

Der Markt für Bioenergie

Josef Langenberg, Lara Drittler, Theresa von Bierbrauer, Christian Schaper und Ludwig Theuvsen
Georg-August-Universität Göttingen

1 Der Markt für Bioenergie im Branchenlebenszyklus

Von Ausnahmen wie z.B. dem Einsatz von Brennholz abgesehen, ist der Markt für Bioenergie ein politisch induzierter Markt (GRANOSZEWSKI et al., 2011), der sich ohne die energie- und klimapolitischen Zielsetzungen des europäischen und des nationalen Gesetzgebers sowie die Schaffung der auf die Erreichung dieser Ziele ausgerichteten rechtlichen Rahmenbedingungen nicht in der Form entwickelt hätte, wie dies in den letzten anderthalb Dekaden der Fall gewesen ist. Die hohe politische Aufmerksamkeit, die die erneuerbaren Energien genießen, und die dynamische Entwicklung der Branche haben zu zahlreichen, häufig tiefgreifenden Veränderungen des Rechtsrahmens geführt, die dazu beigetragen haben, dass der Bioenergiebereich quasi im Zeitraffer fast den gesamten Branchenlebenszyklus (CASSIA et al., 2006) durchlaufen hat.

Während der Einführungsphase, deren Dauer etwa bis zum Inkrafttreten des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) 2004 anzusetzen ist, und der sich anschließenden, etwa bis 2012/2013 anhaltenden Wachstumsphase waren Potenzialanalysen, so etwa Abschätzungen der zur Verfügung stehenden Biomassepotenziale (z.B. ARETZ und HIRSCHL, 2007), sowie Untersuchungen zur ökologischen und ökonomischen Effizienz alternativer Bioenergielinien (z.B. WBA, 2008, sowie die bereits 2011 begonnene Studie von ZEDDIES et al., 2014) verbreitet. Daneben standen Überlegungen zur Verbesserung innovativer Produktionsverfahren, etwa von Biogasanlagen (z.B. SCHÖFTNER et al., 2007), im Vordergrund, die wesentlich zu der für diese Phasen des Branchenlebenszyklus typischen, allmählichen Standardisierung der Produktionstechnologien beigetragen haben. Derartige Analysen waren dann eine Zeit lang im Wesentlichen nur noch für Marktnischen, wie die Biogasproduktion im Ökolandbau (etwa GRIEB und ZERGER, 2015), sowie zwecks Klärung technologischer Detailfragen (z. B. DIVYA et al., 2015) zu finden oder nahmen stärker die global verfügbaren Potenziale in den Blick (ZEDDIES und SCHÖNLEBER, 2016a). Unter dem Einfluss der diversen Novellierungen des EEG, des für

früh errichtete Biogasanlagen näher rückenden Endes der garantierten Einspeisevergütungen, des Wunsches nach einer weiteren Verbesserung der ökologischen Nachhaltigkeit von Biogasanlagen sowie der Notwendigkeit der besseren Integration erneuerbarer Energien in den Strommarkt und die Stromnetze gewinnen diese Fragen allerdings für die Biogasproduktion aktuell wieder an Bedeutung (KLEINE-MÖLLHOFF und DÜRR, 2016; KRÖGER et al., 2016a).

Angesichts des schnellen Marktwachstums während der Wachstumsphase und des hohen Flächenbedarfs namentlich von Biokraftstoffen der ersten Generation sowie von Biogasanlagen rückten sehr schnell auch die nicht intendierten Nebenwirkungen der Bioenergieproduktion in das Blickfeld, so etwa die Auswirkungen auf die Verfügbarkeit und die Preise von Nahrungsmitteln („Tank-oder-Teller“-Diskussion; ZSCHACHE et al., 2010), den Bodenmarkt, speziell die Höhe der Pachtpreise (HABERMANN und BREUSTEDT, 2011; EMMANN und THEUVSEN, 2012; GARVERT und SCHMITZ, 2014; LATA CZ-LOHMANN et al., 2014), die Wettbewerbsfähigkeit traditioneller landwirtschaftlicher Produktionsverfahren (HEIBENHUBER et al., 2008) sowie die weltweite Landnutzung (MARVUGLIA et al., 2013). Diese Analysen sind inzwischen weitgehend abgeschlossen. Dagegen sind die (regionalen) (Um-)Verteilungseffekte des EEG (GROWITSCH et al., 2015; GAWEL und KORTE, 2015; GAWEL et al., 2017), die Wirkungen der Energiewende u.a. auf die (Infra-)Strukturen (GAILING und RÖHRING, 2015), die Einkommen sowie die Beschäftigung (GUENTHER-LÜBBERS et al., 2016) im ländlichen Raum sowie die Akzeptanz erneuerbarer Energien (JAHNKE et al., 2015; RUDDAT und SONNBERGER, 2015; BOVET und LIENHOOP, 2017; RENN et al., 2017; OHLHORST, 2017) weiterhin Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen.

Ausgelöst haben die teils sehr kritischen Betrachtungen der (Neben-)Wirkungen vor allem des EEG eine Forschung, die die entstandenen Konflikte u.a. durch die Nutzung alternativer Biomassepotenziale, z.B. von ligninhaltiger Biomasse (SIMS et al., 2010), Wirtschaftsdüngern (KRÖGER, 2016) oder Algen (MUSSGUG et al., 2010; MONTINGELLI et al., 2015), zu entschärfen versucht. Auch die Verpflichtung, dass

flüssige Biomasse, die bei der Strom- und Biokraftstoffproduktion eingesetzt wird, zertifiziert sein muss, ist das Ergebnis einer kritischen Bewertung der bis dato vorbehaltlosen Förderung der Bioenergieproduktion. Durch die Zertifizierung wird nachgewiesen, dass ein Mindestmaß an Minderung von Treibhausgasemissionen erreicht wird und die Biomasseproduktion nicht mit der Zerstörung schützenswerter Flächen, etwa Urwäldern oder Feuchtgebieten, einhergeht. Entsprechende Anforderungen wurden 2009 in der EU-Erneuerbare-Energien-Richtlinie formuliert und durch die Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung (BioSt-NachV) sowie die Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung (Biokraft-NachV) in nationales Recht umgesetzt (EKARDT und HENNIG, 2014).

Etwa seit dem Inkrafttreten des EEG 2012 ist die Bioenergiebranche in die Reife- und teilweise sogar in die Schrumpfungsphase eingetreten. So findet seither bspw. nur noch ein geringfügiger Zubau von Kapazitäten zur Biogasproduktion statt; die Absatzzahlen bei Biokraftstoffen wiesen zuletzt sogar wieder nach unten (vgl. Kapitel 4.). Die eingetretene Entwicklung ist das Ergebnis einer Veränderung des Rechtsrahmens als Reaktion auf die Kritik an der undifferenzierten Förderung der Produktion und der Nutzung von Bioenergie (vgl. für Biokraftstoffe EKARDT und HENNIG, 2014). Im Strombereich kommt hinzu, dass der Umstieg auf erneuerbare Energien deutlich weiter vorangeschritten ist als in den Energieversorgungsbereichen Wärme und Transport (BRUTTEL et al., 2016). Dieser Erfolg hat die Notwendigkeit deutlich gemacht, die Markt- und Systemintegration der erneuerbaren Energien – und damit auch die der Stromerzeugung auf Biomassebasis – zügig voranzubringen (ZIPP, 2016; PURKUS et al., 2017). Das für den Betrieb älterer Anlagen charakteristische Prinzip des „build and forget“, das durch die festen Einspeisevergütungen des EEG gefördert wurde und eine Stromproduktion unabhängig vom Bedarf auslöste (BRUTTEL et al., 2016), und damit zugleich die wettbewerbliche Sonderstellung der erneuerbaren Energien (BUSCH, 2005) gehören damit mehr und mehr der Vergangenheit an.

Das Bemühen um die Verbesserung der technischen Integration der – mit Ausnahme der Bioenergie – sehr volatilen erneuerbaren Energien mündet in Konzepten wie Power-to-Gas (KIRCHMAYR, 2014) oder Power-to-Heat (ELLER, 2015), die Weiterentwicklung von Speichertechnologien (KURZWEIL und DIETLMEIER, 2015; DIOUF und PODE, 2015), Überlegungen zur Lastverlagerung im Haushaltsbereich (LIEBE und WISSNER, 2015) sowie Bemühungen um die bedarfs-

orientierte Flexibilisierung der Bioenergieproduktion (MAUKY et al., 2015). Die allmählich bessere Einpassung der erneuerbaren Energien in den Strommarkt wurde bereits mit dem EEG 2012 (Marktprämienmodell) begonnen und mit dem EEG 2014 (verpflichtende Direktvermarktung) fortgesetzt. Das EEG 2017 schreitet auf diesem Weg mit dem Ziel einer erhöhten Kosteneffizienz und einer Verbesserung der Mengensteuerung bei gleichzeitiger Wahrung der bisherigen Vielfalt der Akteure, die die Energiewende in Deutschland gestalten, weiter voran, indem es vorwiegend auf Ausschreibungen zur Ermittlung der Förderhöhe erneuerbarer Energien setzt (GAWEL und PURKUS, 2016; ELSPAS et al., 2016; LÜLSDORF, 2016). Für Biomasseneuanlagen besteht ab einer installierten Leistung von 150 kW eine Pflicht zur Teilnahme an den Ausschreibungen (§ 22 Abs. 4 Nr. 1 EEG 2017). In § 4 Nr. 4 EEG 2017 gibt der Gesetzgeber den jährlichen Bruttozubau von Biomasseanlagen für den Zeitraum 2017 bis 2019 mit 150 Megawatt (MW) und für die Jahre 2020 bis 2022 mit 200 MW an; dies stellt gegenüber dem EEG 2014 eine Erhöhung der Ausbauziele um 50 bzw. 100 MW dar (EA, 2016).

Die vom nationalen Gesetzgeber eingeschlagene Richtung der besseren Markt- und Systemintegration der erneuerbaren Energien wird auch durch den europäischen Gesetzgeber unterstützt. In ihrem jüngsten, vier Richtlinien und vier Verordnungen umfassenden sog. „Winterpaket“ hat die EU-Kommission auch Vorstellungen zum zukünftigen Strommarktdesign entwickelt (O.V., 2017a). Das Konzept umfasst neben einer umfassenderen Information der Konsumenten, der Erleichterung regionaler Kooperationen sowie besseren Vorkehrungen für Krisensituationen insbesondere auch ein „upgrading“ der Großhandelsmärkte, das u.a. auf der Verbesserung der Marktflexibilität und der Stärkung marktbasierter, tatsächliche Knappheiten widerspiegelnder Preissignale beruht (SCHMIDT, 2016).

Die Anstrengungen des Gesetzgebers zur Verbesserung der Markt- und Systemintegration erneuerbarer Energien sind im Detail durchaus umstritten und hinsichtlich ihrer konkreten Wirkungen mit Ungewissheit behaftet (GAWEL und PURKUS, 2016). Sie sind aber ohne Frage notwendig (LÖSCHEL et al., 2017), nicht zuletzt, um die Grundlagen für den Übergang in eine neue Wachstumsphase im Branchenlebenszyklus zu schaffen und damit die durch das „Winterpaket“ der EU-Kommission nochmals bekräftigten Ziele der europäischen Energie- und Klimapolitik erreichen zu können.

2 Erneuerbare Energien im Energiemix

Der deutsche Primärenergieverbrauch (PEV) erhöhte sich 2015 im Vergleich zum Vorjahr um 1,3 % auf 13 306 PJ. Der Anteil fossiler Energieträger betrug 79,5 %. Erneuerbare Energien gewannen aber weiter an Bedeutung; ihr Anteil am PEV lag 2015 bei 12,5 % (2014: 11,3 %; 2013: 10,8 %). Damit ist der Anteil der erneuerbaren Energien am PEV inzwischen größer als der der Braunkohle (11,8 %) und der der Kernenergie (7,5 %) (UMWELTBUNDESAMT, 2016).

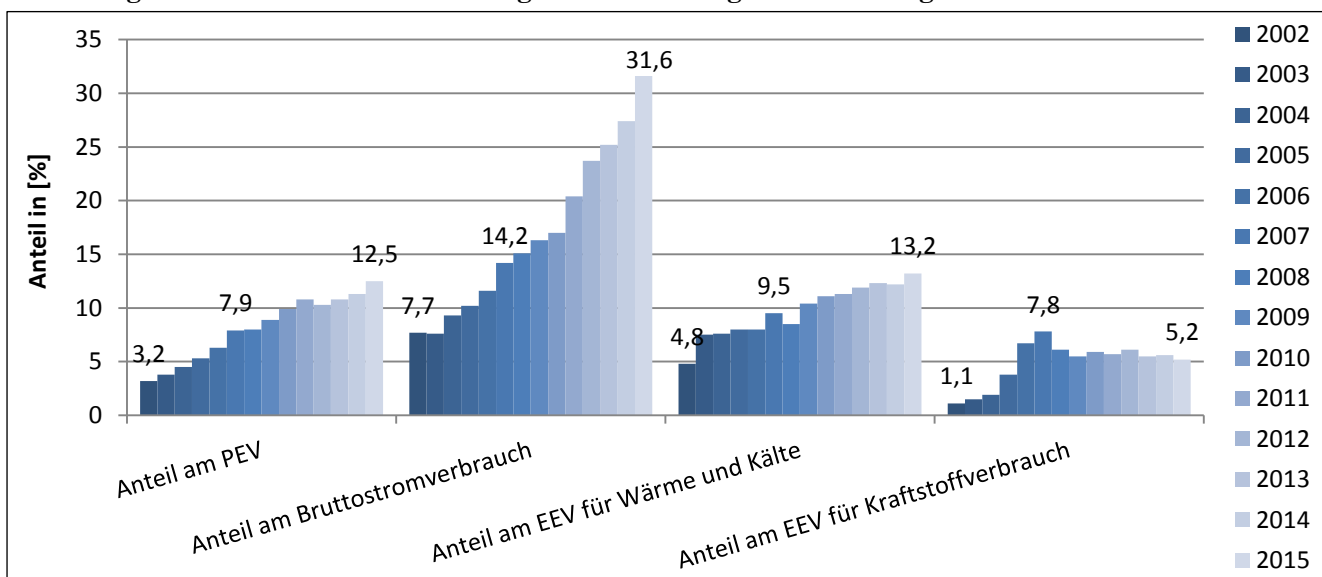
Der Endenergieverbrauch setzt sich zusammen aus Strom-, Wärme- und Kraftstoffverbrauch. Der Anteil der erneuerbaren Energien in den drei Bereichen ist sehr unterschiedlich (Abbildung 1). Am deutschen Strommix ist er 2015 erstmalig um mehr als vier Prozentpunkte auf 31,6 % angewachsen (2014: 27,4 %; 2013: 25,2 %). Im Strombereich liegen die erneuerbaren Energien somit mittlerweile deutlich auf dem ersten Rang vor der Braunkohle und der Kernenergie. Das von der Bundesregierung angestrebte Ziel, bis 2025 einen Anteil von 40 bis 45 % erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch zu erreichen, erscheint realistisch (BMWl, 2016a). Der Anteil erneuerbarer Energien an der Wärme- und Kältebereitstellung ist 2015 auf 13,2 % angestiegen (2014: 12,2 %; 2013: 12,3 %). Im Kraftstoffbereich ist der Anteil der erneuerbaren Energien 2015 im Vergleich zum Vorjahr von 5,6 auf 5,2 % gesunken (BMWl, 2016c). Durch die zunehmende Bedeutung der erneuerbaren Energien konnten 2015 in Deutschland rund 156,1 Mio. t CO₂, 3 % mehr als im Vorjahr, einge-

spart werden. 75,3 % der Ersparnisse entfielen auf die Stromerzeugung, 21,8 % auf die Wärmeproduktion und 2,8 % auf den Verkehrsbereich (BMWl, 2016a).

