

Der Markt für Bioenergie

Rhena Kröger, Josef Langenberg, Christian Schaper und Ludwig Theuvsen
Georg-August-Universität Göttingen

1 Einleitung

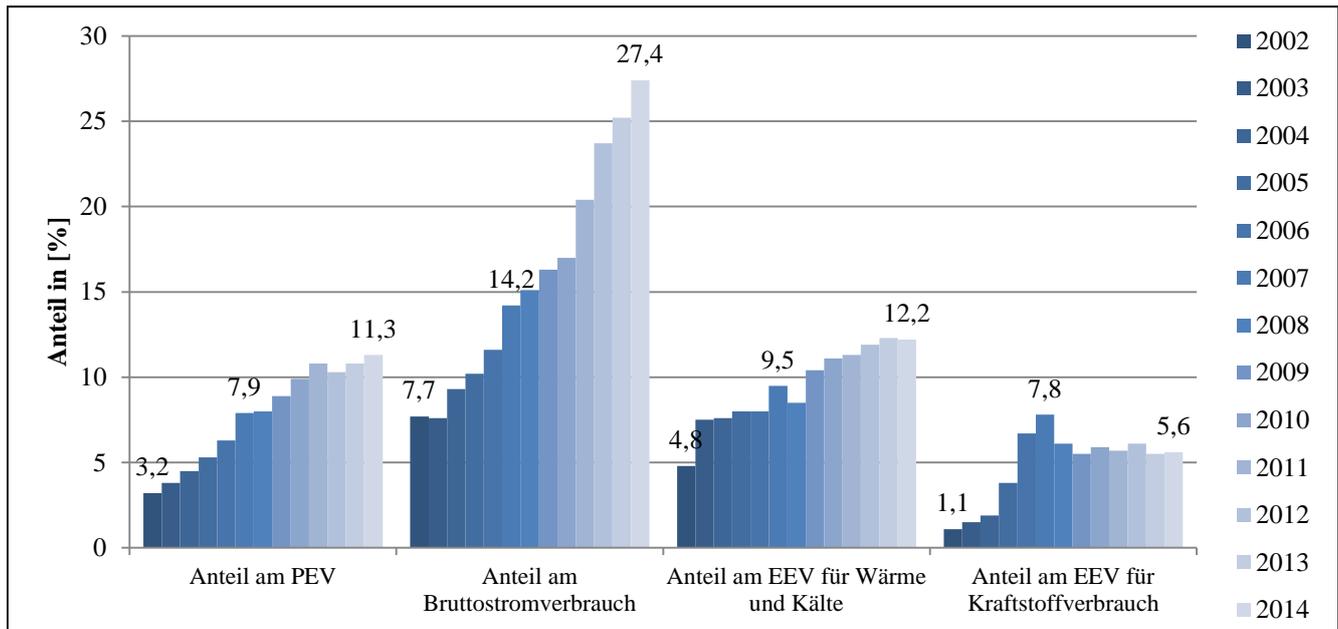
2015 ist der Anteil der erneuerbaren Energien am deutschen Strommix, der ungeachtet der vielen Facetten der Energiewende im Zentrum der öffentlichen Aufmerksamkeit steht, weiter von etwa 27 % auf rund 33 % des Bruttostromverbrauchs gestiegen (WOLF, 2015). Trotz fortgesetzt steigender Kosten – bis 2019 wird ein weiterer Anstieg der Subventionen allein für den Ökostrom auf knapp 30 Mrd. Euro pro Jahr prognostiziert (O.V., 2014) – und der daraus resultierenden finanziellen Belastung nicht zuletzt der privaten Haushalte sowie gegenwärtig ungewöhnlich niedriger Preise für fossile Energien wird der Umbau der Energieversorgungssysteme in Deutschland nicht ernsthaft in Frage gestellt. Die in den vergangenen beiden Jahren beschlossene Aufspaltung der großen deutschen Energieversorgungsunternehmen RWE und E.ON (O.V., 2015) ist ein deutliches Zeichen dafür, dass diese Einschätzung auch von wichtigen Entscheidungsträgern in der Energiewirtschaft geteilt wird.

Die Energiebereitstellung aus Biomasse hat im Zuge der Umsetzung der Energiewende einen beachtlichen Aufschwung erfahren. Sie betrug 2014 fast 195 Terrawattstunden (TWh) und hat sich damit binnen zehn Jahren nahezu verdoppelt. Immer noch stammen rund 60 % der gesamten Energiebereitstellung aus erneuerbaren Energien aus der Nutzung von Biomasse (AEE, 2015b). Ungeachtet dessen herrscht eine erhebliche Unsicherheit hinsichtlich der zukünftigen Bedeutung der Bioenergieproduktion. So ist sie in weiten Teilen einer erheblichen gesellschaftlichen Kritik ausgesetzt (ZSCHACHE et al., 2010). Der Gesetzgeber hat darauf reagiert und bei der jüngsten Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes beispielsweise die Förderung der Biogaserzeugung so weit reduziert, dass ihr Ausbau fast zum Erliegen gekommen ist. Auch der Weiterbetrieb der bestehenden Biogasanlagen nach dem Ende der über 20 Jahre garantierten EEG-Einspeisevergütung ist unter den gegenwärtigen Rahmenbedingungen unattraktiv (LIEBETRAU, 2015). Vor diesem Hintergrund hat die Agentur für Erneuerbare Energien eine Metaanalyse vorliegender wissenschaftlicher Studien zur zukünftigen Bedeutung der Bioenergieproduktion durchgeführt. Im Einzelnen

kommen die Studien durchaus zu unterschiedlichen Einschätzungen. Trotzdem lassen sich einige weitgehend geteilte Auffassungen zur Zukunft der Bioenergie feststellen (AEE, 2015b):

- Insgesamt wird noch ein bislang unerschlossenes Potenzial zur weiteren Steigerung der Bioenergieerzeugung gesehen. Die Höhe dieses Potenzials wird allerdings sehr unterschiedlich eingeschätzt.
- Auch langfristig wird Biomasse aufgrund ihrer vielseitigen Einsetzbarkeit im Strom-, Wärme- und Kraftstoffbereich die wichtigste erneuerbare Energiequelle bleiben. Grenzen ihrer Nutzung ergeben sich vor allem aus der begrenzten Flächenverfügbarkeit.
- Die lange Zeit dominierende Wärmebereitstellung aus Biomasse wird relativ zu anderen Bioenergienutzungspfaden an Bedeutung verlieren. Trotzdem wird auch im Wärmebereich ein weiterer Ausbau der Biomassenutzung erwartet, auch wenn hinsichtlich der dabei zum Einsatz kommenden Technologien wenig Konsens herrscht.
- Die Stromerzeugung aus Biomasse, die im Wesentlichen in Biogasanlagen und Holzheizkraftwerken erfolgt, wird nach verbreiteter Ansicht nur noch leicht ansteigen oder sogar gegenüber dem aktuellen Stand geringfügig sinken. Statt des weiteren Ausbaus der Stromerzeugung aus Biomasse wird eher eine Umlenkung in den Verkehrsbereich erwartet. Ungeachtet dessen wird die Fähigkeit speziell von Biogasanlagen zur flexiblen Bereitstellung von Strom hervorgehoben. Einige Studien sehen sogar den Schwerpunkt der Biomassenutzung in flexiblen Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung.
- Die Bedeutung von Biomasse für die Kraftstoffproduktion wird extrem unterschiedlich eingeschätzt. Einige Analysen stellen aufgrund der fehlenden ökologischen Nachhaltigkeit den Einsatz von Biokraftstoffen grundsätzlich in Frage. Andere Autoren erwarten nur im Güter-, Schiffs- und Flugverkehr, bei denen es an technischen Alternativen mangelt, eine bedeutende Rolle für Biokraftstoffe. Wieder andere Studien erwarten dagegen die breite Verwendung von Biokraftstoffen im Verkehrsbereich.

Abbildung 1. Anteil erneuerbarer Energien an der Energiebereitstellung in Deutschland



Quelle: eigene Darstellung nach BMWi (2015a)

Vorliegende differenzierte Szenarioanalysen beispielsweise zur weiteren Entwicklung der Bioethanolproduktion zeigen, wie stark der Einfluss technologischer, marktlicher, politischer und gesellschaftlicher Rahmenbedingungen ist (ANSCHÜTZ, 2014). Angesichts der Schwierigkeit, die Entwicklung zentraler Einflussgrößen, etwa des Rohölpreises oder der Bioenergiepolitik der USA oder der Europäischen Union, zuverlässig zu prognostizieren, sind alle Aussagen zur Zukunft der Bioenergie gegenwärtig mit erheblicher Unsicherheit behaftet.

2 Erneuerbare Energien im Energiemix

2014 lag der deutsche Primärenergieverbrauch (PEV) bei 13 132 PJ; er ist damit im Vergleich zum Jahr 2013 um rund 5,5 % gesunken. Erneuerbare Energien konnten weiter an Bedeutung gewinnen; ihr Anteil lag 2014 bei 11,3 % (2013: 10,8 %). Er war damit größer als der der Kernenergie, obwohl im Vergleich zum Vorjahr der Anteil der Atomenergie am PEV wieder zugenommen hat (2014: 8,1 %; 2013: 7,7 %) und auf dem Niveau von 2012 lag (BMWi, 2015b).

Bei Betrachtung des Endenergieverbrauches wird deutlich, dass der Anteil erneuerbarer Energien am Strom-, Wärme- und Kraftstoffverbrauch sehr verschieden ist. Am deutschen Strommix betrug der Anteil erneuerbarer Energien 2014 rund 27,4 %. Er ist

im Vergleich zu den Vorjahren weiterhin leicht angestiegen (2013: 25,2 %; 2012: 23,7 %); dieser Trend setzte sich auch 2015 fort, als knapp 33 % erreicht wurden (WOLF, 2015). Bei der Wärme- und Kältebereitstellung lag der Anteil der Erneuerbaren am Endenergieverbrauch 2014 bei 12,2 % (2013: 12,3 %; 2012: 11,9 %), im Kraftstoffbereich betrug er 5,6 % (2013: 5,5 %; 2012: 6,1 %) (BMWi, 2015a). Bei einer Betrachtung der Bedeutung der erneuerbaren Energien im Zeitablauf wird deutlich, dass diese insbesondere im Strombereich stark an Bedeutung gewonnen haben, während die Entwicklung im Wärmemarkt verhaltener verläuft und im Kraftstoffbereich zwischenzeitlich sogar rückläufig war (Abbildung 1). Dank der zunehmenden Bedeutung der erneuerbaren Energien am Gesamtenergieverbrauch konnten 2014 rund 151,4 Mio. t CO₂ eingespart werden (BMWi, 2015a).

Insgesamt steuerten 2014 die erneuerbaren Energien 336,5 TWh zum deutschen Endenergieverbrauch bei; dies entsprach 12,4 % (AGEE-STAT, 2014). Im Vergleich zum Vorjahr bedeutete dies einem Anstieg um 16,9 TWh bzw. 5,3 %. In der Stromerzeugung (161,4 TWh) kommt der Windkraft (57,4 TWh) und der Biomasse (49,2 TWh) die größte Bedeutung zu; im Bereich der Wärmebereitstellung (139,5 TWh) dominiert die Biomassenutzung mit 87,2 % (BMWi, 2015a). Insgesamt entfallen 62 % des Beitrags der erneuerbaren Energien zum Endenergieverbrauch auf die Nutzung von Biomasse (Abbildung 2).

In Deutschland sind die erneuerbaren Energien mittlerweile ein wichtiger Wirtschaftsfaktor. So wurden 2014 rund 18,8 Mrd. € in die Errichtung entsprechender Anlagen investiert. Den größten Anteil machten dabei mit 65,4 % (12,3 Mrd. €) Investitionen in die Windenergie aus, womit sich ihr Anteil in den letzten drei Jahren nahezu verdoppelt hat. Der stärkste Rückgang war bei der Solarenergie zu beobachten; ihr Anteil an den Investitionen betrug 2014 nur noch 16,5 % (AEE, 2015a) – nach rund einem Viertel 2013 und teilweise mehr als 50 % in den Vorjahren. Die positiven Entwicklungen im Windenergiesektor spiegeln sich auch in den Beschäftigtenzahlen wider. Im Jahr 2014 waren 149 200 Arbeitnehmer in diesem Sektor tätig; dies entspricht einem Zuwachs um rund 7,7 % oder 11 400 Arbeitsplätzen gegenüber dem Vorjahr. Dieser Zuwachs konnte jedoch die Arbeitsplatzverluste in den anderen Sektoren nicht ausgleichen, sodass die Beschäftigtenzahl im Bereich der erneuerbaren Energien insgesamt um 4,5 % auf 355 400 gesunken ist. Der Negativtrend der letzten Jahren hat sich damit fortgesetzt (O’SULLIVAN et al., 2015).

