

Der Markt für Bioenergie

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

1 Landwirtschaftliche (Energie-) Erzeugung vor neuen Herausforderungen

Nach dem Dürrejahr 2018 folgten im Jahr 2019 weitere Extremwetterereignisse wie Hitzewellen, lange Trockenheitsperioden und punktuelle Starkregen. Die dadurch zunehmende Sichtbarkeit der Auswirkungen des Klimawandels befeuerte die gesellschaftlichen Klimaschutzdiskussionen des Vorjahres. Scheinbar überwunden ist die sonst so tief verwurzelte „Not in my backyard“ (NIMBY)-Haltung in Bezug auf eine klimafreundlichere Lebensweise, zumindest in jüngeren Teilen der deutschen Gesellschaft, was unter anderem die beständige Präsenz der Fridays-for-Future-Bewegung suggeriert (VAUTARD et al., 2019; MAHNKOPF, 2019). Besonders der land- und forstwirtschaftliche Sektor bekam die Auswirkungen des Extremwetters der letzten zwei Jahre mit regional stark unterschiedlichen Ertragseinbußen bei Grünlandkulturen und vielen Feldfrüchten, aber auch neuartigen und ungewöhnlich großflächigen Waldschäden zu spüren und steht nun vor neuen Managementherausforderungen. So sind in der deutschen Landwirtschaft zunehmend ein komplexeres Risikomanagement sowie eine umfassendere strategische Investitions- und Unternehmensplanung, die noch stärker Risikoaspekte einbezieht, von Bedeutung (BMEL, 2019; DETER, 2019). Forderungen nach einem radikalen Umdenken in der Land- und Forstwirtschaft als Ursprung von weltweit ca. 23 % der menschenverursachten Treibhausgase erhöhen den ökonomischen Druck auf die Landwirte zusätzlich (IPCC, 2019) und formieren sich anhaltend auch in deutschlandweiten gesellschaftlichen Initiativen, wie beispielsweise den „Wir haben es satt“-Demonstrationen (WIR-HABEN-ES-SATT, 2020).

Auf Regelungsebene der Europäischen Union (EU) sind die Weichen ebenfalls auf Bekämpfung des anthropogenen Klimawandels gestellt. So trat im Mai 2018 eine neue Verordnung (2018/842/EG) in Kraft, die die Festlegung verbindlicher nationaler Jahresziele für die Reduzierung der THG-Emissionen im Zeitraum 2021 bis 2030 regelt. Für Deutschland gilt ein Minderungsziel von 38 % gegenüber dem Referenz-

jahr 2005 (RÜBCKE VON VELTHEIM et al., 2019). In diesem Zusammenhang stehen Politik und Wirtschaft unter einem massiven Handlungs- bzw. Innovationsdruck, da bei einer Nichterreichung der Vorgaben Emissionsberechtigungen von anderen EU-Mitgliedsstaaten gekauft werden müssen. Nach ersten Schätzungen könnte dies den Bundeshaushalt bis 2030 mit bis zu 60 Mrd. € belasten (AEE, 2020). Der zum Jahresende 2019 vorgestellte „European Green Deal“ knüpft mit dem ehrgeizigen Ziel der Klimaneutralität Europas bis 2050 an diese Regelung an und setzt dabei besonders auf grüne Technologien (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2019). Auch die GAP 2020 beinhaltet in ihrer neuen „Grünen Architektur“ neben der neuen Konditionalität und den „Eco-schemes“ sogenannte „Agri-environment-climate measures“ (AECMs). Die AECMs stellen sich als Fördermaßnahmen für unter anderem umweltfreundliche Produktionsverfahren einschließlich Agroforstsystemen dar, die zur Erreichung der europäischen Klimaziele beitragen sollen. Das Angebot solcher Fördermaßnahmen ist für die Mitgliedsstaaten verpflichtend, die tatsächliche Teilnahme der Landwirte ist es jedoch nicht (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2019a).

Vor dem Hintergrund der nationalen gesellschaftlichen Diskussion und der europäischen Vorgaben wurde auch in Deutschland die politische Handlungsbereitschaft und Debatte neu entfacht, welche in den letzten Jahren eine Vielzahl an Gesetzesnovellierungen und neuen Gesetzespaketen hervorbrachte. Nun verpflichten in Deutschland zusätzlich der Koalitionsvertrag und die neu ausgehandelten und eng miteinander verwobenen „Agrar- und Klimapakete“ zum Handeln (AEE, 2020). Erneuerbare Energien bekommen dabei im gleichen Atemzug wie die Landwirtschaft weiterhin verstärkt Aufmerksamkeit, da der Hauptanteil der globalen Treibhausgasemissionen und somit auch des „Global Warming Potentials“ auf fossile Brennstoffe zurückzuführen ist (IPCC, 2014; KEMFERT, 2018). So komplementieren die Agrar- und Klima-Gesetzespakete vorangegangene Regelungen, wie jene zur Energiewende im Jahr 2011 oder zur Nachhaltigkeit von Biokraftstoffen (Biokraft-NachV) (BRAUNE et al., 2016). Die Geschwisterliebe zwischen

Agrar- und Klimapolitik ist also nicht neu, ebenso wenig wie die damit einhergehenden Nachhaltigkeitskonflikte: Bereits Ende der Nullerjahre war der Bioenergie-Boom Mitverursacher der „Tank vs. Teller“-Debatte, weshalb Biogasanlagen mit den EEG-Novellen 2012, 2014 und 2017 sukzessive eine stärkere Flexibilisierung auferlegt wurde (REITER und LINDORFER, 2015; NITSCH, 2017; LANGENBERG et al., 2017). Gleichzeitig wurde der mit dem EEG 2012 eingeführte sogenannte „Maisdeckel“ mit dem EEG 2017 auf einen Zielwert von 44 % pro Anlage zum Jahr 2021 erneut herabgesetzt (EEG, 2017).

Durch die stetig steigenden gesellschaftlichen und politischen Nachhaltigkeitsanforderungen und damit verbundenen betrieblichen Planungsunsicherheiten bei gleichzeitigem nachfrageseitigem Preisdruck und bereits bestehenden Managementherausforderungen, fühlen sich Landwirte/innen inzwischen zunehmend in ihre Existenz bedroht. Die Reaktionen aus dem Sektor zeigen sich nicht nur in den eigens gegründeten deutschlandweiten Initiativen „Wir machen euch satt“ und „Land schafft Verbindung“, die Öffentlichkeit für die Problematik schaffen und zum stärkeren Dialog aufrufen wollen, sondern auch in einzelbetrieblichen Investitionsverzögerungen (WIR MACHEN EUCH SATT, 2020; LAND SCHAFFT VERBINDUNG, 2020; DETER, 2019a). Letzteres wäre ein denkbarer Grund dafür, dass bei innovativen, aber investitionsintensiven Energieerzeugungssystemen mit langer Kapitalbindung, wie z.B. Agrarholz, die Akzeptanzraten tendenziell auf niedrigem Niveau verharren (OTTER und LANGENBERG, 2019), obwohl die Implementierung solcher nachhaltigeren Bewirtschaftungssysteme in der Landwirtschaft, zusammen mit einer wertschöpfungsstufenübergreifenden strategischen Erneuerung der gesamten Agrar- und Ernährungswirtschaft, inzwischen unumgänglich scheint (BMEL, 2019b; NTV, 2020). Deshalb sollen an den Marktüberblick anschließend Chancen des Klimapakets der Bundesregierung für den Agrarsektor herausgearbeitet und ein beispielhafter Ausblick auf die Herausforderungen auf dem Weg zu einer nachhaltigeren Verbindung von Landnutzung und Bioenergie gegeben werden.

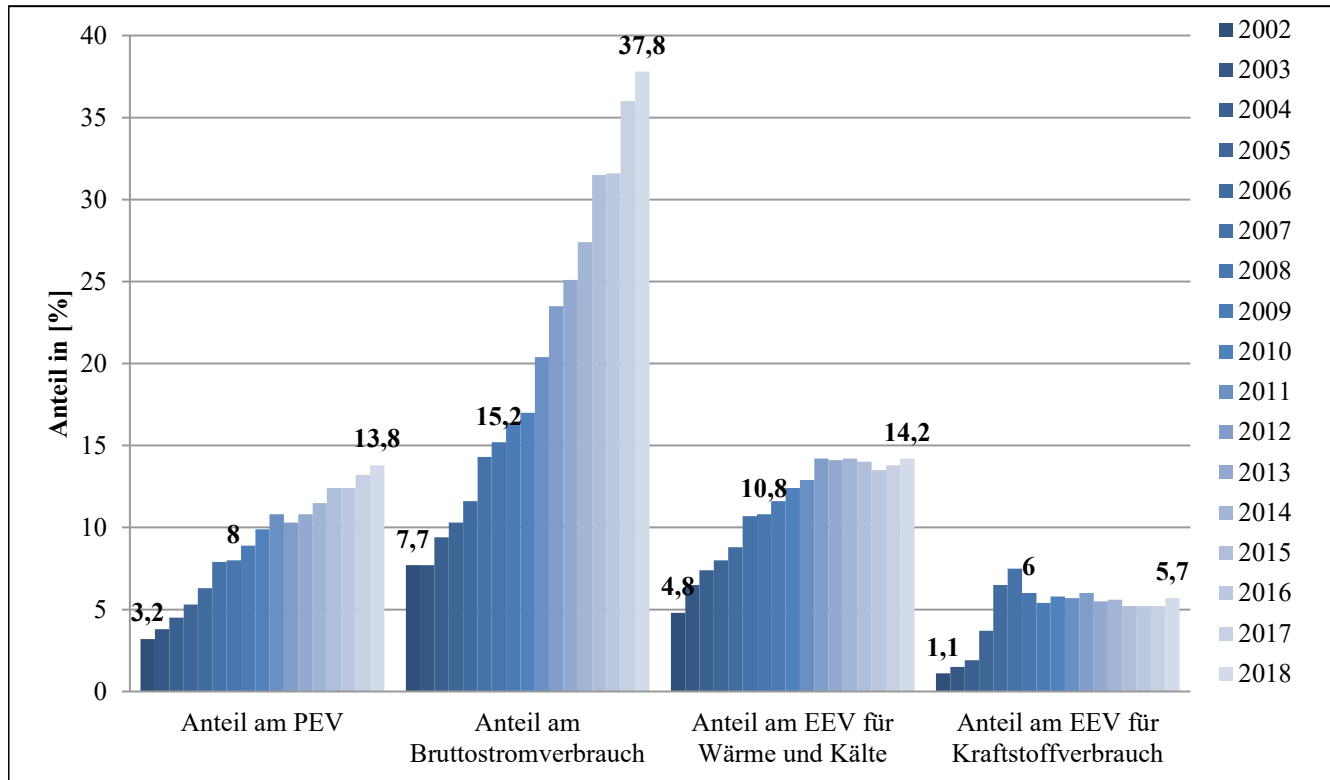
2 Erneuerbare Energien im Energiemix

Der Primärenergieverbrauch (PEV) bezeichnet die Energiemenge aller inländisch eingesetzten (Primär-)

Energieträger, wie beispielsweise Braun- und Steinkohle, Mineralöl und Erdgas. Im Jahr 2018 lag der PEV in Deutschland mit etwa 13,10 Exajoule knapp unter dem Niveau von 2014 (13,18 Exajoule) und damit auf dem niedrigsten Wert seit der Wiedervereinigung 1990. Dementsprechend ergibt sich ein Rückgang zum Vorjahr von etwa 3,1 %, was einem seit 2012 erstmalig rückläufigen Trend entspricht. Vergleicht man den mengenmäßigen Anteil der verschiedenen Energieträger am Rückgang des PEVs, so ergaben sich im Vergleich von 2018 zu 2017 die deutlichsten Rückgänge im Bereich der Gase (-88 Petajoule, -2,8 %) und der Mineralöle (-219 Petajoule, -4,7 %). Insgesamt stellten Mineralöle mit etwa 34 % und Gase mit etwa 23,5 % auch 2018 die größten Energieträgeranteile am PEV (UMWELTBUNDESAMT, 2019). Der Anteil der erneuerbaren Energien am PEV hat sich bis 2018 auf 13,8 % (1.804 Petajoule) gesteigert und lag damit erneut 0,5 Prozentpunkte über dem Vorjahr (2017: 1.797 Petajoule). Das Wachstum des Anteils erneuerbarer Energien hat sich dabei jedoch im Vergleich zu früheren Werten wie z.B. 2003 (+23,1 %) erheblich verlangsamt (AGEB, 2019). Trotz des deutlichen Rückgangs des PEV von 2017 auf 2018 erscheint eine Erreichung des im Energiekonzept der Bundesregierung festgeschriebenen Ziels der Senkung des PEVs auf 11,50 Exajoule bis Ende 2020 eher unwahrscheinlich (AGEB, 2019; UMWELTBUNDESAMT, 2019).

Die inhomogene Verteilung erneuerbarer Energien auf die verschiedenen Bereiche des Primärenergieverbrauchs mit einem klaren Schwerpunkt bei der Stromerzeugung hat sich 2018 erneut verstetigt (siehe Abbildung 1). Verglichen mit 2016 (31,6 %) und 2017 (36 %) hat sich 2018 die Zunahme des Anteils der erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch mit 37,8 % (BMWI, 2019) verlangsamt. Dies ist angesichts der Schwierigkeiten namentlich beim weiteren Ausbau der Windenergieproduktion keine überraschende Entwicklung. Unter den verschiedenen Energieträgern zur Bruttostromerzeugung in Deutschland stieg die erzeugte Energiemenge 2018 bei den erneuerbaren Energien auf etwa 224,6 TWh, womit sie erneut deutlich vor Braunkohle (2018: 146 TWh), Steinkohle (2018: 83 TWh), Gasen (2018: 83 TWh) und der Kernenergie (2018: 76 TWh) lag (UMWELTBUNDESAMT; 2019a). Für die Wärme- und Kältebereitstellung konnten die erneuerbaren Energien nach Rückgängen in den Jahren 2015 und 2016 ihren Anteil 2018 (14,2 %) wieder auf das Niveau von 2014 und damit um 0,4 Prozentpunkte im Vergleich zum Vor-

Abbildung 1. Anteile erneuerbarer Energien an der Energiebereitstellung in Deutschland



EEV = Endenergieverbrauch

Quelle: eigene Darstellung nach AGEb (2019)

jahr steigern. Der Anteil erneuerbarer Energien im Bereich Kraftstoffe für Verkehr hat sich 2018 auf 5,7 % (+0,5 Prozentpunkte im Vergleich zum Vorjahr) gesteigert und damit die vorherige Stagnation überwunden (2017: 5,2 %; 2016: 5,2 %; 2015: 5,2 %) (AGEb, 2019).