2015 wurden in den drei Energieversorgungsreichen Strom, Wärme und Transport insgesamt 378,9 TWh aus erneuerbaren Energien bereitgestellt; dies waren 42,4 TWh bzw. 12,6 % mehr als 2014. 59 % des Beitrags der erneuerbaren Energien zur Deckung des Endenergieverbrauchs stammten 2015 aus Biomasse (Abbildung 2). In der Stromerzeugung (187,3 TWh) rangieren die Windenergie (79,2 TWh), die Biomasse (50,3 TWh) und die Solarenergie (38,7 TWh) auf den vorderen Plätzen; dagegen dominiert die Biomassenutzung im Bereich der Wärmebereitstellung (157,9 TWh bzw. 87,8 %) (BMWl, 2016b, 2016c).

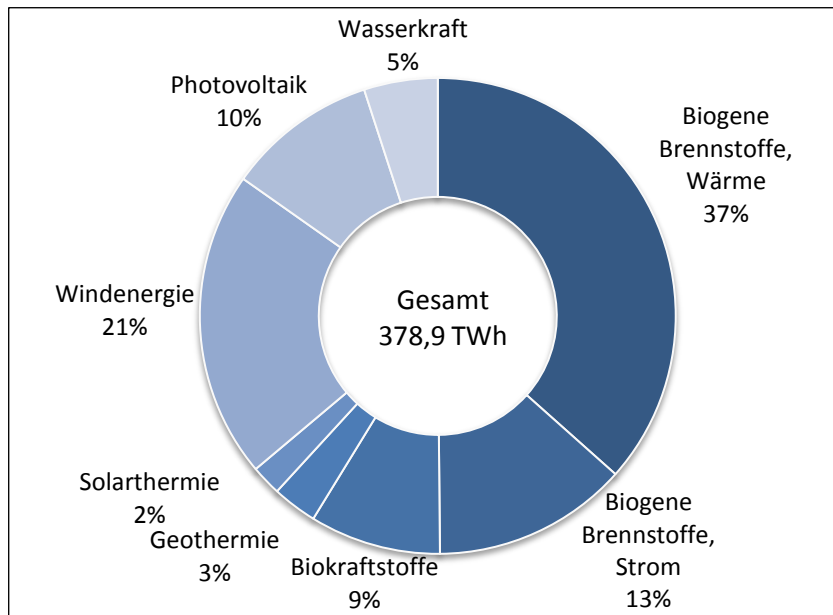
In die Errichtung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien wurden 2015 rund 14,5 Mrd. € investiert. Im Vergleich zum Vorjahr (2014: 18,8 Mrd. €) sind die Investitionen damit um 22,9 % gesunken, vor allem aufgrund von Unsicherheiten in Bezug auf die zukünftige Ausgestaltung der Erneuerbare-Energien-Politik. Ein Beispiel ist der Wechsel von Einspeisetarifen zu Ausschreibungsverfahren im Jahr 2017 (WINDMESSE, 2016). Die Investitionen in die Windenergieerzeugung waren 2015 rückläufig (AGEE, 2016), machten aber trotzdem noch den größten Anteil der Investitionen aus (64,6 %; 9,67 Mrd. €). Der stärkste prozentuale Rückgang war bei der Biomasse zu verzeichnen (-35,5 %) (BMWl, 2016c). Trotz sinkender Investitionen stieg die Zahl der in der Windenergiebranche Beschäftigten 2015 auf rund 149 000 an (2014: etwa 138 000), während die Photo-

Abbildung 1. Anteil erneuerbarer Energien an der Energiebereitstellung in Deutschland



Quelle: eigene Darstellung nach BMWl (2016c)

Abbildung 2. Zusammensetzung der erneuerbaren Energien in Deutschland 2015



Quelle: eigene Darstellung nach BMWi (2016c)

voltaikbranche nur 38 000 Arbeitsplätze zur Verfügung stellte (BMWi, 2016d).

Wind- und Solarenergie besitzen weltweit die größten Potenziale zur Deckung des Energiebedarfs (BMWi, 2016a); diese Potenziale werden zunehmend genutzt. So verzeichnete der Windenergiemarkt im Schnitt der letzten fünf Jahre einen jährlichen Zuwachs von 17 %, der Photovoltaikmarkt sogar von 42 % (REN 21, 2016). Weltweit sind erneuerbare Energien zudem ein Schlüsselfaktor für die Armutsbekämpfung, indem sie in Entwicklungsländern die Basisversorgung der Haushalte mit Energie, insbesondere Elektrizität, sichern, etwa durch Photovoltaikanlagen in netzfernen Regionen (BMWi, 2016a). Der Anteil erneuerbarer Energien am weltweiten Endenergieverbrauch ist 2015 auf 23,7 % angestiegen. Wasserkraft machte dabei mit 16,6 % den größten Teil aus, gefolgt von der Windenergie (3,7 %), der Biomassenutzung (2,0 %) und der Solarenergie (1,2 %). 2015 wurden weltweit 285,9 Mrd. USD in erneuerbare Energien investiert. Dank des 5%igen Anstiegs gegenüber dem Vorjahr wurde ein neues Allzeithoch erreicht und der zwischenzeitliche Rückgang in den Jahren 2012 und 2013 kompensiert. Erstmals wurden mit 54,5 % (155,9 Mrd. USD) mehr als die Hälfte der Investitionen in erneuerbare Energien in Entwicklungs- und Schwellenländern getätigt. Über ein Drittel der Investitionen entfallen auf China; auf den weiteren Plätzen rangieren die USA und Japan. Insgesamt ist 2015 die Zahl der Beschäftigten in der Erneuerbare-

Energien-Branche weltweit nochmals um 5 % von 7,7 auf 8,1 Mio. angestiegen; dabei sorgt die Solarenergie für die meisten Arbeitsplätze (2,8 Mio.) (BMWi, 2016a, 2016d).

3 Entwicklung der Biomasseerzeugung in Deutschland

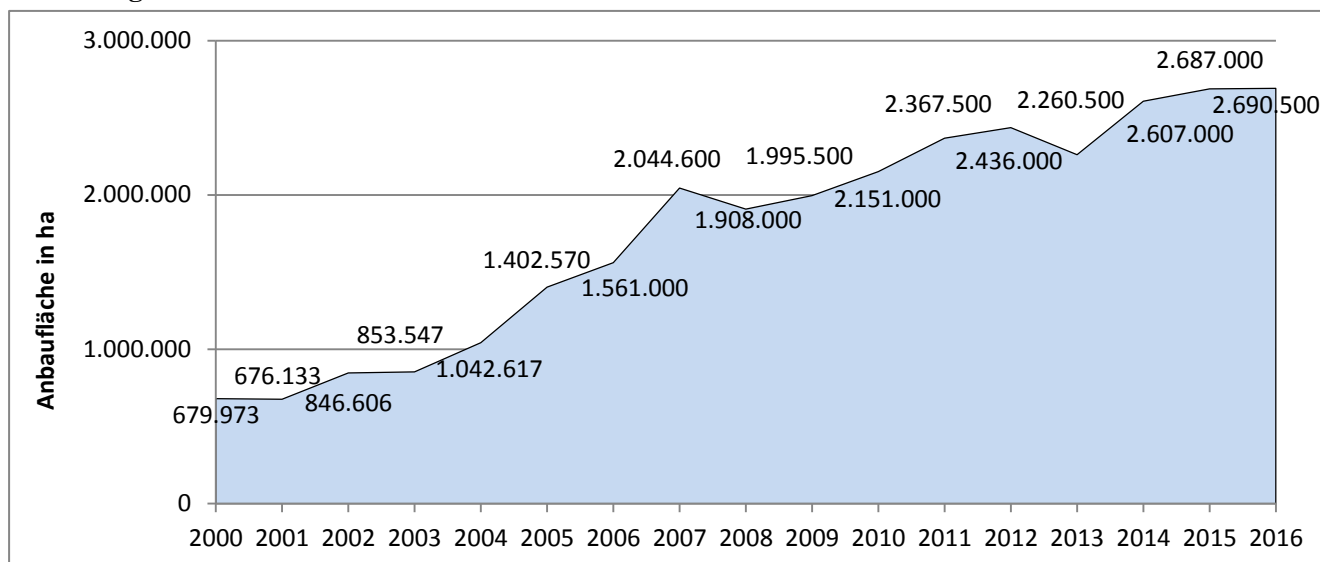
3.1 Biomasse aus landwirtschaftlicher Produktion

Die landwirtschaftlich genutzte Fläche in Deutschland umfasst 16,7 Mio. ha; sie nimmt damit fast die Hälfte des gesamten Staatsgebiets (35,7 Mio. ha) ein. Für den Anbau nachwachsender Rohstoffe (NawaRo) wurden im Jahr 2016 vorläufigen Schätzungen zufolge

2 690 500 ha eingesetzt, was einem Anteil von 16,1 % der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche entspricht (FNR, 2017). Die jährliche Anbaufläche hat sich seit der Jahrtausendwende nahezu vervierfacht und 2016 einen neuen Höchststand erreicht. Nach einem exponentiellen Wachstum unmittelbar nach der Jahrtausendwende verläuft die Entwicklung seit dem Jahr 2007 deutlich moderater (Abbildung 3).

Die Energiepflanzen haben 2016 mit etwa 90 % (2 421 000 ha) den größten Anteil der NawaRo-Anbaufläche für sich beansprucht (Tabelle 1). Fast 54 % der gesamten NawaRo-Fläche (1 450 000 ha) machten 2016 die Pflanzen für die Biogasproduktion aus, von denen der Biogasmais die wichtigste Kultur darstellt. Er wurde 2016 auf einer Anbaufläche von rund 900 000 ha kultiviert; dies entsprach 35 % der gesamten deutschen Maisanbaufläche (DMK, 2016). Raps für die Biodiesel und Pflanzenölherstellung wurde 2016 auf 760 000 ha angebaut; dies waren gut 28 % der gesamten NawaRo-Fläche. Die Anbaufläche lag damit knapp unter dem Vorjahreswert (800 000 ha) und war nach einer Ausweitung des Anbaus 2014 und 2015 erstmals wieder rückläufig. Das hohe Niveau der Jahre 2010 (940 000 ha) und 2011 (910 000 ha), als Raps noch die Energiepflanze mit dem größten Anbauumfang war, wird weiterhin deutlich verfehlt. Der Rückgang des Energierapsanbaus liegt im Wesentlichen darin begründet, dass die staatliche Förderung von Biodiesel und Pflanzenöl über das Jahr 2012 hinaus nicht verlängert wurde. Während

Abbildung 3. Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland



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

von 2009 bis 2012 auf Biodiesel und Pflanzenölkraftstoffe reduzierte Steuersätzen von 18,5 bzw. 18,6 Cent/Liter erhoben wurden, ist seit 2013 auf beide Reinkraftstoffe eine Energiesteuer von 45,03 Cent/Liter fällig. Neben dem Wegfall der Steuervorteile schwächt das seit längerem relativ niedrige Niveau der Erdölpreise die Nachfrage nach Biodiesel und Pflanzenöl (BMJV, 2016a, 2016d). Die Energiepflanzenproduktion zur Bioethanolherstellung nahm 2016 eine Anbaufläche von 200 000 ha ein; im Wesent-

lichen wird Bioethanol in Deutschland aus Zuckerrüben und Weizen gewonnen. Der Anbau von Miscanthus und Agrarholz beschränkt sich auf 11 000 ha und ist weiterhin unbedeutend. Industriepflanzen zur stofflichen Nutzung werden auf 269 500 ha angebaut; dies entspricht etwa 10 % der gesamten NawaRo-Fläche. Raps zur Herstellung von technischem Rapsöl (122 500 ha) und stärkehaltige Pflanzen für die Industriestärkeproduktion (108 000 ha) sind dabei die dominierenden Kulturen.

