

RENEWS SPEZIAL

NR. 81 / AUGUST 2017

BIOGENE REST- UND ABFALLSTOFFE FLEXIBLER BAUSTEIN DER ENERGIEWENDE



AGENTUR FÜR
ERNEUERBARE
ENERGIEN
unendlich-viel-energie.de

AUTOREN

Jörg Mühlenhoff, Benjamin Dannemann
Redaktionsschluss: August 2017

ISSN 2190-3581

HERAUSGEGEBEN VON

Agentur für Erneuerbare Energien e. V.
Invalidenstraße 91
10115 Berlin
Tel.: 030 200535 30
Fax: 030 200535 51
E-Mail: kontakt@unendlich-viel-energie.de

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

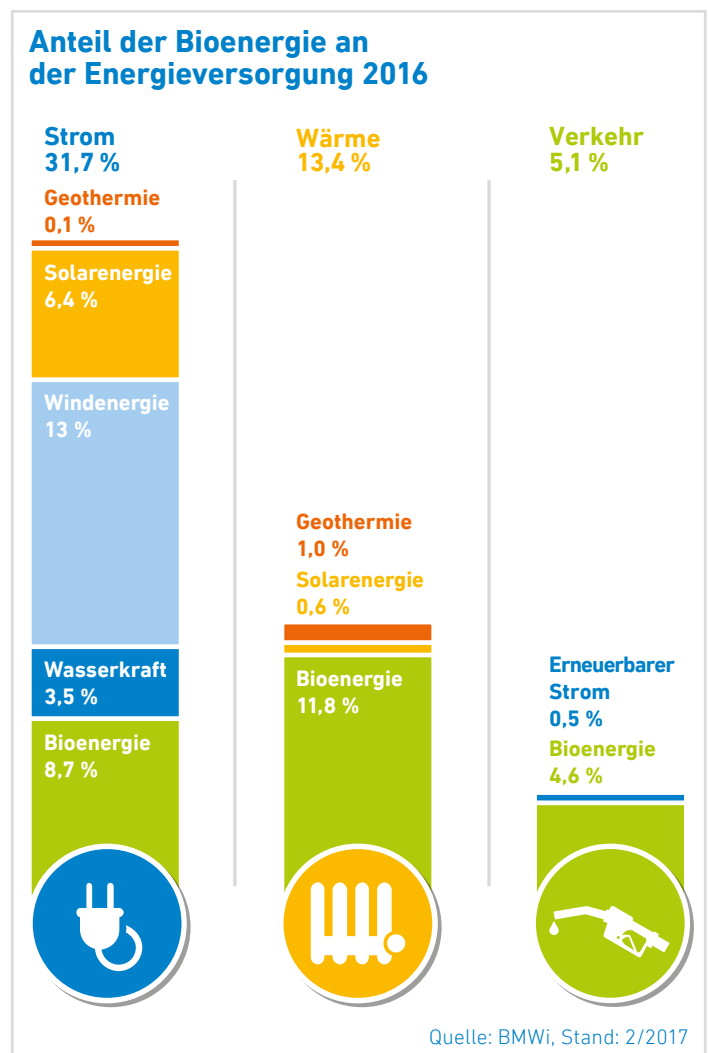
INHALT

1 Welche Rolle spielen Reststoffe derzeit bei der Energiewende?	4
2 Schützt die energetische Nutzung von biogenen Reststoffen wirklich das Klima?.....	5
3 Gibt es noch ungenutztes Potenzial an biogenen Rest- und Abfallstoffen in Deutschland?	7
3.1 Regionale Verteilung von Potenzialen biogener Reststoffe	9
4 Welche Nutzungswege für biogene Rest- und Abfallstoffe gibt es?.....	10
4.1 Holz- und Forstwirtschaftliche Reststoffe.....	10
4.2 Landwirtschaftliche Nebenprodukte	13
4.3 Siedlungsabfälle	15
5 Welche Rolle werden die Reststoffe in Zukunft bei der Energiewende spielen?.....	20
6 Literatur	22

1 WELCHE ROLLE SPIELEN RESTSTOFFE DERZEIT BEI DER ENERGIEWENDE?

Mit Bioenergie wird vor allem der Anbau von Energiepflanzen assoziiert, also Pflanzen, die sich dafür eignen, Strom, Wärme oder Kraftstoffe zu gewinnen. Ebenso bedeutend sind als Rohstoff für Bioenergie jedoch Reststoffe. Biogene Reststoffe stammen nicht von Energiepflanzen, die mit dem Hauptziel der Energienutzung angebaut worden sind, sondern sind bei einer anderen, vorherigen Nutzung von Biomasse angefallen. Dies kann bei der Holzernte und Holzverarbeitung der Fall sein, bei der Pflege von Parks und Gärten oder bei der Produktion von Nahrungsmitteln, um nur wenige Beispiele zu nennen.