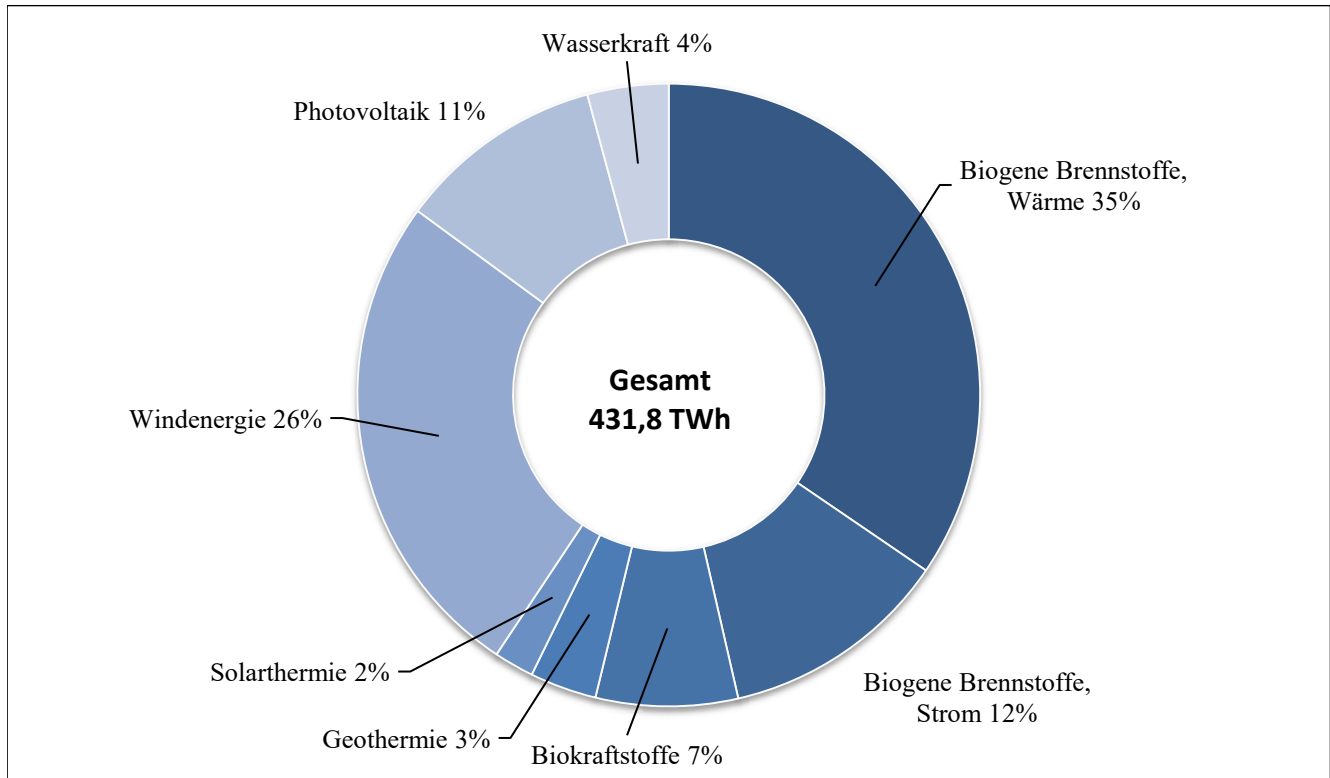
Insgesamt wurden 2018 etwa 429,6 TWh aus erneuerbaren Energien bereitgestellt, was einer Steigerung um 2,31 % im Vergleich zum Vorjahr (2017: 419,9 TWh) entspricht (BMWl, 2019). Den mit Abstand größten Anteil nahmen dabei die biogenen Brennstoffe für Wärme (35 %) und Strom (12 %) ein, gefolgt von Windenergie (26 %), Photovoltaik (11 %), Biokraftstoffen (7 %) und Wasserkraft (4 %); Geo- (3 %) und Solarthermie (2 %) hatten nur eine vergleichsweise geringe Bedeutung (siehe Abbildung 2). Die Menge des erzeugten Bruttostroms aus erneuerbaren Energien betrug 2018 etwa 224,6 TWh, der überwiegend aus Windenergie (109,9 TWh), Biomasseinsatz (50,7 TWh) und Photovoltaikanlagen (45,8 TWh) erzeugt wurde. Der Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte (171 TWh) bestand analog zu den Vorjahren primär aus der Nutzung von Biomasse (86,3 %). Im Verkehrssektor setzte sich die wachsende Nutzung erneu-

erbarer Energien am Energieverbrauch mit einem Anstieg von 34,3 TWh (2017) auf 36 TWh (2018) weiter fort, wobei Biodiesel mit 61,9 % weiterhin der größte Energieträger war (BMWl, 2019).

Der auf 16,7 % erneut gestiegene Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch in Deutschland hat im Jahr 2018 zu einer Einsparung von etwa 183,6 Mio. t CO₂ geführt (+2,7 % zum Vorjahr). Die vermiedenen Treibhausgasemissionen resultieren dabei aus der Energiegewinnung durch Windkraft (40 %), Biomasse (35 %) und Solaranlagen (17 %) (BMWl, 2019). Mit 76,9 % der Treibhausgasreduzierung im Bereich der Stromerzeugung hat sich dieser Anteil an der Gesamtemissionsreduzierung erneut erhöht; die restlichen Anteile entfallen auf die Wärme- und Kälteproduktion (19 %) und auf den Verkehrsbereich (4,1 %) (BMWl, 2019).

Betrachtet man die wirtschaftliche Bedeutung von Erneuerbare-Energien-Anlagen (EEA), so ist das Investitionsvolumen im Jahr 2018 (13,5 Mrd. €) deutlich um 14,3 % im Vergleich zum Vorjahr zurückgegangen und lag 2018 ungefähr wieder auf dem Wert von 2007. Dies entspricht im Vergleich zum Höchstwert 2010 (27,9 Mrd. €) einem Rückgang um mehr als der Hälfte des Volumens (-51 %, -14,3 Mrd. €).

Abbildung 2. Zusammensetzung der erneuerbaren Energien in Deutschland 2018



Quelle: eigene Darstellung nach BMWi (2019)

Der deutlichste Rückgang war bei den Investitionen in Windenergieanlagen an Land zu beobachten, die sich im Vergleich zum Vorjahr mehr als halbiert haben (-54,9 %, -4 Mrd. €). Die mit Abstand größten Investitionen zur Errichtung von EEA entfielen auf Windenergieanlagen auf See (4,2 Mrd. €); 2017 waren es 3,4 Mrd. €. Den größten Investitionszuwachs (55,3 %; 940 Mio. €) im Vergleich zum Vorjahr erreichten Photovoltaikanlagen (BMWi, 2019). Erneut wurde in die Errichtung von Wasserkraftanlagen mit einem Umfang von etwa 20 Mio. € am wenigsten investiert.

Analog zu den Investitionssummen hat sich auch die Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien zum Jahr 2017 deutlich verringert. Sie sank von 347.900 Personen im Jahr 2016 auf 316.000 Personen (-9 %) im Jahr 2017. Der deutlichste Beschäftigungsrückgang von -16,2 % war bei der Windenergie an Land zu verzeichnen, wobei diese Teilbranche jedoch mit 112.100 Personen (35,4 %) weiterhin knapp die meisten Beschäftigten in der Branche der erneuerbaren Energien stellte (BMWi, 2019a; BMWi, 2019b). Es folgten der Biomasse- (110.800 Personen; 34,9 %), der Solarenergie- (42.800 Personen; 13,51 %), der Geothermie- (22.000 Personen; 7 %) und der Wasserkraftbereich (6.000 Personen; 1,8 %) (BMWi, 2019b).

Global gesehen stiegen Einsätze und Ausbau erneuerbarer Energien weiterhin besonders im Stromerzeugungssektor, während in den Bereichen Wärme- und Kälteerzeugung sowie Verkehr der Anteil erneuerbarer Energie nur langsam zunahm (REN21, 2019). Von zentraler Bedeutung für das zukünftige Wachstum erneuerbarer Energien im Bereich der Stromerzeugung werden insbesondere die durch sinkende Kosten steigende Wettbewerbsfähigkeit gegenüber fossilen Energieträgern wie Öl und Gas sowie Vorteile durch eine leichtere Dezentralisierung und Flexibilisierung sein (IEA, 2018). IEA (2018) geht dabei in verschiedenen Szenarien von einem Anstieg des Stromverbrauchs durch Elektromobilität, elektrische Wärme- und Kälteerzeugung sowie dem fortschreitenden Elektrizitätszugang in Entwicklungsländern von 60 % bis 90 % aus. Nach Schätzungen von REN21 (2019) stammten 2017 etwa 18,1 % des gesamten Endenergieverbrauchs aus erneuerbaren Energiequellen, wobei 10,6 % auf moderne und 7,5 % auf traditionelle bzw. veraltete Nutzungsformen zurückzuführen sind. Die traditionellen Nutzungsformen haben insbesondere in Entwicklungsländern weiterhin eine hohe Bedeutung, stellen jedoch in Hinblick auf die Vermeidung von CO₂-Emissionen und die Erfüllung von

Nachhaltigkeitskriterien keine vergleichbaren Leistungen, wie moderne erneuerbare Energieträger, zur Verfügung. Die globale Energienachfrage ist 2018, bedingt durch ein globales Wirtschaftswachstum (+3,6 % im Vergleich zu 2017) und eine höhere Nachfrage nach Wärme- und Kälteleistungen, um 2,3 % gestiegen, dem höchsten Wert der vergangenen zehn Jahre (REN21, 2019). Den größten Anteil am Endenergieverbrauch trugen dabei die Wärme- und Kälteerzeugung mit 51 % und der Verkehrssektor mit 32 % bei, während der Stromsektor nur 17 % des Verbrauchs ausmachte. Gleichzeitig war der Anteil moderner erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung mit 26 % am höchsten, während die Anteile an der Wärme- und Kälteerzeugung nur 9,8 % und am Verkehr nur 3,3 % betrugen (REN21, 2019).

Die globale Stromerzeugungskapazität zeigte dabei im Jahr 2018 trotz insgesamt gesunkener Investitionsvolumina das stärkste Wachstum der neu installierten erneuerbaren Energieerzeugungskapazitäten. So erhöhte sich die globale Kapazität erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung um 8,2 % von 2,2 TW auf 2,4 TW (REN21, 2019). Dieses Wachstum lässt sich primär auf den Ausbau der Stromerzeugungskapazitäten bei Photovoltaik (2017: 405 GW; 2018: 505 GW) und bei Windenergie (2017: 540 GW; 2018: 591 GW) zurückführen. Die gesamte installierte Stromerzeugungsleistung belief sich am Ende des Jahres 2017 auf rund 2.195 Gigawatt (GW). Betrachtet man die Anteile der verschiedenen Arten erneuerbarer Energien an der installierten Gesamtkapazität, stellte Wasserkraft im Jahr 2018 trotz eines vergleichsweise geringen Zubaus von 20 GW weiterhin den größten Anteil (1.246 GW). Das globale Wachstum der installierten Energieerzeugungskapazität wird dabei weiterhin von China dominiert. Das Land trug von 51 GW globalem Zubau an Windenergie 21,1 GW und von 100 GW globalem Zubau an Photovoltaik etwa 45 GW bei (REN21, 2019). Betrachtet man die global installierte Leistung aus EEA steigerte China (2018: 696 GW) seinen Abstand zu den USA (2018: 245 GW), Brasilien (2018: 136 GW), Deutschland (2018: 120 GW) und Indien (2018: 118 GW) weiter (IRENA, 2019).

Das weltweite Investitionsvolumen in erneuerbare Energie ist 2018 im Vergleich zum Vorjahr um 11,5 % gesunken (2017: 326 Mrd. \$; 2018: 289 Mrd. \$). Dieser Rückgang ist primär auf eine massive Verminderung der chinesischen Investitionen in erneuerbare Energien (-37,5 %) zurückzuführen (2017: 145,9 Mrd. \$; 2018: 91,2 Mrd. \$) (REN21, 2019). Zunahmen der Investitionen konnten hingegen insbesondere in Europa

(2017: 44 Mrd. \$; 2018: 61,2 Mrd. \$) sowie Afrika und dem mittleren Osten (2017: 9,8 Mrd. \$; 2018: 15,4 Mrd. \$) beobachtet werden (REN21, 2019). Betrachtet man die Investitionen in die verschiedenen Technologien der erneuerbaren Energien, so verringerte sich der Vorsprung von Photovoltaik um 22 % auf ein Investitionsvolumen von 139,7 Mrd. Auch dieser Rückgang ist überwiegend durch den Rückgang des chinesischen Investitionsvolumens und gesunkene Modulkosten begründet. Die Windenergie erfuhr in 2018 dagegen aufgrund mehrerer großer Projekte an Land eine Investitionssteigerung auf 134,1 Mrd. \$ (+2 % im Vergleich zu 2017) (REN21, 2019). Die globalen Beschäftigungszahlen im Bereich der erneuerbaren Energien stiegen 2018 auf 10,98 Mio. Beschäftigte (+6,6 % im Vergleich zum Vorjahr) weiter an; davon waren 3,6 Mio. in der Photovoltaik- und 3,2 Mio. in der Bioenergiebranche tätig (IRENA, 2019a).

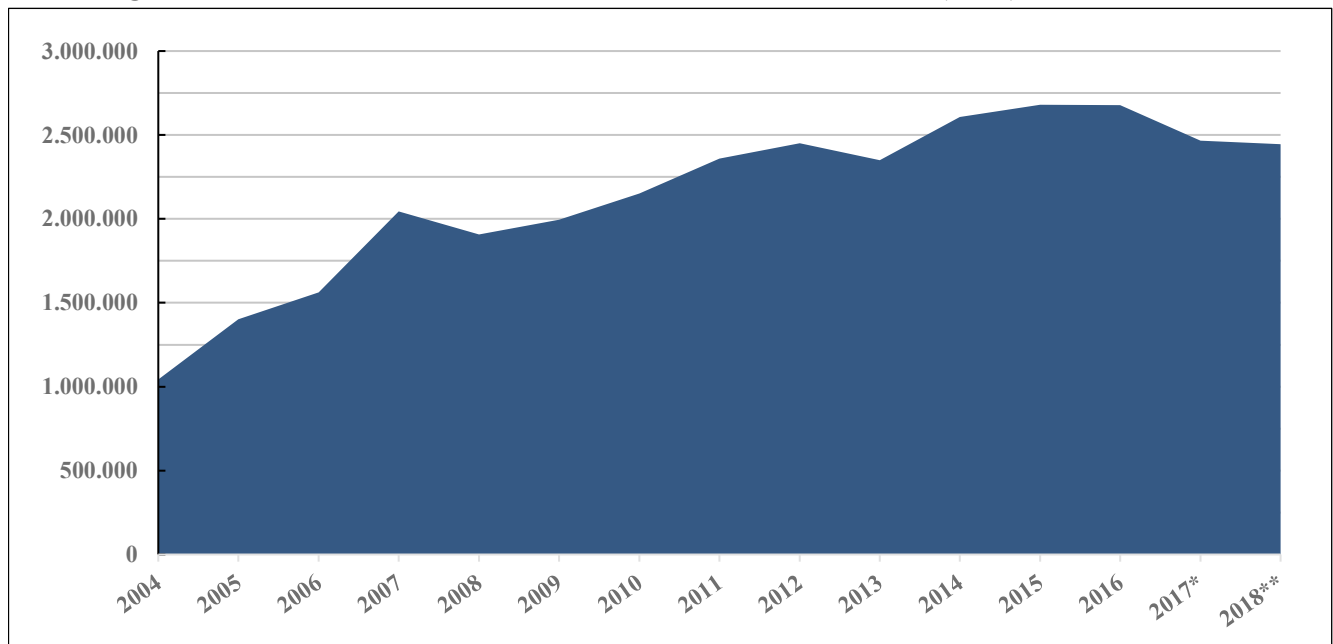
3 Entwicklung der Biomasseerzeugung in Deutschland

3.1 Biomasse aus landwirtschaftlicher Produktion

Der landwirtschaftlichen Produktion in Deutschland stehen mit insgesamt 16,7 Mio. Hektar (ha) an Ackerland, Dauerkulturflächen und Dauergrünland 46,8 % der Gesamtfläche Deutschlands zur Verfügung. Für den Anbau von nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo) werden davon knapp 2,5 Mio. ha verwendet, was einem Anteil an der landwirtschaftlichen Nutzfläche von 14,8 % entspricht (FNR, 2019). Nachdem die Bedeutung von nachwachsenden Rohstoffen in der Landwirtschaft lange Jahre von einem kontinuierlichen Wachstum geprägt war, ist nunmehr zu beobachten, dass die Anbaufläche seit dem Jahr 2017 tendenziell rückläufig ist (siehe Abbildung 3).

Im Bezugsjahr 2018 setzte sich die Anbaufläche von nachwachsenden Rohstoffen aus 2,17 Mio. ha für den Energiepflanzenanbau (89 %) und 275.000 ha (11 %) für den Industriepflanzenanbau zusammen. Laut der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) machte im Bereich der Energiepflanzen die Substratproduktion für Biogasanlagen mit 1,35 Mio. ha (55 % der NawaRo-Fläche) den größten Anteil aus und blieb damit auf ähnlichem Niveau wie im Jahr 2017 mit 1,32 Mio. ha (FNR, 2019). Nach Schätzung des Fachverbandes Biogas lag die Anbaufläche für die Biogaserzeugung bei 1,4 Mio. ha und somit leicht höher als nach den Schätzungen der FNR.