Tabelle 1. Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland (ha)

Rohstoff		2012	2013	2014	2015*	2016**	Anteil an NawaRo-Fläche 2016** (%)
Energiepflanzen	Raps für Biodiesel/Pflanzenöl	786 000	557 000	798 500	800 000	760 000	28,25
	Zucker/Stärke für Bioethanol	201 000	173 000	188 000	200 000	200 000	7,43
	Pflanzen für Biogas	1 158 000	1 250 000	1 353 500	1 400 000	1 450 000	53,89
	Sonstiges (u.a. Agrarholz, Miscanthus)	10 500	9 000	10 500	11 000	11 000	0,41
	Energiepflanzen insgesamt	2 155 500	1 989 000	2 350 500	2 411 000	2 421 000	89,98
Industriepflanzen	Industriestärke	121 500	101 500	106 000	108 500	108 000	4,01
	Industriezucker	10 000	10 500	12 500	15 000	16 000	0,59
	technisches Rapsöl	127 000	136 500	115 500	129 000	122 500	4,55
	technisches Sonnenblumenöl	7 500	7 000	6 000	6 500	6 000	0,22
	technisches Leinöl	4 000	3 500	3 500	3 500	3 500	0,13
	Pflanzenfaser	500	500	1 000	1 500	1 500	0,06
	Arznei- und Farbstoffe	10 000	12 000	12 000	12 000	12 000	0,45
	Industriepflanzen insgesamt	280 500	271 500	256 500	276 000	269 500	10,02
NawaRo insgesamt		2 436 000	2 260 500	2 607 000	2 687 000	2 690 500	100,00

Quelle: FNR (2017); *vorläufige Werte; **geschätzte Werte

3.2 Biomasse aus biogenen Reststoffen und Abfällen

Neben Energiepflanzen sind auch die Reststoffe einer zuvor nicht-energetischen Nutzung von Biomasse für die Bioenergieproduktion von großer Bedeutung. Zu den biogenen Reststoffen und Abfällen zählen alle Stoffe organischer Herkunft, die im Wege der Herstellung eines Hauptprodukts entstehen und zur Energiebereitstellung nutzbar sind (KALTSCHMITT et al., 2016). Sie fallen insbesondere in den Bereichen Abfallwirtschaft (z.B. Bio- und Grünabfälle), Lebensmittelindustrie (z.B. Schlacht-, Speise- und Molkereiabfälle), Landwirtschaft (z.B. Stroh und Exkrementen aus der Tierhaltung) und Holzwirtschaft (z.B. Industrie- und Bauholz) an. Die energetische Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe erfolgt zumeist auf der zweiten oder dritten Kaskadenstufe der Biomassenutzung, da eine stofflich-industrielle Nutzung in der Regel nur den Ausgangspunkt einer Mehrfachnutzung darstellt (GAIDA et al., 2013). Die Nutzung biogener Rohstoffe über mehrere Stufen fördert im Vergleich zur unmittelbaren Energieerzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen den effizienten Einsatz der verfügbaren Biomasse. Damit wirkt die Kaskadennutzung dem Konflikt zwischen der Energie- und der Nahrungsmittelproduktion entgegen und entschärft die „Tank oder Teller“-Debatte; sie vermeidet zudem eine steigende Flächenkonkurrenz und den zunehmenden Monokulturanbau von Energiemais (ZSCHACHE et al., 2010; KRÖGER et al., 2016b).

Für die Biogasproduktion sind Exkrementen aus der landwirtschaftlichen Tierhaltung der wesentliche biogene Reststoff zur Substitution von Energiepflanzen (GUENTHER-LÜBBERS et al., 2014). Die Verfügbarkeit von Wirtschaftsdüngern ist in Deutschland in Abhängigkeit von der regionalen Viehdichte sehr unterschiedlich. Besonders stark konzentriert ist die Tierhaltung im Nordwesten und im Südosten Deutschlands, sodass in diesen Regionen das Aufkommen an Wirtschaftsdüngern überdurchschnittlich hoch ist (MÜHLENHOFF, 2013). Die Verwertung von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen und die anschließende Verbringung des Gärsubstrats findet bevorzugt in der jeweiligen Entstehungsregion statt, da der Transport organischer Stoffe kostenintensiv ist. Die regional verfügbare Biogasanlagenkapazität und die vor Ort zur Verfügung stehenden Flächen reichen jedoch in den Intensivgebieten der Nutztierhaltung nicht aus, um den gesamten anfallenden Wirtschaftsdünger aufzunehmen. Daher werden mit dem Ziel des überregionalen Nährstoffausgleichs biogene Reststoffe aus der

Tierhaltung über zunehmend größere Entfernungen transportiert; zudem wird vermehrt Gülle separiert, um ihre Transportwürdigkeit zu steigern. Die Güllefeststoffe weisen eine höhere Energie- bzw. Nährstoffdichte auf und lassen sich daher wirtschaftlicher in Ackerbauregionen verbringen, wo sie zum Teil Mais in Biogasanlagen ersetzen oder direkt zur Düngung von Ackerflächen eingesetzt werden (KRÖGER et al., 2016a, 2016b). Analysen am Beispiel Niedersachsens haben gezeigt, dass der Einsatz von Wirtschaftsdüngern aus Intensivregionen der Nutztierhaltung in Biogasanlagen in Ackerbauregionen auch bei längeren Straßentransporten vor allem bei Einsatz sog. Duo- bzw. Kombiliner, die für den Rücktransport bspw. von (Futter-)Getreide geeignet sind, ökologisch sinnvoll ist und unter bestimmten Bedingungen für Biogasanlagenbetreiber ökonomisch attraktiv sein kann (GUENTHER-LÜBBERS et al., 2017). Die Gülleseparation trägt trotz anfallender Separationskosten (KRÖGER und THEUVSEN, 2013) zur Verbesserung der ökonomischen Vorteilhaftigkeit des Wirtschaftsdüngereinsatzes in Biogasanlagen in Ackerbauregionen bei (KRÖGER et al., 2016b).

In Deutschland werden gegenwärtig nur etwa 15 bis 20 % der tierischen Exkrementen zur Energieerzeugung genutzt, obwohl rund die Hälfte der Wirtschaftsdünger als wirtschaftlich erschließbar gilt. Dem aktuellen Einsatzumfang entsprechend, bestehen rund 44 % der Masse des Substrateinsatzes in Biogasanlagen aus tierischen Exkrementen; sie machen jedoch – bezogen auf die eingesetzte Energie – nur 14 % des gesamten Biomasseeintrags aus, da tierische Exkrementen im Vergleich zu Energiepflanzen über einen relativ niedrigen Energiegehalt verfügen (MÜHLENHOFF, 2013; KRÖGER et al., 2016b). Wie die biogenen Reststoffe aus landwirtschaftlicher Produktion, so fallen auch die Bio- und Grünabfälle regional in sehr unterschiedlichem Umfang an, Biomüll z.B. vor allem in dicht besiedelten Ballungsräumen. Insgesamt werden nach Erhebungen des Bundesverbands der Energie- und Wasserwirtschaft rund 60 % des nutzbaren Potentials an biogenen Reststoffen und Abfällen zur Energiegewinnung eingesetzt (BDEW, 2016).

3.3 Biomasse aus forstwirtschaftlicher Produktion

Deutschland ist mit einer Waldfläche von 11,4 Mio. ha zu 32 % bewaldet und zählt zu den walddichten Ländern innerhalb der Europäischen Union. Entgegen der globalen Entwicklung hat in Deutschland in den letzten zehn Jahren die Waldfläche jähr-

lich im Mittel um 5 000 ha zugenommen, sodass die Forstfläche in diesem Zeitraum insgesamt um 0,4 % angestiegen ist (BMEL, 2014; SDW, 2016). Diese Entwicklung ist maßgeblich auf das Bundeswaldgesetz, das eine Rodung von Waldflächen mit anschließender Umwandlung der Nutzungsart auf wenige Sonderfälle beschränkt, und das Bundesnaturschutzgesetz, das durch die Eingriffsregelung das Aufforsten landwirtschaftlicher Nutzflächen als ökologische Kompensation für Eingriffe in die Natur unterstützt, zurückzuführen. Zudem wird in Deutschland derzeit weniger Holz genutzt als zuwächst; dadurch hat der Holzvorrat mit über 90 Mrd. Bäumen und rund 3,7 Mrd. m³ den höchsten Stand der vergangenen 200 Jahre erreicht. Die Waldflächen sind regional sehr ungleich verteilt. Am höchsten ist der Bewaldungsgrad mit 64,5 % im Landkreis Siegen-Wittgenstein, gefolgt von anderen Mittelgebirgskreisen, wohingegen die Küstenregionen am wenigsten bewaldet sind. Der niedrigste Wert wird mit 1,5 % Waldfläche im Landkreis Wesermarsch erreicht (BMJV, 2016b; 2016c; SDW, 2016).

Der jährliche Holzverbrauch zur stofflichen und energetischen Nutzung liegt in Deutschland bei 135 Mio. m³. Das hochwertige Stammholz wird vorwiegend stofflich verwendet, wohingegen zur energetischen Nutzung vor allem Kronenholz und Holzreste eingesetzt werden. Im Rahmen der Energiegewinnung kommt Holz eine besonders hohe Bedeutung im Bereich der Wärmeerzeugung zu. Für über 70 % der Wärme, die aus erneuerbaren Energien gewonnen

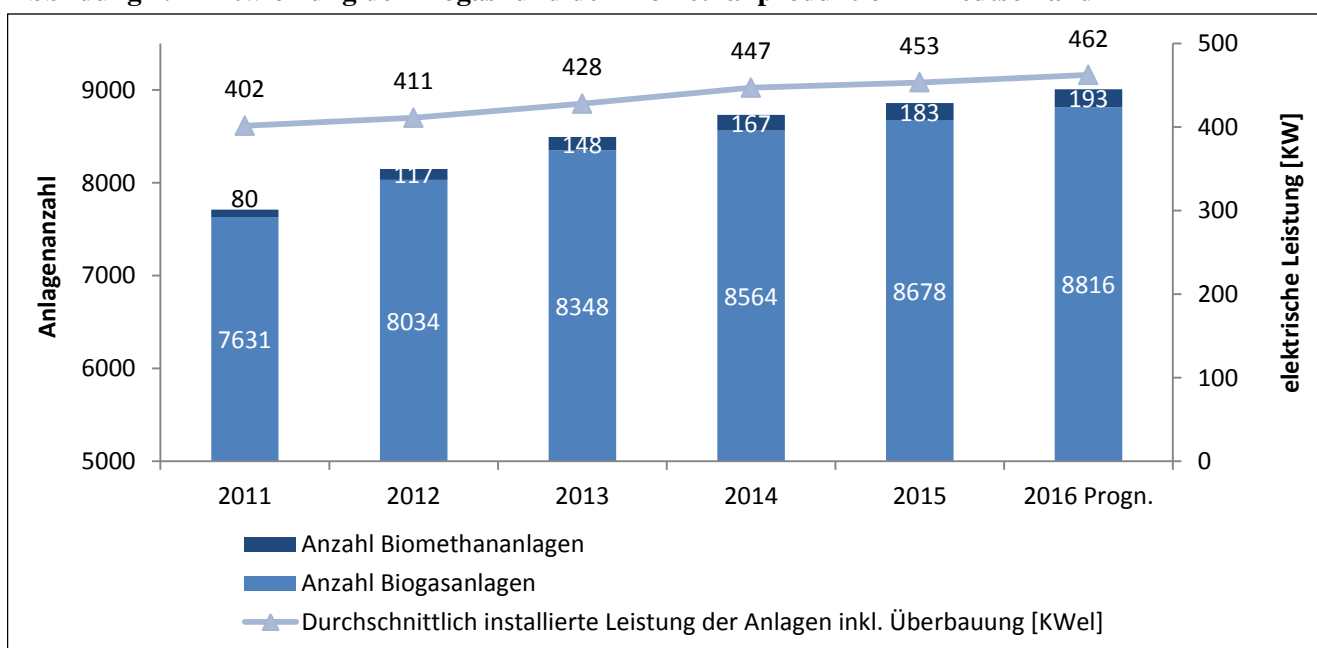
wird, bildet Holz die Rohstoffgrundlage. Ein Teil des Energieholzes wird zudem in Biomassekraftwerken eingesetzt, in denen dank Kraft-Wärme-Kopplung neben Wärme auch Strom erzeugt wird. Insgesamt erfolgen in Deutschland etwa 35 % der Erzeugung erneuerbarer Energien auf der Grundlage von Holz (BMEL, 2016).

4 Energetische Verwendung von Biomasse

4.1 Entwicklung der Biogasproduktion

Biogas und das Veredlungsprodukt Biomethan nehmen inzwischen einen wichtigen Platz innerhalb der Energieerzeugung ein. So lagen Biogas- und Biomethananlagen bei der Bruttostromerzeugung aus regenerativen Energien 2015 mit 16,8 % auf dem zweiten Platz hinter der Windenergie. Betrachtet man den gesamten Endenergieverbrauch Wärme, so rangieren Biogas und Biomethan mit 10,6 % hinter den biogenen Festbrennstoffen ebenfalls an zweiter Position (BMWl, 2016c). Ende 2015 waren in Deutschland 8.861 Biogasanlagen (einschließlich 183 Biomethananlagen) am Netz (Abbildung 4). Die gesamte installierte Leistung der Biogasanlagen lag bei 4 166 MW_{el} (FVB, 2016). Rund drei Viertel der deutschen Biogasanlagen befinden sich im Eigentum von Landwirten, denen durch das EEG neue Betriebszweige und Einkommensmöglichkeiten eröffnet wurden (Tietböhl, 2015; EMMANN und THEUVSEN, 2012).