Die weltweite Bedeutung der erneuerbaren Energien hat 2014 trotz des Rückgangs des Ölpreises auch im vergangenen Jahr weiter zugenommen. Ein wesentlicher Grund dafür ist der weltweit gestiegene Energieverbrauch. Neben Europa, das weiterhin ein wichtiger Markt bleiben wird, werden zukünftig vor allem China, Brasilien, Indien und Südafrika an Bedeutung gewinnen. Der stärkste Ausbau im Bereich erneuerbarer Energien erfolgte im Stromsektor. Während 2013

die Erzeugungskapazität bei rund 1 580 GW lag, ist sie 2014 um 9 % auf rund 1 710 GW angestiegen; davon entfallen 1 055 GW (+4 % zu 2013) auf die Wasserkraft, rund 370 GW (+16 %) auf die Windkraft, 177 GW auf die Nutzung der Solarenergie (+28 %) und 93 GW auf die Energieerzeugung aus Biomasse (+6 %) (REN21, 2015).

3 Entwicklung der Biomasseerzeugung in Deutschland

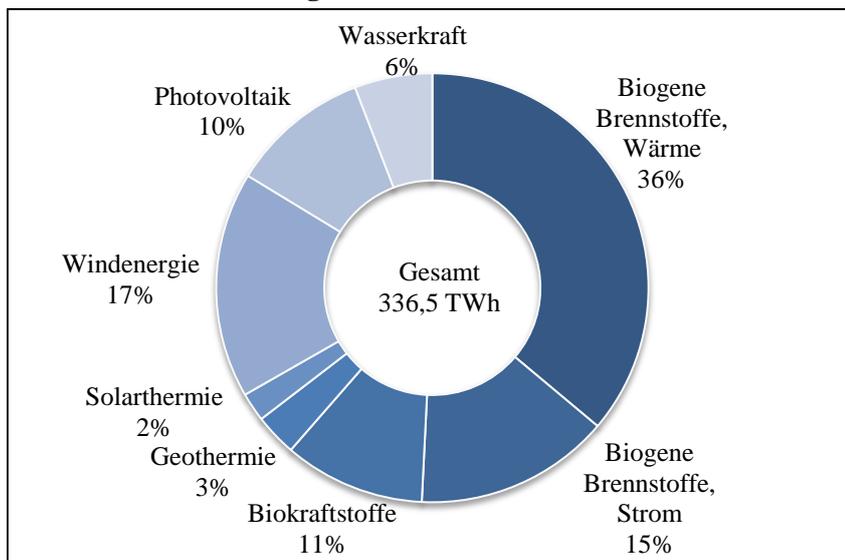
3.1 Biomasse aus landwirtschaftlicher Produktion

Der Anbau nachwachsender Rohstoffe ist für die deutsche Landwirtschaft von großer Bedeutung. Vorläufigen Schätzungen zufolge wurden im Jahr 2015 auf einer Anbaufläche von 2 471 750 ha Energie- und Industriepflanzen kultiviert; das entspricht 14,8 % der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche (16,7 Mio. ha) (FNR, 2015a). Damit war der Anbau nachwachsender Rohstoffe leicht rückläufig, erreichte aber immer noch den zweithöchsten Stand nach dem Spitzenwert des Jahres 2014 (Abbildung 3).

Bezogen auf die Fläche wurden 2015 rund 89 % (2 203 500 ha) der in Deutschland landwirtschaftlich produzierten nachwachsenden Rohstoffe energetisch genutzt (Tabelle 1). Den größten Anteil an der NawaRo-Gesamtfläche (56,4 %) beanspruchen die Energiepflanzen zur Biogaserzeugung, von denen der Mais mit einer Anbaufläche von 894 000 ha die dominierende Kultur darstellt. Damit liegt der Flächenanteil

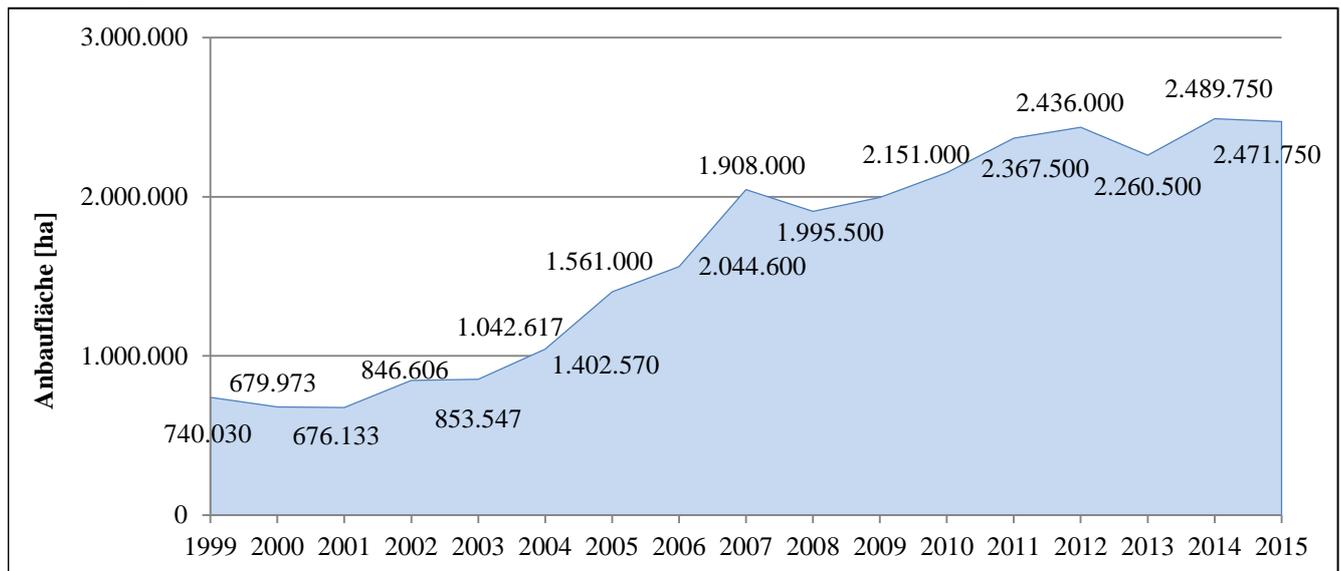
des Biogasmaises mit 35 % der gesamten Maisanbaufläche auf unverändert hohem Niveau (FNR, 2015b). Der Umfang des Rapsanbaus (616 000 ha) zur Biodiesel- und Pflanzenölherstellung war wieder leicht rückläufig, nachdem er im Vorjahr (649 000 ha) erstmals seit 2007 wieder ausgeweitet wurde. Gegenüber den Jahren vor 2012 ist der Energierapsanbau um rund ein Drittel zurückgegangen, da Biodiesel und Pflanzenölkraftstoffe seit 2013 nicht mehr durch einen reduzierten Energiesteuersatz entlastet werden und sich der Ölpreis bereits seit längerem auf niedrigem Niveau bewegt (GUENTHER-LÜBBERS et al., 2014; BMJV, 2015a). Die Anbau-

Abbildung 2: Anteile erneuerbarer Energien zur Deckung des Endenergieverbrauchs in Deutschland 2014



Quelle: BMWi (2015a)

Abbildung 3. Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland



Quelle: FNR (2015a)

Tabelle 1. Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland (ha)

Rohstoff		2011	2012	2013	2014	2015*	Anteil an NawaRo-Fläche 2015* (%)
Energiepflanzen	Raps für Biodiesel/Pflanzenöl	910 000	786 000	557 000	649 000	616 000	24,9
	Zucker/Stärke für Bioethanol	240 000	201 000	173 000	188 000	184 000	7,4
	Pflanzen für Biogas	900 000	1 158 000	1 250 000	1 375 000	1 393 000	56,4
	Sonstiges (u.a. Agrarholz, Miscanthus)	6 000	10 500	9 000	10 500	10 500	0,4
	Energiepflanzen insgesamt	2 056 000	2 155 500	1 989 000	2 222 500	2 203 500	89,1
Industriepflanzen	Industriestärke	160 000	121 500	101 500	92 500	93 000	3,8
	Industriezucker	10 000	10 000	10 500	10 000	10 000	0,4
	technisches Rapsöl	120 000	127 000	136 500	140 000	140 000	5,7
	technisches Sonnenblumenöl	8 500	7 500	7 000	8 500	9 000	0,36
	technisches Leinöl	2 500	4 000	3 500	3 500	3 500	0,14
	Pflanzenfaser	500	500	500	750	750	0,03
	Arznei- und Farbstoffe	10 000	10 000	12 000	12 000	12 500	0,5
	Industriepflanzen insgesamt	311 500	280 500	271 500	267 250	268 750	10,9
NawaRo insgesamt		2 367 500	2 436 000	2 260 500	2 489 750	2 471 750	100,0

*vorläufige Schätzung

Quelle: FNR (2015a)

fläche für die Bioethanolherstellung, die in Deutschland überwiegend auf Zuckerrüben- und Weizenbasis erfolgt, betrug 2015 184 000 ha. Die Produktion von Miscanthus sowie von Agrarholz in Kurzumtriebsplantagen und Agroforstsystemen ist weiterhin unbedeutend. Der Anbau von landwirtschaftlich erzeugten nachwachsenden Rohstoffen zur stofflichen Nutzung erfolgte 2015 auf einer Fläche von 268 750 ha; dies entspricht einem Anteil von 10,9 % an der gesamten landwirtschaftlichen NawaRo-Fläche.

3.2 Biomasse aus biogenen Reststoffen und Abfällen

Die Biomasseproduktion zur Bereitstellung von Energie- und Rohstoffträgern wird unter Schlagworten wie „Vermaisung“ oder „Tank oder Teller“ kontrovers diskutiert. Eine Kaskadennutzung durch den Einsatz biogener Reststoffe und Abfälle fördert die effiziente Verwertung der vorhandenen Biomasse und wirkt dem Konflikt zwischen der Nahrungsmittel- und der NawaRo-Produktion entgegen. Zu den biogenen Rest-

und Abfallstoffen zählen alle organischen Bestandteile und Abfälle, die als Nebenprodukte im Rahmen von Erzeugungs- und Herstellungsprozessen anfallen. Dies sind insbesondere Exkremate aus der Tierhaltung, Stroh und weitere landwirtschaftliche wiederverwertbare Stoffe, Landschaftspflegematerial, Grünschnitt, Altholz sowie sämtliche organischen Abfälle aus dem privaten (z.B. Biomüll) und dem gewerblichen Bereich (z.B. Schlachtabfälle, Klärschlamm). Auf der zweiten bzw. dritten Kaskadenstufe der Biomassenutzung erfolgt zumeist eine energetische oder nährstoffliche Verwertung, hingegen kaum eine stofflich-industrielle Nutzung (GAIDA et al., 2013).

Die anfallenden Reststoffmengen sind in Deutschland sehr ungleich verteilt. Die Mehrheit der Bevölkerung lebt in Städten; zudem wird in urbanen Regionen ein geringerer Teil der organischen Abfälle im eigenen Garten kompostiert als in ländlichen Gebieten, sodass mittlerweile ca. 75 % des biogenen Hausmülls in Stadtnähe entstehen. Biogene Reststoffe aus landwirtschaftlicher Produktion fallen besonders im Nordwesten und Südosten Deutschlands in Form von Wirtschaftsdüngern an, da dort die Viehdichten am höchsten sind. Der Transport der organischen Stoffe ist kostenintensiv und die Transportwürdigkeit hängt stark von den Energie- bzw. Nährstoffdichten ab, die im Zusammenhang mit dem jeweiligen Trockenmassegehalt stehen. Die Verwertung findet daher nach Möglichkeit nahe dem Entstehungsort statt. Aufgrund des hohen Wirtschaftsdüngeranfalls in den Regionen mit intensiver Tierhaltung werden jedoch insbesondere biogene Reststoffe aus der Tierhaltung zunehmend über größere Distanzen transportiert (DBFZ, 2014). Vor allem der Einsatz von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen in Ackerbauregionen wird unter dem Gesichtspunkt des überregionalen Nährstoffausgleichs und der Entschärfung des „Tank oder Teller“-Konflikts verstärkt propagiert (KRÖGER et al., 2014). Obwohl etwa die Hälfte der anfallenden tierischen Exkremate als wirtschaftlich erschließbar für die Energiegewinnung gilt, werden nur 15 bis 20 % auch tatsächlich genutzt (URBAN, 2015). Zukünftig könnte dieser Anteil jedoch steigen, da mit dem EEG 2014 alle Boni für neue Biomasseanlagen (Einsatzstoffvergiftungsklassen I und II gemäß der Biomasseverordnung) entfallen sind und der weitere Ausbau der Energieerzeugung aus Biomasse auf biogene Reststoffe und Abfälle konzentriert wurde. Insgesamt wird das energetische Potential von biogenen Reststoffen und Abfällen in Deutschland zu ca. 60 % ausgenutzt; dies entspricht einem Anteil von ungefähr einem Prozent am bundesweiten elektrischen Energiemix und von

einem Achtel an der Energieerzeugung aus Biomasse (BDEW, 2015).