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



Anbaufläche für 2017* vorläufig und 2018** geschätzt
Quelle: eigene Darstellung nach FNR (2019)

Insgesamt kann tendenziell von einer leichten Zunahme der Anbaufläche im Vergleich zu 2017 ausgegangen werden. Unter den Pflanzen für Biogas dominierte, wie in den Jahren zuvor, der Anbau von Energiemais mit 993.183 ha (2017: 913.000), gefolgt von Grassilage aus Ackergras und Dauergrünland, Getreide-Ganzpflanzensilage, Körnergetreide und Zuckerrüben (FvB, 2019). Der Energiemaisanbau hat damit das zweite Jahr in Folge leicht zugelegt. Dieser Trend spiegelte sich auch für den Silomaisanbau insgesamt wider, der in 2017/2018 und 2018/2019 nach vorherigen Rückgängen geringfügig angestiegen ist (DMK, 2019). Die zweithöchste Bedeutung bei den Energiepflanzen wies mit 560.000 ha (22,9 %) der Raps für Biodiesel/Pflanzenöl auf. Der Abwärtstrend im Rapsanbauumfang der Vorjahre setzte sich damit relativ deutlich fort, was unter anderem auf den stärkeren Einsatz von Soja- und Palmöl für die Biodieselherstellung in deutschen Produktionsstätten zurückzuführen ist (FNR, 2019). Neben dem Angebots- und Preisdruck an den Pflanzenölmärkten haben die geänderten förderpolitischen Rahmenbedingungen sich nachfrageseitig ausgewirkt. So wurde beispielsweise rechtlich durch die Doppelanrechnung von Biokraftstoffen aus Abfallölen und -fetten im Rahmen der iLUC-Richtlinie 2015 ein Wettbewerbsvorteil für solche Pflanzenöle geschaffen, der zunehmend zur Verdrängung von Biodiesel aus Rapsöl führt (SEEDLER, 2017; UFOP, 2019). Angebotsseitig hat sich die Wirtschaftlichkeit des Rapsanbaus in Deutschland in den letzten

Jahren unter anderem aufgrund der Preissituation bei Raps verschlechtert. Trotz kleiner Ernten in 2017 und 2018 lagen die Erlöse auf relativ niedrigem Niveau, wodurch keine entscheidenden Impulse für die Attraktivität des Anbaus gegeben werden konnten (ARENS, 2019). Hinzu kommt, dass der Rapsanbau seine Potenziale in den vergangenen Jahren vor allem witterungsbedingt, aber auch durch Einschränkungen beim insektiziden Beizschutz, nicht ausschöpfen konnte (BUCHHOLZ, 2018; ARENS, 2019). Die Anbaufläche an Mais, Getreide und Zuckerrüben für Zucker und Stärke aus Bioethanol hält sich seit 2015 auf einem relativ konstanten Niveau. In 2018 betrug die Anbaufläche 246.000 ha (10,06 %) (FNR, 2019). Der Absatz von Bioethanol, der fast ausschließlich für die Beimischung zu Ottokraftstoffen verwendet wird, ist seit fünf Jahren nahezu identisch, da der Beimischungsanteil im Durchschnitt mit etwa 6 Vol.-% ebenfalls konstant ist (BDBE, 2019). Die Zukunftsaussichten für Bioethanol in Deutschland/Europa werden vom Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft positiv eingeschätzt. Zum einen aufgrund der gesetzlich verankerten Treibhausgasminderungsquote für alle Kraftstoffe, die von vier auf sechs Prozent ab 2020 erhöht wurde. Zum anderen haben Vergleichstests dieses Verbandes in 2019 gezeigt, dass die Nutzung der Benzinsorte Super E10 mit einem höheren Anteil an Bioethanol nicht nur CO₂-Emissionen, sondern auch den Stickoxid- und Feinstaubausstoß von Benzinmotoren deutlich reduziert (FNR, 2019). Im Bereich

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

Rohstoff		2014	2015	2016	2017*	2018**	Anteil an NawaRo-Fläche 2018** (%)
Energiepflanzen	Raps für Biodiesel/Pflanzenöl	799.000	805.000	720.000	598.000	560.000	22,90
	Zucker/Stärke für Bioethanol	188.000	238.000	259.000	248.000	246.000	10,06
	Pflanzen für Biogas	1.354.000	1.340.000	1.390.000	1.320.000	1.350.000	55,21
	Sonstiges (u.a. Agrarholz, Miscanthus)	10.500	11.000	11.000	11.000	11.000	0,45
	Energiepflanzen insgesamt	2.350.000	2.390.000	2.380.000	2.180.000	2.170.000	88,75
Industriepflanzen	Industriestärke	106.000	108.000	128.000	132.000	129.000	5,28
	Industriezucker	12.500	12.300	12.800	11.600	12.000	0,49
	Technisches Rapsöl	116.000	138.000	132.000	117.000	109.000	4,46
	Technisches Sonnenblumenöl	6.000	7.100	7.740	7.210	7.210	0,29
	Technisches Leinöl	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	0,14
	Pflanzenfaser	1.000	1.490	1.520	2.200	2.200	0,09
	Arznei- und Farbstoffe	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	0,49
	Industriepflanzen insgesamt	257.000	283.000	298.000	286.000	275.000	11,25
NawaRo insgesamt		2.610.000	2.680.000	2.680.000	2.650.000	2.445.000	100,00

*vorläufige Werte **geschätzte Werte

Quelle: eigene Darstellung nach FNR (2019); Abweichungen in den Summen ergeben sich durch Rundungen der Zahlen

Agrarholz und Miscanthus ist der Anbauumfang mit 11.000 ha (0,45 %) auf niedrigem Niveau geblieben (FNR, 2019).

Die Anbaufläche von Industriepflanzen ist im Jahr 2018 im Vergleich zum Jahr 2017 um 11.000 ha gesunken. Aufgrund der insgesamt leicht rückläufigen Fläche für nachwachsende Rohstoffe ist der relative Anteil nahezu identisch zum Vorjahr. Dominierend war dabei 2018 mit insgesamt 128.000 ha (5,28 %) der Anbau von Weizen, Körnermais und Kartoffeln für Industriestärke. Die zweithöchste Bedeutung hatte die Verwendung von Raps zur Herstellung von Ölen und Fetten für Industriezwecke mit 109.000 ha (4,46 %). Die Fläche zur Produktion von Arznei- und Farbstoffen lag unverändert wie in den letzten 5 Jahren bei 12.000 ha (0,49 %). Eine Steigerung um 400 ha Anbaufläche auf 12.000 ha (0,49 %) war beim Zuckerrübenanbau für Industriezucker zu beobachten (FNR, 2019).

3.2 Biomasse aus biogenen Reststoffen und Abfällen

Mit der EEG-Novelle 2014 ist deutlich geworden, dass sich die Bundesregierung insbesondere bei der Stromerzeugung stärker auf den Einsatz von biogenen Rest- und Abfallstoffen fokussiert (FNR, 2015). Aufgrund der nur begrenzt zur Verfügung stehenden Ressource ‚landwirtschaftliche Nutzfläche‘ sowie bereits bestehender Nutzungskonkurrenz („Teller oder Tank“)

stellte sich die Frage, welche Optionen zur Ausweitung der Biomassenutzung in Deutschland noch vorhanden sind (KALCHER und BROSOWSKI, 2018). Vor diesem Hintergrund liegt die Erschließung bisher ungenutzter Rest- und Abfallstoffe nahe. Per Definition gehören zu den biogenen Reststoffen Altholz, Industrierestholz, Waldrestholz, biogene Abfall- und Reststoffe aus der Lebensmittelindustrie, Zoomasse-Reststoffe (Tiermehl, Tierfett), biogene Anteile des Restmülls und Bioabfälle. Klärschlämme sind hinzuzuziehen, sofern sie energetisch genutzt werden können. Darüber hinaus wird Stroh, das nicht landwirtschaftlich verwertet wird, ebenfalls hinzugezählt (NELLES, 2009). Das ungenutzte Potenzial von Rest- und Abfallstoffen wird auf insgesamt rund 448 Petajoule (PJ) beziffert. Davon entfallen 218 PJ (48,7 %) auf die Erschließung von Waldrestholz, gefolgt von Stroh mit 141 PJ (31,5 %) und Gülle/Mist mit 70 PJ (15,6 %). Weitere ungenutzte Potenziale wie Sägereste, Altholz, Landschaftspflegeholz, Siedlungsabfälle, Reststoffe aus der Lebens- und Futtermittelherstellung haben zusammen nur ein ungenutztes Potenzial von unter 5 %, da diese Reststoffe bereits überwiegend verwertet werden (BROSOWSKI et al., 2015; FNR, 2015).

Die Kategorie Waldrestholz umfasst Holz mit einem Durchmesser unter 7 cm (Nichtderbholz) sowie nicht verwertetes Derbholz. Hierzu zählen u.a. Äste, Zweige, Schaftholz einschließlich Rinde, Wurzeln, Wurzelstöcke und weitere Erntereste.

Waldrestholz fällt bei der Durchforstung und Ernte von Stamm- und Industrieholz an und macht ca. 28 % der geernteten Holzbiomasse aus. Damit ergibt sich ein relativ hohes Potenzial für eine energetische Nutzung, da die Attraktivität für eine stoffliche Nutzung nicht gegeben ist (MÜHLENHOFF et al., 2014). Trotz des engen Zusammenhangs zwischen Ernte und Anfall des Waldrestholzes gestaltet sich die Bestimmung der tatsächlich verfügbaren jährlichen Mengen an Restholz schwierig. Aktuell erfolgt in wichtigen Erhebungen, wie der Bundeswaldinventur oder der Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung, keine Berechnung des Waldrestholzpotenzials, da diese Systeme nur auf Holz mit einem Durchmesser von über 7 cm ausgerichtet sind. Weitere Unsicherheitsfaktoren bei der Prognose sind eine jährlich schwankende Nachfrage an Brennholz sowie die Art der Berechnung (MANTAU et al., 2018). Darüber hinaus ist die tatsächlich entnommene Menge an Waldrestholz nicht genau kalkulierbar. Unter Nachhaltigkeitsaspekten gilt es zum einen zu berücksichtigen, dass Waldrestholz nicht komplett erschlossen werden kann, da es dem Waldboden als organische Substanz und Nährstofflieferant für den Humusaufbau zuzuführen ist (MÜHLENHOFF et al., 2014). Zum anderen ist es unerlässlich, bei größeren Mengen an Restholz und erhöhtem Gefährdungspotenzial durch den Borkenkäfer eine Aufarbeitung des Restholzes mit oder ohne Vermarktung durchzuführen (STAATSBETRIEB SACHSENFORST, 2016). Für das Jahr 2018 kann anhand der in Kapitel 3.3 beschriebenen Wald-/Holzsituation von einem höheren Anfall an Restholz ausgegangen werden, wohingegen die entnommene bzw. tatsächlich genutzte Restholzmenge aufgrund der genannten Argumente nur bedingt nachvollziehbar ist.

Neben der Ausweitung der Waldrestholznutzung weist auch Getreidestroh ein hohes Potenzial zur energetischen Nutzung auf. In Deutschland fallen jährlich etwa 13 Mio. t technisch nutzbares Getreidestroh an, von denen aktuell nur 4,5 Mio. t vorwiegend stofflich genutzt werden. Es verbleibt ein ungenutztes Potenzial von 8,5 Mio. t Getreidestroh, das als Reststoff nachhaltig energetisch und stofflich genutzt werden könnte (BROSOWSKI et al., 2015). In der Vergangenheit lag der Fokus vorwiegend auf der Verbrennung von Getreidestroh in Heizkraftwerken oder der Nutzung von Stroh als Rohstoff für die Produktion von Biokraftstoffen (KIT, 2019; BEKW, 2019; VERBIO, 2019). Diese Verfahren haben sich in der Breite bisher nicht durchsetzen können. Auch die Nutzung von unbehandeltem Stroh für die Biogaser-

zeugung spielt bisher eine untergeordnete Rolle, da der Gasertrag von Stroh vergleichsweise gering ist (KTBL, 2013). Darüber hinaus ist der Einsatz von Stroh im Vergleich zu etablierten Inputstoffen mit einem höheren Arbeitsaufwand sowie verfahrenstechnischen Problemen verbunden (REINHOLD, 2014). Ein neuer Ansatz ist die Verwendung von Stroh in pelletierter Form in Biogasanlagen. Erste Versuche zeigen, dass Pellets aufgrund erhöhter Transportwürdigkeit, eines geringeren Lagerumbedarfs, eines positiven Verhaltens im Fermenter sowie der Möglichkeit der Rückführung von Nährstoffen und humusbildenden Teilen über die Gärrestverbringung für den Einsatz in Biogasanlagen positiv zu bewerten sind (SCHWARZ, 2016; EFFIGEST, 2019). Weitere wissenschaftliche Projekte zur verstärkten Nutzung von Abfall- und Reststoffen wie Stroh, Landschaftspflegematerial, Grünschnitt von öffentlichen Flächen sowie Gülle und Mist in Biogasanlagen sind unter anderem vom Fachverband Nachwachsende Rohstoffe e.V. initiiert worden (NEUMANN, 2019). Damit soll nicht nur der Einsatz von Stroh, sondern auch von Gülle und Mist optimiert und gefördert werden. Fördermittel für eine Erhöhung des Anteils an Gülle und Mist in Biogasanlagen stehen für 2021 im Raum (KRENN, 2019). Für die Biogaserzeugung gewinnen Reststoffe als Inputsubstrat nicht nur vor dem Hintergrund der Nachhaltigkeit und der „Teller oder Tank“-Diskussion eine zunehmend wichtigere Rolle, sondern sind auch im Hinblick auf sich verändernde rechtliche Rahmenbedingungen von wachsender Bedeutung. Erste Bestands-Biogasanlagen, die bereits 20 Jahre eine Festvergütung nach EEG bekommen haben, müssen zukünftig im Rahmen der Ausschreibung nach dem EEG 2017 ihren Fortbestand sichern. Um daran teilnehmen zu können, ist es notwendig, den Anteil an Getreidekorn und Mais (außer Maisstroh) auf 47 % Masseprozent (Zuschlag 2019/20) bzw. 44 % Masseprozent (Zuschlag 2021/22) zu deckeln (LOIBL, 2017).

Die regionale Verfügbarkeit von Stroh, Gülle und Mist ist deutschlandweit sehr unterschiedlich (KALCHER und BROSOWSKI, 2018). Während die Verfügbarkeit von Gülle und Mist vor allem in den Veredelungshochburgen Nordwestdeutschlands gegeben ist, ist das größte nachhaltige Strohpotenzial mit verfügbaren Strohmengen von zwei bis vier Tonnen pro Hektar Getreideanbaufläche im Osten Schleswig-Holsteins und im Nordwesten Mecklenburg-Vorpommerns vorzufinden (ZELLER et al., 2012; MÜHLENHOFF und DANNEMANN, 2017). Ebenfalls hohe Strohpotenziale sind im nördlichen Teil Nordrhein-

Westfalens bis hinein in das angrenzende Niedersachsen vorhanden. Weiteres Strohpotenzial mit geringeren entnehmbaren Strohmenngen pro Hektar Getreideanbaufläche findet sich aber auch in Regionen der restlichen Bundesländer. Aus Nachhaltigkeitsgründen gilt es auch, gewisse Mengen an Stroh für die Humusproduktion auf den Acker zurückzuführen bzw. auf dem Feld zu belassen (ZELLER et al., 2012).