Abbildung 4. Entwicklung der Biogas- und der Biomethanproduktion in Deutschland

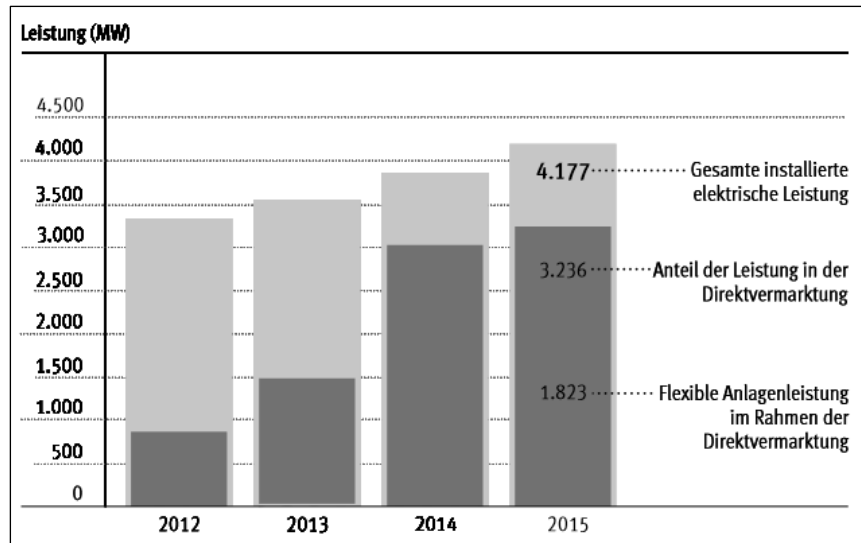


Quelle: eigene Darstellung nach FVB (2016)

Der weitere Zubau von Biogasanlagen hat sich seit der EEG-Novelle 2012 deutlich verlangsamt (FNR, 2016b; BMWi, 2014). Im Jahr 2015 wurden nur noch 130 Anlagen gebaut; für 2016 wurde ein Zubau von 138 Biogas- und 10 Biomethananlagen prognostiziert (FvB, 2016). Die durchschnittlich installierte elektrische Leistung der Anlagen ist über die Jahre angestiegen; Ende 2015 lag sie bei 453 KW_{el}. Rechnet man Überbauung und Stilllegung heraus, beträgt die arbeitsrelevante elektrische Leistung 414 KW_{el} pro Anlage (nach FvB, 2016). Der Grund für die Überbauung liegt darin, dass mit dem Inkrafttreten des EEG

2012 die Stromproduktion aus Biogas flexibilisiert wurde und konstant und bedarfsunabhängig produzierende Biogasanlagen durch steuerbare Anlagen abgelöst werden. Deren Blockheizkraftwerke (BHKWs) produzieren nur in Zeiten hohen Strombedarfs und bedienen somit die Residuallast, d.h. den durch Photovoltaik und Windenergie ungedeckten Strombedarf (HOLZHAMMER et al., 2015). Betreiber von Bestandsanlagen können im Rahmen der Flexibilisierung zwischen zwei Varianten wählen: Ein weiteres BHKW bauen oder das bestehende BHKW durch ein leistungsstärkeres ersetzen. Allerdings hängt die Entscheidung, ob und wie eine bestehende Anlage flexibilisiert wird, von deren individueller Eignung hierfür mit Blick auf den Einspeisepunkt, die bestehende Technik, den Gasspeicher und das BHKW ab (KEYMER, 2015). Flexibilisierungen und Anlagenerweiterungen sind vom sog. Zubaudeckel des EEG 2014 ausgenommen. Dieser sieht ein konkretes Zubauziel für die energetische Nutzung von Biomasse in Höhe von 100 MW installierter Bruttoleistung pro Jahr vor. Die möglichen Ausnahmen erklären, weshalb es 2015 möglich war, dass Biogasanlagenbetreiber 113 MW_{el} zusätzlich installiert haben. Zum 1. Januar 2017 ist eine weitere Novellierung des EEG in Kraft getreten. Am Ausbaukorridor, 55 bis 60 % des Bruttostromverbrauchs bis 2035 aus erneuerbaren Energien bereitzustellen, wird festgehalten. Für die Biomasse wurde das konkrete Ausbauziel bzw. der Zubaudeckel allerdings um 50 MW installierte Leistung auf jährlich 150 MW, ab 2020 dann auf 200 MW brutto erhöht (FNR, 2016c). Die flexible Stromerzeugung ist seit dem EEG

Abbildung 5. Flexible Stromerzeugung und Direktvermarktung durch Biogasanlagen in Deutschland



Quelle: FNR (2016a)

2014 ebenso wie die Direktvermarktung des Stroms für Neuanlagen verpflichtend. Doch bereits seit der Einführung der Direktvermarktung über die Marktprämie im Rahmen des EEG 2012 hat sich das energiewirtschaftliche Verhalten der Anlagenbetreiber verändert (HOLZHAMMER et al., 2015). Abbildung 5 zeigt die Entwicklung der Direktvermarktung und flexiblen Stromerzeugung seit 2012. 2015 lag der Umfang der installierten elektrischen Leistung in der Direktvermarktung bereits bei insgesamt 3 236 MW_{el}; rund 56 % der Anlagen wurden flexibel gesteuert (FNR, 2016a). Aufgrund ihrer Flexibilität und Verlässlichkeit leistet die Biogasproduktion im Zuge der Energiesystemtransformation einen wichtigen Beitrag zur Versorgungssicherheit (BAUR und HAUSER, 2015).

4.2 Entwicklung der Biokraftstoffproduktion

In den letzten Jahren wurden verschiedene politische Entscheidungen über die Zukunft von Biokraftstoffen getroffen, die einen spürbaren Einfluss auf die gesamte Wertschöpfungskette und den Beitrag von Biokraftstoffen zur Minderung von Treibhausgasemissionen hatten und auch weiterhin haben werden (ZEDDIES und SCHÖNLEBER, 2016b). Aufgrund der von wissenschaftlicher Seite zum Teil heftig kritisierten (PUTTKAMMER und GRETHE, 2015) und wiederholt geänderten rechtlichen Rahmenbedingungen ist die Biokraftstoffbranche in Deutschland zuletzt durch eine wenig dynamische, aber weitgehend stabile Entwicklung geprägt gewesen. In 2009 beschloss die Bundesregierung, die Förderung von Biokraftstoffen von einer

steuerlichen auf eine ordnungspolitische Förderung umzustellen und eine gesetzliche Biokraftstoffquote einzuführen. Gleichzeitig wurde die Mineralölwirtschaft verpflichtet, zu einem bestimmten Anteil Biokraftstoffe zu verwenden (KRÖGER et al., 2016c). Dieser Anteil lag bis einschließlich 2014 bei 6,25 %. 2015 wurde der gesetzliche Rahmen erneut geändert; die bis dato geltende Biokraftstoffquote wurde durch eine Treibhausgasquote (THG-Quote) (§§ 37a ff. BImSchG) ersetzt. Diese verpflichtet die Kraftstoffhersteller, jährlich 3,5 % CO₂ (ab 2017: 4 %, ab 2020: 6 %) einzusparen. Die Minderungsziele sollen in erster Linie durch den Einsatz von Biodiesel und Bioethanol erreicht werden. Deutschland hat damit als bisher einziges Mitgliedsland der EU die THG-Quote als Wettbewerbselement eingeführt. Sie schafft gegenüber der vormaligen Biokraftstoffquote einen Anreiz, Biokraftstoffe mit höherem CO₂-Reduktionspotenzial einzusetzen, sodass es zu einer Verdrängung weniger effizienter Produkte und Herstellungsverfahren kommt. Die für die Zeit bis 2020 vorgegebenen THG-Minderungspflichten sind als vorsichtiger Einstieg in die Emissionsminderung im Kraftfahrzeugsektor zu interpretieren, da die Minderungsziele bei entsprechendem Einsatz von Biokraftstoffen bereits 2015 hätten erreicht werden können (BBE, 2016; ZEDDIES und SCHÖNLEBER, 2016b; UFOP, 2017).

Der Kraftstoffverbrauch belief sich in Deutschland im Jahr 2015 auf insgesamt 56 Mio. t (2014: 55 Mio. t; 2013: 54 Mio. t). Dabei entfielen 62,6 % auf Dieselmotorkraftstoff, 31,4 % auf Ottomotorkraftstoff, 0,8 % auf Erdgas und 0,4 % auf Flüssiggas. Bei den verblei-

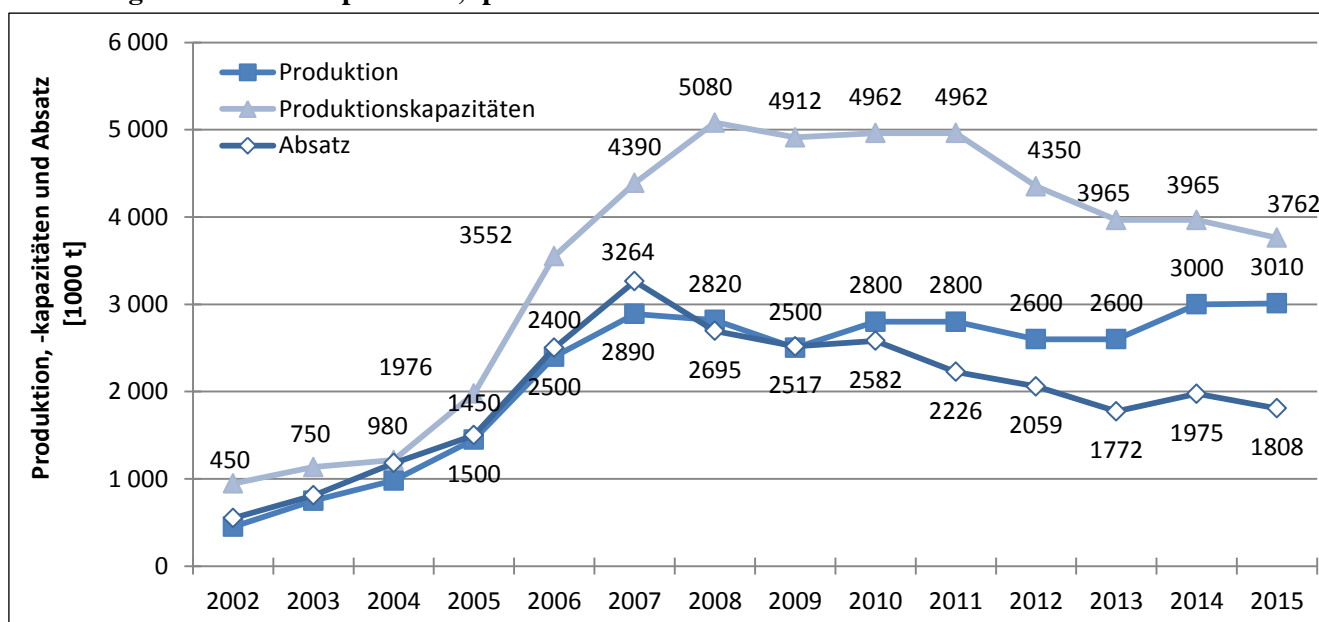
benden 4,8 % (3,4 Mio. t) handelt es sich um biogene Kraftstoffe (FNR, 2016a), deren Verbrauch gegenüber den Vorjahren leicht zurückgegangen ist (2014: 3,6 Mio. t; 2013: 3,45 Mio. t). 2015 war Biodiesel in Deutschland mit 1,81 Mio. t und einem Marktanteil von 53,2 % nach wie vor der wichtigste Biokraftstoff, gefolgt von Bioethanol mit 1,17 Mio. t (34,5 %), hydrierten Pflanzenölen mit 340 000 t (10,0 %), Biomethan mit 35 000 t (1,03 %) und Pflanzenölen mit 2 000 t (0,06 %) (FNR, 2016a).

4.2.1 Biodieselproduktion

In 2015 stieg die Biodieselproduktion in Deutschland gegenüber dem Vorjahr von 3,0 Mio. t auf rund 3,01 Mio. t minimal an (Abbildung 6) (FNR, 2016a; VDB, 2017). Die Produktionskapazitäten reduzierten sich von rund 3,9 Mio. t auf rund 3,76 Mio. t; die Kapazitätsauslastung der Biodieselanlagen erhöhte sich leicht auf 80 % (FNR, 2016a). Der Biodieselabsatz im Inland ging von rund 1,97 Mio. t im Jahr 2014 nicht zuletzt aufgrund der Einführung der THG-Quote zum 01.01.2015 weiter auf 1,81 Mio. t in 2015 zurück (FNR, 2016a; VDB, 2017).

Die EU-28 ist weltweit nach wie vor der größte Hersteller von Biodiesel. Die Erzeugung einschließlich der Produktion von hydrierten Pflanzenölen (HVO) belief sich in 2015 auf rund 13,5 Mrd. l; in 2016 waren es 13,7 Mrd. l und für 2017 wird ein Anstieg auf rund 14,2 Mrd. l prognostiziert. Schwerpunktländer der europäischen Biodieselproduktion waren 2016 nach wie vor Deutschland (3,4 Mrd. l), Frankreich (2,2 Mrd. l), die Niederlande (1,99 Mrd. l),

Abbildung 6. Biodieselpkapazitäten, -produktion und -absatz in Deutschland



Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an FNR (2016a)

Spanien (1,07 Mrd. l) und Polen (0,8 Mrd. l) (STATISTA, 2017; USDA, 2016). Verbraucht wurden 2016 in der EU rund 13,9 Mrd. l Biodiesel; der Import erreichte 0,53 Mrd. l, der Export 0,32 Mrd. l. Alle Werte bewegten sich damit 2016 in etwa auf dem Niveau des Vorjahres. Dies gilt auch für die Produktionskapazitäten, die 2016 bei 24,9 Mrd. l lagen. Für 2017 werden ein Anstieg der Kapazitäten auf 25,5 Mrd. l und ein Verbrauchszuwachs um 3 % prognostiziert, da neue Biodieselanlagen in Frankreich die Produktion aufnehmen werden (USDA, 2016). Die Produktion von hydriertem Pflanzenöl konzentriert sich innerhalb der EU auf die Niederlande, Finnland, Italien, Frankreich und Spanien. Die HVO-Produktionskapazität der EU-28 beträgt derzeit rund 3,0 Mio. l und wird sich in 2017 auf 4,2 Mio. l erhöhen.

Weltweit stieg die Biodiesel- einschließlich der HVO-Produktion 2014 von 23,53 Mio. t auf 26,56 Mio. t an. In 2015 wurden weltweit 24,48 Mio. t produziert; für 2016 werden 24,96 Mio. t. erwartet (UFOP, 2017). Neben der EU (13,5 Mrd. l) sind die USA (4,8 Mrd. l), Brasilien (4,1 Mrd. l), Argentinien (2,1 Mrd. l) und Indonesien (1,7 Mrd. l) die größten Biodieselproduzenten (STATISTA, 2017). Bis zum Jahr 2020 wird weltweit ein Anstieg der Biodieselproduktion um 21 % und bis 2025 sogar um 33 % gegenüber dem Wert des Jahres 2015 erwartet (o.V., 2017b).

4.2.2 Bioethanolproduktion

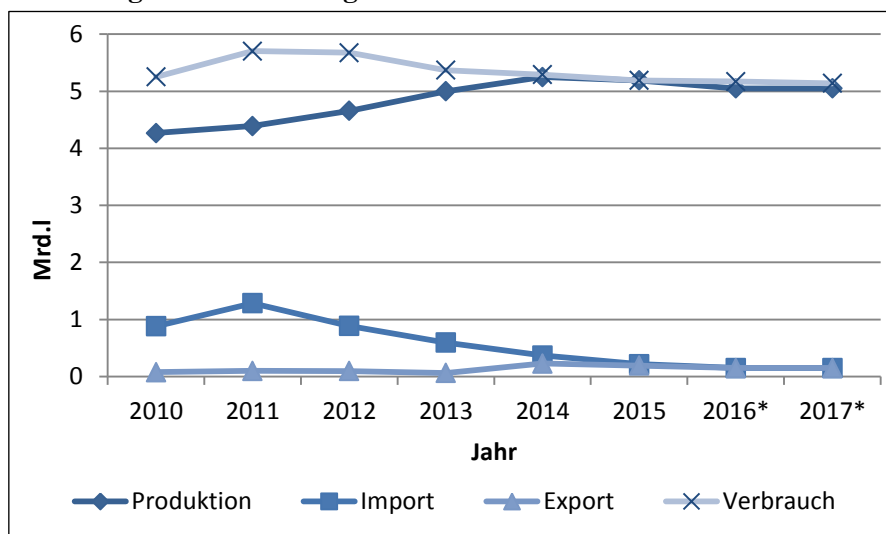
2015 produzierten die Bioethanolwerke in Deutschland insgesamt eine Rekordmenge von 739 821 t Bioethanol; die Produktion stieg somit gegenüber 2014 (727 000 t) um 1,8 %. Dabei wurden 2015 aus Industrierüben 265 665 t Bioethanol hergestellt, ein Plus von 21 951 t gegenüber dem Vorjahr. Dieser Wert entspricht einer Rohstoffmenge von 2,85 Mio. t Industrierüben. Die Erzeugung auf Basis von Futtergetreide sank im selben Zeitraum um 8 690 t auf 467 272 t Bioethanol (-1,8 %). Aus sonstigen Stoffen, z.B. Reststoffen und Abfällen aus der Lebensmittelindustrie, wurden 7 884 t Bioethanol produziert (2014: 8 205 t) (BDBE, 2017).