3.3 Biomasse aus forstwirtschaftlicher Produktion

Weltweit ist in etwa ein Drittel der Landfläche bewaldet. In Deutschland liegt der Bewaldungsgrad mit 32 % (11,4 Mio. ha) ungefähr auf dem globalen Durchschnittsniveau. Während jedoch die weltweite Waldfläche rückläufig ist, steht in Deutschland seit 2002 dem jährlichen Waldverlust von durchschnittlich 5 800 ha ein Zuwachs von 10 800 ha pro Jahr gegenüber, sodass die Waldfläche seither im Mittel um rund 5 000 ha pro Jahr zugenommen hat (BMEL, 2014). Für diese Entwicklung sind nicht zuletzt die rechtlichen Rahmenbedingungen maßgeblich: Das Gesetz zur Erhaltung des Waldes und zur Förderung der Forstwirtschaft (Bundeswaldgesetz) beschränkt eine Rodung mit anschließender Umwandlung der Nutzungsart auf seltene Ausnahmefälle, und das Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz) unterschützt durch die Eingriffs-Ausgleichs-Regelung die Aufforstung von landwirtschaftlicher Nutzfläche und die damit einhergehende Nutzungsumwandlung in Wald (BMJV, 2015b; 2015c).

Der Bewaldungsgrad ist regional sehr unterschiedlich. An den Küstenregionen ist er am niedrigsten; Schleswig-Holstein ist daher der deutsche Flächenstaat mit der geringsten Bewaldung (11 %). Die Mittelgebirge sind hingegen deutlich stärker bewaldet, weshalb in Hessen und Rheinland-Pfalz der Wald mit jeweils 42 % den höchsten Anteil an der Landesfläche ausmacht. Das Waldeigentum ist in Deutschland breit gestreut; ein Drittel ist Staatswald im Eigentum von Bund und Ländern, 19 % sind Körperschaftswald (Kommunen, juristische Personen etc.), 48 % Privatwald. Die Hälfte des Privatwaldes befindet sich in der Hand von Eigentümern, die über eine Fläche von nicht mehr als 20 ha verfügen. Insgesamt gibt es in Deutschland ca. 2 Mio. Waldeigentümer. In allen Eigentumsformen wird weniger Holz genutzt als zuwächst, sodass der Holzvorrat bei insgesamt 3,7 Mrd. m³ bzw. 336 m³/ha liegt – so hoch, wie seit über 200 Jahren nicht mehr. Die Fichte ist dabei mit einem Anteil von 33 % der größte Vorratsträger (BMEL, 2014).

Der Verbrauch an Holzrohstoffen liegt derzeit in Deutschland bei 135 Mio. m³ jährlich, zu ungefähr gleichen Teilen für die stoffliche und die energetische Verwertung. Stammholz wird überwiegend einer stofflichen Nutzung zugeführt, während für die Energieerzeugung primär Kronenholz, Holzreste und Holzabfälle eingesetzt werden. Die Energieerzeugung

erfolgt durch Holzvergasung und -verbrennung; auf diese Weise werden 4 % der gesamten Endenergieversorgung in Deutschland sichergestellt. Besondere Bedeutung hat Holz für die Wärmeerzeugung; über 70 % der Wärme aus erneuerbaren Energien werden auf der Grundlage von Holz bereitgestellt. Die größten Energieholznachfrager sind mit jährlich 34 Mio. m³ die privaten Haushalte, da über 25 % der deutschen Privathaushalte in ca. 14 Mio. Einzelraumfeuerstätten (vor allem Kamin- und Kachelöfen) und in über 1 Mio. Holzzentralheizungen Holz zum Heizen einsetzen. In Einzelraumfeuerstätten werden überwiegend Scheitholz und Holzbriketts verfeuert, während in Holzzentralheizungen auch Hackschnitzel und Holzpellets eingesetzt werden. Im gewerblichen und industriellen Sektor wird Energieholz sowohl zur Wärmegewinnung in Holzheizungen eingesetzt als auch in Biomasseheizkraftwerken mit Kraft-Wärme-Kopplung zu elektrischer und thermischer Energie umgewandelt. Insgesamt bildet Holz die Rohstoffgrundlage für 35 % der gesamten erneuerbaren Energieerzeugung (BMEL, 2015).

4 Energetische Verwendung von Biomasse

4.1 Entwicklung der Biogasproduktion

Der bereits in den letzten Jahren zu beobachtende Rückgang des Biogasanlagenzubaues hat sich auch 2014 fortgesetzt. Wurden im Jahr 2013 noch 350 neue Biogasanlagen installiert, waren es im Jahr 2014 nur noch 163 (Abbildung 4). Insgesamt waren 2014 bundesweit 8 726 Biogasanlagen, davon 182 Biomethananlagen, am Netz (Abbildung 5). Die installierte Leistung der Biogasanlagen lag insgesamt bei 3 905 MW_{el}; sie ist im Vergleich zum Vorjahr nur leicht angestiegen (2013: 3 637 MW_{el}) (FNR, 2015c; FvB, 2015). Maßgeblich für den verhaltenen weiteren Ausbau der Biogasproduktion ist das EEG 2014, das den Bau von NawaRo-Anlagen unattraktiv hat werden lassen. Für das Jahr 2015 wird wieder ein leichter Anstieg des Anlagenzubaues erwartet – dieser wird sich jedoch aufgrund des EEG 2014 primär auf kleine Biogasanlagen bis 75 kW, die auf Basis von Gülle oder Bioabfällen betrieben werden, konzentrieren. Insgesamt waren Ende 2014 rund 140 Abfallvergärungsanlagen in Betrieb (FvB, 2015; LIEBETRAU, 2015).

Die deutsche Stromproduktion aus Biogas belief sich 2014 auf 32,1 TWh. Dies reichte aus, um rund 9,2 Mio. (2013: 7,5 Mio.) Haushalte mit Strom zu

versorgen. Durch die Biogaserzeugung konnten rund 20,8 (2013: 16,8) Mio. t CO₂ eingespart werden. Insgesamt waren 2014 rund 45 000 (2013: 41 000) Personen in der Biogasbranche beschäftigt (KRÖGER et al., 2015; FvB, 2015). Unter dem Einfluss des gestiegenen wirtschaftlichen Drucks und veränderter gesetzlicher Rahmenbedingungen unterliegt die Biogasproduktion zurzeit weitreichenden Veränderungen. So wird in erheblichem Maße in das Repowering der Bestandsanlagen investiert, um deren Wirtschaftlichkeit zu verbessern. Verbreitet sind dabei der Ausbau der Wärmenutzung, die für einen wirtschaftlich erfolgreichen Anlagenbetrieb an Bedeutung gewonnen hat, die Erhöhung der BHKW-Leistung sowie die Errichtung von Satelliten-BHKWs an Orten, an denen die anfallende Wärme sinnvoll verwertet werden kann. Darüber hinaus haben sich inzwischen rund 60 % der Anlagenbetreiber ganz oder teilweise für die Direktvermarktung des erzeugten Stroms entschieden. Bereits 2014 war darüber hinaus ein starker Anstieg der Anmeldungen zur Flexibilisierung zu verzeichnen (LIEBETRAU, 2015; POSTEL et al., 2015).

Während in Deutschland der Biogasanlagenzubau in den letzten Jahren eine rückläufige Tendenz aufwies, war in Europa ein verstärkter Ausbau zu beobachten. Im Jahr 2010 gab es europaweit etwa 10 400 Biogasanlagen mit einer installierten Leistung von rund 4 100 MW_{el}. Bis zum Jahr 2014 ist die Anzahl der Anlagen um rund 65 % auf 17 240 und die installierte Leistung auf rund 8 340 MW_{el} angestiegen (Abbildung 6) (EBA, 2015). Dabei hat die Biogaserzeugung in den letzten zwei Jahren vor allem im Vereinigten Königreich sowie in Polen, Belgien und der Slowakei stark an Bedeutung gewonnen (Abbildung 7). Im Gegensatz zu Deutschland wird im Ausland die Mehrheit der Biogasanlagen jedoch als Biomethaneinspeiseanlagen betrieben (DANY, 2013).

4.2 Entwicklung der Biokraftstoffproduktion

Im Jahr 2014 wurden in Deutschland insgesamt 55 Mio. t Kraftstoffe (2013: 54 Mio. t; 2012: 53 Mio. t) verbraucht. Dabei entfielen 61,1 % auf Diesel- und 32,4 % auf Ottokraftstoffe. Der Anteil biogener Kraftstoffe lag bei 5,2 %; dies entsprach 3,6 Mio. t (FNR, 2015d). Die Werte stagnierten damit auf dem Vorjahresniveau (2013: 5,1 %; 3,45 Mio. t) (IWR, 2015). 2014 war Biodiesel in Deutschland mit 1,97 Mio. t (59,5 %) nach wie vor der wichtigste Biokraftstoff, gefolgt von Bioethanol mit 1,23 Mio. t (26,6 %), hydrierten Pflanzenölen mit 340 000 t (12,2 %),

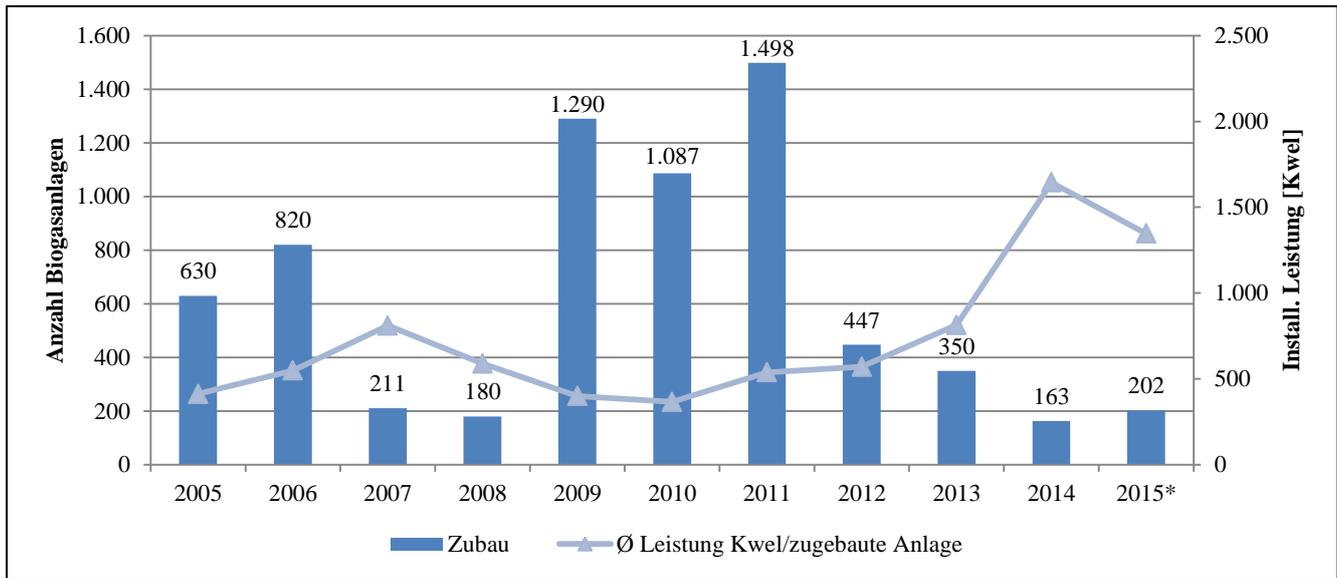
Biomethan mit 38 000 t (1,5 %) und Pflanzenölen mit 5 500 t (0,2 %) (FNR, 2015d).

Nach Angaben des Mineralölwirtschaftsverbandes (MWV) wird sich der inländische Kraftstoffbedarf aufgrund des Einsatzes effizienterer Technologien und neuer Verkehrskonzepte bis zum Jahr 2025 von 55 Mio. t auf ca. 44 Mio. t verringern. Ein deutlicher Rückgang wird dabei für den Bereich der Ottokraftstoffe prognostiziert, deren Verbrauch bis 2025 auf 12,4 Mio. t Ottokraftstoffe zurückgehen soll; gegenüber 2010 entspricht dies einem Rückgang um ca. 37 %. Für den Dieselmotorkraftstoffabsatz wird er-

wartet, dass sich der Verbrauch von 34 Mio. t (2015) bis 2025 auf ca. 31,7 Mio. t vermindern wird (FNR, 2015d).