Was auf den ersten Blick als Abfallprodukt erscheint, ist aber ein wertvoller Rohstoff, der auch energetisch genutzt werden kann. Reststoffe sind die zweite Säule der Bioenergie neben Energiepflanzen. Und die Bioenergie ist eine entscheidende Säule in der derzeitigen Energieversorgung aus Erneuerbaren Energien. Bioenergie deckte im Jahr 2016 8,7 Prozent des deutschen Strombedarfs, 11,8 Prozent des Wärmebedarfs und 4,6 Prozent des Energiebedarfs im Verkehr.¹ Heimische Bioenergieträger lieferten 2016 den mit Abstand größten Beitrag zur erneuerbaren Energieversorgung. Etwa die Hälfte der Bioenergie stammt aus biogenen Rest- und Abfallstoffen, ein Viertel aus Energiepflanzen und der Rest aus Energieholz. Damit sind Reststoffe schon heute ein zentraler Baustein der Energiewende in Deutschland. Das vorliegende RENEWS SPEZIAL erklärt die Klimaschutzwirkung der biogenen Reststoffe, stellt die verschiedenen Stoffe, ihre Nutzungspfade und Potenziale vor und wirft ein Schlaglicht auf die Rolle der Reststoffe im zukünftigen Energiesystem.



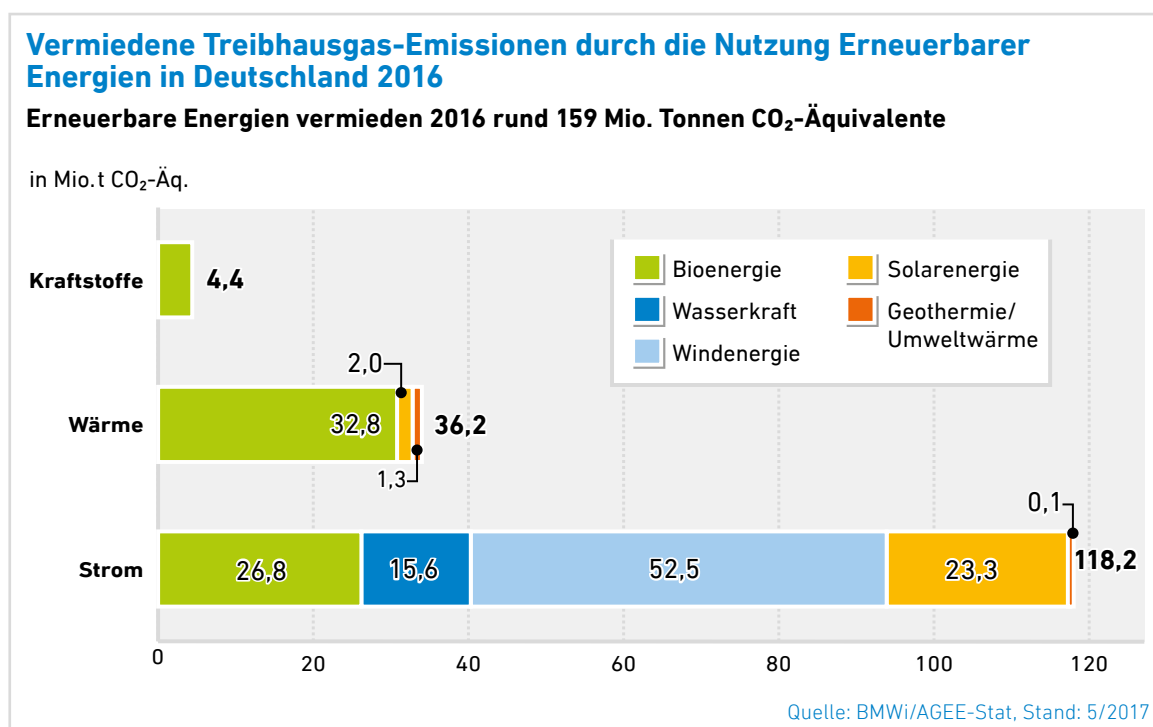
¹ BMWi 2017.

2 SCHÜTZT DIE ENERGETISCHE NUTZUNG VON BIOGENEN RESTSTOFFEN WIRKLICH DAS KLIMA?

In Deutschland leistet die Nutzung von biogenen Reststoffen bereits einen großen Beitrag zum Klimaschutz. Wird beispielsweise Restholz statt Erdöl oder Erdgas in der Wärmeversorgung eingesetzt, werden die Treibhausgasemissionen um bis zu 90 Prozent reduziert.²

Wird Gülle zu Biogas vergoren und in Blockheizkraftwerken zu Strom und Wärme umgewandelt, ist der Klimaschutzbeitrag sogar noch größer: Neben der CO₂-Reduktion lassen sich so auch die besonders schädlichen Methanemissionen vermeiden, die sonst bei Lagerung und Ausbringung von Gülle und Stallmist freigesetzt werden. Das Treibhausgaspotenzial von Methan ist 25mal stärker als bei CO₂.