Der Verbrauch von Bioethanol in Deutschland belief sich im Jahr 2015 auf 1,17 Mio. t

(2014: 1,23 Mio. t.) Dies entsprach einem Rückgang um 4,5 %. Die wichtigste Verwendungsrichtung stellt die Beimischung zu Benzin für die Sorten E5 und E10 dar, gefolgt von der Verwendung als Benzinadditiv ETBE (Ethyl-Tertiär-Butylether) und E85. 2015 stieg die Menge des zur Beimischung in E5 verwendeten Bioethanols um 2,1 % auf knapp 15 Mio. t an (2014: 14,65 Mio. t); für E10 wurden dagegen nur knapp 2,5 Mio. t Bioethanol abgesetzt und damit 12,2 % weniger als 2014 (FNR, 2016a). Der ETBE-Verbrauch verminderte sich 2015 weiter auf 119 225 t nach 138 775 t im Vorjahr (-14,1 %). Der Absatz der Kraftstoffsorte E85 sank 2015 ebenfalls deutlich von 13 588 t auf 10 243 t (-24,6 %) (BDBE, 2017). 2016 wurde in Deutschland eine leicht positive Entwicklung von Produktion und Verbrauch erwartet (USDA, 2016). Dafür spricht die steigende Wettbewerbsfähigkeit von Bioethanol gegenüber fossilem Benzin aufgrund anziehender Erdölpreise. Die Minderung des CO₂-Ausstoßes um 60 bis 70 % durch den Einsatz von Bioethanol wird sich ebenfalls positiv auf den Einsatz als Beimischung auswirken, weil die Mineralölwirtschaft gesetzlich zur Senkung des CO₂-Ausstoßes von Kraftstoffen verpflichtet ist (BDBE, 2017).

Die Bioethanolproduktion in der EU erreichte im Jahr 2014 mit rund 5,3 Mrd. l und einem Selbstversorgungsgrad von 100 % ihren bisherigen Höhepunkt (Abbildung 7). Bis zu diesem Zeitpunkt profitierte der Sektor von niedrigen Rohstoffpreisen und Maßnahmen zur Begrenzung von Bioethanolimporten. Aufgrund des sinkenden Verbrauchs von Ottokraftstoffen in der EU (ANSCHÜTZ, 2014) und fehlender Impulse durch höhere Beimischungsvorgaben gingen der Ver-

Abbildung 7. Entwicklung des Ethanolmarktes in der EU



*vorläufige Schätzung

Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an USDA (2016);

brauch und die Produktion von Kraftstoffethanol im Jahr 2015 auf 5,1 Mrd. l zurück (USDA, 2016). Dieser Trend setzte sich 2016 fort, als die Bioethanolproduktion rund 5,05 Mrd. l erreichte. Im Zuge der weiteren Umsetzung der „Erneuerbare-Energien-Richtlinie“ 2009/28/EG, die für das Jahr 2020 im Verkehrssektor 10 % erneuerbare Energien verbindlich vorschreibt, wird mittelfristig in der EU mit einer zunehmenden Nachfrage nach Bioethanol gerechnet (USDA, 2016).

Frankreich war 2015 mit 970 Mio. l weiterhin größter Produzent vor Deutschland mit 950 Mio. l; auf den weiteren Plätzen folgten Ungarn mit 640 Mio. l, Belgien mit 560 Mio. l, die Niederlande mit 450 Mio. l und Spanien mit 400 Mio. l. Für 2017 wird allenfalls mit einer leichten Ausweitung der Produktion gerechnet. Deutschen Bioethanol-Produzenten wird zuge-
traut, die Produktion und den Marktanteil zu steigern, da die hohe Energieeffizienz ihrer Anlagen zu höheren Treibhausgas-Reduktionswerten führt, die das deutsche Bioethanol wettbewerbsfähiger machen (USDA, 2016). Die Kapazitäten zur Produktion von Bioethanol belaufen sich in der EU zurzeit auf 8,5 Mrd. l; sie sind zu ca. 70 % ausgelastet. Die Produktionskapazitäten wurden seit 2012 nicht nennenswert erhöht; auch 2017 wird nicht mit Anlagenerweiterungen gerechnet (EUROSERVER, 2016; USDA, 2016).

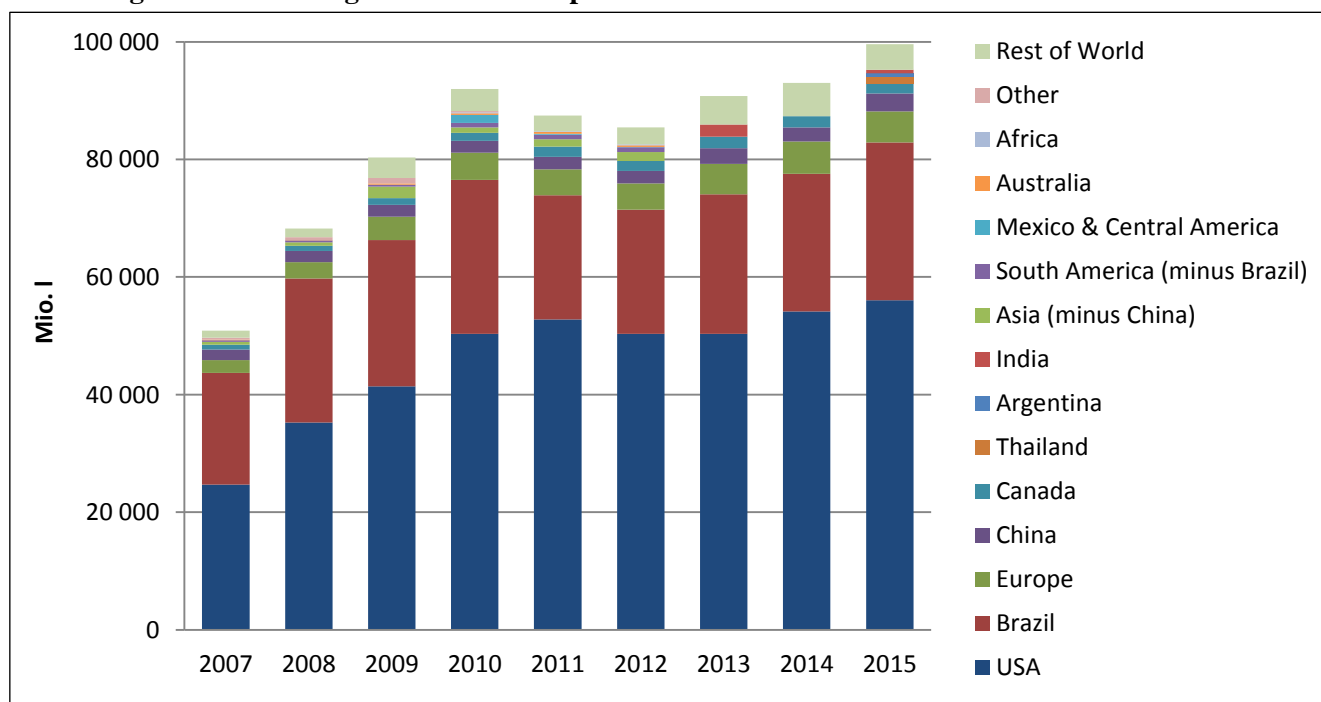
Die Weltethanolproduktion lag 2014 bei rund 93,0 Mrd. l. Davon entfielen auf die USA 54,1 Mrd. l, auf Brasilien 23,4 Mrd. l, auf Europa 5,5 Mrd. l, auf

China 2,4 Mrd. l und auf Kanada 1,2 Mrd. l (Abbildung 8). Ferner sind im asiatischen Raum noch Thailand mit 1,17 Mrd. l und Indien mit 0,58 Mrd. l bedeutende Erzeugerländer (RFA, 2017). 2015 stieg die Weltethanolproduktion leicht auf 97,3 Mrd. l an, da vor allem die USA (56,0 Mrd. l) und Brasilien (26,9 Mrd. l) ihre Produktion weiter ausdehnten. In China war eine Ausweitung der Produktion von 2,4 Mrd. l auf 3,0 Mrd. l zu beobachten; das Land hat sich damit als viertgrößter Ethanolproduzent der Welt etabliert. Experten attestieren dem asiatischen Markt nach wie vor gute Wachstumschancen (OECD-FAO, 2014, 2015; F.O. LICHT, 2013). Aber auch für die Bioethanolproduktion in Südafrika und den südamerikanischen Ländern, neben Brasilien vor allem Mexiko, Argentinien und Kolumbien, wird für die nächsten Jahre ein deutliches Wachstum vorausgesagt (OECD-FAO, 2015). Trotzdem werden laut Prognosen bis 2020 die USA vor Brasilien größter Produzent und Nachfrager von Bioethanol bleiben (OECD-FAO, 2014).

4.3 Strom- und Wärmeerzeugung aus biogenen Festbrennstoffen

Chemische Stoffe biologisch-organischer Herkunft, die während der Neuzeit oberirdisch gewachsen sind, in fester Form vorliegen und deren gespeicherte Energie durch Verbrennung zur Strom- bzw. Wärmeproduktion genutzt werden kann, sind den biogenen Festbrennstoffen zuzuordnen. Sie zählen zu den erneuer-

Abbildung 8. Entwicklung der Weltethanolproduktion



Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an RFA (2017)

baren Energien und sind von den fossilen Festbrennstoffen wie Torf, Braun- und Steinkohle, die in geologischer Vorzeit aus abgestorbener Biomasse entstanden sind, abzugrenzen. Der bedeutendste biogene Festbrennstoff ist Holz, das vorwiegend direkt aus forst- und z.T. auch aus landwirtschaftlicher Produktion gewonnen wird. Daneben werden auch Industrie-, Verpackungs- und Bauholz in Kaskadennutzung zur Energiegewinnung genutzt. Holz wird ohne vorherige, z.B. chemische Umwandlung in Form von Scheitholz, gesägten Brettern, Hackschnitzeln, Holzpellets, Hobelspänen oder Schleif- bzw. Sägemehl zur Energiegewinnung eingesetzt. Auch Stroh, Strohpellets und andere Halmgüter wie Miscanthus, Olivenpellets aus Olivenkernen und Bagasse als Nebenprodukt der Zuckererzeugung aus Zuckerrohr werden den biogenen Festbrennstoffen zugerechnet, sofern sie zur Strom- und Wärmeabgewinnung eingesetzt werden (HARTMANN, 2005; KALTSCHMITT et al., 2016).

Zur Stromerzeugung werden die biogenen Festbrennstoffe in Biomassekraftwerken verfeuert, in denen die thermische Energie genutzt wird, um Wasserdampf zu erzeugen, der wiederum eine Turbine zur Gewinnung elektrischer Energie antreibt. Das gleiche Verfahren läuft in Biomasseheizkraftwerken ab, in denen dank Kraft-Wärme-Kopplung neben elektrischer Energie auch Wärme bereitgestellt wird, die als Nah-, Fern- oder Prozesswärme genutzt werden kann. Bei Kraft-Wärme-Kopplung wird nur wenig ungenutzte Abwärme an die Umgebung abgegeben, sodass Wirkungsgrade von bis zu 90 % erreicht werden können. Im Jahr 2016 wurden 7 % der Bruttostromerzeugung in Deutschland aus Biomasse bereitgestellt; daran hatten die biogenen Festbrennstoffe wie in den Vorjahren einen Anteil von rund 25 % (SCHAUMANN und SCHMITZ, 2010; BMWi, 2014; BMWi, 2016e).

Weitaus höher ist die Bedeutung der biogenen Festbrennstoffe für die reine Wärmebereitstellung. Der Anteil biogener Festbrennstoffe an der Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien beträgt 79 %, der Anteil der Biomasse insgesamt 88 % (FNR, 2016e). Etwa in jedem vierten deutschen Haushalt wird mit Holz in Form von Briketts, Pellets, Hackschnitzeln oder Scheitholz geheizt. Insgesamt sind in deutschen Privathaushalten derzeit rund 14 Mio. Einzelraumfeuerstätten und Holzzentralheizungen installiert. Zu den beliebtesten Einzelraumfeuerstätten zählen Kaminöfen, Speicheröfen, Kachelöfen, Heizkamine, Pelletöfen und Heizherde, wohingegen Hackschnitzel-, Pellet- und Scheitholzheizungen die zentrale Wärmeversorgung eines Hauses gewährleisten (FNR, 2016f).

Auch in Gewerbe- und Industrieanlagen werden biogene Festbrennstoffe verheizt, sodass insgesamt in Deutschland etwa 16 Mio. Feuerstätten existieren, in denen zur Wärmeerzeugung jährlich schätzungsweise 38 Mio. Festmeter Holz verfeuert werden (FNR, 2016g). Die exakte Holzmenge, die zur Wärmeerzeugung eingesetzt wird, ist nur schwer zu beziffern, da der private Holzeinschlag und private Lagermengen nicht genau erfasst werden können (BUNZEL et al., 2011).