3.3 Biomasse aus forstwirtschaftlicher Produktion

Nach der letzten Bundeswaldinventur im Jahr 2012 wurde die Waldfläche einschließlich Lücken im Bestand und nicht begehbaren Waldflächen auf 11,4 Mio. ha beziffert, was einem Anteil an der Gesamtfläche Deutschlands von ca. 32 % entsprach (BMEL, 2016). Die Verteilung der Waldflächen über Deutschland war recht unterschiedlich. Über ein Drittel der Waldfläche befand sich in den Bundesländern Bayern (2,6 Mio. ha) und Baden-Württemberg (1,37 Mio. ha), gefolgt von Niedersachsen (1,2 Mio. ha) und Brandenburg (1,1 Mio. ha) mit jeweils ca. 10 % der deutschen Waldfläche. Die Betrachtung der Eigentumsverhältnisse ergab einen durchschnittlichen Anteil von 48 % Privat-, 19,4 % Körperschafts-, 29 % Landes- und 3,5 % Bundeswald, wobei auf Ebene der Bundesländer durchaus Unterschiede in dieser Verteilung zu beobachten waren (BMEL, 2016). Der deutsche Wald besteht zu 56 % aus Nadelwald und 44 % aus Laubwald (SDW, 2019). Laut der Bundeswaldinventur 2012 waren die bedeutendsten Baumarten Fichte (25 %), Kiefer (22 %), Buche (15 %) und Eiche (10 %), die zusammen knapp dreiviertel der Waldfläche ausmachten (BMEL, 2016; SDW, 2019). Die Entwicklung der Waldfläche in Deutschland war im Zeitraum 2002-2012 mit einer Zuwachsrate von 0,4 % positiv und stellt einen Gegensatz zur weltweit anhaltenden Entwaldung dar (BMEL, 2017). Dennoch zeigt die Waldzustandserhebung aus dem Jahr 2018, dass die Stürme im Winterhalbjahr 2017/18, das Dürrejahr 2018 und die anschließende Borkenkäferausbreitung den deutschen Wäldern sehr stark geschadet haben (BMEL, 2019). Darüber hinaus sind regional vor

allem in Brandenburg im Jahr 2018 Waldflächenverluste durch Waldbrände entstanden (BLE, 2019).

Die Schäden aus 2017/2018 spiegeln sich auch im jährlichen Holzeinschlag wider (Tabelle 2). Dieser dient als zentrale Größe zur Bemessung der Nutzung der Ressource Holz und liefert wesentliche Kennzahlen für die Beurteilung der Nachhaltigkeit sowie die Abschätzung von Nutzungspotenzialen (TI-WF, 2019). Der Holzeinschlag im Jahr 2018 lag mit 64,55 Mio. m³ etwa 20 % über dem Holzeinschlag im Mittel der Jahre 2013-2017. Die erhöhte Menge an geschlagenem Holz geht vor allem auf die gestiegene Erntemenge an Fichtenholz zurück. Diese war 2018 knapp 44 % höher als im Mittel der fünf Jahre zuvor. Die Mengen an Eichen-, Buchen- und Kiefernholz lag zwischen vier und sechs Prozent niedriger als im Mittel desselben Zeitraums. Wird das Einzeljahr 2017 als Referenz genommen, so war die Veränderung des Holzeinschlags bei Fichten mit 36,5 % sehr hoch, während bei Eichen nur Steigerungsraten von 3-4 % bzw. bei Buchen von 0,7 % zu verzeichnen waren. Die besondere Rolle der Fichte ist sowohl mit hohen Sturmschäden als auch sehr starkem Borkenkäferbefall zu begründen (BMEL, 2019; BMEL, 2019a; DESTATIS, 2019).

Hinsichtlich der Verwendungsrichtung ist in 2018 besonders bei Stammholz, aber auch bei Industrieholz eine deutliche Steigerung der Erntemengen zu erkennen, während Energieholz kaum eine Veränderung verzeichnete. Auffällig ist, dass die Menge an nicht verwertetem Holz in 2018 zwischen 0,3 und 0,6 Mio. m³ über dem Niveau der vergangenen fünf Jahre lag. Diese Entwicklung lässt sich mit der gesteigerten Entnahme von nicht nutzbarem Schadholz begründen. Ein weiteres Indiz für die verstärkte Nutzung von Schadholz liefert die insgesamt hohe Produktion von Pellets aus nicht-sägefähigem Rundholz, das insbesondere aus Nadelholzbeständen stammte (DEPV, 2019). Dabei ist zu berücksichtigen, dass die jährliche Einschlagstatistik Bestandsveränderungen in Holzlagern bzw. Lagermengen im Wald sowie die genauen Entnahmemengen an Waldrestholz nicht widerspiegelt. Insbesondere nach Extremwetterereignissen, wie

Tabelle 2. Rohholzeinschlag in Deutschland (ohne Rinde in Mio. m³)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Stammholz	26,84	28,11	30,38	28,18	29,83	37,95
Industrieholz	12,30	12,27	12,00	11,99	10,87	13,57
Energieholz	11,15	11,11	10,49	9,41	9,93	9,83
nicht verwertetes Holz	2,91	2,69	2,74	2,61	2,84	3,21
Summe	53,21	54,36	55,61	52,19	53,49	64,55

Quelle: eigene Darstellung nach BMEL (2019a)

sie das Jahr 2018 kennzeichneten, mit in der Folge hohen Einschlagmengen kann sich die tatsächliche Verwendung des geschlagenen Holzes über mehrere Folgejahre verteilen (MANTAU et al., 2018).

Die Rohstoffversorgung mit Holz bleibt in Deutschland nach wie vor auf einem hohen Niveau. Zwischen 2002 und 2012 konnte ein durchschnittlicher Zuwachs von 11,2 m³ pro Hektar ermittelt werden. Auf die gesamte Waldfläche in Deutschland betrachtet verblieb nach Abzug von Ernteverlusten und Rinde ein theoretisches Nutzungspotenzial in Höhe von 75,5 Mio. m³ pro Jahr (MANTAU et al., 2018). Der nachhaltige Nutzungskorridor liegt je nach angenommener Waldbehandlung und Holznutzung zwischen 78 und 105 Mio. m³ pro Jahr nach WEHAM-Potenzialen 2013 bis 2052. Bei einer derzeitigen jährlichen Entnahme von ca. 62 Mio. m³ nach Abzug von Importen wächst in Deutschland weiterhin mehr Wald nach als genutzt wird (MANTAU, 2018; MANTAU et al., 2018).

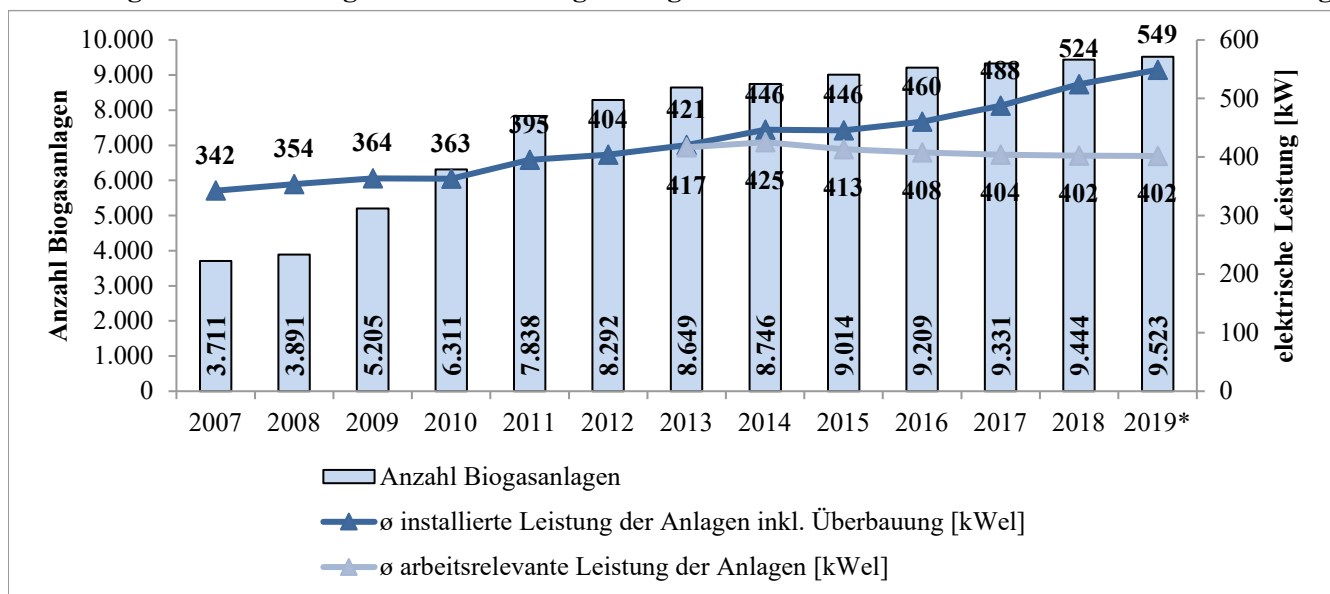
4 Energetische Verwendung von Biomasse

4.1 Entwicklung der Biogasproduktion

Die Stromerzeugungskapazitäten aus Biogas erhöhte sich im Jahr 2018 um 403 MW, was, verglichen mit dem Vorjahr einer 29 %igen Steigerung (2017: +313 MW) des Zubaus entspricht. Für das Jahr 2019 wird von einem Zubau von 275 MW ausgegangen. Verglichen mit dem Jahr 2018 wäre das ein Rückgang des

Zubaus um 128 MW. Weiter wird eine installierte elektrische Leistung von Biogasanlagen für 2019 mit 5.228 MW (inkl. Einspeisung durch Biomethan) prognostiziert (FvB, 2019). Da seit dem Jahr 2012 der Leistungszubau bestehender Anlagen zur bedarfsgerechten Bereitstellung von erneuerbaren Energien (Flexibilisierung) mit einer Prämie gefördert wird, gehen seither installierte elektrische Leistung (Kapazität) und tatsächlich produzierte elektrische Energie (arbeitsrelevante elektrische Leistung) auseinander (siehe Abbildung 4). Die Flexibilisierung führt weiterhin dazu, dass der Umfang des aus Biogas erzeugten Stroms im Jahr 2018 relativ gering und die Bruttostromproduktion aus Biogas sogar rückläufig war (-1,6 %; 2017: 29,32 Mrd. KWh; 2018: 28,84 Mrd. KWh) (BMWl, 2019). Trotzdem liegt die Stromgewinnung aus Biogas (12,8 %) wie auch im Vorjahr an dritter Stelle der Stromerzeugung durch erneuerbare Energien hinter der Windenergie (48,9 %) und Photovoltaik (20,4 %). Im Jahr 2018 wurden analog zum Jahr 2017 kaum neue Biogasanlagen gebaut (2017: +122 Anlagen; 2018: +113 Anlagen). Für 2019 wird ein sich fortsetzender Rückgang des Anlagenneubaus (+79 Anlagen) prognostiziert. Insgesamt belief sich der Biogasanlagenbestand 2018 auf 9.444 Anlagen (+1,2 %). Dieser wird für 2019 voraussichtlich auf 9.523 Anlagen anwachsen (+0,84 %). Bei den neugebauten Biogasanlagen handelt es sich seit 2015 hauptsächlich um Güllekleinanlagen mit einer maximalen elektrischen Leistung in Höhe von 75 kW (MÜLLER-LOHSE, 2019). Die in den letzten Jahren nahezu konstant gebliebene Anlagenanzahl ist vor allem auf die

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



*Prognose

Quelle: eigene Darstellung nach FvB (2019)

Novellierungen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) von 2014 und 2017 zurückführen, im Zuge derer unter anderem die substrat- oder technikbezogenen Prämien weggefallen sind. Die Anzahl der Beschäftigten im Biogassektor lag im Jahr 2018 bei 49.000. Für das Jahr 2019 wird ein Rückgang der Anzahl an Arbeitsplätzen (-1.000 Arbeitsplätze) prognostiziert (FvB, 2019).

4.2 Entwicklung der Biokraftstoffproduktion

Der weltweite Trend zum vermehrten Einsatz umweltfreundlicher Kraftstoffe hat trotz des jüngsten Gegenwinds in den USA und Europa wieder an Fahrt aufgenommen (AEE, 2020). Vor allem gewinnt die Frage der Energieunabhängigkeit wieder vermehrt an Bedeutung, da sich die Preise für Rohöl und Agrarrohstoffe aktuell gegenläufig entwickeln. All dies könnte die Erwartung rechtfertigen, dass der Sektor mittel- bis langfristig auf eine neue Wachstumswelle zusteuert. Der EUROBERSERV´ER für Biokraftstoffe (2019) geht von einem steigenden Verbrauch von zertifizierten nachhaltigen Biokraftstoffen in der EU innerhalb den nächsten zwei Jahre aus. Diese Prognosen ergeben sich vor allem aus der Zunahme an nationalen Mandaten in den Mitgliedsstaaten und anderen spezifischen Verpflichtungen der Mitgliedsländer, um Treibhausgase zu reduzieren, sowie einer möglichen weiteren Reduktionsverpflichtung durch den „Green Deal“ der Europäischen Kommission (EUROBSERV´ER, 2019; UFOP, 2019; EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2019).

Mit Blick auf die angestrebte Verkehrswende und die zukünftige Rolle von Biokraftstoffen zeigt sich zunehmend, dass die Elektromobilität nicht als alleiniges Allheilmittel für eine klimafreundliche Zukunft gesehen wird (AEE, 2020). Eine erfolgreiche Verkehrswende ist laut Expertenmeinungen ohne den Einsatz von Biokraftstoffen, insbesondere im Bereich des Schwerlast- und Flugverkehrs, nicht umsetzbar. So seien in Deutschland die gesteckten Klimaziele nur mit Elektromobilität, Wasserstoff und anderen strombasierten Kraftstoffen nicht zu erreichen. Erneuerbare Energien haben im Jahr 2018 einen Anteil von 5,6 % am Endenergieverbrauch im deutschen Verkehrssektor ausgemacht. Der Großteil, rd. 90 %, werden dabei aus Bioethanol, Biodiesel und Biomethan bereitgestellt (UFOP, 2019). In Deutschland belief sich der Kraftstoffverbrauch im Jahr 2018 auf insgesamt 55,9 Mio. t (2017: 57,6 Mio. t; 2016: 56,7 Mio. t). Dabei entfielen 2018 rd. 35.151.700 t (63,3 %) (2017:

63,8 %) auf Diesel- und 16.649.700 t (30,6 %) (2017: 30,5 %) auf Ottokraftstoffe. Der Anteil biogener Kraftstoffe ist gegenüber 2017 von 4,7 % auf 5,0 % (bezogen auf den Energiegehalt) gestiegen. Der Wert für den Anteil biogener Kraftstoffe am Gesamtkraftstoffverbrauch stagnierte mit rd. 3,5 Mio. t (2017: 3,4 Mio. t) in etwa auf dem Vorjahresniveau. Biodiesel blieb in Deutschland mit rd. 2,3 Mio. t in 2018 (2017: 2,1 Mio. t) und einem Marktanteil bei den Biokraftstoffen von 64,7 % (2017: 60,29 %) der wichtigste Biokraftstoff, gefolgt von Bioethanol mit rd. 1,2 Mio. t (2017, 1,6 Mio. t) und einem Marktanteil von 33,5 % (2017: 33,9 %), hydrierten Pflanzenölen mit 32.700 t (0,9 %), Biomethan mit 30.000 t (0,8 %) und Pflanzenölen mit 1.000 t (<0,01 %) (FNR, 2019).