Bioenergie vermied durch die Nutzung von Reststoffen und Energiepflanzen insgesamt 64 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente. Im Wärme- und im Verkehrssektor leistet die Bioenergie nahezu den kompletten Klimaschutzbeitrag. Der Beitrag der Bioenergie zum Klimaschutz kann deutlich gesteigert werden, wenn das gesamte Reststoffpotenzial für die Strom- und Wärmeversorgung erschlossen wird.³



Diese Ergebnisse sind grundsätzlich auch auf die weltweite Nutzung von Reststoffen übertragbar. Besonders groß ist das Methanminderungspotenzial durch die energetische Nutzung von Deponiegasen. Nach Schätzungen entstehen 8 bis 12 Prozent der globalen Treibhausgasemissionen in Entwicklungs- und Schwellenländern bei abfallwirtschaftlichen Prozessen. Eine wesentliche Ursache sind Methanemissionen aus der Ablagerung unbehandelter Siedlungsabfälle, die in diesen Ländern sehr hohe Anteile abbaubarer organischer Stoffe enthalten.⁴

² SRU 2011.

³ BMWi 2017.

⁴ SRU 2011.

Je nach Stoff, unterscheiden sich die Klimaschutzeffekte. So muss bei der Nutzung von Stroh eine angepasste Verbrennungstechnologie eingeführt werden, die erhöhte Feinstaubemissionen verhindert. Auch bei der Verbrennung von Altholz, das zum Beispiel durch Lacke oder andere Stoffe vorbehandelt und belastet ist, müssen Emissionen von Luftschadstoffen vermieden werden.

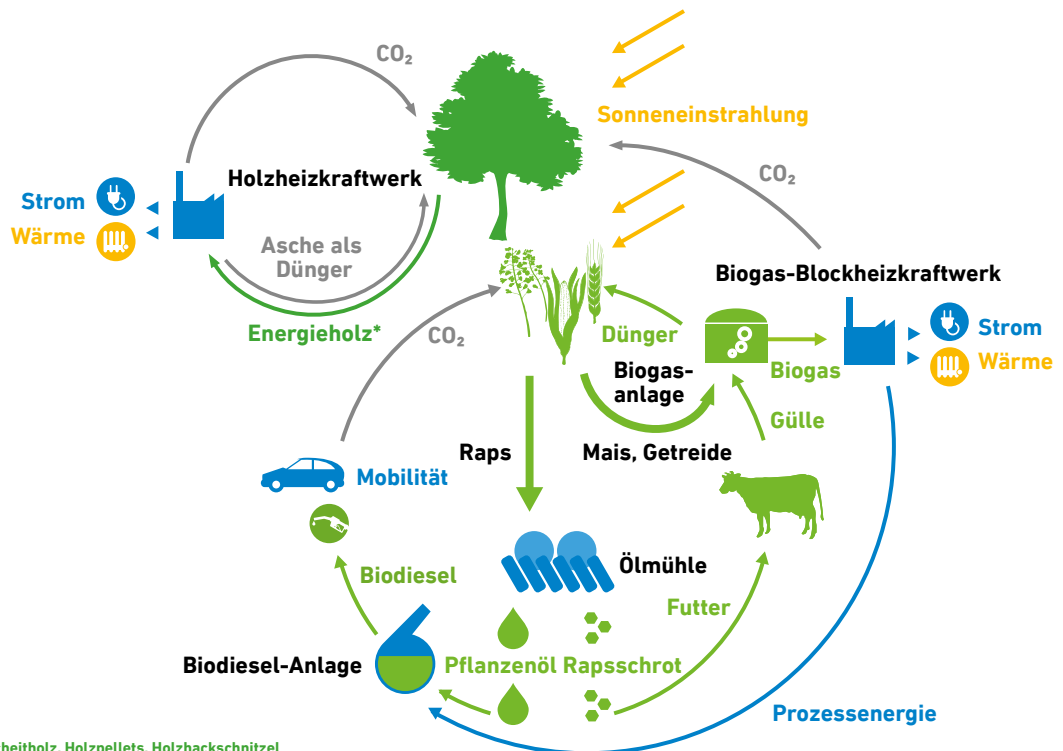
Die Gärreste, die nach der Vergärung von Biomasse übrig bleiben, ersetzen teure, synthetisch hergestellte Düngemittel. Der Gärrest wird zurück auf die Ackerflächen gebracht, so dass die wertvollen Nährstoffe, die die Pflanzen dem Boden entzogen haben, ihm wieder zugeführt werden. Somit schließt sich der natürliche Nährstoffkreislauf in der Region. Landwirtschaftliche Betriebe können gleichzeitig Düngerkosten einsparen. Bei der Vergärung von tierischen Exkrementen und anderen biogenen Reststoffen werden die enthaltenen Nährstoffe wie organischer Stickstoff und Phosphor mineralisiert und sind damit für die Pflanzen besser nutzbar.

Entscheidend für eine nachhaltige Nutzung biogener Reststoffe ist die Humus- und Nährstoffbilanz. Nur wenn stets ein Teil der Reststoffe auf dem Feld oder Wald verbleiben, kann eine ausgeglichene Humus- und Nährstoffbilanz gewährleistet werden. Ziel sollte es deshalb sein, eine Kreislaufwirtschaft der Nährstoffe aufrecht zu erhalten, damit möglichst alle Nährstoffe nach der Nutzung wieder auf das Feld oder in den Wald zurückgelangen. So können beispielsweise Gärreste der Biogaserzeugung zurück auf dem Feld bzw. die Asche der Verbrennungsprozesse im Wald ausgebracht werden. Die Nährstoffbilanz kann auch aufrechterhalten werden, wenn ausschließlich jene Pflanzenteile verwertet werden, die nur wenige Nährstoffe enthalten.