5 Energiebereitstellung aus Agroforstsystemen

Die simultane Produktion von Gehölzen und annualen landwirtschaftlichen Feldfrüchten bzw. Dauerkulturen auf derselben Fläche wird als Agroforstwirtschaft bezeichnet. Der Anbau von einjährigen Kulturpflanzen in Kombination mit der Holzproduktion in silvoarablen Agroforstsystemen ist dabei zu unterscheiden von silvopastoralen Agroforstsystemen, in denen die Gehölze in Verbindung mit Grünland angebaut werden. Beide Systeme sind von Kurzumtriebsplantagen (KUP) abzugrenzen, die „den Anbau von schnellwachsenden Bäumen auf landwirtschaftlicher Nutzfläche mit dem Ziel der energetischen Verwertung des Holzes“ (BÄRWOLFF et al., 2013: 13) beschreiben, jedoch keine gemischte Nutzung der Fläche vorsehen. Das Grünland kann in silvopastoralen Systemen sowohl der Beweidung mit Nutztieren dienen als auch ausschließlich einer Nutzung durch Mahd unterliegen. Die silvopastoralen Systeme zählen in Gestalt von Wald- und Streuobstwiesen zu den ältesten Anlageformen der Agroforstwirtschaft und liefern neben der Grünland- sowie der Holznutzung auch Eicheln, Bucheckern und weitere Waldfrüchte zur Schweinemast bzw. Obst als Nahrungsmittel für Menschen und Tiere (NAIR, 1993; REEG et al., 2009). Die Einführung des intensiven Plantagenobstbaus sowie eine starke Bautätigkeit in Ortsnähe bzw. in Ortsrandlagen haben seit den 1950er Jahren zu einem erheblichen Rückgang der Zahl der Streuobstwiesen in Deutschland geführt (SCHUBOTH, 1996).

In silvoarablen wie silvopastoralen Agroforstsystemen können die Bäume hinsichtlich ihrer Formation sowohl systematisch als auch unsystematisch angeordnet sein. Die zumeist maschinelle Bearbeitung des Grünlandes sowie der Ackerflächen neben und zwischen den Gehölzen führt jedoch in heutigen Agroforstsystemen in aller Regel zu einer systematischen

Baumanordnung. Die Bäume können als Gewässer-
randstreifen entlang von Flussläufen oder zur Begra-
digung von verwinkelten Flächen angepflanzt werden.
Eine weitere Möglichkeit ist die Anpflanzung im
Alley-Cropping-Anbauverfahren, in dem die Bäume
streifenförmig in die landwirtschaftliche Nutzfläche
integriert werden (MOSQUERA-LOSADA et al., 2009;
EMMANN et al., 2013). Beim streifenförmigen Anbau
werden die ca. 10 bis 15 Meter breiten Gehölzstreifen
parallel und in einem definierten Abstand zueinander,
der im Idealfall einem gemeinsamen ganzzahligen
Vielfachen der Arbeitsbreiten der landwirtschaftlichen
Bearbeitungsmaschinen entspricht, angelegt. So lassen
sich die Arbeitserledigungskosten minimieren und die
Agrarholzproduktion wird effizient mit dem Anbau
von Feldfrüchten bzw. Grünland kombiniert (EICH-
HORN et al., 2006).

Das Holz aus Agroforstsystemen wird je nach
Baumart und Umtriebszeit stofflich oder energetisch
genutzt. Die stoffliche Nutzung, z.B. zur Herstellung
von Möbeln und Furnieren, setzt mit 40 bis 70 Jahren
verhältnismäßig lange Umtriebszeiten voraus. Dage-
gen sind die Umtriebszeiten im Fall der energetischen
Nutzung mit drei bis vier Jahren deutlich kürzer. Die
energetische Nutzung der Gehölze eignet sich besser
als die stoffliche Nutzung für silvoarable Agroforst-
systeme, da zum einen die Baumkronen aufgrund der
kurzen Umtriebsintervalle nicht weit in die Fläche
hineinwachsen und somit die Feldbestellung nicht
wesentlich beeinträchtigen und der Schattenwurf als
weitere Opportunitätskosten verursachende Wirkung
von Landschaftselementen (SCHMIDT, 2011) vermin-
dert wird. Zum anderen lassen sich die Gehölze im
Kurzumtrieb mit landwirtschaftlicher Erntetechnik,
wie einem Feldhäcksler oder Anbauhacker, in Form
von Hackschnitzeln einholen, sodass es keiner auf-
wändigen Forsterntetechnik bedarf. Für den Kurzum-
trieb eignen sich besonders Gehölze mit einem hohen
jährlichen Biomassezuwachs, wie Pappeln, aber auch
Weiden, Robinien, Erlen und Birken sind je nach
Standortbedingungen einsetzbar. Das erzeugte Hack-
gut kann zur Stromproduktion und Wärmeerzeugung
verfeuert werden oder der Biomasseverflüssigung
dienen (FNR, 2016d).

In der modernen Landwirtschaft haben silvoarable
Agroforstsysteme in Mitteleuropa keine signifikante
ökonomische Bedeutung (LUICK und VANHOFF,
2008). Auch in Deutschland sind sie bislang fast aus-
schließlich auf Versuchsflächen zu finden (RÖHRICH
et al., 2007; SPIECKER et al., 2009; BÄRWOLFF und
VETTER, 2011; WIESINGER, 2013). In 2015 betrug die

Anbaufläche von Agrarholz (einschließlich KUP) in
Deutschland 11 000 ha (FNR, 2017). Ein weiterer
Ausbau der Energiepflanzenproduktion ist in den
nächsten Jahren aufgrund der Energiewende wahr-
scheinlich, da schnell wachsende Baumarten als Ener-
giepflanzen deutlich ressourcen- und energieeffizien-
ter sind als besonders intensiv angebaute Energie-
pflanzen, wie etwa Mais. Hinzu kommt, dass insbe-
sondere Alley-Cropping-Systeme zum Boden- und
Gewässerschutz beitragen und einen positiven Ein-
fluss auf das Mikroklima haben. Diese Systeme kön-
nen daher zu einer deutlichen ökologischen Aufwer-
tung des gesamten Ackers beitragen (BÖHM, 2013).
Darüber hinaus können Agroforstsysteme insbesonde-
re in ausgeräumten Agrarlandschaften das Land-
schaftsbild aufwerten (REEG, 2010). Gemäß § 2 Abs.
2 Nr. 1 Bundeswaldgesetz ist Agrarholz in Deutsch-
land vom Waldbegriff ausgenommen. Voraussetzun-
gen dafür sind die baldige Holzentnahme und Um-
triebszeiten von nicht mehr als 20 Jahren. Somit bleibt
auch bei der Anlage von Agroforstsystemen zur ener-
getischen Nutzung der Status des Ackerschlags als
landwirtschaftliche Nutzfläche erhalten und die mit
Agrarholz bestellten Flächen bleiben im Rahmen der
Basisprämienregelung beihilfefähig (BÄRWOLFF et al.,
2013).

Einen anderen Stellenwert haben Agroforstsys-
teme in Entwicklungsländern. Dort können sie zur
Steigerung der Flächenproduktivität sowie zur De-
ckung des Nahrungs- und Holzbedarfs beitragen. Be-
sonders in den Tropen können sie ferner die Bodende-
gradation verhindern und ein günstiges Mikroklima
für die landwirtschaftliche Produktion z.B. von Kaffee
oder Kakao schaffen (REEG, 2010). Auch können
Agroforstsysteme in den Tropen dabei helfen, grund-
legende Hindernisse bei der Aufforstung zu überwin-
den, indem sie der weiteren Entwaldung vorbeugen
und die Attraktivität der Wiederaufforstung durch den
vorübergehenden Anbau landwirtschaftlicher Kultu-
ren zwischen den jungen Bäumen steigern (PAUL et
al., 2014).

Seit der Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik
(GAP) 2013 ist der Erhalt der Direktzahlungen in
Deutschland an bestimmte Greening-Anforderungen
(Anbaudiversifizierung, Erhalt von Dauergrünland,
Flächennutzung im Umweltinteresse, sog. ökologische
Vorrangflächen (ÖVF)) gebunden (EUROPÄISCHE
KOMMISSION, 2013; BMEL, 2015c). Um die Greening-
Prämie zu erhalten, müssen Landwirte mit mehr als
15 ha Ackerfläche mindestens 5 % davon als ÖVF
bereitstellen (BMEL, 2015b). Der Anbau von Agrar-

holz als ÖVF stellt grundsätzlich eine Möglichkeit zur Erfüllung der Greening-Anforderungen dar, die jedoch zurzeit in Deutschland nur eingeschränkt genutzt werden kann. Zwar sind Agroforstflächen im Rahmen der Basisprämienregelung beihilfefähige Ackerflächen, doch wird in Deutschland derzeit in keinem Bundesland eine Förderung von Agroforstflächen in der 2. Säule der GAP angeboten. Deshalb können Agroforstflächen in Deutschland nicht als Ganzes als ÖVF ausgewiesen werden (BMEL, 2015c), sondern jeder Gehölzstreifen des Agroforstsystems muss einzeln als ÖVF registriert werden. Dann handelt es sich um Flächen mit Niederwald im Kurzumtrieb, die im Rahmen der Basisprämienregelung beihilfefähig sind und als ÖVF ausgewiesen werden können. Bedingungen für die Anerkennung dieser Gehölzstreifen als ÖVF sind eine Mindestgröße von 0,3 ha und der Anbau bestimmter Gehölzarten (Tabelle 2) (BMEL, 2015c; LELF, 2016).

Sollen die Agrarholzstreifen im Agroforstsystem als ÖVF ausgewiesen werden, sind im Antragsjahr weder mineralische Düngemittel noch Pflanzenschutzmittel zulässig (BMEL, 2015c). Die ökologische Wertigkeit von Flächen mit Niederwald im Kurzumtrieb wurde von der EU-Kommission mit 0,3 festgelegt, sodass 1 ha Agrarholz 0,3 ha ÖVF entspricht (BMEL, 2015a). Die Akzeptanz von Agrarholz als ÖVF ist in Deutschland bisher außerordentlich gering. Im ersten Antragsjahr 2015 lag der Anteil von Niederwald im Kurzumtrieb an der gesamten registrierten ÖVF bei nur 0,16 %. Die meisten Flächen mit Agrarholz als ÖVF wurden in Brandenburg ausgewiesen (1 106 ha) (BMEL, 2015d).

Tabelle 2. Zulässige Gehölzarten für als ÖVF ausgewiesene Agrarholzstreifen in Agroforstsystemen

Gattung	Art	
	Deutsche Bezeichnung	Botanische Bezeichnung
Weiden	Mandelweide	Salix triandra
	Korbweide	Salix viminalis
Pappeln	Silberpappel	Populus alba
	Graupappel	Populus canescens
	Schwarzpappel	Populus nigra
	Zitterpappel	Populus tremula
Birken	Gemeine Birke	Betula pendula
Erlen	Schwarzerle	Alnus glutinosa
	Grauerle	Alnus incana
Eschen	Gemeine Esche	Fraxinus excelsior
Eichen	Stieleiche	Quercus robur
	Traubeneiche	Quercus petraea

Quelle: eigene Darstellung nach BMEL (2015c)

Literatur

- AGEE (Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien) (2016): Mehr als 30 Prozent erneuerbare Energien im deutschen Strommix. In: <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiedaten-und-analysen/arbeitsgruppe-erneuerbare-energien-statistik,did=629806.html>, Abrufdatum: 09.11.2016.
- ANSCHÜTZ, T. (2014): Der Ethanolmarkt der EU27 und der USA im Jahr 2023 – Erstellung von Szenarien durch Anwendung der optimierten Szenario-Technik. Dissertation. Georg-August-Universität Göttingen.
- ARETZ, A. und B. HIRSCHL (2007): Biomassepotenziale in Deutschland – Übersicht maßgeblicher Studienergebnisse und Gegenüberstellung der Methoden. Dendrom-Diskussionspapier Nr. 1. FH Eberswalde.
- BÄRWOLFF, M., G. REINHOLD, C. FÜRSTENAU, T. GRAF, L. JUNG und A. VETTER (2013): Gewässerrandstreifen als Kurzumtriebsplantagen oder Agroforstsysteme. Gutachten für das Umweltbundesamt. In: <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/gewaesserrandstreifen-als-kurzumtriebsplantagen>, Abrufdatum: 21.07.2016.
- BÄRWOLFF, M. und A. VETTER (2011): Mehr Struktur auf großen Schlägen – Agroforstwirtschaft auf ausgeräumter Agrarfläche Thüringens. In: http://www.agroforstenergie.de/_publikationen/vortraege/V_25_Baerwolff_2011_2.Forum_AFE_TP1.pdf, Abrufdatum: 22.07.2016.
- BAUR, F. und E. HAUSER (2015): Rolle des Biogases im zukünftigen Energieversorgungssystem. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (Hrsg.): Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven. FNR/KTBL-Kongress, 22.-23.09.2015, Potsdam: 15-24.
- BBE (Bundesverband Bioenergie) 2016: Die Bedeutung der Bioenergie im Aktionsbündnis Klimaschutz 2020/2050. In: https://www.bioenergie.de/download_file/force/407/606, Abrufdatum: 24.01.2017.
- BDBE (Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft) (2017): Die deutsche Bioethanolwirtschaft in Zahlen. In: <https://www.bdbe.de/daten/marktdaten-deutschland>, Abrufdatum: 09.01.2017.
- BDEW (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft) (2016): Erneuerbare Energien und das EEG: Zahlen, Fakten, Grafiken (2016) – Anlagen, installierte Leistung, Stromerzeugung, EEG-Auszahlungen, Marktintegration der Erneuerbaren Energien und regionale Verteilung der EEG-Anlagen. Berlin.
- BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft) (2014): Der Wald in Deutschland. Ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur. Bonn.
- (2015a): FAQ zur Agrarreform und der nationalen Umsetzung. In: http://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Agrarpolitik/_Texte/GAP-FAQs.html#doc4121226bodyText6, Abrufdatum: 31.07.2016.
- (2015b): Grundzüge der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) und ihrer Umsetzung in Deutschland. In: http://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Agrarpolitik/_Texte/GAP-NationaleUmsetzung.html, Abrufdatum: 01.06.2016.
- (2015c): Umsetzung der EU-Agrarreform in Deutschland. Ausgabe 2015. Bonn.