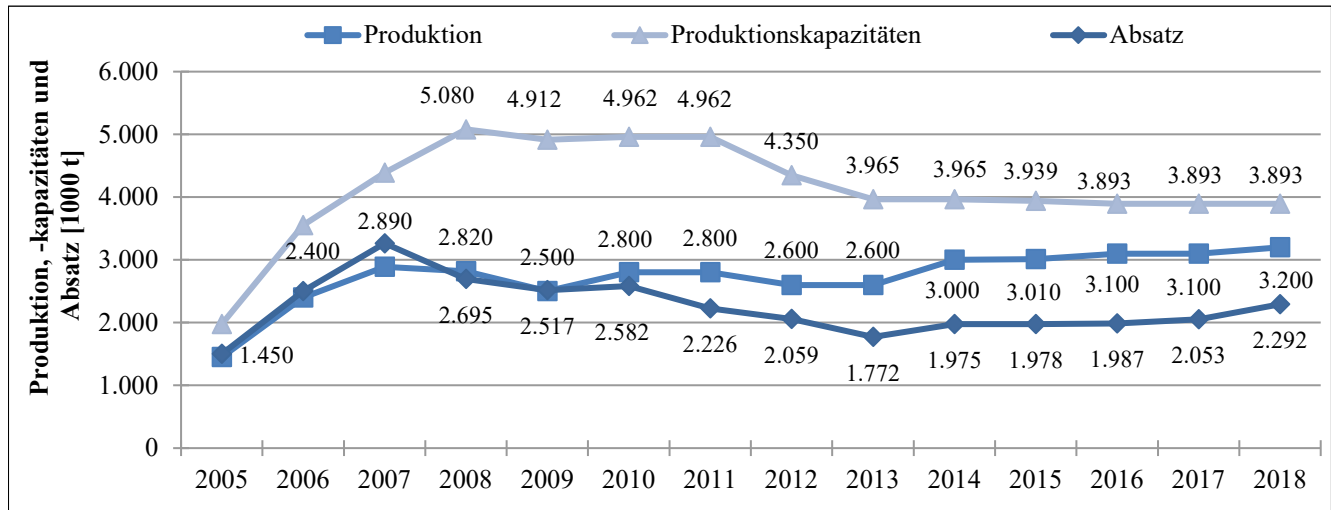
Mit Blick auf die Statistiken wird deutlich, dass Biokraftstoffe mittelfristig ein wichtiger Baustein sein werden, um die Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor weiter zu senken. Dabei bleibt das Zusammenspiel verschiedener Antriebsformen und Technologien für eine erfolgreiche Verkehrswende notwendig (AEE, 2020). Insbesondere die Weiterentwicklung der Biokraftstoffe der 2. und 3. Generation bietet dabei ein enormes Potenzial. Während Kraftstoffe der 2. Generation vor allem auf neue Herstellungstechnologien und die Verwendung von bisher nicht nutzbaren Bestandteilen von Ackerpflanzen abzielen, wird bei den Biokraftstoffen der 3. Generation auf Mikro- und Makroalgen als nachhaltige Quelle für Biokraftstoffe gesetzt (SCHRÖTER-SCHLAACK et al., 2019).

4.2.1 Biodieselproduktion

In 2018 verblieb die Biodieselproduktion in Deutschland mit 3,2 Mio. t nahezu auf dem Niveau der beiden Vorjahre (2017: 3,1 Mio. t und 2016: 3,0 Mio. t) (Abbildung 5) (FNR, 2019). Auch die Produktionskapazitäten lagen mit 3,89 Mio. t auf dem Vorjahresniveau. Die Kapazitätsauslastung der Biodieselanlagen betrug 2018 rd. 82 %. Der Biodieselabsatz im Inland erhöhte sich nur leicht von rd. 2,05 Mio. t in 2017 auf 2,29 Mio. t in 2018 (FNR, 2019; UFOP, 2019). Abbildung 5 verdeutlicht, dass durch die veränderten politischen Rahmenbedingungen (steuerliche Schlechterstellung) Biodiesel seit 2008 deutliche Absatzeinbußen verzeichnet. Durch die Einführung der THG-Quote ab dem 01.01.2015 stagniert der Absatz von Biodiesel zusätzlich (DRITTLER et al., 2018).

Die EU ist nach wie vor der weltweit größte Hersteller von Biodiesel. Die Erzeugung belief sich in 2018 ohne die Produktion von hydrierten Pflanzenölen (HVO) auf rd. 11,65 Mio. l (2017: 12,63 Mio. l).

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



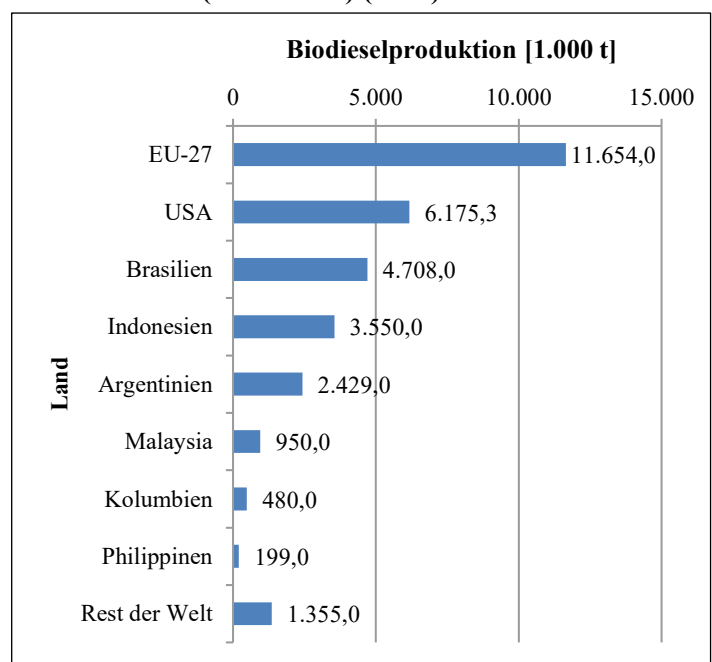
Quelle: eigene Darstellung nach FNR (2019)

Für 2019 wird eine Produktionsmenge von 11,14 Mio. l geschätzt. Die Produktion von hydrierten Pflanzenölen (HVO) stagnierte in 2018 (2,797 Mio. l) ungefähr auf dem Vorjahresniveau von 2,743 Mio. l. Für 2019 wird eine Produktionsmenge von 3,01 Mio. l prognostiziert (USDA, 2019; UFOP, 2019). Gegenüber 2017 (23,68 Mio. l) haben sich im Jahr 2018 die Biodieselsproduktionskapazitäten einschließlich HVO in der EU etwas erhöht und lagen bei rd. 24,58 Mio. l. Für 2019 wird ein weiterer Ausbau der Kapazitäten auf insgesamt 26,23 Mio. l vorausgesagt (USDA, 2019). Diese Zunahme ist weitestgehend auf den Bereich HVO zurückzuführen, dessen Produktion sich bisher auf die Mitgliedsstaaten Niederlande, Italien, Frankreich und Spanien konzentriert (RÜBCKE VON VELTHEIM et al., 2019). Schwerpunktländer der europäischen Biodieselsproduktion (ohne HVO) waren 2018 nach wie vor Deutschland (2018: 3,1 Mio. l; 2017: 3,6 Mio. l), Spanien (2018: 2,0 Mio. l; 2017: 1,7 Mio. l), Frankreich (2018: 1,7 Mio. l; 2017: 2,18 Mio. l), die Niederlande (2018: 1,1 Mio. l; 2017: 1,12 Mio. l), Polen (2018: 1,0 Mio. l; 2017: 1,02 Mio. l) und Italien (2018: 0,568 Mio. l; 2017: 0,599 Mio. l). Frankreich, Deutschland, Spanien, Schweden und Italien waren in der EU die größten Biodieselsverbraucher, auf diese Länder entfallen rd. 63 % des gesamten EU-Verbrauchs (USDA, 2019).

Weltweit stieg der Biodiesels einschließlich des HVO-Verbrauchs von 36,16 Mio. t im Jahr 2017 auf 36,8 Mio. t in 2018 an. Neben der EU mit einem Verbrauch von 15,89 Mio. t sind vor allem die USA mit 6,38 Mio. t, Brasilien mit 4,67 Mio. t und Indonesien mit 2,90 Mio. t die

Länder mit dem höchsten Biodiesels- und HVO-Verbrauch (UFOP, 2019). Die Betrachtung der weltweiten Produktionsmengen von Biodiesels zeigt ein ähnliches Bild. Die weltweite Biodieselsproduktion lag in 2018 bei 36,8 Mio. t. Mit Produktionsmengen von 11,65 Mio. t Biodiesels und 2,7 Mio. t HVO blieb die EU nach wie vor an der Spitze der Erzeugerländer, gefolgt von den USA mit rd. 6,2 Mio. t Biodiesels und 1,4 Mio. t HVO. Brasilien produzierte 4,71 Mio. t, Indonesien 3,55 Mio. t, Argentinien 2,43 Mio. t, Thailand 1,41 Mio. t und China 1,0 Mio. t Biodiesels und kein HVO (siehe Abbildung 6) (UFOP, 2019).

Abbildung 6. Weltweit größte Biodieselsproduzenten (ohne HVO) (2018)



Quelle: UFOP (2019)

Weltweit wurden 2018 auf 1,56 Mrd. ha Kulturpflanzen wie Getreide, Ölsaaten, Eiweiß-, Zucker- und Faserpflanzen, Obst, Gemüse, Nüsse u.a. angebaut. Rund 95 % der Fläche wurden dabei für die Nahrungsmittelproduktion genutzt, 5 % der Fläche für die Biokraftstoffproduktion (UFOP, 2020). Experten gehen für die nächsten Jahre u.a. wegen der Konkurrenz zum Nahrungs- und Futtermittelmarkt, der bereits erfolgten Ausweitung der Palmölanbauflächen insbesondere in Südostasien sowie des begrenzten Klimagasminde­rungs­potenzials von geringen Zuwächsen aus. Dabei könnte der Biodieselmarkt zum Teil von den Entwicklungen auf dem Futtermittelmarkt profitieren, da durch das Nebenprodukt Rapsölschrot ein Sojaimport vermieden werden kann. Bis 2020 ist jedoch nur von geringen Mengenzuwächsen bei der globalen Biodieselproduktion auszugehen. Gleichzeitig wird innerhalb des Biodieselsortimentes mit einer wachsenden Bedeutung von HVO-Kraftstoffen gerechnet. Neben den europäischen Produzenten stellen vor allem die USA und Singapur wachsende HVO-Kraftstoffmärkte dar (BWK, 2019; UFOP, 2019).

4.2.2 Bioethanolproduktion

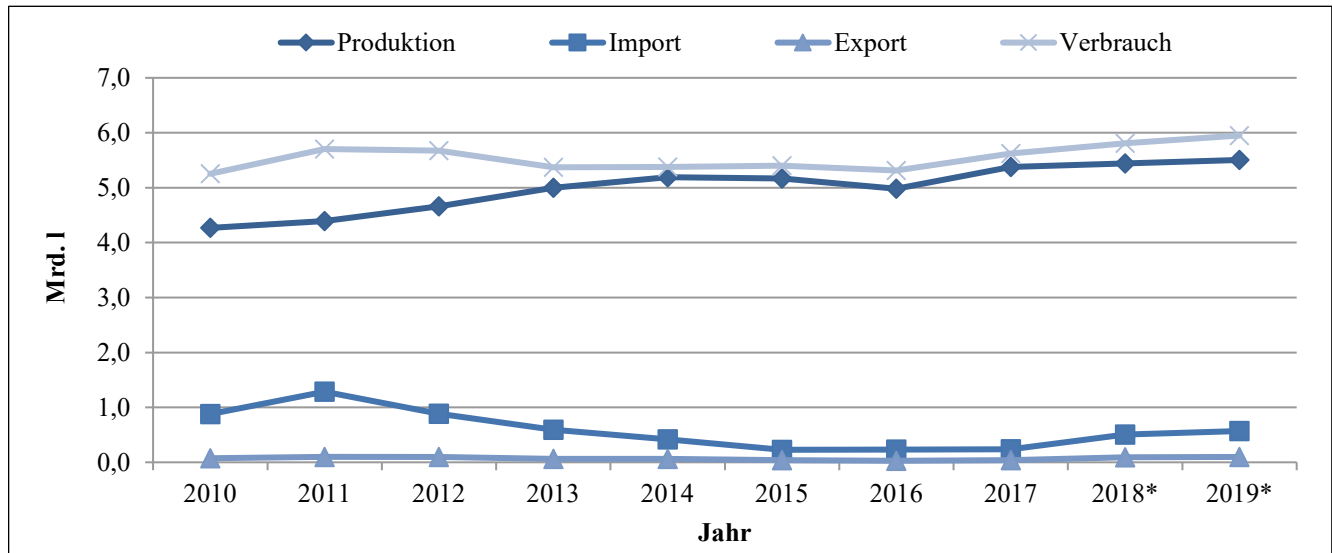
Laut dem Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft (BDBe) stieg die jährliche Produktion von Bioethanol in Deutschland bis zum Jahr 2015 auf insgesamt 739.821 t kontinuierlich an. Für die folgenden Jahre konnte ein Rückgang der Produktion auf 613.087 t in 2018 (2017: 672.930 t) festgestellt werden. Die Branche verzeichnete damit einen weiteren Rückgang der Produktion um rd. 9 % gegenüber 2017. Ein Grund für den Rückgang war vor allem die Dürre im Jahr 2018, die zu steigenden Rohstoffkosten geführt hat (BDBe, 2019; FNR, 2019). Die Produktion von Bioethanol aus Getreide und Zuckerrübenstoffen sowie Melasse betrug in 2018 753.590 t. Aus Zuckerrübenstoffen und Melasse wurden 160.000 t Bioethanol hergestellt (FNR, 2019). Der Rohstoffeinsatz beläuft sich auf fast 1,7 Mio. t Zuckerrüben, rd. 6,4 % der Rüben­ernte des Jahres 2018 (26,2 Mio. t). Weiterhin wurden aus Futtergetreide 580.000 t Bioethanol hergestellt. Dies entspricht rd. 7,0 % der 38 Mio. t Getreide, die im Jahr 2018 in Deutschland geerntet wurden. Ähnlich wie im Vorjahr wurden aus Reststoffen und Abfällen rd. 9.000 t Bioethanol gewonnen (BDBe, 2019; RÜBCKE VON VELTHEIM et al., 2019).

Auf dem deutschen Benzinmarkt wurde 2018 ein Absatz von rd. 17,8 Mio. t (2017: 18,3 Mio. t.) erreicht. Bioethanol machte davon einen Anteil von 6,3 Vol.-% (2016: 6,0 Vol.-%) aus. Für Kraft-

stoffanwendungen verbraucht wurden rd. 1,2 Mio. t Bioethanol. Trotz eines insgesamt rückläufigen Benzinverbrauchs ist ein leichter Anstieg des Bioethanolverbrauchs um 0,3 % gegenüber dem Vorjahr zu verzeichnen gewesen. Die wichtigste Verwendung von Bioethanol in Deutschland ist die Beimischung zu Benzin für die Sorten Super Plus, Super (E5) und Super E10, gefolgt von der Verwendung als Benzinadditiv ETBE (Ethyl-Tertiär-Butylether). Super E5 erreichte mit 14,7 Mio. t in 2018 (2017: 15 Mio. t) einen Marktanteil von 82,5 %. Der Marktanteil von Super Plus lag mit rd. 810.000 t (2017: 830.000 t) ähnlich wie im Vorjahr bei 4,5 %. Der Absatz der bis zu 10 % Bioethanol enthaltenden Kraftstoffsorte Super E10 sank in 2018 von 2.441.807 t auf 2.308.617 t. Dies bedeutet einen Marktanteil von 12,9 % und einem leichten Rückgang gegenüber dem Vorjahr (BDBe, 2019). Nach ersten Schätzungen wird in Deutschland für 2019 eine leicht positive Entwicklung von Produktion und Verbrauch erwartet. Diese beruht auf dem gesetzlich verankerten Anstieg der Treibhausgasminde­rungs­quote für alle Kraftstoffe von vier auf sechs Prozent ab 2020 (BDBe, 2019).