Kreislaufwirtschaft mit Bioenergie

Bioenergie ist im Gegensatz zu fossilen Energieträgern eine erneuerbare Energiequelle.

Nachwachsende Pflanzen entziehen die freigesetzte Menge CO₂ wieder der Atmosphäre und binden sie erneut als Biomasse.



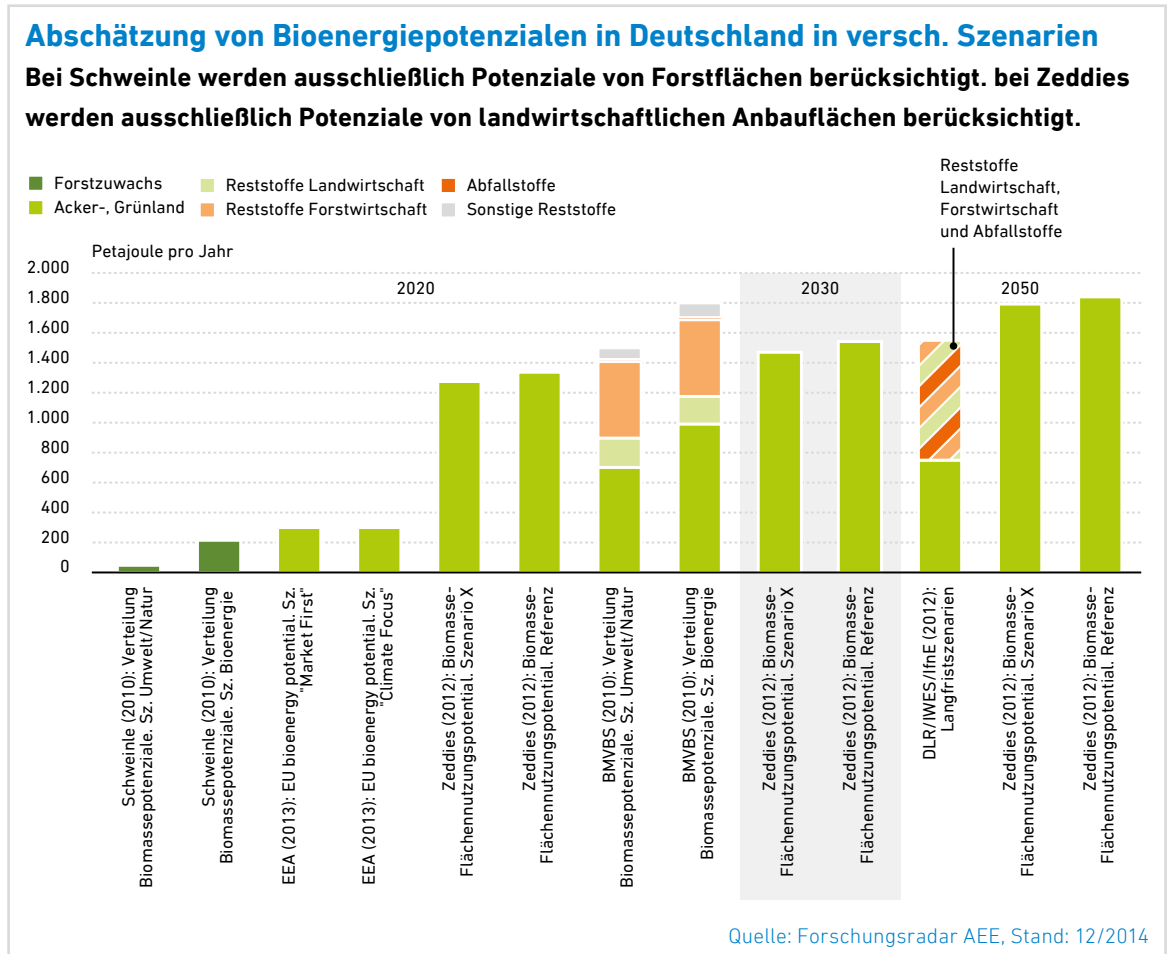
Quelle: BMWi/AGEE-Stat, Stand: 5/2017

3 GIBT ES NOCH UNGENUTZTES POTENZIAL AN BIOGENEN REST- UND ABFALLSTOFFEN IN DEUTSCHLAND?

Das Potenzial biogener Reststoffe bietet eine sehr große Vielfalt. Holzartige Reststoffe machen dabei den Großteil des gesamten Potenzials aus, gefolgt von landwirtschaftlichen Reststoffen wie Stroh und tierischen Exkrementen. Bedeutende Potenziale von Reststoffen fallen während der Produktionsschritte der Holzverarbeitenden Industrie an. Potenziale können aber auch in landwirtschaftlichen Vieh- und Ackerbaubetrieben mobilisiert werden. Ein dritter Bereich ist die Abfallwirtschaft, die Bio- und Grünabfälle, Klär- und Deponiegas für die energetische Nutzung erschließen kann. Während diese Reststoffe vor allem in dicht besiedelten städtischen Räumen relevant sind, spielen bei der Betrachtung des gesamten Angebotes von Reststoffen neben der Landwirtschaft die Forstwirtschaft und Holzindustrie in den dünner besiedelten ländlichen Regionen eine wichtigere Rolle.

