-2017.pdf?__blob=publicationFile&v=7, Abrufdatum: 10.12.2018.

- (2018c): GWS Research Report 2018/01: Ökonomische Indikatoren des Energiesystems - Methode, Abgrenzung und Ergebnisse für den Zeitraum 2000 – 2016. In: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/oekonomische-indikatoren-und-energiawirtschaftliche-gesamtrechnung.pdf?__blob=publicationFile&v=16, Abrufdatum: 10.12.2018).
- BOHNET, S., HAAK, F., THRÄN, D. und SCHMIDT-BAUM, T. (2017): Effiziente Bioenergie für Regionen – Ergebnisse der technisch-ökonomischen Begleitforschung zur Fördermaßnahme Bioenergie-Regionen 2012-2015 (DBFZ Report Nr. 29). DBFZ, Leipzig. ISSN 2197-4632
- BOLTE, A., J. BÖRNER, N. BRÄSICKE, B. DEGEN, M. DIETER, B. SAAKE und B.U. SCHNEIDER (2016): Perspektiven der Forst- und Holzwirtschaft in Deutschland. http://biooekonomierat.de/fileadmin/Publikationen/berichte/Hintergrundpapier_Forstwirtschaft_280416__final.pdf, Abrufdatum: 06.12.2018).
- 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.
- DESTATIS (2018): Bodenfläche insgesamt nach Nutzungsarten in Deutschland am 31.12.2017. In: https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbeispiele/LandForstwirtschaftFischerei/Flaechennutzung/Tabellen/Bodenflaeche_Insgesamt.html, Abrufdatum: 10.12.2018).
- DIE ZEIT (2018): Die Zukunft im Schwitzkasten. In: <https://www.zeit.de/2018/32/klimawandel-globale-erwaermung-hochsommer-duerre-wetter>, Abrufdatum: 14.01.2019.
- DOTZAUER, M., D. PFEIFFER, D. THRÄN, V. LENZ, M. POHL und F. MÜLLER-LANGER (2018): Technologiebericht 1.1 Bioenergie. In: Wuppertal Institut, ISI, IZES (Hrsg.): Technologien für die Energiewende. Teilbericht 2 an das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Wuppertal, Karlsruhe, Saarbrücken.
- DRITTLER, L., F. RÜBCKE VON VELTHEIM, C. SCHAPER und L. THEUVSEN (2018): Der Markt für Bioenergie. In: Die landwirtschaftlichen Märkte an der Jahreswende 2017/18 67 (2018), Supplement: 102-118.
- DUPRAZ, C., H. MATTOU, G. TALBOT, L. DUFOUR, A. NOGIER und Y. FERARD (2011): Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes. In: Renewable Energy 36 (2011): 2725-2732.
- EPURE (2018): European renewable ethanol – key figures 2017. In: <https://www.epure.org/media/1763/180905-def-data-epure-statistics-2017-designed-version.pdf>, Abrufdatum: 06.01.2019.
- EU-KOMMISSION (2018): CO₂-arme Wirtschaft bis 2050. In: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_de#tab-0-0, Abrufdatum: 06.01.2019.
- 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.
- (2018): Anbau und Verwendung nachwachsender Rohstoffe in Deutschland. In: <https://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/stoffliche-einsatzmengen-nachwachsender-rohstoffe-in-deutschland.html>, Abrufdatum: 10.12.2018.
- (2018a): Maisanbau in Deutschland. In: <https://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/bioenergie/biogas/mais-anbau-in-deutschland.html>, Abrufdatum: 10.12.2018.
- (2018b): Entwicklung Biodiesel-Produktion und -Absatz in Deutschland. In: <https://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/bioenergie/biokraftstoffe/entwicklung-biodiesel-in-deutschland.html>, Abrufdatum: 10.12.2018.
- (2018c): Stromerzeugung aus Biomasse. In: <https://mediathek.fnr.de/stromerzeugung-aus-biomasse.html>, Abrufdatum: 30.11.2018.
- (2018d): Festbrennstoffe. In: <https://bioenergie.fnr.de/bioenergie/festbrennstoffe/>, Abrufdatum: 30.11.2018.
- (2018e): Basisdaten Bioenergie Deutschland 2018. In: http://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Broschuere_Basisdaten_Bioenergie_2018_web.pdf, Abrufdatum: 14.01.2019.