Die Bioethanolproduktion in der EU erreichte im Jahr 2018 rd. 5,4 Mrd. l nach rd. 5,38 Mrd. l. im Jahr 2017 (siehe Abbildung 7). Die ersten Schätzungen für 2019 belaufen sich auf eine Menge von 5,5 Mrd. l. Frankreich war 2018 mit 1 Mrd. l weiterhin größter Bioethanolproduzent, vor Deutschland mit 776 Mio. l, Großbritannien mit 684 Mio. l, Ungarn mit 645 Mio. l, Belgien mit 645 Mio. l, die Niederlande mit 563 Mio. l und Spanien mit 522 Mio. l (USDA, 2019; ePURE, 2019). Bis 2015 profitierte die Branche von niedrigen Rohstoffpreisen und restriktiven Maßnahmen für Bioethanolimporte. Von einem Rückgang im Jahr 2016 auf rd. 5,0 Mrd. l erholte sich die europäische Bioethanolproduktion jedoch nur sehr langsam (USDA, 2019; ePURE, 2019) - überwiegend aufgrund eines Anstieges des inländischen Verbrauchs. Limitierend wirkten sich die steigenden Preise für Mais und Weizen und die dadurch geringeren Gewinnmargen für die Bioethanolproduzenten sowie die wachsenden Importe aus den Vereinigten Staaten aus. Die Ethanolproduktionskapazitäten der EU für Kraftstoff, Industrie und Lebensmittel beliefen sich insgesamt auf rd. 9,3 Mrd. l im Jahr 2018 und waren somit nur zu ca. 60 % ausgelastet. Der weitere Ausbau der Produktionskapazitäten von Bioethanol der ersten Generation ist laut USDA als eher verhalten einzustufen. Auch die Ausweitung der Produktion von Bioethanol auf Zellulosebasis ist aufgrund der politischen Unsicherheiten in der EU sowie hoher Investitionskosten in

Abbildung 7. Der Bioethanolmarkt in der EU (2010 bis 2019)



Quelle: eigene Darstellung nach USDA (2019); *= geschätzt

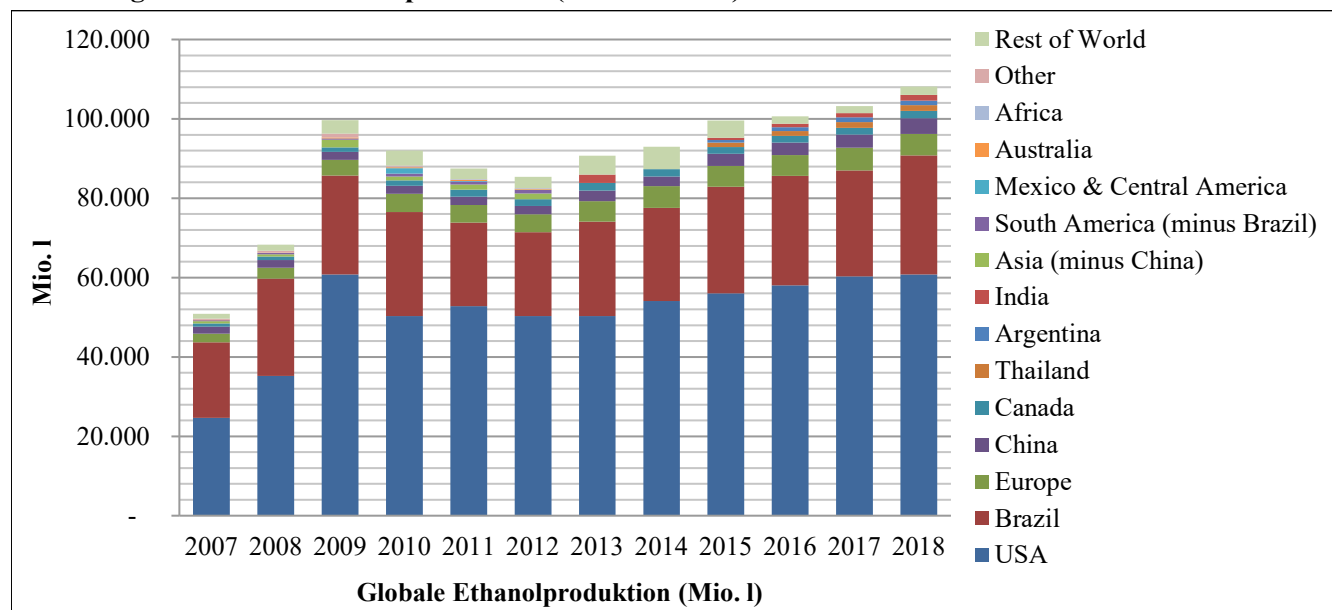
neue Anlagen eher zurückhaltend, sodass weitere Anlagenerweiterungen eher unwahrscheinlich sind (USDA, 2019; ePURE, 2019).

Die deutsche Bioethanolnachfrage machte 2018 mit 1,505 Mio. t einen europaweiten Anteil von 25,9 % aus und lag damit deutlich vor der im Vereinigten Königreich (911 Mio. l) und in Frankreich (861 Mio. l) (USDA, 2019). Das Potenzial von Bioethanol in Bezug auf die schnelle und kostengünstige Senkung von Treibhausgasemissionen wird aufgrund des vergleichsweise geringen Marktanteils aktuell nicht 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 (UFOP, 2019).

Die Welt-Ethanolproduktion lag 2017 bei rd. 103,22 Mio. l (siehe Abbildung 8; RFA, 2019). Für 2018 wird von einer Menge von 108,15 Mio. l ausgegangen. Davon entfallen auf die USA 60,8 Mio. l, auf Brasilien 30,0 Mio. l, auf Europa 5,4 Mio. l, auf China 3,9 Mio. l und auf Kanada 1,8 Mio. l. Vor allem die USA haben ihre Produktion noch einmal auf knapp über 60 Mio. l steigern können. In Brasilien erhöhte sich die Produktionsmenge von rd. 26,7 Mio. l auf

Abbildung 8. Globale Ethanolproduktion (2007 bis 2018)



Quelle: eigene Darstellung nach RFA (2019)

knapp 30,0 Mio. l. In Europa stagnierte die Menge bei 5,4 Mio. l. China behauptete seine Position als viertgrößter Bioethanolproduzent mit einer Menge von rd. 3,8 Mio. l. Ferner sind im asiatischen Raum noch Thailand und Indien mit jeweils 1,5 Mio. l als bedeutende Erzeugerländer zu nennen (RFA, 2019; UFOP, 2020).

4.3 Strom- und Wärmeerzeugung aus biogenen Festbrennstoffen

Biogene Festbrennstoffe sind organische Brennstoffe, die zum Zeitpunkt der energetischen Nutzung in fester Form vorliegen. Hauptsächlich werden Reststoffe bzw. Biomasse verwendet, die zu anderen Zwecken als für die Verbrennung nicht geeignet sind (CARMEN, 2019). Die verfügbaren und technisch nutzbaren biogenen Festbrennstoffe lassen sich in Rückstände/Nebenprodukte (z.B. Waldrest- und Schwachholz, Holzkohle, Stroh, Industrierestholz, Bau- und Altholz) und speziell angebaute Energiepflanzen (z.B. Holz aus Kurzumtriebsplantagen, Miscanthus) unterteilen. Darüber hinaus wird zwischen holzartigen, halmartigen und sonstigen Brennstoffen unterschieden (FNR, 2014). Bei der Verwendung von biogenen Festbrennstoffen hat die direkte Verbrennung die weitaus größte Bedeutung unter den Energieumwandlungsverfahren. Entsprechend steht primär die Wärmeerzeugung im Vordergrund, die als Endenergie (z.B. Fernwärme), Nutzenergie (z.B. Strahlungswärme eines Kachelofens) oder als Sekundärenergie (z.B. Dampf, der in elektrische Energie umgewandelt werden kann) genutzt wird (KALTSCHMITT et al., 2009).

Die Nutzung der Sekundärenergie kommt in Biomasseheizkraftwerken, in denen biogene Festbrennstoffe verbrannt werden, zur Anwendung. Die erzeugte Wärme dient der Erzeugung von Wasserdampf, mit dem eine Dampfturbine zur Stromerzeugung betrieben wird. Dies geschieht in einem Kraft-Wärme-Kopplungs-Prozess, bei dem die entstehende Abwärme z.B. für die Versorgung eines Fernwärmenetzes verwendet wird (CARMEN, 2019a). An der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien hatten die biogenen Festbrennstoffe inkl. Klärschlamm im Jahr 2018 einen Anteil von 4,8 % (10,8 TWh). Damit hatten diese in der Kategorie Biomasse nach der Biogasverstromung die zweithöchste Bedeutung. Die installierte elektrische Leistung von Anlagen zur Nutzung fester und flüssiger Biomasse hat sich im Vergleich zu den Vorjahren kaum verändert (UMWELTBUNDESAMT, 2019b). Im Jahr 2018 wurden in Deutschland insgesamt 50,8 TWh Strom aus Biomasse erzeugt. Dies entsprach einem Anteil von 22,3 % an der produzierten Strom-

menge aus erneuerbaren Energien. Gegenüber 2017 blieb die erzeugte Strommenge aus Biomasse damit in etwa auf gleichem Niveau (UMWELTBUNDESAMT, 2019b). Ein Zubau von installierter Leistung war im Biomassebereich abgesehen von Erweiterungen bestehender Anlagen im Rahmen der Flexibilisierung für die bedarfsgerechte Stromerzeugung aus Biogasanlagen nicht zu verzeichnen (AGEE-STAT, 2019).

Der Wärmeverbrauch aus erneuerbaren Energien blieb im Jahr 2018 nach vorläufigen Zahlen mit 171 TWh etwa auf dem Niveau des Vorjahres (UMWELTBUNDESAMT, 2019b). Da der Gesamt-Endenergieverbrauch für Wärme aufgrund der relativ warmen Witterung um etwa 3,5 % gegenüber 2017 gesunken ist, ist der Anteil der Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien um 0,5 Prozentpunkte auf 13,9 % angestiegen. Die Wärmebereitstellung aus fester Biomasse hat anteilig abgenommen, während neue Technologien wie Solarthermie und Geothermie/Umweltwärme relativ hohe Zuwächse erreichen konnten (AGEE-STAT, 2019). Nichtsdestotrotz war der Anteil biogener Festbrennstoffe (vornehmlich Holz) im Jahr 2018 mit einem Anteil von 66,4 % (113,5 TWh) nach wie vor dominierend. Mit knapp 64 TWh wurden biogene Festbrennstoffe in Form von Schnittholz, Pellets und Holzhackschnitzeln überwiegend in Privathaushalten verwendet. Darüber hinaus wurden 15,4 Mio. TWh Wärme in der Industrie und 10,2 TWh in Gewerbe, Handel und Dienstleistungssektor erzeugt. Die Erzeugung von Wärme aus biogenen Festbrennstoffen in Heizwerken und Heizkraftwerken spielte mit 3,4 TWh eine eher untergeordnete Rolle (UMWELTBUNDESAMT, 2019b).

5 Bioenergie, Klimaschutzprogramm und Green Deal

Die vergangenen Jahre waren politisch von einer Diskussion um Reaktionsmöglichkeiten auf den weiter voranschreitenden Klimawandel, wie z.B. eine Begrenzung der CO₂-Emissionen, und die dadurch entstehenden neuen Protestbewegungen, wie z.B. die „Fridays for Future“-Demonstrationen, geprägt. Als Leitlinien zur nationalen Umsetzung der globalen Klimaziele des Pariser Abkommens (BMU, 2015) hat die Bundesregierung im Klimaschutzplan 2050 (BMU, 2016) ihre klimapolitischen Grundsätze und Ziele dargelegt. Zur Umsetzung dieser Leitlinien in konkrete Maßnahmen wurden von der Bundesregierung im Jahr 2019 das Klimaschutzprogramm 2030 (BMU, 2019), in der Öffentlichkeit auch als „Klimapaket“

bezeichnet, beschlossen und die darin genannten Maßnahmen, unter anderem ein nationaler Preis für CO₂-Emissionen, in den Gesetzgebungsprozess eingebracht. Die im Klimaschutzprogramm genannten Maßnahmen tangieren dabei in verschiedenen Punkten die unterschiedlichen Aspekte bioenergetischer Nutzung und werden daher die zukünftige Entwicklung des Marktes für Bioenergie entscheidend prägen.

Grundsätzlich definiert das Klimaschutzprogramm als Ziel für das Jahr 2030 einen Anteil der erneuerbaren Energien am Stromverbrauch von 65 %, was im Vergleich zu einem Anteil von 38 % im Jahr 2018 eine deutliche Steigerung des Ausbaus der erneuerbaren Energien bedeuten würde. Dieser Zubau an erneuerbaren Energien verteilt sich jedoch primär auf die Bereiche Windkraft an Land und auf See sowie Photovoltaik. Für Biomasse legt das Klimaschutzprogramm den Fokus auf die Erzeugung von Bioenergie aus Abfall- und Reststoffen und schließt eine Ausweitung der Anbauflächen für Bioenergie aus landwirtschaftlichen Produkten aufgrund von Flächenrestriktionen klar aus. Betrachtet man das Zielmodell für den Ausbaustand erneuerbarer Energien 2030 im Vergleich, so wird für die Stromerzeugung aus Biomasse ein Wert von 42 TWh und eine installierte Leistung von 8,4 GW angestrebt. Dies würde für die Stromerzeugung aus Biomasse einem Rückgang von etwa 17 % gegenüber dem aktuellen Stand entsprechen. Darüber hinaus wird besonderes Gewicht auf die Auswirkungen auf die lokale Luftqualität sowie den Ausstoß von Luftschadstoffen gelegt (BMU, 2019).

Im Bereich der flüssigen und gasförmigen regenerativen Kraftstoffe aus Biomasse legt das Klimaschutzprogramm 2030 einen Fokus auf die Erzeugung dieser Kraftstoffe aus Abfall- und Reststoffen. Biokraftstoffe der ersten Generation auf Basis von Nahrungs- und Futtermittelpflanzen sollen hingegen nicht zusätzlich unterstützt werden. Als mögliche Gefahr dieser Fokussierung auf nichtlandwirtschaftliche Ausgangsstoffe nennt das Klimaschutzprogramm das Entstehen einer Versorgungslücke, bei der das zur Verfügung stehende Biomassepotenzial geringer ist als der potenzielle Bedarf in allen Sektoren. Um diese Gefahr zu verringern, sollen auch Importoptionen geprüft werden, wobei zusätzliche Emissionen aus indirekter Landnutzungsänderung zu vermeiden sind. Innovative Kraftstoffe aus bisher nicht genutzten biogenen Reststoffen, wie z.B. Stroh, sollen explizit untersucht werden, um mittelfristig eine großtechnische Produktion etablieren zu können (BMU, 2019).

Für den Bereich der Wärme- und Kälteerzeugung wird vom Klimaschutzprogramm 2030 eine umfas-

sende Modernisierung und Weiterentwicklung der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) unter verstärkter Einbeziehung erneuerbarer Energien in einem flexiblen Mischbetrieb mit Gas-KWK als Ziel gesetzt. Daneben soll ein Förderprogramm für die Transformation von Wärmenetzen mit einem Ausbau des Anteils erneuerbarer Energie an der Wärmeerzeugung und der Nutzung von Wärmespeichern und nicht vermeidbarer Abwärme verknüpft werden (BMU, 2019). Die Auswirkungen dieser Maßnahmen auf den Markt für Bioenergie bleiben vor dem Hintergrund der oben genannten Fokussierung auf Abfall- und Reststoffe abzuwarten.

Betrachtet man die Auswirkungen des Klimaschutzprogramms 2030 auf den landwirtschaftlichen Sektor, so wird grundsätzlich von einem Anstieg der Nutzung von Biomasse aus Wirtschaftsdünger (Gülle und Mist aus Tierhaltung) auf einen Anteil von 30 % des Wirtschaftsdüngeraufkommens bis 2025 mit konstanter Fortschreibung bis 2035 ausgegangen. Die installierte elektrische Leistung von Biogasanlagen wird den Annahmen zufolge bis 2027 um rund 10 % sinken bei einer gleichzeitigen Substitution von Silomais durch andere Kulturen, wie Feld- und Klee gras im Gärsubstratanbau. Vor dem Hintergrund dieser Annahmen sollen durch das Klimaschutzprogramm, insbesondere durch den Ausbau der energetischen Nutzung von Wirtschaftsdüngern, die Klimaziele für den landwirtschaftlichen Sektor erreicht werden. Dazu sollen der stärkere Einsatz von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen sowie die gasdichte Lagerung von Gärresten mit bisherigen und neuen Instrumenten gefördert werden, was sowohl ein Fördersystem für Neuanlagen als auch die Schaffung von Optionen zur Anschlussnutzung beinhaltet. Diese Förderung soll an einer betrieblichen Tierhaltung von maximal zwei Großvieheinheiten pro Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche ausgerichtet werden (BMU, 2019).