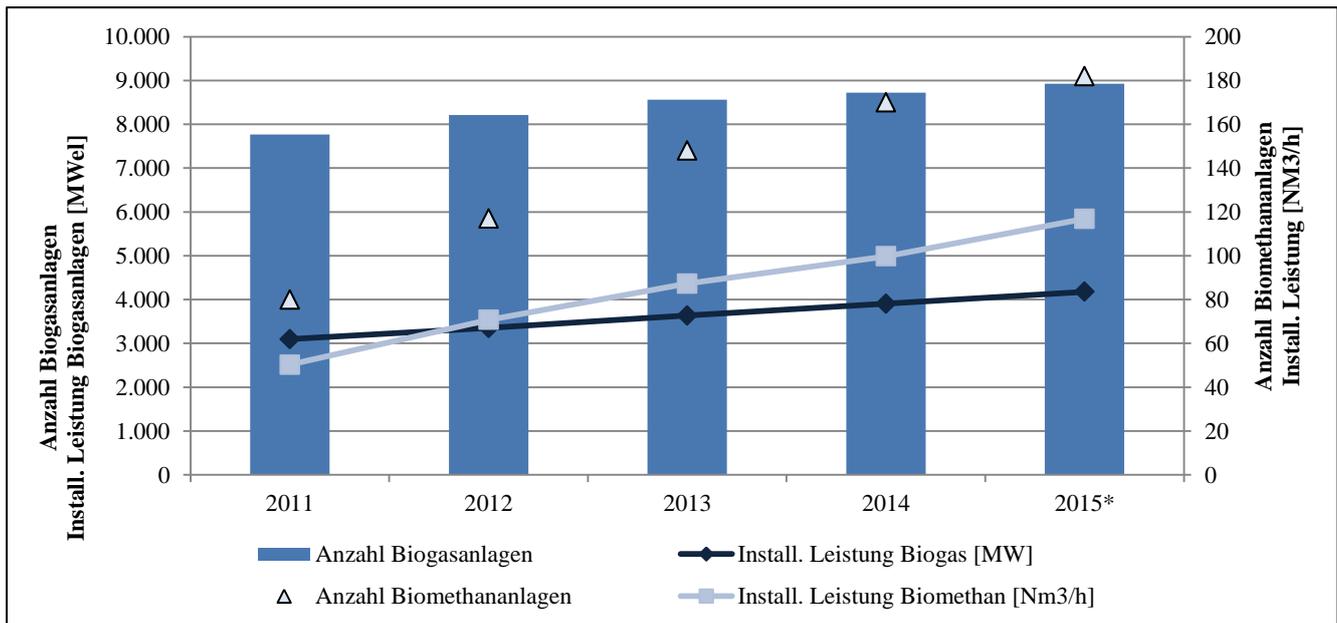
Nach wie vor sind für die Entwicklung der deutschen Biokraftstoffindustrie die – von wissenschaftlicher Seite zum Teil heftig kritisierten (PUTTKAMMER und GRETHE, 2015) – rechtlichen und politischen Rahmenbedingungen entscheidend. Eine wichtige Weichenstellung erfolgte 2010, als die Bundesregierung beschloss, die Förderung von Biokraftstoffen von einer steuerlichen auf eine ordnungspolitische Förderung umzustellen und eine gesetzliche Bio-

Abbildung 4. Zahl und durchschnittliche Größe neu errichteter Biogasanlagen in Deutschland



Quelle: eigene Darstellung nach FvB (2015)

Abbildung 5. Entwicklung der Zahl und der installierten Leistung der Biogasanlagen in Deutschland

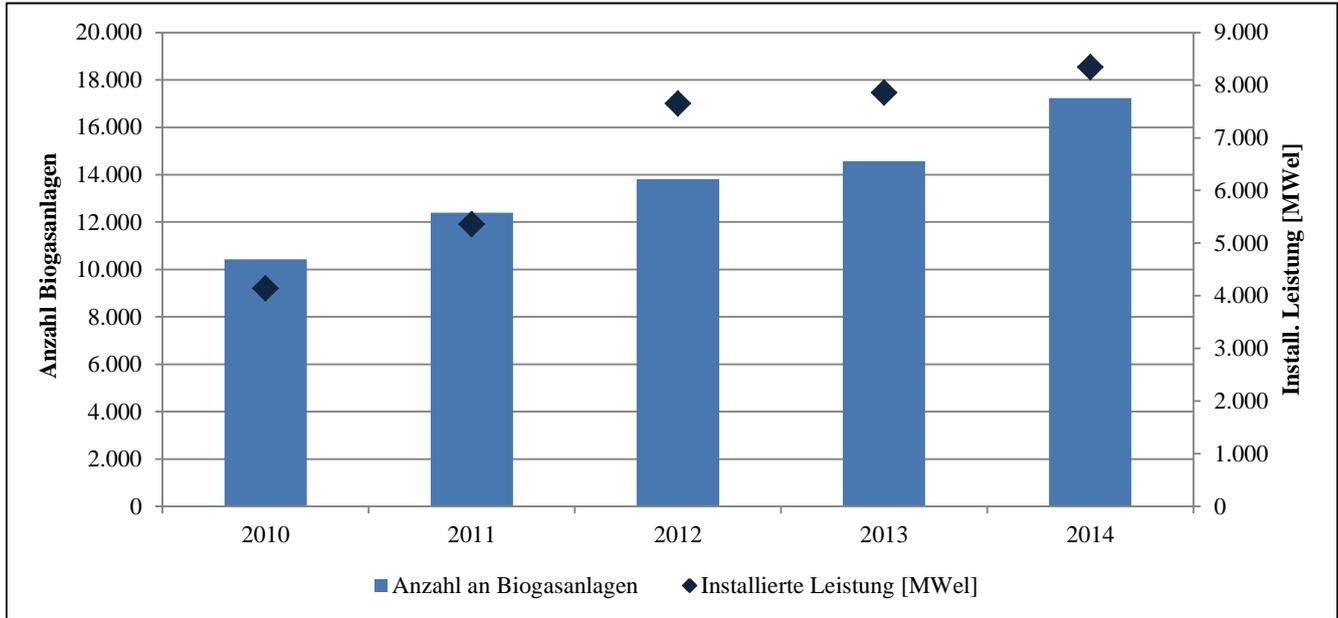


Quelle: eigene Berechnungen nach FNR (2015c) und FvB (2015)

kraftstoffquote einzuführen (FNR, 2015e). Gleichzeitig wurde die Mineralölwirtschaft verpflichtet, zu einem bestimmten Anteil Biokraftstoffe zu verwenden (KRÖGER et al., 2015). Dieser Anteil lag bis einschließlich 2014 bei 6,25 %. 2015 wurde der gesetzliche Rahmen erneut geändert. Die bisherige Biokraft-

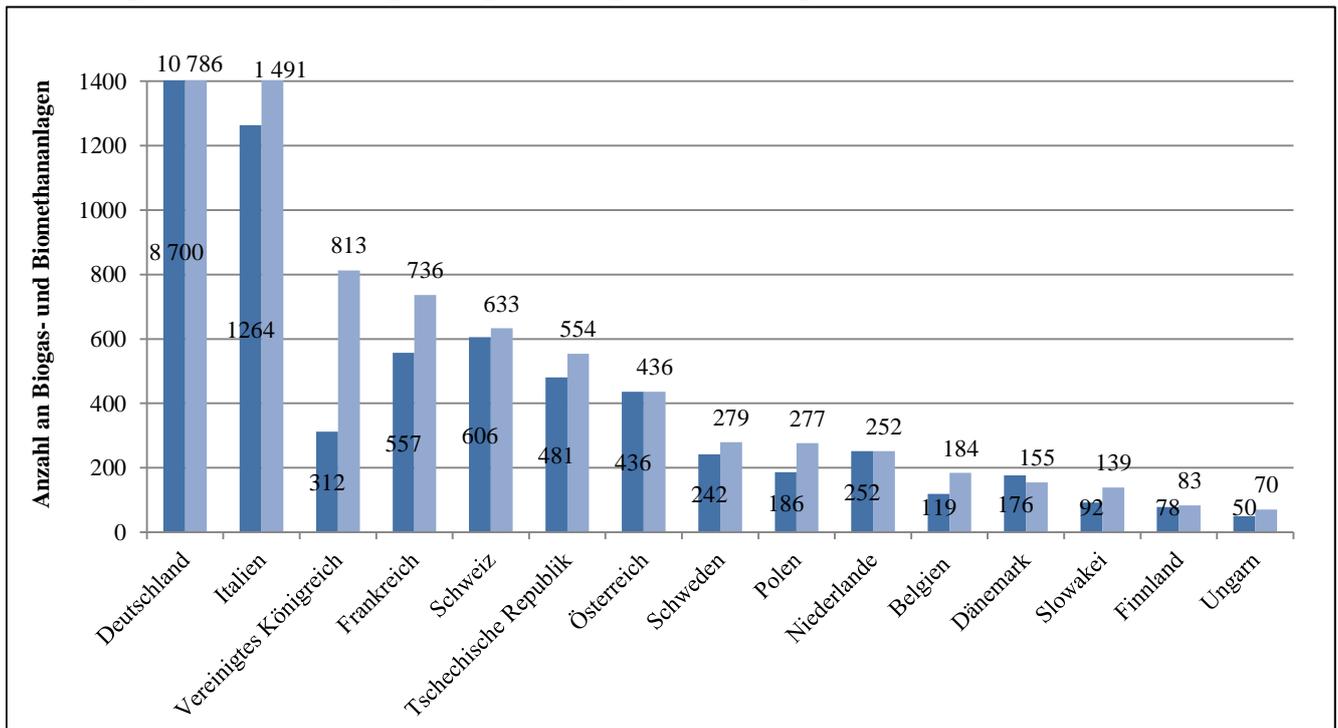
stoffquote wurde durch eine Treibhausgasquote (THG-Quote) (§§ 37a ff. BImSchG) ersetzt. Diese verpflichtet die Kraftstoffhersteller, in 2016 3,5 % CO₂ (ab 2017 4 %, ab 2020 6 % jährlich) einzusparen. Dies soll in erster Linie durch den Einsatz von Biodiesel und Bioethanol erreicht werden (VDB, 2015),

Abbildung 6. Entwicklung der Zahl an Biogasanlagen und der installierten Leistung in Europa (2010 bis 2014)



Quelle: EBA (2015)

Abbildung 7. Anzahl der Biogasanlagen in ausgewählten europäischen Ländern 2012 und 2014



Zahlen innerhalb der Säulen: Werte für 2012; Zahlen über den Säulen: Werte 2014; Deutschland anderer Maßstab
Quelle: eigene Darstellung nach EBA (2014; 2015)

schaftt aber gegenüber der vormaligen Biokraftstoffquote einen Anreiz dazu, Biokraftstoffe mit höherem CO₂-Reduktionspotenzial einzusetzen (FNR, 2015e).

Aufgrund der gesetzlichen Rahmenbedingungen ist die Biokraftstoffbranche in Deutschland durch eine wenig dynamische, zuletzt weitgehend stabile Entwicklung geprägt. Symptomatisch für die verhaltene Entwicklung sind die sowohl bei Biodiesel als auch bei Bioethanol nur teilweise ausgenutzten Produktionskapazitäten. So beläuft sich die Produktionskapazität der Biodieselindustrie in Deutschland auf ca. 4,8 Mio. t, die im Jahr 2014 nur zu ca. 84 % ausgelastet waren (VDB, 2015).