- FRANKFURT SCHOOL-UNEP CENTRE/BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE (BNEF) (2018): Global Trends in Renewable Energy Investment 2017, Key Messages GTR 2017. In: http://www.iberglobal.com/files/2018/renewable_trends.pdf, Abrufdatum: 11.12.2018.
- FvB (Fachverband Biogas e.V.) (2018): Branchenzahlen 2017 und Prognose der Branchenentwicklung 2018, Stand: Mai 2018. In: [https://www.biogas.org/edcom/webfwb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/\\$file/18-05-25_Biogas_Branchenzahlen-2017_Prognose-2018_end.pdf](https://www.biogas.org/edcom/webfwb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/$file/18-05-25_Biogas_Branchenzahlen-2017_Prognose-2018_end.pdf), Abrufdatum: 11.12.2018.
- GÖMANN, H., A. BENDER, A. BOLTE, W. DIRKSMEYER, H. ENGLERT, J.-H. FEIL, C. FRÜHAUF, M. HAUSCHILD, S. KRENGEL, H. LILIENTHAL, F.-J. LÖPMEIER, J. MÜLLER, O. MÜBHOFF, M. NATKHIN, F. OFFERMANN, P. SEIDEL, M. SCHMIDT, B. SEINTSCH, J. STEIDL, K. STROHM und Y. ZIMMER (2015): Agrarrelevante Extremwetterlagen und Möglichkeiten von Risikomanagementsystemen: Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). In: https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Klima-und-Umwelt/Klimaschutz/Abschlussbericht_ProjektExtremwetterlagen.pdf?__blob=publicationFile, Abrufdatum: 14.01.2019.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2014): Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IRENA (International Renewable Energy Agency) (2018): Renewable Energy and Jobs – Annual Review 2018. In: https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/May/IRENA_RE_Jobs_Annual_Review_2018.pdf, Abrufdatum: 11.12.2018.
- ISE (Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme) (2018): Sonne ernten auf zwei Etagen – Agrophotovoltaik steigert die Landnutzungseffizienz um über 60 Prozent. In: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2017/sonne-ernten-auf-zwei-etagen-agrophotovoltaik-steigert-landnutzungseffizienz-um-ueber-60-prozent.html>, Abrufdatum: 13.12.2018.

- (2018a): Presseinformation: Agrophotovoltaik goes global: von Chile bis Vietnam. In: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/presseinformationen/2018/1818_ISE_d_PI_APV_international.pdf, Abrufdatum: 14.12.2018.
- ISE (Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme) und WUPPERTAL INSTITUT (Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH) (2014): Stellungnahme zur BMWi-Konsultation „Eckpunkte für ein Ausschreibungsdesign für Photovoltaik-Freiflächenanlagen“. In: https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/5547/file/5547_APV.pdf, Abrufdatum: 14.01.2019.
- 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.
- KEMFERT, C. (2018): Die Hitzewelle zeigt: Höchste Zeit für einen konsequenten Klimaschutz! DIW-Wochenbericht. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin, 85 (32): 689ff.
- KRÖGER, R., J.R. KONERDING und L. THEUVSEN (2016): 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.
- LFU (Bayerisches Landesamt für Umwelt) (2018): Biogene Festbrennstoffe. In: https://www.lfu.bayern.de/energie/biogene_festbrennstoffe/index.htm, Abrufdatum: 30.11.2018.
- MARROU, H., J. WERY, L. DUFOUR und C. DUPRAZ (2013a): Productivity and radiation use efficiency of lettuces grown in the partial shade of photovoltaic panels. In: *European Journal of Agronomy* 44 (2013): 54-66.
- MARROU, H., L. DUFOUR und J. WERY (2013b): How does a shelter of solar panels influence water flows in a soil-crop system? In: *European Journal of Agronomy* 50 (2013): 38-51.
- MERTENS, K. (2018): Photovoltaik: Lehrbuch zu Grundlagen, Technologie und Praxis. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, München.
- MOVELLAN, J. (2013): Japan Next-Generation Farmers Cultivate Crops and Solar Energy. In: <https://www.renewableenergyworld.com/articles/2013/10/japan-next-generation-farmers-cultivate-agriculture-and-solar-energy.html>, Abrufdatum: 14.01.2019.
- 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.