Der Bereich der „Energieeffizienz in der Landwirtschaft“ des Klimaschutzprogramms 2030 ist durch die Senkung von Treibhausgasemissionen aus stationärer und mobiler Nutzung geprägt. So sollen im Bereich der Biogasanlagen unkontrollierte Methanverluste durch eine regelmäßige verpflichtende Leckage-Untersuchung und eine Dokumentationspflicht zur Überdrucksicherung verringert werden. Im Bereich der mobilen Nutzung sollen Treibhausgasemissionen durch die Etablierung eines Förderprogramms zur Eigenstromversorgung aus erneuerbaren Energien, insbesondere zur Substitution von Agrardiesel, verringert werden. Hierbei wird erneut das Gebot, Anbaubiomasse nicht über den aktuellen Stand hinaus zu fördern, bekräftigt.

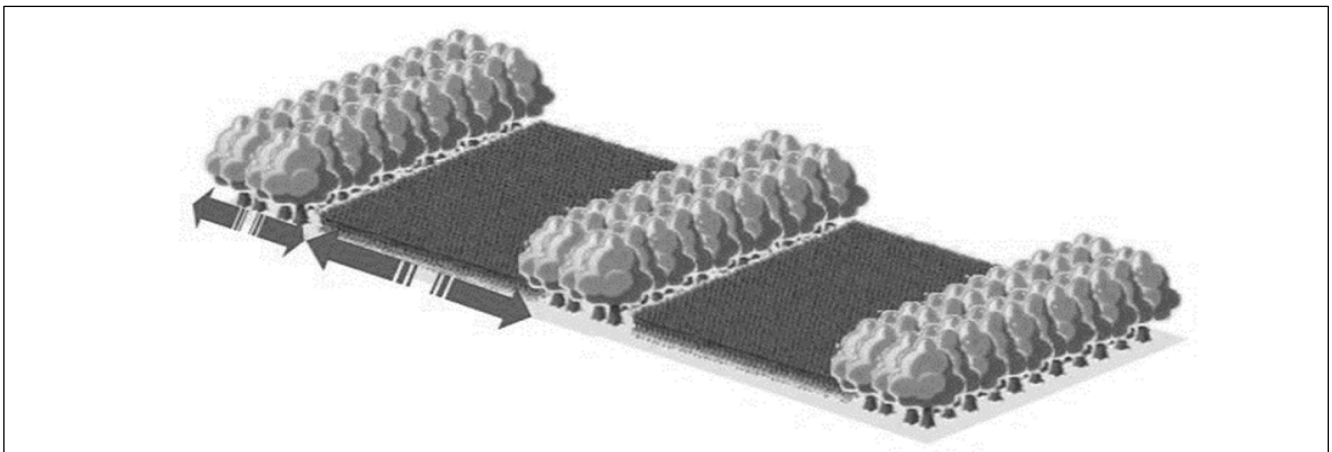
Betrachtet man die Chancen des Klimaprogramms für den Bioenergiesektor, so können sich insbesondere im Bereich der Biomethanherzeugung aus Wirtschaftsdünger-Biomasse in Biogasanlagen neue Wachstumsmöglichkeiten ergeben. So nennt das Klimaschutzprogramm explizit regenerativ hergestellte Biomethankraftstoffe als wichtigen Baustein zur Senkung der Treibhausgasemissionen im straßengebundenen Güterverkehrssektor durch Substitution dieselbasierter Antriebstechnologien (BMU, 2019). Dabei bietet der Ersatz der Direktverstromung durch eine Biomethaneinspeisung in das Gasnetz auch Entwicklungspotenziale für Altanlagen, deren Förderung nach EEG in den 2020er-Jahren auslaufen wird (BDEW, 2019), und ermöglicht eine dezentralisierte Gasproduktion mit einer großen Bandbreite regenerativer Ausgangsstoffe ohne zusätzlichen Netzausbau. Grundsätzlich bietet die Kapazität der bislang installierten Biogasanlagen dabei die Möglichkeit, bis zu 10 % des fossilen Erdgases durch Biomethan zu substituieren (FNR, 2014a).

Ein weiteres Maßnahmenpaket des Klimaschutzprogramms 2030 mit Chancen für Bioenergien betrifft den Sektor „Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft“ mit den Punkten „Humuserhalt und -aufbau im Ackerland“, bei dem sich Überschneidungspunkte mit den AECMs einer zukünftigen GAP 2020 ergeben (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2019a). Das Klimaschutzprogramm sieht dort einen Ausbau der Förderung von Forstreifen auf landwirtschaftlichen Flächen zur Verbesserung der Bodenqualität und zur Reduktion der CO₂- und Schadstoffbelastung vor (BMU, 2019). Hierzu wird, wie auch in den AECMs, unter anderem die Förderung von Agroforstsystemen gezählt, d.h. Systeme, bei denen sich auf einer Fläche in engem räumlichem oder zeitlichem Abstand Acker- bzw. Grünlandkulturen sowie Baum- oder Gehölzkulturen abwechseln (siehe Abbildung 9).

Diese Systeme bieten verschiedene ökonomische und ökologische Vorteile, wie eine höhere Gesamtproduktivität, insbesondere auf Grenzstandorten (LANGENBERG et al., 2018), einen verbesserten Erosionsschutz (PALMA et al., 2007) und einen positiven Effekt auf die biologische Vielfalt (ZEHLIUS-ECKERT, 2010). Die Baumkulturen werden dabei, insbesondere im Bereich der Kurzumtriebsnutzung, primär energetisch in Form von Hackschnitzeln zur Wärme- und Stromgewinnung genutzt. Damit entspricht diese Methode der Energiegewinnung der oben genannten Forderung nach einer verstärkten Kraft-Wärme-Kopplung erneuerbarer Energien und können einen wichtigen Beitrag als biogener Festbrennstoff liefern. Darüber hinaus können sie den Humusaufbau auf landwirtschaftlichen Flächen als flächenbezogen geförderte Maßnahme unterstützen und bieten damit das Potenzial, ähnlich der Biomethannutzung mehrere Maßnahmenpakete des Klimaschutzprogramms zu verknüpfen. Bislang spielen diese nachhaltigen Landnutzungssysteme zur Bioenergiegewinnung allerdings aufgrund von politischen und ökonomischen Investitionssicherheiten, verbunden mit einer langen Kapitalbindung, einem vergleichsweise hohen Investitionsbedarf sowie geringer Akzeptanz in der landwirtschaftlichen Praxis, nahezu keine Rolle. Als Entscheidungsgrundlage für Unternehmen des Agribusiness und der Politik mit dem Ziel einer weiteren Verbreitung existiert dringender Forschungsbedarf bezüglich der ökonomischen Bewertung dieser Systeme und gegebenenfalls erforderlicher Fördermaßnahmen sowie der Akzeptanzkriterien der Landwirte für diese neue Landnutzungsform.

Weitere Chancen in diesem Maßnahmenpaket könnten sich durch eine Vergütung des Humusaufbaus als CO₂-Senke ergeben, indem mit dem Erlös für CO₂-Zertifikate der Humusaufbau und damit die

Abbildung 9. Schematische Darstellung eines streifenförmigen Agroforstsystems



Quelle: FREESE et al. (2010)

CO₂-Speicherung auf landwirtschaftlichen Flächen gefördert werden. Bislang sind allerdings die tatsächlich durch Humusaufbau zusätzlich speicherbaren Mengen an CO₂ sowie die notwendigen Zertifizierungen und Preisbestimmungen noch unklar (JACOBS et al., 2018), so dass hier weiterer Forschungsbedarf besteht. Daneben ist die Vergütung von CO₂-Speicherung sowohl durch Humusaufbau als auch durch Aufforstung politisch stark umstritten und es ist noch unklar, inwiefern private Zertifikat-Emittenten diese Lücke füllen werden (INDIGO, 2020; CARBOCERT, 2020).

In Bezug auf die supranationale Klimagesetzgebung durch die Europäische Union ergeben sich möglicherweise durch den „Green Deal“ (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2019) neue Chancen für die Bioenergie: So erfordert allein das Ziel der europäischen Klimaneutralität bis 2050 einen massiven Anstieg von Biokraftstoffen der 1. und 2. Generation (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2019b). Daneben sieht die Planung für eine nachhaltige Mobilität im Rahmen des „Green Deal“ explizit eine Verbesserung der Versorgung mit nachhaltigen alternativen Kraftstoffen als wichtigen Baustein einer Emissionsminderung des Verkehrssektors vor (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2019c). Auch die Dekarbonisierung des Gassektors als Ziel des Plans für saubere Energie kann Chancen für die Biomethanherzeugung analog zum Klimaschutzprogramm der Bundesregierung bringen. Grundsätzlich sieht der nächste EU-Haushalt 2021-2027 vor, dass 40 % des Agrarhaushaltes einen Beitrag zum Klimaschutz leisten soll und verdeutlicht so zusammen mit dem „Green Deal“-Plan „Vom Hof auf den Tisch“ (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2019d) die wichtige Rolle der Land- und Forstwirtschaft auf dem Weg zu einer klimaneutralen europäischen Union. Der tatsächliche Umfang und die Ausgestaltung der Einzelmaßnahmen des „Green Deal“ sind dabei bislang jedoch unklar, und es bleibt abzuwarten, in welchem Maße der politische Prozess der rechtlichen Umsetzung hier noch Veränderungen herbeiführen wird.

Literatur

- AEE (Agentur für erneuerbare Energien) (2020): Biokraftstoffe sind wichtigster Baustein für Klimaschutz im Verkehr. URL: <https://www.unendlich-viel-energie.de/erneuerbare-energie/bioenergie/biokraftstoffe/biokraftstoffe-sind-wichtigster-baustein-fuer-klimaschutz-im-verkehr>, Abruf: 06.01.2020.
- AGEB (Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.) (2019): Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland: 1990 bis 2018. Stand: August 2019. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V., Berlin. URL: <https://ag-energiebilanzen.de>, Abruf: 16.12.2019.
- AGEE-STAT (Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik) (2019): Erneuerbare Energien in Deutschland. Daten zur Entwicklung im Jahr 2018. Umweltbundesamt, Dessau.
- ARENS, S. (2019): Raps benötigt dringend Nachfrageimpuls aus der Biokraftstoffverwendung. In: DLG-Newsletter 15/2019.
- BDBE (Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft) (2019): Die deutsche Bioethanolwirtschaft in Zahlen. URL: <https://www.bdbe.de/daten/marktdaten-deutschland>, Abruf: 28.11.2019.
- BDEW (Bundesverband der Energie und Wasserwirtschaft) (2019): Gas kann grün: Die Potentiale von Biogas/Biomethan. Status Quo, Fakten und Entwicklung. URL: https://www.bdew.de/media/documents/Awh_20190426_Gas-kann-gruen-Potentiale-Biogas.pdf, Abruf: 27.11.2019.
- BEKW (Bioenergiekraftwerk Emsland) (2019): Das Bioenergiekraftwerk Emsland. URL: <http://www.bioenergie-emsland.de/index.php/bio-energiekraftwerk/das-kraftwerk>, Abruf: 27.11.2019.
- BLE (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung) (2019): Waldbrandstatistik der Bundesrepublik Deutschland für das Jahr 2018. Bonn.
- BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft) (2016): Ergebnisse der Bundeswaldinventur 2012. Berlin.
- (2017): Waldbericht der Bundesregierung 2017. Bonn.
- (2019): Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2018. Bonn.
- (2019a): Holzmarktbericht 2018. Abschlussergebnisse für die Forst- und Holzwirtschaft des Wirtschaftsjahres 2018. Bonn.
- (2019b): Bundesministerin Klöckner zum Sonderbericht des Weltklimarats. Pressemitteilung. Bonn. URL: <https://www.bmel.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/2019/190808-Sonderbericht-Weltklimarat.html>, Abruf: 02.02.2020.
- BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) (2019): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland – Stand: August 2019. URL: <https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-1990-2017.pdf>, Abruf: 16.12.2019.
- (2019a): Energieprognosen und -szenarien. URL: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energieprognosen.html>, Abruf: 15.12.2019.
- (2019b): Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien 2000 bis 2017. URL: <https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/zeitreihe-der-beschaeftigungszahlen-seit-2000.html>, Abruf: 15.12.2019.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Nukleare Sicherheit) (2015): Übereinkommen von Paris. URL: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/paris_abkommen_bf.pdf, Abruf: 16.12.2019.
- (2016): Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. URL: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf, Abruf: 16.12.2019.