4.2.1 Biodieselproduktion

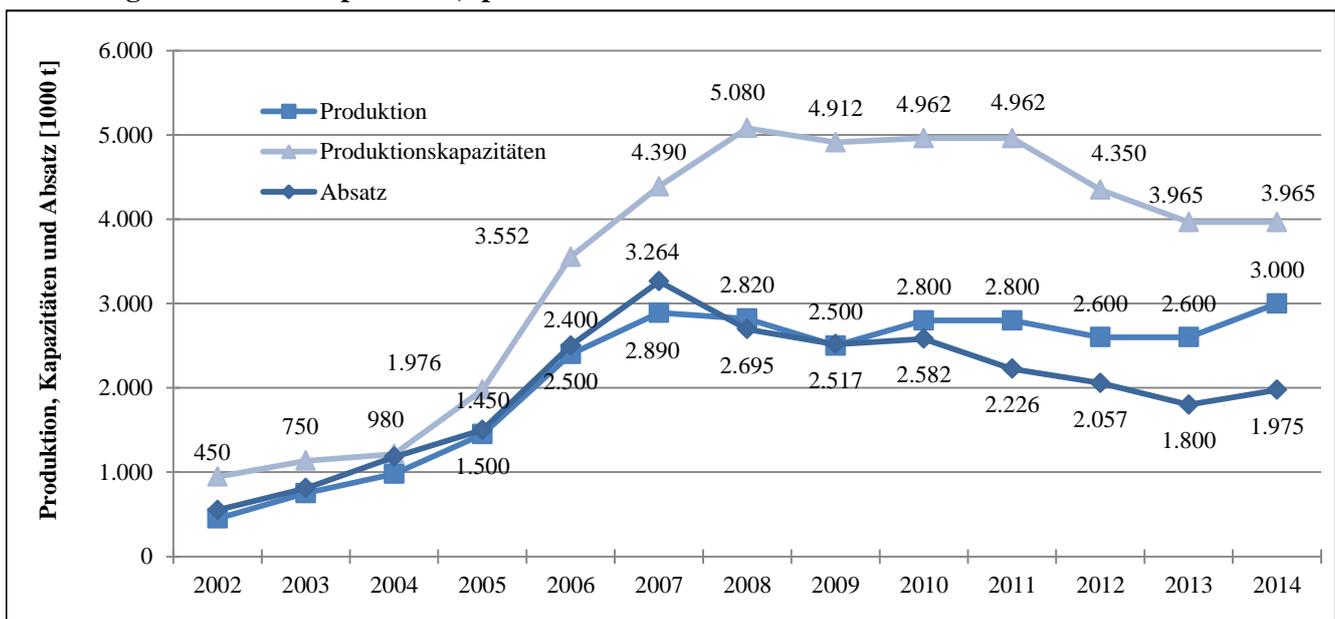
Gegenüber dem Vorjahr stieg die Biodieselproduktion in Deutschland 2014 von 2,6 Mio. t auf rund 3,0 Mio. t an (Abbildung 8) (FNR, 2015d; VDB 2015). Als Gründe für diesen Anstieg sind die vergleichsweise günstigen Rohstoffpreise für Raps in Wirtschaftsjahr 2013/14 und der gleichzeitige Wegfall von Biodieselimporten aus Argentinien und Indonesien zu nennen (USDA, 2015). Die Produktionskapazitäten verblieben mit 3,9 Mio. t auf dem Niveau des Vorjahres; die Kapazitätsauslastung der Biodieselanlagen betrug dementsprechend ca. 84 % (VDB, 2015). Der Biodieselabsatz im Inland stieg leicht von rd. 1,8 Mio. t (2013) auf 1,9 Mio. t (2014) (FNR, 2015d). Für die Branche stellt Rapsöl dabei den bedeutendsten Rohstoff dar. In der Vergangenheit betrug die Rapsölanteil in der Rohstoffzusammensetzung jeweils zwischen

64 % und 87 %. Abfallbasierte Rohstoffe, wie z.B. Altspisefette, Fettsäuren und tierische Fette, machen immerhin knapp 17 % der eingesetzten Rohstoffe aus (VDB, 2015). Angesichts steigender, bereits ab 2017 in der EU geltender Anforderungen an die Treibhausgasreduktion wird die Zukunft der Erzeugung von Biodiesel aus Rapsöl kritisch beurteilt (JUNKER et al., 2015).

Die EU-28 ist nach wie vor der weltweit größte Hersteller von Biodiesel. Die Erzeugung einschließlich der Produktion hydrierter Pflanzenöle (HVO) belief sich in 2015 auf insgesamt rund 12,6 Mrd. l (USDA, 2015). Verbraucht wurden rd. 13,1 Mrd. l Biodiesel; der Import lag bei 0,65 Mrd. l, der Export bei 0,15 Mrd. l. Gegenüber dem Vorjahr sind Produktion, Absatz und Verbrauch insgesamt auf dem gleichen Niveau verblieben, auch, wenn in einzelnen EU-Mitgliedsstaaten, vornehmlich Deutschland, Spanien und den Beneluxstaaten, die Biodieselproduktion angestiegen ist. Der Anstieg in den Benelux-Ländern ist im Wesentlichen auf die Produktionsausweitung bei hydrierten Pflanzenölen zurückzuführen. Gegenüber 2013 hat sich die Kapazitätsauslastung von 45 % auf 50 % erhöht. Die EU-Biodieselproduktion wird in erster Linie durch den inländischen Verbrauch und die Importkonkurrenz bestimmt (USDA, 2015; VDB, 2015).

Schwerpunktländer der europäischen Biodieselproduktion sind nach wie vor Deutschland (2014: 3,4 Mrd. l), Frankreich (2014: 2,1 Mrd. l), Polen (2014: 0,8 Mrd. l), Spanien (2014: 0,8 Mrd. l), die Niederlande

Abbildung 8. Biodieselpkapazitäten, -produktion und -absatz in Deutschland



Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an FNR (2015d)

(2014: 0,7 Mrd. l) und Belgien (2014: 0,7 Mrd. l) (STATISTA, 2015; USDA, 2015). Es wird erwartet, dass die Biodieselproduktionskapazität in der EU in 2016 bei rund 25,2 Mrd. l verbleiben und nicht weiter ausgebaut werden wird (USDA, 2015).

Weltweit stieg die Biodiesel- einschließlich der HVO-Produktion in 2014 um ca. 4 % von 23,1 Mio. t auf 24,9 Mio. t an. Neben der EU mit 12,6 Mrd. l sind die USA mit 4,7 Mrd. l, Brasilien mit 3,4 Mrd. l, Indonesien mit 3,1 Mrd. l und Argentinien mit 2,9 Mrd. l die größten Biodieselproduzenten (Abbildung 9) (STATISTA 2015; USDA, 2015).

4.2.2 Bioethanolproduktion

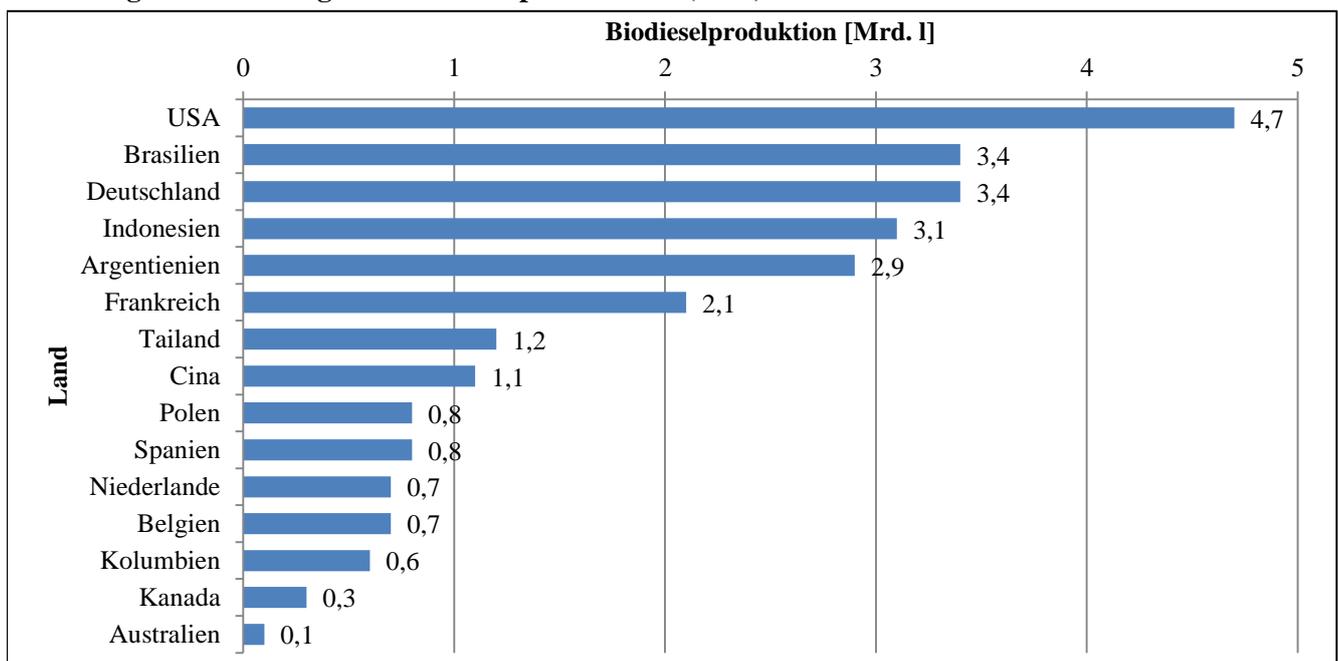
Die Produktion von Bioethanol wuchs in Deutschland in 2014 gegenüber 2013 um 8,2 % auf insgesamt 0,727 Mio. t. Die Produktion profitierte von der sehr guten Getreideernte in 2013/2014. Die Menge des aus Futtergetreide hergestellten Bioethanols stieg um 17,5 % auf 0,476 Mio. t weiter an. Dagegen ging die Produktion aus Industrierüben im Vergleich zum Vorjahr zurück und erreichte nur noch 0,243 Mio. t (-9,1 %). Insgesamt wurden 2014 rund 2,6 Mio. t Industrierüben und 1,5 Mio. t Futtergetreide zu Bioethanol verarbeitet. 8 205 t Bioethanol wurden aus sonstigen Stoffen, bspw. Rückständen der Lebensmittelindustrie, hergestellt (BDBE, 2015; FNR, 2015a).

Der Bioethanolverbrauch belief sich im Jahr 2014 in Deutschland auf 1,23 Mio. t. Gegenüber den 1,21 Mio. t des Vorjahres konnte somit ein Anstieg

um 1,9 % verzeichnet werden Die wichtigste Verwendung von Bioethanol in Deutschland ist die Beimischung zu Benzin für die Sorten E5 und E10, gefolgt von der Verwendung als Benzinadditiv ETBE (Ethyl-Tertiär-Butylether). Die Menge des zur Beimischung verwendeten Bioethanols stieg insgesamt um 4 % auf 1,08 Mio. t an. Vor allem die Kraftstoffsorte Super E10 wurde im Vergleich zum Vorjahr häufiger getankt; der Verbrauch betrug etwa 2,8 Mio. t (+0,6 % bzw. +55 514 t) (BDBE, 2015). Der ETBE-Verbrauch sank von 154 481 t auf 138 775 t (-10,2 %). Der Absatz der Kraftstoffsorte E85 war 2013 erstmals rückläufig und ging 2014 weiter von 13 588 t auf 10 243 t zurück (-24,6 %) (BDBE, 2015; FNR, 2015a). 2016 entfällt die steuerliche Vergünstigung für den Bioethanolanteil in E85; die Aussichten für diese Kraftstoffsorte sind daher höchst unsicher.

Aufgrund der Erweiterung des Spektrums der verfügbaren Ausgangsstoffe und der Erhöhung der ökologischen Nachhaltigkeit gehen Experten trotz des geringeren Absatzes von Ottokraftstoffen bis 2025 dank des wachsenden Absatzes von Super E10 und steigender Beimischungsanteile in allen Benzinsorten davon aus, dass die Ethanolproduktion in Deutschland weiter ausgedehnt werden wird (BDBE, 2015; F.O. LICHT, 2013) und sich der Bioethanolmarkt positiv entwickeln wird (EUROSERVER, 2015). Einen günstigen Einfluss hätten auch wieder anziehende Erdölpreise und eine dadurch bedingte steigende Wettbewerbsfähigkeit von Bioethanol gegenüber fossilem

Abbildung 9. Weltweit größte Biodieselpromotoren (2014)



Quelle: STATISTA (2015)

Benzin. Besonders positiv wirkte sich die im ersten Halbjahr 2015 auf 60 bis 70 % gestiegene CO₂-Minderung von Bioethanol auf die Erfüllung der gesetzlichen Pflicht zur Senkung des CO₂-Ausstoßes von Kraftstoffen aus (BDBE, 2015).

Die Bioethanolproduktion in der EU erreichte im Jahr 2014 laut USDA 5,9 Mrd. l (Abbildung 10) (USDA, 2015). Andere Quellen, zum Beispiel die Renewable Fuels Association, gehen dagegen nur von 5,5 Mrd. l aus (RFA, 2015). Frankreich ist mit 1,18 Mrd. l weiterhin größter Produzent vor Deutschland (1,0 Mrd. l), den Benelux-Staaten (1,0 Mrd. l), Ungarn (0,635 Mrd. l), Großbritannien (0,540 Mrd. l) und Spanien (0,455 Mrd. l). Gegenüber 2013 (5,5 Mrd. l) hat sich die produzierte Menge nicht wesentlich verändert (USDA, 2015). Laut Prognosen wird die Produktion 2016 aufgrund einer zunehmenden Nachfrage in vielen EU-Mitgliedstaaten weiter leicht ausgeweitet werden. Erste Schätzungen bewegen sich in Größenordnungen zwischen 5,9 Mrd. l (USDA, 2015) und 7,15 Mrd. l (F.O. LICHT, 2013). Die Kapazitäten zur Produktion von Bioethanol belaufen sich in der EU zurzeit auf 8,5 Mrd. l; sie sind demnach nur zu ca. 70 % ausgelastet. Die Produktionskapazitäten wurden seit 2012 nicht signifikant erhöht; auch 2016 wird nicht mit Anlagenerweiterungen gerechnet (EUROB-SERVER, 2015; USDA, 2015).