- (2015d): Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Dr. Kirsten Tackmann, Caren Lay, Herbert Behrens, weiterer Abgeordneter und der Fraktion Die Linke. Bundestagsdrucksache 18/6397. Deutscher Bundestag, Berlin.
- (2016): Wärme aus Holz. In: https://www.bmel.de/DE/Wald-Fischerei/03_Holz/_texte/WaermeAusHolz.html, Abrufdatum: 19.12.2016.
- BMJV (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz) (2016a): Energiesteuergesetz (EnergieStG). In: <http://www.gesetze-im-internet.de/energiestg/>, Abrufdatum: 19.12.2016.
- (2016b): Gesetz zur Erhaltung des Waldes und zur Förderung der Forstwirtschaft (Bundeswaldgesetz – BWaldG). In: <http://www.gesetze-im-internet.de/bwaldg/>, Abrufdatum: 19.12.2016.
- (2016c): Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz – BNatSchG). In: http://www.gesetze-im-internet.de/bnatschg_2009/, Abrufdatum: 19.12.2016.
- (2016d): Energiesteuergesetz. In: <http://bioenergie.fnr.de/rahmenbedingungen/gesetze-verordnungen-richtlinien/gesetzeslage/energiesteuergesetz/>, Abrufdatum: 13.12.2016.
- BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) (2014): Marktanalyse Biomasse. In: <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/M-O/marktanalyse-freilaech-e-photovoltaik-biomasse,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>, Abrufdatum: 06.01.2017.
- (2016a): Erneuerbare Energien in Zahlen – Nationale und internationale Entwicklung im Jahr 2015. Berlin.
- (2016b): Erneuerbare Energien in Deutschland: Das wichtigste im Jahr 2015 auf einen Blick. In: http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/entwicklung_der_erneuerbaren_energien_in_deutschland_tischvorlage.pdf?__blob=publicationFile&v=8, Abrufdatum: 09.11.2016.
- (2016c): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. In: http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-1990-2015.pdf?__blob=publicationFile&v=7, Abrufdatum: 20.12.2016.
- (2016d): Erneuerbare: globaler Jobmotor. Newsletter. In: <http://www.bmwi-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2016/13/Meldung/infografik.htm>, Abrufdatum: 09.11.2016.
- (2016e): Erneuerbare Energien auf einen Blick – Bruttostromerzeugung in Deutschland 2016. In: <https://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Erneuerbare-Energien/erneuerbare-energien-auf-einen-blick.html>, Abrufdatum: 13.12.2016.
- BÖHM, C. (2013): Effekte agroforstlicher Landnutzung auf Mikroklima, Bodenfruchtbarkeit und Wasserqualität. In: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg.): Gülzower Fachgespräche 43: 36.
- BOVET, J. und N. LIENHOOP (2017): Trägt die wirtschaftliche Teilhabe an Flächen für die Windkraftnutzung zur Akzeptanz bei? Zum Gesetzesentwurf eines Bürger- und Gemeindebeteiligungsgesetz unter Berücksichtigung von empirischen Befragungen. In: Schippl, J., A. Grunwald und O. Renn (Hrsg.): Die Energiewende verstehen – orientieren – gestalten. Nomos, Baden-Baden: 569-591.
- BRUTTEL, F., A. PURKUS und E. GAWEL (2016): Auktionen als Förderinstrument für erneuerbare Energien: Eine institutionenökonomische Bewertung unter besonderer Berücksichtigung der Photovoltaik-Freiflächenausschreibungsverordnung. UFZ-Bericht No. 01/2016. UFZ, Leipzig.
- 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.
- BUSCH, P.-O. (2005): Institutionalisierte Politiktransfer mit Nebenwirkungen: Die Ausbreitung von Quoten und Einspeisevergütungen. In: Tews, K. und M. Jänicke (Hrsg.): Die Diffusion umweltpolitischer Innovationen im internationalen System. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden: 233-255.
- CASSIA, L., M. FATTORE und S. PALEARI (2006): Entrepreneurial Strategy: Emerging Business in Declining Industries. Edward Elgar, Cheltenham.
- DIOUF, B. und R. PODE (2015): Potential of Lithium-Ion Batteries in Renewable Energy. In: Renewable Energy 76 (4): 375-380.
- DIVYA, D., L.R. GOPINATH und P. MERLIN CHRISTY (2015): A Review on Current Aspects and diverse Prospects for Enhancing Biogas Production in Sustainable Means. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews 42: 690-699.
- DMK (Deutsches Maiskomitee) (2016): Maisanbaufläche in Deutschland. In: http://www.maiskomitee.de/web/upload/pdf/statistik/dateien_pdf/02.Maisanbauflaechen_D_in_ha_2015-2016-vorlaeufig_20160803.pdf, Abrufdatum: 19.12.2016.
- EA (Energieagentur NRW) (Hrsg.) (2016): Das EEG 2017: Die wichtigsten Änderungen. EA Paper Nr. 8. Düsseldorf.
- EICHHORN, M.P., P. PARIS, F. HERZOG, L.D. INCOLL, F. LIAGRE, K. MANTZANAS, M. MAYUS, G. MORENO, V.P. PAPANASTASIS, D.J. PILBEAM, A. PISANELLI und C. DUPRAZ (2006): Silvoarable systems in Europe – past, present and future prospects. In: Agroforestry Systems 67 (1): 29-50.
- EKARDT, F. und B.E. HENNIG (2014): Darstellung der Biokraftstoffregulierung in der EU und Deutschland. In: Böttcher, J., N. Hampl, M. Kügemann und F. Lüdeke-Freund (Hrsg.): Biokraftstoffe und Biokraftstoffprojekte. Rechtliche, technische und wirtschaftliche Aspekte. Springer, Berlin und Heidelberg: 3-33.
- ELLER, D. (2015): Integration erneuerbarer Energien mit Power-to-Heat in Deutschland. Potentiale zur Nutzung von Stromüberschüssen in Fernwärmenetzen. Springer Vieweg, Wiesbaden.
- ELSPAS, M.E., S. BERG und R. GÜNTHER (2016): Das EEG 2017 – Ein Überblick über die Neuerungen. In: Kölner Schrift zum Wirtschaftsrecht 03/2016: 211-219.
- EMMANN, C., C. PANNWITZ, C. SCHAPER und L. THEUVSEN (2013): Ökonomische Bewertung eines Alley-Cropping-Systems zur Nahrungsmittel- und Energieholzproduktion. In: Bahrs, E. et al. (Hrsg.): Herausforderungen des globalen Wandels für Agrarentwicklung und Welternährung. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup: 60-71.

- EMMANN, C. und L. THEUVSEN (2012): Einfluss der Biogasproduktion auf den regionalen Pachtmarkt – Empirische Erhebung in fünf niedersächsischen Landkreisen mit hoher Anlagendichte. In: *Berichte über Landwirtschaft* 90 (1): 84-112.
- EUROSERVER (2016): Biofuels Barometer. In: <https://www.euroserv-er.org/category/all-biofuels-barometers/>, Abrufdatum 02.01.2017.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (2013): Überblick über die Reform der GAP 2014-2020. In: http://ec.europa.eu/agriculture/policy-perspectives/policy-briefs/05_de.pdf, Abrufdatum: 31.07.2016.
- FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe) (2016a): Basisdaten Bioenergie Deutschland 2016. In: http://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Broschuere_Basisdaten_Bioenergie_20162.pdf, Abrufdatum: 12.12.2016.
- (2016b): Leitfaden Biogas: Von der Gewinnung zur Nutzung. 7. Auflage. In: http://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Leitfaden_Biogas_web_V01.pdf, Abrufdatum: 14.12.2016.
- (2016c): Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG). In: <http://biogas.fnr.de/rahmenbedingungen/rahmenbedingungen/gesetzeslage/erneuerbare-energien-gesetz-eege/>, Abrufdatum: 06.01.2016.
- (2016d): Agroforst. In: <http://energiepflanzen.fnr.de/anbausysteme/agroforst/>, Abrufdatum: 13.12.2016).
- (2016e): Entwicklung der Wärmebereitstellung aus Erneuerbaren Energien. Informationsgrafik. In: https://media.thek.fnr.de/media/catalog/product/cache/1/image/4cbc0c59c34dba40a38f91baddb77710/a/b/abb_59_2016_0509_1.jpg, Abrufdatum: 13.12.2016.
- (2016f): Heizen mit Holz – so geht's richtig. Informationsbroschüre. In: https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/b/r/brosch_re_richtig_heizen_fnr_wwe.pdf, Abrufdatum: 13.12.2016.
- (2016g): Festbrennstoffe – Feste Bioenergieträger. In: <http://bioenergie.fnr.de/bioenergie/festbrennstoffe/>, Abrufdatum: 13.12.2016.
- (2017): Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland. In: <https://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten.html>, Abrufdatum: 31.01.2017.
- F.O. LICHT (2013): F.O. Licht's World Ethanol and Biofuels Report 12 (4) vom 21.10.2013.
- FvB (Fachverband Biogas) (2016): Branchenzahlen 2015 und Prognose der Branchenentwicklung 2016, Stand: Juli 2016. In: [http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/\\$file/16-09-23_Biogas_Branchenzahlen-2015_Prognose-2016.pdf](http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/$file/16-09-23_Biogas_Branchenzahlen-2015_Prognose-2016.pdf), Abrufdatum: 14.12.2016.
- GAIDA, B., I. SCHÜTTMANN, H. ZORN und B. MAHRO (2013): Bestandsaufnahme zum biogenen Reststoffpotential der deutschen Lebensmittel- und Biotechnik-Industrie. Schlussbericht zum Forschungsvorhaben der Hochschule Bremen und der Universität Gießen.
- GAILING, L. und A. RÖHRING (2015): Was ist dezentral an der Energiewende? Infrastrukturen erneuerbarer Energien als Herausforderungen und Chancen für ländliche Räume. In: *Raumforschung und Raumordnung* 73 (1): 31-43.
- GARVERT, H. und P.M. SCHMITZ (2014): Die Auswirkungen der staatlichen Biogasförderung auf landwirtschaftliche Pachtpreise in Deutschland. Eine ökonometrische Untersuchung. In: *Die Zukunft der Bioenergie. Schriftenreihe der Landwirtschaftlichen Rentenbank* 30, Frankfurt/M.: 7-43.
- GAWEL, E. und K. KORTE (2015): Regionale Verteilungswirkungen und Finanzierungsverantwortung: Bund und Länder bei der Strom-Energiewende. In: Müller, T. und H. Kahl (Hrsg.): *Energiewende im Föderalismus*. Nomos, Baden-Baden: 145-186.
- GAWEL, E., K. KORTE und K. Tews (2017): Thesen zur Sozialverträglichkeit der Förderung erneuerbarer Energien durch das EEG – eine kritische Analyse. In: Schippl, J., A. Grunwald und O. Renn (Hrsg.): *Die Energiewende verstehen – orientieren – gestalten*. Nomos, Baden-Baden: 305-330.
- GAWEL, E. und A. PURKUS (2016): EEG 2017 – Mehr Markt bei der Erneuerbare-Energien-Förderung? In: *Wirtschaftsdienst* 12/2016: 910-915.
- GRANOSZEWSKI, K., A. SPILLER, C. REISE und O. MÜBHOFF (2011): Die Diffusion regenerativer Energien in der deutschen Landwirtschaft – Investitionsverhalten in einem politisch induzierten Markt. In: Andreani, J.-C. und U. Collesei (Hrsg.): *Proceedings der 10. International Conference Marketing Trends*, 20.-22.01.2011, Paris.
- GRIEB, B. und U. ZERGER (2015): Erfassung des biologischen Potenzials für die Biogaserzeugung im Ökologischen Landbau. Beitrag für die 13. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Hochschule Eberswalde, 17.-20.03.2015.
- GROWITSCH, C., H. MEIER und S. SCHLEICH (2015): Regionale Verteilungswirkungen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes. In: *Perspektiven der Wirtschaftspolitik* 16 (1): 72-87.
- GUENTHER-LÜBBERS, W., H. BERGMANN und L. THEUVSEN (2016): Potential Analysis of the Biogas Production – as Measured by Effects of Added Value and Employment Potential. In: *Journal of Cleaner Production* 129: 556-564.
- GUENTHER-LÜBBERS, W., A. DIEKMANN und L. THEUVSEN (2014): Rechtliche und ökonomische Aspekte des Einsatzes von Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen – Eine Szenarioanalyse. In: Guenther-Lübbers, W., R. Kröger und L. Theuvsen (Hrsg.): *Nährstoffmanagement von Wirtschaftsdüngern und Gärresten*. Ökonomie, Ökologie, Technik und Logistik. Cuvillier Verlag, Göttingen: 81-103.
- GUENTHER-LÜBBERS, W., M. GARBS, H.-J. BRAUCKMANN, J. GELDERMANN, G. BROLL und L. THEUVSEN (2017): Nachhaltige Biomassenutzung in Biogasanlagen auf der Grundlage der Wirtschaftsdüngerpotenziale in Niedersachsen – „Bauernhof Niedersachsen“. Bericht für das Niedersächsische Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz und Landesentwicklung. Hannover 2015. In: http://3-n.info/media/4_Downloads/pdf_WssnSrv_Srv_Biogas_AbschlussberichtBauernhofNds1502.pdf, Abrufdatum: 26.01.2017.
- HABERMANN, H. und G. BREUSTEDT (2011): Der Einfluss der Biogaserzeugung auf landwirtschaftliche Pachtpreise in Deutschland. In: *German Journal of Agricultural Economics* 60 (2): 85-100.
- HARTMANN, H. (2005): Produktion, Bereitstellung und Eigenschaften biogener Festbrennstoffe. In: *Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg.): Leitfaden Bio-*