- NEXT2SUN (2018): Pressestimmen. In: <https://next2sun.de/#Pressestimmen>, Abrufdatum: 13.12.2018.
- NIEPELT, R. (2018): INSIDE: Integration von Solarenergie in die niedersächsische Energielandschaft. Vortrag beim Gemeinsamen Ausschuss für regenerative Energien von Landvolk und WLW, 06.11.2018, Borken.
- 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 (2018): *Agricultural Outlook 2018-2027. Biofuels*. In: http://www.fao.org/docrep/i9166e/i9166e_Chapter9_Biofuels.pdf, Abrufdatum: 11.01.2019.
- PHILIPPS, S.P., A.W. BETT, B. RAU und R. SCHLATMANN (2018): Technologiebericht 1.3 Photovoltaik. In: Wuppertal Institut, ISL IZES (Hrsg.): *Technologien für die Energiewende. Teilbericht 2 an das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)*. Wuppertal, Karlsruhe, Saarbrücken. In: https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/7043/file/7043_Photovoltaik.pdf, Abrufdatum: 12.12.2018.
- PUTTKAMMER, J. und H. GRETHE (2015): The public debate on biofuels in Germany: Who drives the discourse? In: *German Journal of Agricultural Economics (GJAE)* 64 (4) Special Issue: The Political Economy of the Bioeconomy: 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.
- REN21 (2018): *Renewables 2018 Global Status Report*. Paris. In: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17-8652_GSR2018_FullReport_web_final_.pdf, Abrufdatum: 10.12.2018.
- RFA (Renewable Fuels Association) (2019): *World Fuel Ethanol Production*. In: <https://ethanolrfa.org/resources/industry/statistics/>, Abrufdatum: 20.12.2017.
- RÖPCKE, I. (2018): Neue Technologien für mehr Leistung. In: *agrarheute – Energie* 04/2018.
- SCHAUMANN, G. und K.W. SCHMITZ (2010): *Kraft-Wärme-Kopplung*. 4. Auflage. Springer, Berlin.
- SDW (Schutzgemeinschaft Deutscher Wald) (2018): *Waldanteil in Deutschland*. In: <https://www.sdw.de/waldwissen/wald-in-deutschland/waldanteil>, Abrufdatum: 14.11.2018.
- (2018a): *Holzvorrat*. In: <https://www.sdw.de/waldwissen/wald-in-deutschland/holzvorrat/index.html>, Abrufdatum: 14.11.2018.
- (2018b): *Besitzstruktur*. In: <https://www.sdw.de/waldwissen/wald-in-deutschland/besitzstruktur/index.html>, Abrufdatum: 14.11.2018.
- SPIEGEL ONLINE (2018): *Hitze in Deutschland – „Es wird immer mehr Dürren geben“*. In: <http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/hitze-in-deutschland-es-wird-immer-mehr-duerren-geben-a-1220516.html>, Abrufdatum: 14.01.2018.
- STATISTA (2018): *Primärenergieverbrauch in Deutschland nach Energieträger in den Jahren 2016 und 2017*. In: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/251493/umfrage/energieverbrauch-in-deutschland-nach-energetraeger/>, Abrufdatum: 05.12.2018.
- (2018a): *Anzahl der Biogasanlagen in Deutschland in den Jahren 1992 bis 2017*. In: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/167671/umfrage/anzahl-der-biogasanlagen-in-deutschland-seit-1992/>, Abrufdatum: 05.12.2018.

- (2018b): Installierte elektrische Leistung der Biogasanlagen in Deutschland in den Jahren 1999 bis 2018 (in Megawatt). In: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/167673/umfrage/installierte-elektrische-leistung-von-biogasanlagen-seit-1999/>, Abrufdatum: 05.12.2018.
 - (2018c): Anteil Erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch in Deutschland in den Jahren 1990 bis 2017. In: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/2142/umfrage/erneuerbare-energien-anteil-am-stromverbrauch/>, Abrufdatum: 05.12.2018.
 - (2018d): Weltweiter Primärenergieverbrauch in den Jahren von 1980 bis 2017 (in Millionen Tonnen Öläquivalent). In: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/42226/umfrage/welt-insgesamt-verbrauch-an-primaeenergie-in-millionen-tonnen-oelaequivalent/>, Abrufdatum: 10.12.2018.