- (2019): Klimaschutzprogramm 2030 zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050. URL: <https://www.bmu.de/download/klimaschutzprogramm-2030-zur-umsetzung-des-klimaschutzplans-2050/> (Abrufdatum: 16.12.2019).
- BRAUNE, M., E. GRASEMANN, A. GRÖNGRÖFT, M. KLEMM, K. OEHMICHEN und K. ZECH (2016): Die Biokraftstoffproduktion in Deutschland-Stand der Technik und Optimierungsansätze. Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH, Leipzig.
- BROSOWSKI, A., P. ADLER, G. ERDMANN, W. STINNER, D. THRÄN, U. MANTAU, C. BLANKE, B. MAHRO, T. HERING und G. REINHOLDT (2015): Biomassepotenziale von Rest- und Abfallstoffen. Status Quo in Deutschland. Schriftenreihe nachwachsende Rohstoffe, Heft 36. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow-Prüzen.
- BUCHHOLZ, C. (2018): Zukunft Raps - wie geht es weiter? In: DLG-Newsletter 23/2018.
- BWK (BWK Das Energie-Fachmagazin) (2019): Erneuerbare Energien weltweit. URL: <https://www.energiefachmagazin.de/-2017/Aus-gabe-7-8/Special-Erneuerbare-Energien/Erneuerbare-Energien-weltweit?page=14>, Abruf: 16.12.2019.
- CARBOCERT (2020): Humuszertifikate. URL: <https://www.carbocert.de/humuszertifikate/humuszertifikate-fuer-landwirte>, Abruf: 02.02.2020.
- CARMEN (Centrales Agrar-Rohstoff Marketing- und Energie-Netzwerk) (2019): Kombinierte Strom- und Wärmeerzeugung: Biomasseheizkraftwerke. URL: <https://www.carmen-ev.de/biogene-festbrennstoffe/biomasseheizkraftwerke>, Abruf: 17.12.2019.
- (2019a): Biomasse als Brennstoff: nachhaltig und erneuerbar. URL: <https://www.carmen-ev.de/biogene-festbrennstoffe/brennstoffe>, Abruf: 17.12.2019.
- DEPV (Deutscher Energieholz- und Pellet-Verband) (2019): Deutsche Pelletproduktion auch im dritten Quartal mit Rekord. URL: <https://depv.de/de/p/Deutsche-Pelletproduktion-auch-im-dritten-Quartal-mit-Rekord-87qsr5vJ4gamzNkVta3hXc>, Abruf: 17.12.2019.
- DESTATIS (2019): Wald und Holz. Durch Schäden verursachter Holzeinschlag nach Einschlagsursache, Waldeigentumsarten. URL: <https://www.destatis.de/DE/TheMen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Wald-Holz/Tabellen/holzeinschlag-ursachen.html>, Abruf: 16.12.2019.
- DETER, A. (2019): Ernte 2019: Zwischen „blauem Auge“ und Katastrophe. Top agrar. URL: <https://www.topagrar.com/acker/news/ernte-2019-zwischen-blauem-auge-und-katastrophe-11846674.html>, Abruf: 01.02.2020.
- (2019a): Weiterhin verhaltene Stimmung in der Landwirtschaft. URL: <https://www.topagrar.com/management-und-politik/news/weiterhin-verhaltene-stimmung-in-der-landwirtschaft-11591017.html>, Abruf: 17.12.2019.
- DMK (Deutsches Maiskomitee) (2019): Gesamtflächenentwicklung. Maisanbauflächen in Deutschland für die Jahre 2013 bis 2018. URL: [https://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/\\$file/19-07-12_Biogas_Branchenzahlen-2018_Prognose-2019.pdf](https://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/$file/19-07-12_Biogas_Branchenzahlen-2018_Prognose-2019.pdf), Abruf: 28.11.2019.
- 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 (Supplement): 102-118.
- EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz) (2017): Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG 2017). URL: https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/BJNR106610014.html, Abruf: 02.02.2020.
- EFFIGEST (2019): Entwicklung einer hocheffizienten Prozesskette zur Effizienzsteigerung bei der Vergärung von Geflügelmist unter Nutzung modifizierter Strohfraktionen und mit prozessintegrierter Gewinnung marktfähigen Düngers. Projektdarstellung auf Internetseite des BMWi. URL: <https://www.energetische-biomassenutzung.de/projekte-partner/details/project/show/Project/effigest-430/>, Abruf: 27.11.2019.
- ePURE – (2019): Resources & Statistics. URL: <https://epur.e.org/resources/statistics/>, Abruf: 06.01.2020.
- EUROBSERV'ER (2019): Biofuels Barometer 2019. URL: <https://www.eurobserv-er.org/category/-all-biofuels-barometers/>, Abruf: 10.01.2020.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (2019): Ein europäischer Grüner Deal. URL: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de, Abruf: 02.02.2020.
- (2019a): The environmental objectives of the future CAP. URL: https://ec.europa.eu/info/news/environmental-care-and-climate-change-objectives-future-cap-2019-jan-25_en, Abruf: 02.02.2020.
- (2019b): Climate strategies – 2050 long-term strategy. URL: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en, Abruf: 02.02.2020.
- (2019c): Nachhaltige Mobilität – Der europäische Green Deal. URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/fs_19_6726, Abruf: 02.02.2020.
- (2019d): Vom Hof auf den Tisch - Der europäische Green Deal. URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/fs_19_6727, Abruf: 02.02.2020.
- FNR (Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe) (2014): Leitfaden Feste Biobrennstoffe. Golzow.
- (2014a): Leitfaden Biogasaufbereitung und -einspeisung. Gülzow. URL: https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/l/e/leitfaden_biogaseinspeisung-druck-web.pdf, Abruf: 15.12.2019.
- (2015): Potenziale Biogener Rest- und Abfallstoffe für eine nachhaltige Energie- und Rohstoffbereitstellung. Handout. Gülzow.
- (2019): Basisdaten Bioenergie Deutschland 2019. Gülzow. URL: https://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschuere/broschuere_basisdaten_bioenergie_2019_web.pdf, Abruf: 26.11.2019.
- FREESE, D., C. BÖHM, A. QUINKENSTEIN, B.U. SCHNEIDER und R.F. HUETTL (2010): Agroforst – flächenschonende Alternative für die Energieholzproduktion (Feld und Wald auf einem Schlag). In: Neue Landwirtschaft 9/2010: 76-78.
- FvB (Fachverband Biogas) (2019): Branchenzahlen 2018 und Prognose der Branchenentwicklung 2019 – Stand 07/2019. URL: [https://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/\\$file/19-07-12_Biogas_Branchenzahlen-2018_Prognose-2019.pdf](https://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/$file/19-07-12_Biogas_Branchenzahlen-2018_Prognose-2019.pdf), Abruf: 17.10.2019.
- IEA (International Energy Agency) (2018): World Energy Outlook 2018. URL: <https://webstore.iea.org/download/summary/190?fileName=German-WEO-2018-ES.pdf>, Abruf: 15.12.2019.

- INDIGO (2020): Indigo Carbon. URL: <https://www.indigoag.com/for-growers/indigo-carbon>, Abruf: 02.02.2020.
- IPCC (International 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.
- (2019): Summary for Policymakers. In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2019/12/02_Summary-for-Policy-makers_SPM.pdf, Abruf: 02.02.2020.
- IRENA (International Renewable Energy Agency) (2019): Renewable capacity statistics 2019, Abu Dhabi. URL: https://www.irena.org/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2019.pdf, Abruf: 15.12.2019.
- (2019a): Renewable Energy and Jobs. Annual Review 2019. URL: <https://www.irena.org/publications/2019/Jun/Renewable-Energy-and-Jobs-Annual-Review-2019>, Abruf: 16.12.2019.
- JACOBS, A., H. FLESSA, A. DON, A. HEIDKAMP, R. PRIETZ, R. DECHOW, A. GENSIO, C. POEPLAU, C. RIGGERS, F. SCHNEIDER, B. TIEMEYER, C. VOS, M. WITTNEBEL, T. MÜLLER, A. SAEURICH, A. FAHRION-NITSCHKE, S. GEBBERT, A. JACONI, H. KOLATA, A. LAGGNER et al. (2018): Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland - Ergebnisse der Bodenzustandserhebung. Thünen Rep 64. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig. DOI:10.3220/REP1542818391000.
- KALCHER, J. und A. BROSOWSKI (2018): Flächenbezogene Berechnung von Biomassepotentialen. In: Meinel, G., U. Schumacher, M. Behnisch und T. Krüger (Hrsg.): Flächennutzungsmonitoring X. Flächenpolitik – Flächenmanagement – Indikatoren. In: IÖR Schriften 76: 257-260. Rhombos, Berlin.
- KALTSCHMITT, M., H. HARTMANN und H. HOFBAUER (2009): Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. 2. Auflage. Springer-Verlag, Berlin.
- KEMFERT, C. (2018): Die Hitzewelle zeigt: Höchste Zeit für einen konsequenten Klimaschutz! DIW-Wochenbericht 85 (32). Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin: 689ff.
- KIT (Karlsruher Institut für Technologie) (2019): Synthetische Biokraftstoffe. URL: <https://www.bioliq.de/28.php>, Abruf: 18.12.2019.
- KRENN, K. (2019): Biogasförderung. Förderung für mehr Gülle im Fermenter. URL: <https://www.agrarheute.com/energie/foerderung-fuer-mehr-guelle-fermenter-562574>, Abruf: 11.12.2019.
- KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) (2013): Faustzahlen Biogas. 3. Ausgabe. Darmstadt.
- LAND SCHAFFT VERBINDUNG (2020): Initiative „Land schafft Verbindung“. URL: <https://landschaftverbindung.de>, Abruf: 01.02.2020.
- LANGENBERG, J. M. FELDMANN und L. THEUVSEN (2018): Agroforstsysteme im Alley-Cropping-Anbauverfahren: Eine Risikoanalyse im Vergleich zum klassischen Ackerbau anhand der Monte-Carlo-Simulation. In: German Journal of Agricultural Economics 67 (2): 95-112.
- 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.
- LOIBL, H. (2017): EEG 2017 – Die Ausschreibung am Beispiel Biogas und sonstige Neuerungen. Vorlesung Energie- und Umweltrecht, OTH Regensburg. URL: https://www.paluka.de/fileadmin/user_upload/EEG_2017_Ausschreibung_am_Beispiel_Biogas.pdf, Abruf: 18.12.2019.
- MAHNKOPF, K. (2019): Wenn Politiker auf Fridays for Future treffen. Göttinger Tageblatt. URL: <https://www.goettinger-tageblatt.de/Die-Region/Goettingen/Klimaschutz-Diskussion-in-Goettingen-Politiker-stellen-sich-Fridays-for-Future>, Abruf: 01.02.2020.
- MANTAU, U. (2018): Holzrohstoffbilanzen und Stoffströme des Holzes – Entwicklungen in Deutschland 1987 bis 2016. Schlussbericht. Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft, Hamburg.
- MANTAU, U., P. DÖRING, H. WEIMAR, S. GLASENAPP, D. JOCHEM und K. ZIMMERMANN (2018): Rohstoffmonitoring Holz. Erwartungen und Möglichkeiten. FNR, Gülzow.
- MÜHLENHOFF, J., R. KAJIMURA, N. BOENIGK, D. ZIEGLER und J. WITT (2014): Holzenergie in Deutschland. Status Quo und Potenziale. In: AEE (Agentur für erneuerbare Energie): Renewals Spezial Sonderausgabe/Februar 2014.
- MÜHLENHOFF, J. und B. DANNEMANN (2017): Biogene Test- und Abfallstoffe. Flexibler Baustein der Energiewende. In: AEE (Agentur für Erneuerbare Energien): Renewals Spezial 81.
- MÜLLER-LOHSE, L. (2019): Biogas in Deutschland und Frankreich – ein Vergleich. URL: https://energie-fr.de/de/bioenergien/nachrichten/leser/memo-zu-biogas-in-deutschland-und-frankreich-ein-vergleich.html?file=files/ofaenr/04-notes-de-synthese/02-acces-libre/03-bioenergies/2019/DFBEW_Memo_Biogas_Deutschland_Frankreich_1902.pdf, Abruf: 17.10.2019.
- NELLES, M. (2009): Energie aus organischen Abfällen und Reststoffen – ein Beitrag zur nachhaltigen Energieversorgung. In: Müll und Abfall 05/2009: 225.
- NEUMANN, H. (2019): Strohvergärung. Mehr Abfall- und Reststoffe in die Biogasanlage. top agrar online. URL: <https://www.topagrar.com/energie/mehr-abfall-und-reststoffe-in-die-biogasanlage-11780286.html>, Abruf: 11.12.2019.
- 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.
- NTV (2020): Billigfleisch ist „Ausdruck unserer Zeit“. URL: <https://www.n-tv.de/politik/Billigfleisch-ist-Ausdruck-unserer-Zeit-article21556181.html>, Abruf: 02.02.2020.
- OTTER, V. und J. LANGENBERG (2019): Willingness to pay for environmental effects of agroforestry systems: a PLS-model of the contingent evaluation from German taxpayers' perspective. In: Agroforestry Systems, <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00449-6>.

- PALMA J.H.N., A.R. GRAVES, P.J. BURGESS, K.J. KEESMAN, H. VAN KEULEN, M. MAYUS, Y. REISNER and F. HERZOG (2007): Methodological approach for the assessment of environmental effects of agroforestry at the landscape scale. In: *Ecological Engineering* 29 (4): 450-462.
- REINHOLD, G. (2014): Standpunkt zur Vergärung von Stroh in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena.
- 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 (2019): Renewables 2019 Global Status Report. Paris. URL: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf, Abruf: 15.12.2019.
- RFA (Renewable Fuels Association) (2019): World Fuel Ethanol Production. URL: <https://ethanolrfa.org/statistics/annual-ethanol-production/>, Abruf: 20.12.2019.
- RÜBCKE VON VELTHEIM, F., M. DEUTSCH, L. BEER, C. SCHAPER und V. OTTER (2019): Der Markt für Bioenergie. In: *Die landwirtschaftlichen Märkte an der Jahreswende 2018/19* 68 (Supplement): 131-148.
- SCHRÖTER-SCHLAACK, C., C. AICHER, R. GRÜNWALD, C. REVERMANN und J. SCHILLE (2019): Das Potenzial algenbasierter Kraftstoffe für den Lkw-Verkehr Sachstandsbericht zum Monitoring Nachhaltige Potenziale der Bioökonomie – Biokraftstoffe der 3. Generation. TAB – Büro für Technikfolgeabschätzungen beim deutschen Bundestag, Berlin.
- SCHWARZ, B. (2016): Schlussbericht Vorhaben EFFIGEST, FKZ 03KB081. Fraunhofer IKTS, Dresden.
- SDW (Schutzgemeinschaft Deutscher Wald) (2019): Waldanteil in Deutschland. URL: <https://www.sdw.de/waldwissen/wald-in-deutschland/waldanteil>, Abruf: 12.12.2019.
- SEEDLER, G. (2017): Antidumpingzölle auf argentinische Ware. In: *Raiffeisen Magazin* 5/2017: 10f.
- STAATSBETRIEB SACHSENFORST (2016): Bewältigung von Schadereignissen im Wald. Hinweise für Waldbesitzer. URL: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/23871>, Abruf: 11.12.2019.
- TI-WF (Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie) (2019): Holzeinschlag und Rohholzverwendung. Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie, Hamburg. URL: <https://www.thuenen.de/de/wf/zahlen-fakten/waldwirtschaft/holzeinschlag-und-rohholzverwendung/>, Abruf: 16.12.2019.
- UFOP (Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V.) (2019): Biodiesel 2018/2019 Sachstandsbericht und Perspektive – Auszug aus dem UFOP-Jahresbericht. URL: https://www.ufop.de/files/8315/7112/339/UFOP_1693_Biodieselauszug_2019_151019.pdf, Abruf: 08.01.2020.
- (2020): Biokraftstoffe benötigen wenig Fläche. URL: <https://www.ufop.de/biodiesel-und-co/biodiesel/grafik-der-woche/>, Abruf: 08.01.2020.
- UMWELTBUNDESAMT (2019): Primärenergieverbrauch. URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/2_abb_entw-pev-energetraeger-polit-ziele_2019-02-26.pdf, Abruf: 16.12.2019.
- (2019a): Stromerzeugung erneuerbar und konventionell. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/stromerzeugung-erneuerbar-konventionell>, Abruf: 16.12.2019.
- (2019b): Erneuerbare Energien in Zahlen. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen>, Abruf: 17.12.2019.
- USDA (United States Department of Agriculture) (2019): Gain Report. EU 28 Biofuels Annual. Nr. NL9022. URL: <https://www.fas.usda.gov/data/eu-28-biofuels-annual-1>, Abruf: 19.12.2019.
- VAUTARD, R., O. BOUCHER, G. VAN OLDENBORGH, FR. OTTO, K. HAUSTEIN, M. VOGEL, S. SENEVIRATNE, J.-M. SOUBEYROUX, M. SCHNEIDER, A. DOURIN, A. RIBES, F. KREIENKAMP, P. STOTT und M. VAN AALST (2019): Human contribution to the record-breaking July 2019 heat wave in Western Europe. World Weather Attribution (WWA), Amsterdam, Netherlands.
- VERBIO (Vereinigte Bioenergie AG) (2019): Biomethan aus Stroh. EU-Förderprojekt „DE BIOH VERBIO STRAW“ Produktion von Biomethan aus 100 % Stroh. URL: <https://www.verbio.de/produkte/verbiogas/verbio-gas-aus-stroh/>, Abruf: 27.11.2019.
- WIR HABEN ES SATT (2020): Initiative „Wir haben es satt“. URL: <https://www.wir-haben-es-satt.de>, Abruf: 01.02.2020.
- WIR MACHEN EUCH SATT (2020): Initiative „Wir machen euch satt“. URL: <https://www.wir-machen-euch-satt.de>, Abruf: 01.02.2020.
- ZEHLIUS-ECKERT, W. (2010): Agroforstwirtschaft in der europäischen Forschung – mit einem Schwerpunkt auf der ökologischen Nachhaltigkeit. Agrarholz 2010. Technische Universität, München.
- ZELLER, V., D. THRÄN, M. ZEYMER, B. BÜRZLE, P. ADLER, J. PONITKA, J. POSTEL, F. MÜLLER-LANGER, S. RÖNSCH, A. GRÖNGRÖFT, C. KIRSTEN, N. WELLER, M. SCHENKER, H. WEDWITSCHKA, B. WAGNER, P. DEUMELANDT, F. REINICKE, A. VETTER, C. WEISER, K. HENNEBERG und K. WIEGMANN (2012): Basisinformationen für eine nachhaltige Nutzung von landwirtschaftlichen Reststoffen zur Bioenergiebereitstellung. DBFZ Report Nr. 13. Deutsches Biomasseforschungszentrum, Leipzig.

Kontaktautorin:

VERENA OTTER, PH.D.

Department of Agricultural Economics and
Rural Development, Agribusiness Management
Georg-August-Universität Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 5, 37073 Göttingen
E-Mail: Verena.Otter@agr.uni-goettingen.de