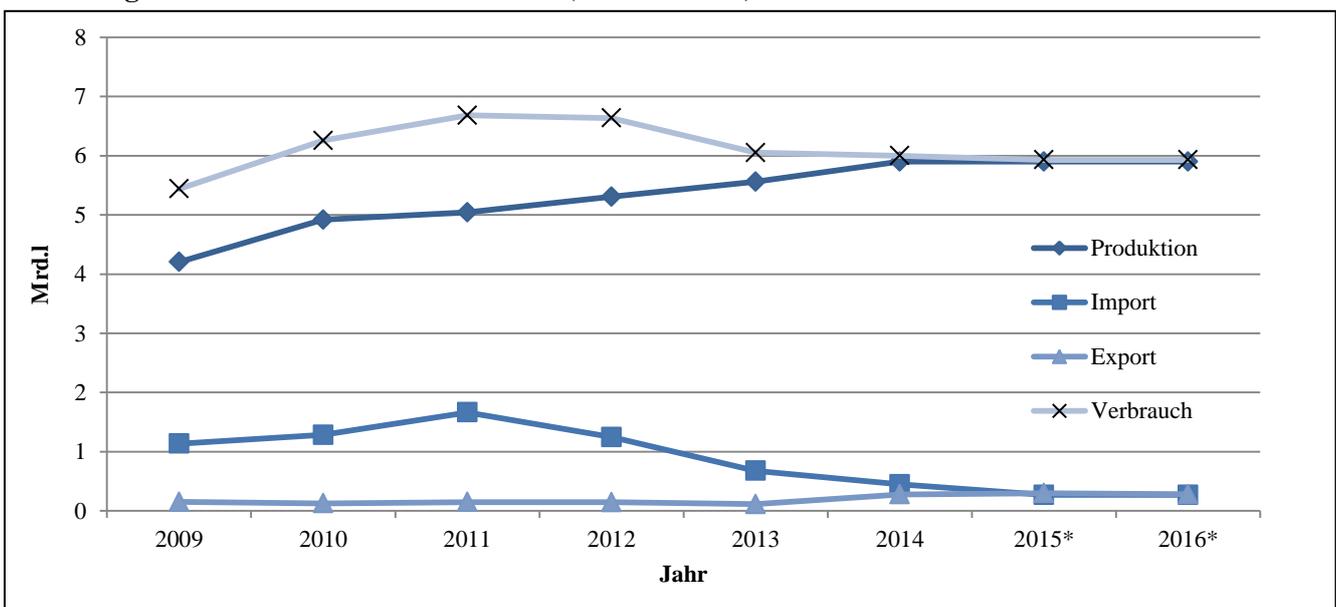
Die Welt-Ethanolproduktion lag in 2014 bei rd. 93,4 Mrd. l (Abbildung 11). Davon entfallen auf die USA 54,1 Mrd. l, auf Brasilien 23,4 Mrd. l, auf Europa 5,5 Mrd. l, auf China 2,4 Mrd. l und auf Kanada

1,9 Mrd. l (Abbildung 11; RFA, 2015). Zuletzt weiteten die USA aufgrund einer lang anhaltende Dürreperiode, stark gestiegener Preise für Agrarrohstoffe sowie niedriger Erdölpreise ihre Produktion nicht weiter aus. China ist mit einer Menge von 2,4 Mrd. l mittlerweile zum viertgrößten Ethanolproduzenten der Welt aufgestiegen. Ferner sind im asiatischen Raum noch Thailand mit 1,1 Mrd. l und Indien mit 0,6 Mrd. l bedeutende Erzeugerländer. Experten attestieren dem asiatischen Markt nach wie vor gute Wachstumschancen (USDA, 2015; OECD-FAO, 2014; 2015; F.O. LICHT, 2013). Aber auch für die Bioethanolproduktion in Südafrika und einigen lateinamerikanischen Ländern, namentlich Brasilien, Mexiko, Argentinien und Kolumbien, wird für die nächsten Jahre ein deutliches Wachstum vorausgesagt (OECD-FAO, 2015). Trotzdem werden laut aktuellen Prognosen bis 2020 die USA vor Brasilien größter Produzent und Nachfrager von Ethanol bleiben (OECD-FAO, 2014).

4.3 Strom- und Wärmeerzeugung aus biogenen Festbrennstoffen

Biogene Festbrennstoffe als eine Form der erneuerbaren Energien sind abzugrenzen von fossilen Festbrennstoffen wie Torf, Braun- und Steinkohle. Sämtliches organisches Material, das oberirdisch wächst oder aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen wird und somit nicht zur fossilen Biomasse zählt sowie im Moment der Verbrennung oder Vergasung zur energetischen Nutzung in fester Form vorliegt, wird den biogenen Festbrennstoffen zugerechnet. Es kann sich

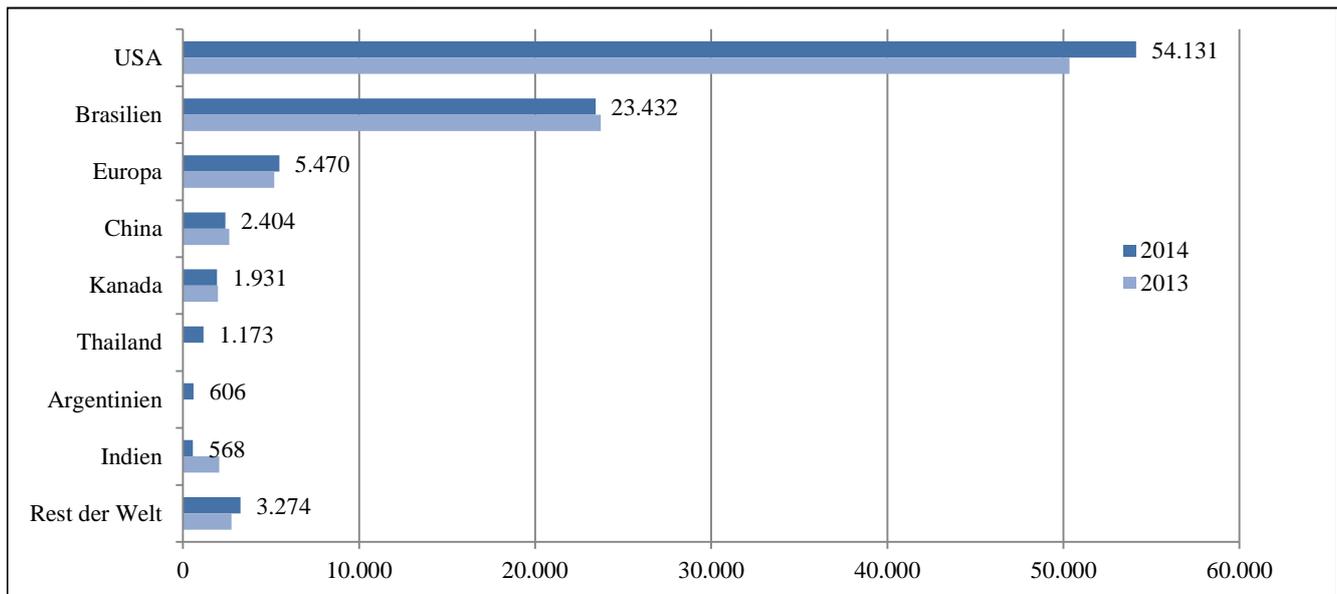
Abbildung 10. Der Ethanolmarkt in der EU (2009 bis 2016)



*vorläufige Schätzung

Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an USDA (2015)

Abbildung 11. Globale Ethanolproduktion (2013 und 2014; Mio. l)



Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an RFA (2015)

dabei sowohl um Haupt- als auch um Neben- bzw. Restprodukte handeln. Der wichtigste biogene Festbrennstoff ist Holz aus forst- und landwirtschaftlicher Produktion; in nicht geringem Umfang wird aber auch Bau-, Industrie- und Verpackungsholz zur Energiegewinnung eingesetzt. Weitere biogene Festbrennstoffe sind Stroh und Strohpellets, Olivenpellets aus Olivenkernen und -trester sowie Bagasse, die bei der Zuckerrafinierung aus Zuckerrohr anfällt. Klassifiziert und eingeordnet werden biogene Festbrennstoffe der Herkunft nach in Halmgut und krautartige Brennstoffe, Biomasse von Früchten, holzartige Brennstoffe sowie definierte und undefinierte Mischungen (HARTMANN, 2005; KALTSCHMITT et al., 2009).

Die Stromerzeugung mittels biogener Festbrennstoffe erfolgt durch Biomassevergasung, wodurch der Festbrennstoff in einen gasförmigen Sekundärbrennstoff transformiert wird, der anschließend zur Erzeugung von elektrischer Energie eingesetzt wird, oder durch den Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung. Bei der Kraft-Wärme-Kopplung werden simultan elektrischer Strom sowie Nah- bzw. Fernwärme für Heizzwecke oder Prozesswärme für Produktionsprozesse gewonnen. Mittels der Kraft-Wärme-Kopplung kann bei optimaler Ausnutzung ein Gesamtwirkungsgrad von 80 bis 90 % erreicht werden. Biogene Feststoffe bilden die Rohstoffgrundlage für ca. 8 % der Gesamtstrombereitstellung durch erneuerbare Energien und für etwa 27 % der Stromerzeugung aus Biomasse (SCHAUMANN und SCHMITZ, 2010; BMWI, 2014).

Eine höhere Bedeutung als für die Stromerzeugung haben biogene Festbrennstoffe für die Bereitstellung von Wärme. An der gesamten Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien haben biogene Festbrennstoffe in Deutschland einen Anteil von ca. 77 % (BMWi, 2014). Ein Großteil der organischen Feststoffe wird in den insgesamt über 14 Mio. privaten Einzelraumfeuerstätten und Holzzentralheizungen verfeuert; der kleinere Teil wird in Gewerbe- und Industrieanlagen verheizt. Die Menge der in privaten Haushalten eingesetzten biogenen Brennstoffe kann nicht exakt beziffert werden, da der private Holzeinschlag und die privaten Lagermengen nur schwer erfasst werden können (BUNZEL et al., 2011). Die regionale Verteilung der Feuerstätten ist recht unterschiedlich; privat genutzte Einzelraumfeuerstätten und Holzzentralheizungen sind besonders oft in den süddeutschen Bundesländern zu finden, während leistungsstarke Biomasseheizkraftwerke, die mit biogenen Festbrennstoffen befeuert werden, im gesamten Bundesgebiet installiert sind. Biomasseheizkraftwerke, die auf Basis der Kraft-Wärme-Kopplung zwei Energieformen bereitstellen, sind in der Regel wärmegeführt, sodass die Menge des produzierten Stroms vom Wärmebedarf abhängig ist. Die Biomasseheizkraftwerke können daher nicht zur Stabilisierung des Stromnetzes beitragen. Zur Flexibilisierung der Biomasseheizkraftwerke werden deshalb zurzeit Wärmespeicherlösungen entwickelt, damit die Kraftwerke auch mit einem hohen Wirkungsgrad in Abhängigkeit der Residuallast gefahren werden können. In den Wärmespeichern wird die temporär über-

schüssige Wärme bei hoher Stromnachfrage gespeichert und bei Bedarf wieder freigegeben, wodurch die Biomasseheizkraftwerke grundlastfähig werden (KRAUTKREMER, 2015).

5 Biogaserzeugung und Abbau regionaler Nährstoffüberschüsse am Beispiel Niedersachsens

Das zwischenzeitlich dynamische Wachstum der Biogaserzeugung, die veränderten wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für die Anlagenbetreiber (GRONAUER et al., 2009; KOWALEWSKY, 2009; EMMANN und THEUVSEN, 2012) und die zunehmende gesellschaftliche Kritik an der Biogaserzeugung (ZSCHACHE et al., 2010; LINHART und DHUNGEL, 2013) haben dazu geführt, dass die Suche nach alternativen Gärsubstraten intensiviert wurde. Gleichzeitig hat sich aufgrund der zunehmenden regionalen Konzentration der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung die Problematik regionaler Nährstoffüberschüsse zugespitzt. Die anstehende Novellierung der Düngeverordnung lässt eine weitere Verschärfung der Nährstoffüberschussituation erwarten (WÜSTHOLZ, 2014). Vor diesem Hintergrund ist die Separation von Wirtschaftsdüngern in Nährstoffüberschussregionen verbunden mit dem Export der Güllefeststoffe in Nährstoffbedarfsregionen einschließlich der Vergärung in Biogasanlagen verstärkt ins Blickfeld gerückt. Durch den Export der mit Nährstoffen angereicherten Güllefeststoffe verlassen Nährstoffe die Überschussregionen, und durch die Vergärung der Güllefeststoffe steht den Biogasanlagenbetreibern eine günstige, gut vergärbare Alternative zur Maissilage zur Verfügung. Im Folgenden wird am Beispiel Niedersachsens analysiert, inwiefern durch den Export von Güllefeststoffen aus Nährstoffüberschuss- in Nährstoffbedarfsregionen ein Beitrag zur Reduzierung regionaler Nährstoffüberhänge geleistet werden kann.