Da die genannten Reststoffe in vielen unterschiedlichen Wirtschaftszweigen anfallen und höchst unterschiedlich beschaffen sind, bleiben wissenschaftliche Erhebungen und Bewertungen ihrer Potenziale – im Gegensatz zu Energiepflanzen und deren Anbauflächen – noch relativ selten. Vor diesem Hintergrund kann die vorliegende Publikation nur einen Überblick zu Möglichkeiten und Grenzen der Reststoffnutzung für Bioenergie aufzeigen. Eine Strategie zur Erschließung von Reststoffpotenzialen kann hier jedoch nicht entwickelt werden. Je nachdem, an welchem Ort bestimmte Potenziale von Reststoffen in welchem Zustand erfasst werden können, müssen die spezifischen Rahmenbedingungen für eine Nutzung zur Strom-, Wärme- oder Kraftstoffproduktion untersucht werden. Während bestimmte Reststoffe mit vergleichbar geringem logistischem Aufwand und geringen Kosten energetisch genutzt werden könnten, bestehen bei anderen Reststoffen möglicherweise bereits Nutzungskonkurrenzen.

Bisher haben nur wenige wissenschaftliche Studien das in Deutschland verfügbare Potenzial von biogenen Reststoffen und Energiepflanzen vergleichend ermittelt. Im Dezember 2014 hat die Agentur für Erneuerbare Energien daher eine Metaanalyse verfasst, die sich mit den Annahmen der Potenziale von Rest- und Abfallstoffen in einschlägigen Studien befasst. Die Einschätzungen der untersuchten Studien hinsichtlich der nutzbaren Bioenergiepotenziale fallen je nach den getroffenen Annahmen sehr unterschiedlich aus. Mehrere Studien kommen jedoch zu dem Schluss, dass die Bioenergie auch unter Einhaltung strenger Nachhaltigkeitsstandards erhebliche Beiträge zur Energieversorgung leisten kann. Dabei spielen Rest- und Abfallstoffe eine entscheidende Rolle. So sieht die umfangreiche Studie zu Biomassepotenzialen (BMVBS 2010) für das Jahr 2020 ein Potenzial von 1.500 bis 1.800 Petajoule, wovon etwa die Hälfte bis ungefähr 40 Prozent im Bereich der Rest- und Abfallstoffe liegen, der größte Teil davon aus der Forstwirtschaft. Im Langfristszenario (DLR/IWES/IfnE 2012) wird das Potenzial der Bioenergie auf etwa 1.550 Petajoule gerechnet wovon etwa die Hälfte auf Rest- und Abfallstoffe entfällt.⁵



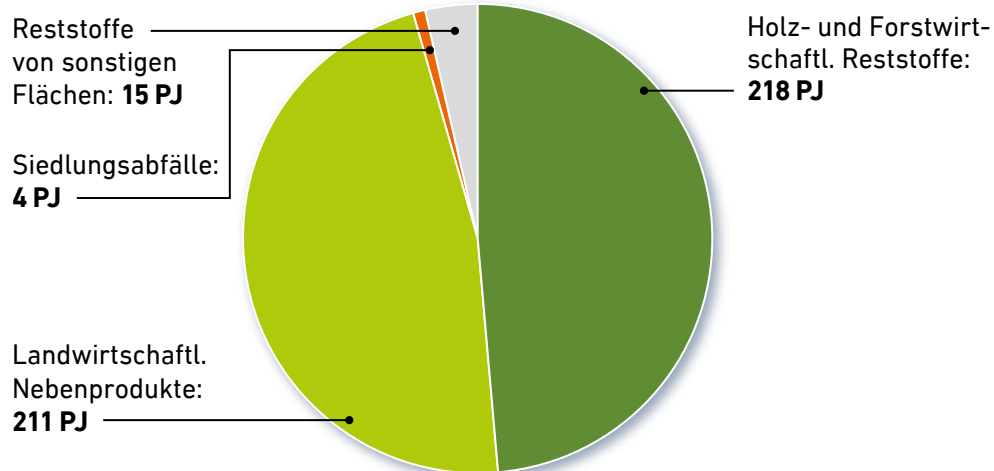
In der Studie zu Biomassepotenzialen aus dem Jahr 2015 (FNR 2015) hat das Deutsche Biomasseforschungszentrum (DBFZ) noch einmal das technische Potenzial in Deutschland erhoben und kommt zu der Einschätzung, dass das ungenutzte technische Potenzial in Deutschland bei etwa 448 Petajoule liegt. Mit derzeit 541 Petajoule an genutzten Rest- und Abfallstoffen könnten Rest- und Abfallstoffe schon jetzt etwa 1.000 Petajoule beitragen.⁶

Spiele die Reststoffe in der öffentlichen Wahrnehmung und in der politischen Diskussion eher eine Nebenrolle, so können sie auf den ersten Blick damit sogar einen noch etwas größeren Beitrag zur Versorgung mit Bioenergie leisten als Energiepflanzen. Dieser Eindruck muss jedoch relativiert werden, schließlich sagen die für die verschiedenen Bezugsjahre in der Zukunft ermittelten Potenziale noch nichts darüber aus, inwieweit die bereit stehenden Reststoffe heute schon in Bioenergieanlagen zur Strom-, Wärme- und/oder Biokraftstoffproduktion herangezogen werden.