- energie. Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. Gülzow: 52-90.
- HEIßENHUBER, A., M. DEMMELER und S. RAUH (2008): Auswirkungen der Konkurrenz zwischen Nahrungsmittel- und Bioenergieproduktion auf Landwirtschaft, Gesellschaft und Umwelt. In: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis 17 (2): 23-31.
- HOLZHAMMER, U., B. KRAUTKREMER, M. NELLES und F. SCHOLWIN (2015): Stand und zukünftige Chancen der steuerbaren Biogasanlagen. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (Hrsg.): Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven, FNR/KTBL-Kongress, 22.-23.09.2015, Potsdam: 42-52.
- JAHNKE, B., U. LIEBE und G. DOBERS (2015): Energiewende in Deutschland – Not-in-my-Backyard oder eine Frage der Gerechtigkeit? In: Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht 2015 (4): 367-384.
- KALTSCHMITT, M., H. HARTMANN und H. HOFBAUER (2016): Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. 3. Auflage. Springer, Heidelberg.
- KEYMER, U. (2015): Bedarfsorientierte Stromerzeugung – ökonomisch betrachtet. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (Hrsg.): Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven. FNR/KTBL-Kongress, 22.-23.09.2015, Potsdam: 68-77.
- KIRCHMAYR, M. (2014): Power-to-Gas. Modellierung der Energieverwertungspfade und Einflussnahme einer veränderten Strommarktsituation. Diplomica Verlag, Hamburg.
- KLEINE-MÖLLHOFF, P. und C. DÜRR (2016): Ökonomische und ökologische Betrachtungen zur Erhöhung der Methanausbeute von Biogasanlagen. Reutlinger Diskussionsbeiträge zu Marketing & Management No. 2016-01. Hochschule Reutlingen.
- KRÖGER, R. (2016): Gülleseparation und Güllefeststoffvergärung: Akzeptanz und Wirtschaftlichkeit. Cuvillier Verlag, Göttingen.
- KRÖGER, R., W. GUENTHER-LÜBBERS und L. THEUVSEN (2016a): Güllefeststoffvergärung in Biogasanlagen: Ein Beitrag zur Verminderung regionaler Nährstoffüberschüsse? In: Berichte über Landwirtschaft 94 (1): 1-17.
- KRÖGER, R., J. R. KONERDING und L. THEUVSEN (2016b): Identifikation von Einflussfaktoren auf die Nutzung von Güllefeststoffen als Gärsubstrat in Biogasanlagen. In: German Journal of Agricultural Economics 65 (2): 112-131.
- KRÖGER, R., J. LANGENBERG, C. SCHAPER und L. THEUVSEN (2016c): Der Markt für Bioenergie 2015. In: German Journal of Agricultural Economics 65 (Supplement): 78-94.
- KRÖGER, R. und L. THEUVSEN (2013): Separation of Cattle Slurry: Technical Solutions und Economic Aspects. In: Geldermann, J. und M. Schumann (Hrsg.): Tagungsband der First International Conference on Resource Efficiency in Interorganizational Networks, 13.-14.11.2013, Göttingen: 453-464.
- KURZWEIL, P. und O.K. DIETLMEIER (2015): Elektrochemische Speicher: Superkondensatoren, Batterien, Elektrolyse-Wasserstoff, Rechtliche Grundlagen. Springer Vieweg, Wiesbaden.
- LATACZ-LOHMANN, U., S. HENNING und R. DEHNING (2014): Biogas als Preistreiber am Boden- und Pachtmarkt? Eine empirische Analyse. In: Die Zukunft der Bioenergie. Schriftenreihe der Landwirtschaftlichen Rentenbank Band 30, Frankfurt/M.: 45-75.
- LELF (Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung) (2016): Hinweise zum Antrag auf Agrarförderung 2016. In: http://lelf.brandenburg.de/media_fast/4055/Hinweisbrosch%C3%BCre2016.pdf, Abrufdatum: 08.11.2016.
- LIEBE, A. und M. WISSNER (2015): Der flexible Verbraucher – Potenziale für die Lastverlagerung im Haushaltsbereich. WIK-Bericht. WIK, Bad Honnef.
- LÖSCHEL, A., F. FLUES, F. POTHEN und P. MASSIER (2017): Der deutsche Strommarkt im Umbruch: Zur Notwendigkeit einer neuen Marktordnung. In: Schippl, J., A. Grunwald und O. Renn (Hrsg.): Die Energiewende verstehen – orientieren – gestalten. Nomos, Baden-Baden: 487-511.
- LÜLS DORF, T. (2016): Die novellierten Ausschreibungen nach dem EEG 2017. In: Natur und Recht 38 (11): 756-761.
- LUICK, R. und W. VANHOFF (2008): Wertholzpflanzungen – das Thema Agroforstsysteme in moderner Inszenierung. In: http://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/nebennutzung/agroforst_weide/fva_streuobstwiesen_wertholzproduktion/fva_streuobstwiesen_wertholzproduktion_gesamt.pdf, Abrufdatum: 24.11.2016.
- MARVUGLIA, A., E. BENETTO, S. REGE und C. JURY (2013): Modelling approaches for consequential life-cycle assessment (C-LCA) of bioenergy: Critical review and proposed framework for biogas production. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews 25: 768-781.
- MAUKY, E., H.F. JACOBI, J. LIEBETRAU und M. NELLES (2015): Flexible Biogas Production for Demand-driven Energy Supply – Feeding Strategies and Types of Substrates. In: Bioresource Technology 178: 262-269.
- MONTINGELLI, M.E., S. TEDESCO und A.G. OLABI (2015): Biogas Production from Algal Biomass: A Review. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews 43: 961-972.
- MOSQUERADA-LOSADA, M.R., J. MCADAM, R. ROMERO-FRANCO, J.J. SANTIAGO-FREIJANES und A. RIGUERO-RODRIGUEZ (2009): Definitions and Components of Agroforestry Practices in Europe In: Riguero-Rodriguez, A., J. McAdam und M.R. Mosquerada-Losada (Hrsg.): Agroforestry in Europe. Current Status and Future Prospects. Springer, Dordrecht: 3- 19.
- MÜHLENHOFF, J. (2013): Reststoffe für Bioenergie nutzen – Potentiale, Mobilisierung und Umweltbilanz. Agentur für Erneuerbare Energien, Berlin.
- MUSSGUG, J.H., V. KLASSEN, A. SCHLÜTER und O. KRUSE (2010): Microalgae as Substrates for Fermentative Biogas Production in a Combined Biorefinery Concept. In: Journal of Biotechnology 150 (1): 51-56.
- NAIR, P.K.R. (1993): An Introduction to Agroforestry. Kluwer Academic, Dordrecht.
- OECD-FAO (Organisation for Economic Co-operation and Development-Food and Agricultural Organization of the United Nations) (2014): OECD-FAO Agricultural Outlook 2014. In: <http://www.fao.org/3/a-i3818e.pdf>, Abrufdatum: 05.01.2017.
- (2015): OECD-FAO Agricultural Outlook 2015. In: <http://www.fao.org/3/a-i4738e.pdf>, Abrufdatum: 05.01.2017.

- OHLHORST, D. (2017): Akteursvielfalt und Bürgerbeteiligung im Kontext der Energiewende in Deutschland: das EEG und seine Reform. In: Schippl, J., A. Grunwald und O. Renn (Hrsg.): Die Energiewende verstehen – orientieren – gestalten. Nomos, Baden-Baden: 161-188.
- O.V. (2017a): Commission proposes new rules for consumer centered clean energy transition. In: <http://ec.europa.eu/energy/en/news/commission-proposes-new-rules-consumer-centred-clean-energy-transition>, Abrufdatum: 18.01.2017.
- (2017b): 2020 biodiesel estimates: World production gains 20 %. In: *agrifuture* 1/2017: 9.
- PAUL, C., T. KNOKE und M. WEBER (2014): Agroforstsysteme zur Verbesserung der Wertholzproduktion in den Tropen. In: *AFZ – Der Wald* 21: 23-25.
- PURKUS, A., E. GAWEL, M. DEISSENROTH, K. NIENHAUS und S. WASSERMANN (2017): Der Beitrag der Marktpremie zur Marktintegration erneuerbarer Energien – Erfahrungen aus dem EEG 2012 und Perspektiven der verpflichtenden Direktvermarktung. In: Schippl, J., A. Grunwald und O. Renn (Hrsg.): Die Energiewende verstehen – orientieren – gestalten. Nomos, Baden-Baden: 465-486.
- PUTTKAMMER, J. und H. GRETHE (2015): The public debate on biofuels in Germany: Who drives the discourse? In: *German Journal of Agricultural Economics* 64 (4): 263-273.
- REEG, T. (2010): Moderne Agroforstsysteme mit Wertholzbäumen als Option der Landnutzung in Deutschland: Naturschutz, Landschaftsbild und Akzeptanz. Dissertation. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- REEG, T., A. BEMANN, W. KONOLD, D. MURACH und H. SPIECKER (2009): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Wiley-VCH Verlag, Weinheim.
- REN 21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century) (2016): *Renewables 2016 – Global Status Report*. Paris.
- RENN, O., W. KÖCK, P.-J. SCHWEIZER, J. BOVET, C. BENIGHAUS, O. SCHEEL und R. SCHRÖTER (2017): Öffentlichkeitsbeteiligung bei Planungsvorhaben der Energiewende. In: Schippl, J., A. Grunwald und O. Renn (Hrsg.): Die Energiewende verstehen – orientieren – gestalten. Nomos, Baden-Baden: 547-567.
- RFA (Renewable Fuels Association) (2017): World Fuel Ethanol Production. In: <http://ethanolrfa.org/resources/industry/statistics/#1454098996479-8715d404-e546>, Abrufdatum: 09.01.2017.
- RÖHRICHT, C., K. RUSCHER und S. KIESEWALTER (2007): Einsatz nachwachsender Rohstoffpflanzen als landwirtschaftsgestaltendes Element – Feldstreifenanbau auf großen Ackerschlägen. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden.
- RUDDAT, M. und M. SONNBERGER (2015): Wie die Bürgerinnen und Bürger ihre Rolle bei der Energiewende sehen. In: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 65 (1/2): 121-125.
- SCHAUMANN, G. und K.W. SCHMITZ (2010): *Kraft-Wärme-Kopplung*. 4. Auflage. Springer, Berlin.
- SCHMIDT, C. (2011): Zur ökonomischen Bewertung von Agroforstsystemen. Dissertation. Justus-Liebig-Universität Gießen.
- SCHMIDT, I. (2016): Clean Energy for all Europeans. Vortrag zum Fokus Umweltenergierecht: „Die Neufassung der Erneuerbare-Energien-Richtlinie und das Energie-Winterpaket der EU-Kommission“, 15.12.2016, Berlin.
- SCHÖFTNER, R., K. VALENTIN, B. SCHMIEDINGER, S. TROGISCH, M. HABERBAUER, K. KATZLINGER, W. SCHNITZHOFFER und N. WERAN (2007): *Best Biogas Practise*. Monitoring und Benchmarks zur Etablierung eines Qualitätsstandards für die Verbesserung des Betriebs von Biogasanlagen und Aufbau eines österreichweiten Biogaszetzwerks. Profactor Produktionsforschungs GmbH, Steyr.
- SCHUBOTH, J. (1996): Naturschutzgerechte Nutzung von Streuobstwiesen in Sachsen-Anhalt. In: *Naturschutz im Land Sachsen-Anhalt* 33 (2): 51-55.
- SDW (Schutzgemeinschaft Deutscher Wald) (2016): Waldanteil in Deutschland. In: <http://www.sdw.de/waldwissen/wald-in-deutschland/waldanteil/>, Abrufdatum: 19.12.2016.
- SIMS, R.E., W. MABEE, J.N. SADDLER und M. TAYLOR (2010): An Overview of Second Generation Biofuel Technologies. In: *Bioresource Technology* 10 (6): 1570-1580.
- SPIECKER, H., M. BRIX und B. BENDER (2009): Neue Optionen für eine nachhaltige Landnutzung – Schlussbericht des Projekts „agroforst“. BMBF. In: http://www.agroforst.uni-freiburg.de/download/BMBF0330621_24-11-09.pdf, Abrufdatum: 22.07.2016.
- STATISTA (2017): Biokraftstoffstatistiken. In: <http://de.statista.com/>, Abrufdatum: 05.01.2017.
- TIETBÖHL, R. (2015): Künftige Bedeutung der Bioenergie für die Landwirtschaft. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (Hrsg.): *Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven*. FNR/KTBL-Kongress, 22.-23.09.2015, Potsdam: 15-24.
- UFOP (Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen) (2017): Biodiesel 2015/2016 Sachstandsbericht und Perspektive – Auszug aus dem UFOP-Jahresbericht. In: http://www.ufop.de/files/8914/7609/0650/WEB_UFOP_1411_Biodieselauszug_2016_101016_DE.pdf, Abrufdatum: 08.01.2017.
- UMWELTBUNDESAMT (2016): Primärenergieverbrauch in Deutschland nach Energieträgern. In: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie-als-ressource/primarenergieverbrauch>, Abrufdatum: 09.11.2016.
- USDA (U.S. Department of Agriculture) (2016): *GAI Report. EU Biofuels Annual 2016*. Nr. NL6021. In: https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAI%20Publications/Biofuels%20Annual-The-%20Hague_EU-28_6-29-2016.pdf, Abrufdatum: 05.01.2017.
- VDB (VERBAND DER DEUTSCHEN BOKRAFTSTOFFINDUSTRIE) (2017): Absatz von Biodiesel. In: <http://www.biokraftstoffverband.de/index.php/absatzzahlen.html> (Abrufdatum 09.01.2017).
- WBA (Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik beim BMELV) (2008): *Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung – Empfehlungen an die Politik*. Berichte über Landwirtschaft, Sonderheft 216. Kohlhammer, Stuttgart.
- WIESINGER, K. (2013): Ein Agroforstsystem zur Energieholzgewinnung im Ökolandbau – Erste Ergebnisse aus Anbauversuchen in Bayern. In: *Fachagentur Nachwach-*

- sende Rohstoffe (Hrsg.): Gülzower Fachgespräche 43: 34.
- WINDMESSE (2016): Investitionen in Erneuerbare Energien weltweit auf Rekordhoch. In: <http://w3.windmesse.de/windenergie/news/21334-investitionen-in-erneuerbare-energien-weltweit-auf-rekordhoch>, Abrufdatum: 18.01.2017.
- ZEDDIES, J., E. BAHRS, N. SCHÖNLEBER, W. GAMER und J.-B. EMPL (2014): Optimierung der Biomassenutzung nach Effizienz in Bereitstellung und Verwendung unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitszielen und Welt-ernährungssicherung. Forschungsbericht 17/2014. Universität Hohenheim.
- ZEDDIES, J. und N. SCHÖNLEBER (2016a): Literaturstudie „Biomasse – Flächen- und Energiepotenziale“. Forschungsbericht 19/2016. Universität Hohenheim.
- (2016b): Auswirkungen politischer Beschlüsse auf Biokraftstoffe und Rohstoffmärkte. Studie im Auftrag von UFOP, OVID und VDB. Berlin.
- ZIPP, A. (2016): Markt- und Systemintegration von erneuerbaren Energien im Rahmen der Systemtransformation – Ein Beitrag zur definitorischen Abgrenzung. In: Zeitschrift für Energiewirtschaft 40 (4): 233-243.
- ZSCHACHE, U., S. VON CRAMON-TAUBADEL und L. THEUVSEN (2010): Öffentliche Deutungen im Bioener-giediskurs. In: Berichte über Landwirtschaft 88 (3): 502-512.

Kontaktautor:

PROF. DR. LUDWIG THEUVSEN

Georg-August-Universität Göttingen

Department für Agrarökonomie und Rural Entwicklung

Platz der Göttinger Sieben 5, 37073 Göttingen

E-Mail: theuvsen@uni-goettingen.de