Die Nährstoffberichte 2012/13 sowie 2013/14 der Landwirtschaftskammer Niedersachsen verdeutlichen, dass insbesondere in den veredlungsstarken Landkreisen im Nordwesten Niedersachsens Nährstoffüberschüsse auftreten. Problematisch ist dabei vor allem der Phosphorsaldo (LWK NIEDERSACHSEN, 2015). Anders als in den Veredlungsregionen sind die Nährstoffbilanzen in den Milchvieh- und Mischregionen ausgeglichen und in den Ackerbauregionen sogar negativ. Die ungleiche Verteilung der Nährstoffe bie-

tet somit ein bisher nur wenig genutztes Potenzial zum überregionalen Nährstoffausgleich.

Zur Abschätzung des Potenzials zur Verbringung von Wirtschaftsdüngern sind zunächst für die Landkreise mit Nährstoffüberschuss die absoluten jährlichen Phosphor- und Stickstoffsalden aus dem Wirtschaftsdüngeranfall aller Tierarten und den Gärresten sowie dem Phosphorbedarf zu errechnen. Bereits realisierte Im- und Exporte von Wirtschaftsdüngern werden nicht berücksichtigt, da angenommen wird, dass die energetische Nutzung mit anschließender Nährstoffnutzung in der Ackerbauregion nachhaltiger ist als die derzeitige Verbringung unter Entsorgungsgesichtspunkten. Bei der Berechnung der Phosphorsalden werden alle Landkreise berücksichtigt, die laut Nährstoffbericht der Landwirtschaftskammer Niedersachsen 2013/14 einen positiven Saldo aufweisen. Zur Berechnung der Stickstoffsalden werden die Landkreise angerechnet, die einen Wert von größer 160 kg Stickstoff/ha haben. Insgesamt ergibt sich somit in den betrachteten Landkreisen ein Gesamtsaldo von 33 721 t P₂O₅/a und 8 505 t N/a (Tabelle 2).

Landkreise mit Nährstoffbedarf sind vor allem in den Ackerbauregionen zu finden. Die zu diesen Regionen zählenden Landkreise sind in Tabelle 3 dargestellt. Entsprechend einem Auszug aus der Biogasinventur Niedersachsen wurden 2014 in den betrachteten Landkreisen 149 Biogasanlagen mit ausschließlicher NawaRo-Vergärung betrieben. Die gesamte Anlagenleistung dieser NawaRo-Anlagen beträgt 93 871 kW_{el}.

Im Folgenden wird für drei ausgewählte Wirtschaftsdünger das Phosphor- und Stickstoffreduktionspotential abgeleitet, das genutzt werden könnte, wenn in den 149 NawaRo-Biogasanlagen 33 % Güllefeststoffe vergoren würden. Zum einen soll das Potenzial der überregionalen Verbringung von Schweinegülle betrachtet werden (Variante 1). Schweinegülle weist einen deutlich höheren Phosphorgehalt als Rindergülle auf und ist daher in den Überschussregionen von größerer Bedeutung. Zum zweiten soll die Verbringung von Güllefeststoffen aus separierter Schweinegülle betrachtet werden. Güllefeststoffe weisen aufgrund ihres im Vergleich zur Rohgülle höheren Trockensubstanzgehaltes eine deutlich höhere Transportwürdigkeit auf. Dabei wird zwischen Schweinegüllefeststoffen aus der Separation mittels einer Pressschnecke (Variante 2) und einer Dekanterzentrifuge (Variante 3) unterschieden, da letztere deutlich höhere Phosphorabscheidegrade aufweisen.

Tabelle 2. Landkreise mit Phosphor- und Stickstoffüberschüssen (Wirtschaftsdünger und Gärreste)

Phosphat	Bedarf nach Kulturen und LF t P ₂ O ₅ /a	Anfall aus WD aller Tierarten t P ₂ O ₅ /a	Anfall Gärreste ohne WD Input t P ₂ O ₅ /a	Anfall aus WD aller Tierarten und Gärreste ohne WD-Input t P ₂ O ₅ /a	Saldo t P ₂ O ₅ /a
Cloppenburg	-7 477	15 443	1 591	17 034	9 557
Emsland	-12 861	17 279	2 135	19 414	6 553
Grafschaft Bentheim	-4 858	6 595	631	7 226	2 368
Oldenburg (Landkreis)	-5 074	5 850	1 181	7 031	1 957
Osnabrück (Landkreis)	-9 021	13 239	848	14 087	5 066
Vechta	-4 821	12 518	523	13 041	8 220
Summe	-71 966	90 079	12 139	102 218	33 721
Stickstoff	Bedarf nach Kulturen und LF t N/a	Anfall aus WD aller Tierarten t N/a	Anfall Gärreste ohne WD Input t N/a	Anfall aus WD aller Tierarten und Gärreste ohne WD-Input t N/a	Saldo t N/a
Cloppenburg	-13 947	15 284	2 318	17 602	3 655
Vechta	-9 245	13 333	762	14 095	4 850
Summe	-42 566	38 916	3 787	42 703	8 505

Quelle: eigene Berechnungen und Darstellung nach GUENTHER-LÜBBERS et al. (2015) und LWK NIEDERSACHSEN (2015)

Tabelle 3. Zahl der NawaRo-Biogasanlagen in niedersächsischen Ackerbauregionen

Landkreis	Anzahl Stück	Anlagenleistung kW _{el}
Braunschweig	0	0
Celle	31	15 999
Gifhorn	4	3 250
Goslar	2	1 130
Göttingen	7	2 085
Hamelnd-Pyrmont	6	5 440
Harburg	6	3 470
Heidekreis	3	1 393
Helmstedt	5	4 041
Hildesheim	6	3 366
Holz Minden	3	1 438
Lüchow-Dannenberg	4	4 110
Lüneburg	7	7 410
Northeim	9	6 226
Peine	10	7 967
Region Hannover	25	13 390
Schaumburg	2	90
Uelzen	11	7 350
Wolfenbüttel	6	3 116
Wolfsburg	2	2 600
Gesamt	149	93 871

Quelle: eigene Darstellung nach GUENTHER-LÜBBERS et al. (2015) auf Basis der Biogasinventur Niedersachsen 2014

Die Ergebnisse der Berechnungen sind zusammenfassend in Tabelle 4 dargestellt. Bei einem Einsatz von 33 % Schweinegülle in den 149 NawaRo-Biogasanlagen in den niedersächsischen Ackerbauregionen würde dies einem jährlichen Bedarf von 879 102 t Schweinegülle entsprechen. Werden 33 % Schweinegüllefeststoffe aus der Pressschneckenseparation eingesetzt, liegt der Bedarf bei 780 495 t/a. Bei Einsatz von 33 % Schweinegüllefeststoffen aus der Separation mittels einer Zentrifuge wäre ein Bedarf von 801 181 t/a die Folge. Unter der Annahme, dass Mais als Gärsubstrat substituiert wird, könnten je nach betrachtetem Szenario zwischen 93 871 t und 263 934 t Energiemais eingespart werden. Die für den Maisanbau benötigte Fläche reduzierte sich dementsprechend um 1 877 bis 6 598 ha/a. Durch den Export der Güllefeststoffe aus Landkreisen mit Nährstoffüberschuss und der Vergärung in den Ackerbauregionen würde sich der Nährstoffüberhang in den Überschussregionen vermindern. Für Stickstoff liegt das Reduktionspotenzial zwischen 52 % und 95 %, bei Phosphor zwischen 8 % und 39 %.

Insgesamt kann der Einsatz von Güllefeststoffen in Biogasanlagen in Ackerbauregionen einen erheblichen Beitrag zum überregionalen Nährstoffausgleich leisten. Aufgrund geringerer Investitions- und Verfahrenskosten ist die Gülleseparation mittels Pressschneckenseparatoren derzeit die gängigste Lösung.

Tabelle 4. Nährstoffreduktionspotential

		Einsatz Wirtschafts- dünger t/a	Einsparung		Äquivalent für Mineraldünger		Rest N-Überschuss ausgew. LK	Rest P-Überschuss ausgew. LK
			Substrat- menge t/a	landw. Fläche ha/a	N t/a	P ₂ O ₅ t/a	t/a	t/a
1	Schweinegülle	879 102	93 871	1 877	4 396	2 813	4 109 -52 %	30 908 -8 %
2	Schweinegülle (Pressschnecke)	780 495	263 934	6 598	6 946	6 400	1 559 -82 %	27 321 -19 %
3	Schweinegülle (Dekanterzentrifuge)	801 181	249 540	4 991	8 092	13 139	413 -95 %	20 582 -39 %

Quelle: eigene Berechnungen und Darstellung nach GUENTHER-LÜBBERS et al. (2015) und LWK NIEDERSACHSEN (2015)

Pressschneckenseparatoren erreichen jedoch im Vergleich zu Dekanterzentrifugen nur vergleichsweise geringe Nährstoffabscheidegrade in die Feststoffe, speziell bei Phosphor (BRAUCKMANN et al., 2014). Der überregionale Nährstoffausgleich erfordert jedoch hohe Nährstoff- und Energiedichten, um die Transportwürdigkeit der Güllefeststoffe zu steigern und den überregionalen Nährstoffausgleich herbeizuführen. Dies legt den Einsatz von Dekanterzentrifugen zur Gülleseparation nahe.

Um das sich aus der Gülleseparation ergebende Potenzial zum überregionalen Nährstoffausgleich zu nutzen, gilt es, das Verfahren für die Betriebe interessanter zu machen, etwa durch die finanzielle Förderung von Investitionen in Separations- und Transporttechniken. Angesichts der geringen Akzeptanz des Einsatzes von Güllefeststoffen in Biogasanlagen (KRÖGER und THEUVSEN, 2016) sind darüber hinaus finanzielle Anreize für Anlagenbetreiber zu erwägen. Zudem müssen die Abscheidegrade der Separationstechniken verbessert werden. Dies wird besonders deutlich, wenn man die Umsetzbarkeit der drei betrachteten Varianten überprüft. Um – wie in der dritten Variante – 13 139 t P₂O₅ zu exportieren und den Phosphorüberschuss in den Überschussregionen um 39 % zu reduzieren, bedürfte es bei Variante 1 der Verbringung von rund 4,1 Mio. t Schweinegülle. Um bei Variante 2 dieselbe Nährstoffmenge zu exportieren, würden aufgrund der geringeren Nährstoffabscheidegrade rund 1,6 Mio. t Schweinegüllefeststoffe benötigt. Diese müssten aus 23 Mio. t Schweinegülle separiert werden (Masseabscheidegrad 7 %; P₂O₅-Abscheidegrad 18 %; BRAUCKMANN und BROLL, 2013; BRAUCKMANN et al., 2014). In der dritten Variante wären immer noch 801 181 t Feststoffe pro Jahr und rund 6,2 Mio. t Schweinegülle (Masseabscheidegrad

13 %; P₂O₅-Abscheidegrad 68 %; BRAUCKMANN und BROLL, 2013; BRAUCKMANN et al., 2014) erforderlich. Der jährliche Schweinegülleanfall in Niedersachsen beträgt 14,1 Mio. t (LWK NIEDERSACHSEN, 2015). Vor diesem Hintergrund ist die Realisierung der zweiten Variante (Einsatz von Pressschneckenseparatoren) unmöglich und der dritten Variante (Dekanterzentrifugen) zumindest sehr ambitioniert. Eine Weiterentwicklung der Separationstechniken würde die zu separierenden und zu transportierenden Mengen deutlich reduzieren und zu einer höheren Wirtschaftlichkeit des Verfahrens beitragen.