⁶ FNR 2015.

Potenzial von biogenen Reststoffen

Technisches Brennstoffpotenzial in Petajoule (PJ) im Vergleich



Quelle: BMELV, FNR, DBFZ, Stand: 2015

3.1 REGIONALE VERTEILUNG VON POTENZIALEN BIOGENER RESTSTOFFE

Im Potenzialatlas „Bioenergie in den Bundesländern“ der Agentur für Erneuerbare Energien können auf Basis von Erhebungen des DBFZ die regionalen Schwerpunkte von Reststoff-Potenzialen in Deutschland dargestellt werden. Dabei überrascht es nicht, dass tierische Exkrememente vor allem in den Hochburgen der Viehzucht in Nordwestdeutschland zu mobilisieren sind.

Im Gegensatz zu den tierischen Exkrementen sind bedeutende Potenziale von Bio- und Grünabfällen vor allem in den dicht besiedelten Ballungsräumen zu finden. Hier fällt die Mobilisierung des Reststoff-Potenzials verhältnismäßig leicht. Zusätzliches Potenzial bieten vor allem auch die dünn besiedelten Regionen der ostdeutschen Bundesländer, doch fällt hier der logistische Aufwand überproportional hoch aus.

Das Potenzial von Stroh konzentriert sich dagegen auf die Regionen mit intensivem Ackerbau und hohen Bodenqualitäten. Insbesondere Norddeutschland und Sachsen-Anhalt bieten große Strohpotenziale für die energetische Nutzung.⁷

7 AEE 2013.

4 WELCHE NUTZUNGSWEGE FÜR BIOGENE REST- UND ABFALLSTOFFE GIBT ES?

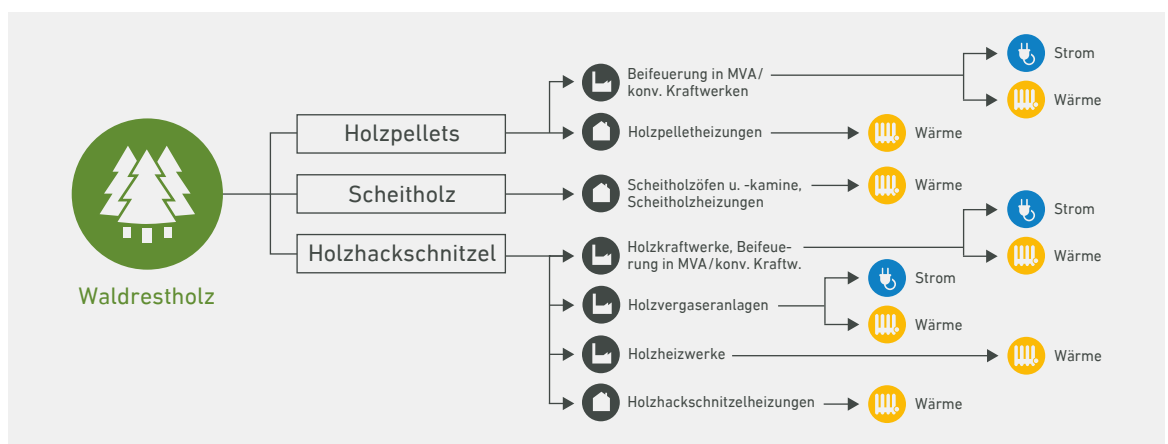
Im Folgenden soll eine Einschätzung zum Aufkommen der unterschiedlichen Reststoffe gegeben und die jeweiligen Nutzungswege in den Sektoren der Energieversorgung dargestellt werden. Dabei wird die Einteilung der biogenen Rest- und Abfallstoffe in die Kategorien Holz- und Forstwirtschaftliche Reststoffe, Landwirtschaftliche Nebenprodukte und Siedlungsabfälle übernommen.

4.1 HOLZ- UND FORSTWIRTSCHAFTLICHE RESTSTOFFE

Bei der aktuellen Nutzung von Restholz als wichtigstem Beitrag zur gegenwärtigen Energieversorgung muss differenziert werden nach den unterschiedlichen Bereichen des Holzaufkommens und der Holzverwendung. Um einen Überblick zu den Rahmenbedingungen für die Reststoffnutzung zu geben, wird das Aufkommen der Reststoffe entlang der forstwirtschaftlichen Produktionskette dargestellt.