 - (2018e): Wichtigste Länder weltweit nach installierter Leistung von Erneuerbare-Energien-Anlagen im Jahr 2017 (in Gigawatt). In: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/152750/umfrage/erneuerbare-energie-kapazitaet-in-gigawatt-2009/>, Abrufdatum: 11.12.2018.
 - (2018f): Anzahl neu zugelassener Pkw mit Dieselmotor in Deutschland in den Jahren 1990 bis 2017. In: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/184465/umfrage/zugelassene-diesel-pkw-in-deutschland/>, Abrufdatum: 10.12.2018.
 - (2018g): Anzahl neu zugelassener Pkw mit Benzinmotor in Deutschland in den Jahren 2007 bis 2017. In: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/818600/umfrage/pkw-mit-benzinmotor-neuzulassungen-in-deutschland/>, Abrufdatum: 10.12.2018.
 - (2019): Wichtigste Länder weltweit nach Produktionsmenge von Biodiesel im Jahr 2017 (in Milliarden Liter). In: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/172713/umfrage/biodieselproduktion-nach-ausgewaehlten-laendern-weltweit/>, Abrufdatum: 08.01.2019.
 - SÜDDEUTSCHE ZEITUNG (2018): Vorgeschmack auf die Sommer der Zukunft. In: <https://www.sueddeutsche.de/wissen/klimawandel-europa-duerre-1.4072135>, Abrufdatum: 14.01.2019.
 - TROMMSDORF, M. (2018): „Agrophotovoltaik – Ein Beitrag zur ressourceneffizienten Landnutzung“, Vortrag auf den Niedersächsischen Solarenergietagen, 06.09.2018, Hannover.
 - UFOP (Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V.) (2018): Biodiesel 2017/2018 Sachstandsbericht und Perspektive – Auszug aus dem UFOP-Jahresbericht 10/2018, Berlin.
 - ULRICH, S. (2018): Doppelte Ernte. In: Erneuerbare Energien 07/2018: 54-57.
 - UMWELTBUNDESAMT (2018): Primärenergieverbrauch. In: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/primae-renergieverbrauch#textpart-3>, Abrufdatum: 05.12.2018.
 - (2018a): Stromerzeugung erneuerbar und konventionell. In: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/stromerzeugung-erneuerbar-konventionell#textpart-3>, Abrufdatum: 05.12.2018.
 - (2018b): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger. In: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#emissionsbilanz>, Abrufdatum: 30.11.2018.
 - USDA (U.S. Department of Agriculture) (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, Abrufdatum: 20.12.2017.
 - VDB (Verband der deutschen Biokraftstoffindustrie) (2019): Biodiesel. In: <http://www.biokraftstoffverband.de/index.php/biodiesel.html>, Abrufdatum 20.12.2019.
 - VITI (2018): Un démonstrateur agrivoltaïque dans les Pyrénées-Orientales. In: <https://www.mon-viti.com/filinfo/viticulture/un-demonstrateur-agrivoltaique-dans-les-pyrenees-orientales>, Abrufdatum: 13.12.2018.
 - VOGELPOHL T. (2018): Schlussbetrachtung. In: Biokraftstoffpolitik in Deutschland. Energiepolitik und Klimaschutz. Energy Policy and Climate Protection. Springer VS, Wiesbaden.
 - WELT (2018): Eine Dürre, wie es sie noch nie gab. In: <https://www.welt.de/wissenschaft/article181616914/Duerre-in-Deutschland-Was-der-trockene-Sommer-bewirkt-hat.html>, Abrufdatum: 14.01.2019.
 - WOCHENSPIEGEL (2018): Bifaciale Solaranlage. In: <https://www.wochenspiegelonline.de/news/article/bifaciale-solaranlage/>, Abrufdatum: 13.12.2018.
 - ZSCHACHE, U., S. VON CRAMON-TAUBADEL und L. THEUVSEN (2010): Öffentliche Deutungen im Bioenergiegediskurs. In: Berichte über Landwirtschaft 88 (3): 502-512.
- Kontaktautorin:
DR. VERENA OTTER
Georg-August-Universität Göttingen
Department für Agrarökonomie und Rurale Entwicklung
Platz der Göttinger Sieben 5, 37073 Göttingen
E-Mail: verena.otter@agr.uni-goettingen.de