Literatur

- AEE (Agentur für Erneuerbare Energien) (2015a): Umsatz aus der Errichtung von Erneuerbare-Energien-Anlagen in Deutschland. URL: <http://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken/umsaetze-aus-dem-betrieb-von-erneuerbare-energien-anlagen-in-deutschland> (Abrufdatum: 28.10.2015).
- AEE (Agentur für Erneuerbare Energien) (2015b): Metaanalyse „Nutzungspfade der Bioenergie für die Energiewende“. In: Agra-Europe 46/2015 (Dokumentation): 1-10.
- AGEE-STAT (Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien – Statistik) (2014): Rekord: Mehr als 25 Prozent erneuerbare Energien im deutschen Strommix. URL: <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiedaten-und-analysen/arbeitsgruppe-erneuerbare-energien-statistik,did=629806.html> (Abrufdatum: 03.11.2014).
- 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.
- BDBE (Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft) (2015): Branchendaten. URL: <http://www.bdbe.de/daten> (Abrufdatum: 28.12.15).
- BDEW (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.) (2015): Erneuerbare Energien und das EEG: Zah-

- len, Fakten, Grafiken (2015) – Anlagen, installierte Leistung, Stromerzeugung, EEG-Auszahlungen, Marktintegration der Erneuerbaren Energien und regionale Verteilung der EEG-induzierten Zahlungsströme. Berlin.
- BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft) (2014): Der Wald in Deutschland. Ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur. Bonn.
- (2015): Wärme aus Holz. URL: https://www.bmel.de/DE/Wald-Fischerei/03_Holz/_texte/WaermeAusHolz.html (Abrufdatum: 17.12.2015).
- BMJV (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz) (2015a): Energiesteuergesetz (EnergieStG) – § 50 Steuerentlastung für Biokraftstoffe. URL: http://www.gesetze-im-internet.de/energiestg/_50.html (Abrufdatum: 15.12.2015).
- (2015b): Gesetz zur Erhaltung des Waldes und zur Förderung der Forstwirtschaft (Bundeswaldgesetz – BWaldG). URL: <http://www.gesetze-im-internet.de/bwaldg/> (Abrufdatum: 15.12.2015).
- (2015c): Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz – BNatSchG). URL: http://www.gesetze-im-internet.de/bnatschg_2009/ (Abrufdatum: 16.12.2015).
- BMWl (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) (2014): Erneuerbare Energien in Zahlen – Nationale und internationale Entwicklung im Jahr 2013. Berlin.
- (2015a): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. URL: http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/Zeitreihen/zeitreihen.html (Abrufdatum: 28.10.2015).
- (2015b): Primärenergieverbrauch nach Energieträgern. URL: <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiedaten-und-analysen/Energiedaten/energiegewinnung-energieverbrauch.html> (Abrufdatum: 15.12.2015).
- BRAUCKMANN, H.-J. und G. BROLL (2013): Fünf verschiedene Separatoren im Vergleich: Leistung, Nährstoffabscheidung, Nährstoffgehalte der Produkte. Vortrag im Rahmen des Praxisforum „Gülleseparation“ am 2. Juli 2013, Rodenkirchen.
- BRAUCKMANN, H.-J., J. HERING und G. BROLL (2014): Nährstoffgehalte und Biogaserträge separierter Gülle. In: Guenther-Lübbbers, W., R. Kröger und L. Theuvsen (Hrsg.): Nährstoffmanagement von Wirtschaftsdüngern und Gärresten – Ökonomie, Ökologie, Technik und Logistik. Cuvillier Verlag, Göttingen: 43-56.
- BUNZEL, K., D. THRÄN, U. SEYFERT, V. ZELLER und M. BUCHHORN (2011): Forstwirtschaftliche Biomaspotenziale und Rohstoffpotenziale in Deutschland. In: BBSR und BBR (Hrsg.): Biomasse: Perspektiven räumlicher Entwicklung 5/6: 297-308.
- DANY, C. (2013): Im Westen Aufschwung, im Osten Hoffnung. Biomethan in Europa. In: Biogas Journal 1/2013: 144-149.
- DBFZ (Deutsches Biomasseforschungszentrum) (2014): Stromerzeugung aus Biomasse (Vorhaben IIa Biomasse). Zwischenbericht Juni 2014. DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum, Leipzig.
- EBA (European Biogas Association) (2014): Numbers of biogas plants in Europe in 2012. Informationsgrafik. URL: <http://european-biogas.eu/2013/12/20/eba-presents-latest-biogas-production-statistics-europe-growth-continuous/> (Abrufdatum: 12.11.2014).
- (2015): Numbers of biogas plants in Europe in 2014. Informationsgrafik. URL: <http://european-biogas.eu/wp-content/uploads/2015/12/Graph-1-Biogas-plants1.png> (Abrufdatum: 19.12.2015).
- EMMANN, C.H. 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 (2015): Biofuels Barometer. URL: <http://www.euroserver.org/biofuels-barometer-2015/> (Abrufdatum 2.01.2016).
- FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe) (2015a): Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe. URL: <https://mediathek.fnr.de/catalog/product/gallery/id/4/image/1435/> (Abrufdatum: 15.12.2015).
- (2015b): Maisanbau in Deutschland. URL: https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/rz/rz_fnr_4_0329_pressegrafik_mmaisamba_2015_3_.jpg (Abrufdatum: 15.12.2015).
- (2015c): Biogasanlagen zur Biomethan-Produktion. Informationsgrafik. URL: <https://mediathek.fnr.de/catalog/product/gallery/id/76/image/1422/> (Abrufdatum 19.12.2015).
- (2015d): Basisdaten Bioenergie Deutschland. URL: http://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Broschuere_Basisdaten_Bioenergie_2015_Web.pdf (Abrufdatum: 03.01.2016).
- (2015e): Das Biokraftstoffquotengesetz (BioKraftQug). URL: <http://bioenergie.fnr.de/rahmenbedingungen/gesetze-verordnungen-richtlinien/gesetzeslage/biokraftstoff-quotengesetz/> (Abrufdatum 28.12.2015).
- F.O. LICHT (2013): F.O. Licht's World Ethanol and Biofuels Report 12 (4), 21.10.2013.
- FvB (Fachverband Biogas e.V.) (2015): Branchenzahlen 2014 und Prognose der Branchenentwicklung 2015. URL: [http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/\\$file/15-11-19_Biogas%20Branchenzahlen-2014_Prognose-2015_final.pdf](http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/$file/15-11-19_Biogas%20Branchenzahlen-2014_Prognose-2015_final.pdf) (Abrufdatum: 19.12.2015).
- 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.
- GRONAUER, A., M. EFFENBERGER, R. KISSEL und H. BACKMAIER (2009): Tierhaltung und Biogas – Herausforderung und Chance für die Landwirtschaft. In: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.): Neue Perspektiven für Biogas?! 2. Auflage. Freising: 59-80.
- GUENTHER-LÜBBERS, W., S. HENKE, C. SCHAPER und L. THEUVSEN (2014): Der Markt für Bioenergie. In: German Journal of Agricultural Economics 63 (Supplement): 94-111.
- GUENTHER-LÜBBERS, W., M. GARBS, H.-J. BRAUCKMANN, J. GELDERMANN, G. BROLL und L. THEUVSEN (2015): Nachhaltige Biomassenutzung in Biogasanlagen auf der Grundlage der Wirtschaftsdüngerpotenziale in Niedersachsen „Bauernhof Niedersachsen“. Abschlussbericht.

- Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Hannover.
- HARTMANN, H. (2005): Produktion, Bereitstellung und Eigenschaften biogener Festbrennstoffe. In: FNR (Hrsg.): Leitfaden Bioenergie. Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. FNR, Gülzow: 52-90.
- IWR (Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien) (2015): Biokraftstoff-Potenziale zum Klimaschutz bleiben ungenutzt. URL: <http://www.iwr.de/news.php?id=29623> (Abrufdatum: 22.12.2015).
- JUNKER, F., A. GOCHT, S. MARQUARDT, B. OSTERBURG und H. STICHNOTHE (2015): Biofuel Sustainability Requirements – The Case of Rapeseed Biodiesel. In: German Journal of Agricultural Economics 64 (4): 274-285.
- KALTSCHMITT, M., H. HARTMANN und H. HOFBAUER (2009): Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. 2. Auflage. Springer, Heidelberg.
- KOWALEWSKY, H. H. (2009): Güllefeststoffe in Biogasanlagen einsetzen – Überprüfung der Separierung und Vergärung. Unveröffentlichter Bericht.
- KRAUTKREMER, B. (2015): FlexHKW – Flexibilisierung des Betriebs von Heizkraftwerken. Jahrestagung Deutsches Biomasseforschungszentrum, Leipzig. URL: https://www.energetischebiomassenutzung.de/fileadmin/user_upload/Downloads/WorWorksh/WS_Best_Practise_2014/9_WS_Best_Prac_FlexHKW_Krautkremer.pdf (Abrufdatum: 18.12.2015).
- KRÖGER, R., L. THEUVSEN und J.R. KONERDING (2014): Güllefeststoffe als Gärsubstrat für Biogasanlagen – Ergebnisse einer empirischen Erhebung unter Biogasanlagenbetreibern. In: Berichte über Landwirtschaft 92 (3).
- KRÖGER, R., J. LANGENBERG, W. GUENTHER-LÜBBERS, C. SCHAPER und L. THEUVSEN (2015): Der Markt für Bioenergie 2014. In: German Journal of Agricultural Economics 64 (Supplement): 71-90.
- KRÖGER, R. und L. THEUVSEN (2016): Identifikation von Einflussfaktoren auf die Nutzung von Güllefeststoffen als Gärsubstrat in Biogasanlagen. In: German Journal of Agricultural Economics 65 (im Druck).
- LIEBETRAU, J. (2015): Ein Jahr nach dem Schock. In: DLG-Mitteilungen 10/2015: 42-45.
- LINHART, E. und A.-K. DHUNGEL (2013): Das Thema Vermaisung im öffentlichen Diskurs. In: Berichte über Landwirtschaft 91 (2).
- LWK NIEDERSACHSEN (Landwirtschaftskammer Niedersachsen) (2015): Nährstoffbericht in Bezug auf Wirtschaftsdünger für Niedersachsen 2013/14. Oldenburg.
- OECD-FAO (2014): Agricultural Outlook 2014-2023. URL: <http://www.fao.org/3/a-i3818e.pdf> (Abrufdatum: 23.12.2015).
- (2015): Agricultural Outlook 2015-2025. URL: <http://www.fao.org/3/a-i4738e.pdf> (Abrufdatum: 23.12.2015).
- O’SULLIVAN M., U. LEHR und D. EDLER (2015): Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland und verringerte fossile Brennstoffimporte durch erneuerbare Energien und Energieeffizienz – Zulieferung für den Monitoringbericht 2015 – Stand: September 2014. Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, Berlin.
- O.V. (2014): Ökostrom-Beihilfen nähern sich 30-Milliarden-Grenze. URL: <http://www.welt.de/wirtschaft/energie/article134350079/Oekostrom-Beihilfen-naeheren-sich-30-Milliarden-Grenze.html> (Abrufdatum: 15.01.2016).
- (2015): RWE will Konzern aufspalten. URL: <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/rwe-115.html> (Abrufdatum: 15.01.2016).
- POSTEL, J., E. FISCHER und F. EHRENDREICH (2015): Was ist sinnvoll? In: DLG-Mitteilungen 10/2015: 46-49.
- 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.
- REN21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century) (2015): Renewables 2015 Global Status Report. Paris.
- RFA (Renewable Fuels Association) (2015): World Ethanol Production. URL: <http://www.ethanolrfa.org/resources/industry/statistics/> (Abrufdatum: 21.12.2015).
- SCHAUMANN, G. und K. W. SCHMITZ (2010): Kraft-Wärme-Kopplung. 4. Auflage. Springer, Berlin.
- STATISTA (2015): Biokraftstoffstatistiken. URL: <http://de.statista.com/> (Abrufdatum: 28.12.2015).
- URBAN, W. (2015): Perspektiven der Biogasnutzung vor dem Hintergrund der Instrumente zur Förderung Erneuerbarer Energien. URL: http://www.ecologic.eu/sites/files/presentation/2013/110411_VDI_Biogas_Urban_Ecologic.pdf (Abrufdatum: 18.12.2015).
- USDA (U.S. Department of Agriculture) (2015): GAIN Report. EU Biofuels Annual 2015. Nr. NL5028. URL: http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/-Biofuels%20Annual_The%20Hague_EU-28_7-15-2015.pdf (Abrufdatum: 21.12.2015).
- VDB (Verband der deutschen Biokraftstoffindustrie) (2015): Informationsblatt Biodiesel in Deutschland. URL: <http://www.biokraftstoffverband.de/index.php/biodiesel.html> (Abrufdatum: 21.12.2015).
- WOLF, K. (2015): Erneuerbaren-Anteil steigt 2015 voraussichtlich auf 33 Prozent. URL: <http://www.erneuerbareenergien.de/erneuerbaren-anteil-steigt-2015-voraussichtlich-auf-33-prozent/150/434/91426/> (Abrufdatum: 15.01.2016).
- WÜSTHOLZ, R.F. (2014): Ökologische Erfordernisse und ökonomische Auswirkungen ordnungsrechtlicher Veränderungen bezüglich des Nährstoffeinsatzes in der Landwirtschaft im Kontext der europäischen Nitrat- und Wasserrahmenrichtlinie. Dissertation, Universität Hohenheim.
- ZSCHACHE, U., S. VON CRAMON-TAUBADEL und L. THEUVSEN (2010): Öffentliche Deutungen im Bioenergiegediskurs. In: Berichte über Landwirtschaft 88 (3): 502-512.

Kontaktautor:

PROF. DR. LUDWIG THEUVSEN

Georg-August-Universität Göttingen,

Dept. für Agrarökonomie und Rurale Entwicklung

Platz der Göttinger Sieben 5, 37073 Göttingen

E-Mail: theuvsen@uni-goettingen.de