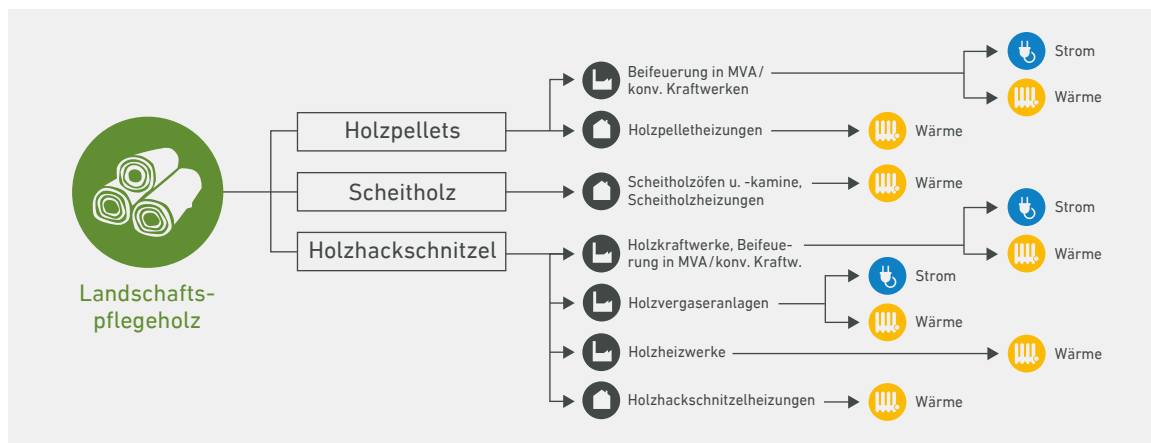
Waldrestholz

Reststoffe fallen als so genannter Schlagabraum bereits bei der Holzernte und Durchforstung im Wald an. Es handelt sich dabei um das so genannte Waldrestholz, das Holz von Baumkronen und Ästen umfasst, die nicht als hochwertiges Stammholz (auch als Schnitt- oder Nutzholz bezeichnet) verkauft werden können. Die Holzverarbeitende Industrie wie Sägewerke, Möbel-, Bau-, Sperrholz- und Furnierindustrie hat wegen der geringen Holzqualität, wegen Krümmungen und zu geringen Durchmessern wenig Interesse an der Vermarktung dieses Holzsegmentes. Das Waldrestholz wird üblicherweise maschinell gehäckselt und als Brennstoff Holzhackschnittzel weiterverwendet. Hierbei handelt es sich um rund drei bis fünf Quadratzentimeter große Holzstückchen. Abnehmer sind zu annähernd gleichen Teilen Holzheizwerke bzw. Holzheizkraftwerke sowie private Haushalte. Aus Sicht der Biodiversität und der Bodenqualität ist ein Verbleib eines bestimmten Anteils der Holzernte als Totholz und der Verzicht auf die Nutzung von Baumkronen notwendig. Wird zu viel Waldrestholz entnommen, fehlen dem Waldboden wichtige Nährstoffe.



Landschaftspflegeholz

Eine geringere Bedeutung hat die energetische Nutzung von Landschaftspflegeholz. Unter diesem Oberbegriff fasst die Holzrohstoffbilanz die holzartigen Anteile von Landschaftspflegematerial zusammen, also jene Biomasse, die beim Baum- und Strauchschnitt in Parks, Gärten, an Gewässern und Straßen anfallen. Es wird in Holzkesseln, Heizwerken oder Heizkraftwerken zur Wärme und/oder Stromerzeugung genutzt. Ein Großteil des Landschaftspflegematerials ist also bereits erschlossen. Der logistische Aufwand und die wechselhafte Qualität machen es zu einem weniger attraktiven Reststoff. Wenn das Landschaftspflegematerial jedoch sowieso anfällt und entsorgt werden muss, können die Entsorgungskosten zumindest anteilig durch Erträge aus einer möglichen energetischen Nutzung ausgeglichen werden.

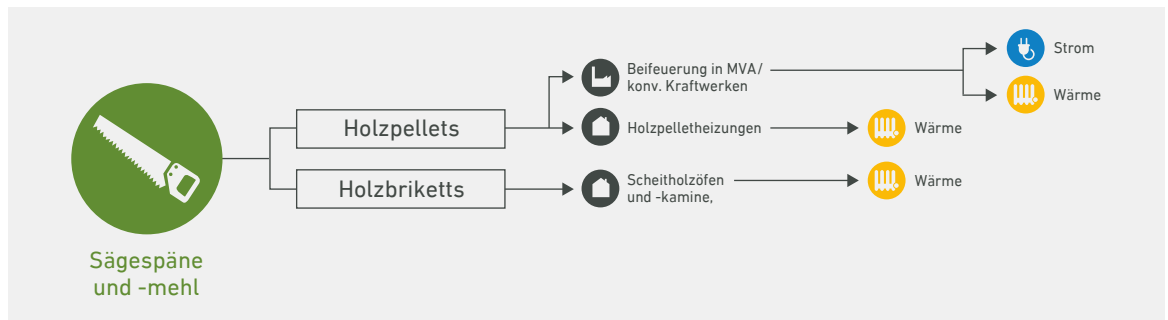


Sägespäne und -mehl

In Sägewerken wird das geerntete Rohholz zu Schnittholz für Bau- und Konstruktionsholz (Balken, Kanthölzer, Bretter, Bohlen usw.), für Verpackungen und für die Möbelindustrie aufbereitet. Die Sägeindustrie beliefert auch die Papier- und Zellstoffindustrie. Dabei fallen als Nebenprodukt Schnittholzreste, Sägespäne und -mehl an. Diese werden vor allem für die Produktion von Holzpellets und Holzbriketts genutzt. Nur ein kleiner Teil des Sägerestholzes wird nicht als Pellets oder Briketts, sondern direkt in Holzheizwerken und Holzheizkraftwerken zur Wärme- und/oder Stromerzeugung eingesetzt.

Holzpellets sind wenige Zentimeter lange, 6 Millimeter dünne stäbchenförmige Presslinge, die vor allem in Holzpelletkesseln verbrannt werden. Pelletheizungen dienen in Ein- und Mehrfamilienhäusern oder Gebäudekomplexen als Zentralheizung. Holzbriketts werden vor allem in Scheitholzöfen und -kaminen verfeuert. Für die Brennstoffe Holzpellets und -briketts bestehen Normen, die sicherstellen, dass ausschließlich naturbelassenes Holz ohne chemische Zusätze verwendet werden dürfen. Nur in sehr geringem Umfang werden andere Holzsegmente wie Waldrestholz für die Holzpellet- und -brikettproduktion herangezogen. Erst mit der Markteinführung von Holzpelletheizungen stieg nach 2000 die Nachfrage nach Sägenebenprodukten für die energetische Nutzung deutlich an.

Der Anteil der energetischen Nutzung ist gegenüber der stofflichen Nutzung der Holzwerkstoff- und Zellstoffindustrie angestiegen. In den 1990er Jahren wurde nur etwa ein Viertel des Sägerestholzes direkt energetisch genutzt. Die Holzwerkstoffindustrie war praktisch alleiniger Abnehmer von Sägespänen und -mehl. Mit den Herstellern von Holzpellets und -briketts ist nun ein Konkurrent entstanden, der gezielt diese Reststoffe mobilisiert und ein Drittel des Sägerestholzes nachfragt. Nachdem die Sägewerke ihre Einschnittleistung nach 2007 reduzierten und damit auch das Angebot von Sägebrennprodukten zurückging, änderte sich das Verhältnis zwischen energetischer und stofflicher Nutzung jedoch nicht wesentlich.



Schwarzlauge und Rinde

Schwarzlauge entsteht als Nebenprodukt in der Zellstoffindustrie. Sie enthält Lignin und wird fast ausschließlich in bundesweit acht Kraftwerken der Zellstoffindustrie direkt vor Ort verbrannt, um den Wärmebedarf der Industrieanlagen zu decken und Strom zu erzeugen. Nur bei einer Produktionssteigerung der Zellstoffindustrie könnte die Strom- und Wärmeerzeugung ihrer Kraftwerke weiter steigen.

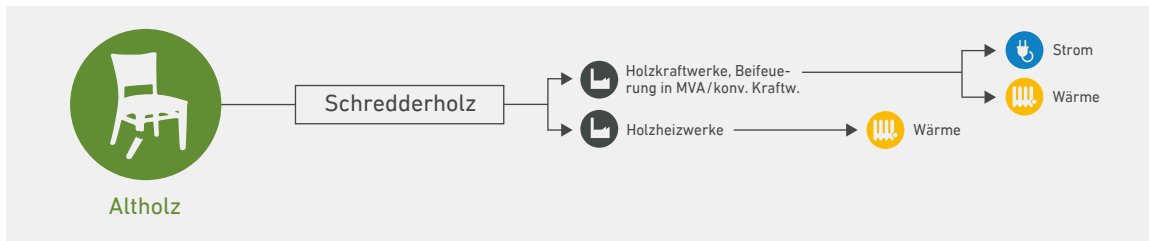
Das Aufkommen von Rinde im Umfang von 4,7 Mio. m³ im Jahr 2010 floss zum Teil in die stoffliche Nutzung, vor allem als Rindenmulch, oder wurde in Holzheizwerken oder Holzheizkraftwerken zur Wärme- und/oder Stromerzeugung genutzt. Das EEG begünstigte die Nutzung von Rinde als nachwachsenden Rohstoff, weshalb laut Holzrohstoffbilanz ein Nachfragedruck der Holzkraftwerke spürbar war.



Altholz

Altholz ist bereits stofflich genutztes Holz, das am Ende seines Nutzungsweges steht. Altholz fällt zum Beispiel im Bausektor an (Renovierungen, Abriss), als Verpackungsmaterial oder als Altmöbel, die in den Sperrmüll gegeben werden. Altholz wird bereits zum überwiegenden Anteil in großen Holzheizkraftwerken für die Strom- und Wärmeproduktion verwendet oder zur Beifuerung in Müllverbrennungsanlagen (MVA) oder konventionellen Kraftwerken genutzt. Haushalte verfeuern vereinzelt auch ihr eigenes Altholz in ihren Öfen und Kaminen. Ein kleiner Teil des Altholzes, ungefähr ein Fünftel des Gesamtvolumens, wird wiederum stofflich genutzt in der Holzbe- und verarbeitenden Industrie, zum

Beispiel zur Spanplattenherstellung. Die Altholzverordnung regelt die möglichen Verwendungen von Altholz, das mit steigender Schadstoffbelastung den Kategorien A I bis A IV zugeordnet wird. Naturbelassenes oder lediglich mechanisch behandeltes Altholz zählt zur Kategorie A I. Mit Holzschutzmitteln behandeltes Altholz kommt nur noch für wenige Nutzungspfade in Frage und wird in Kategorie A IV erfasst.



4.2 LANDWIRTSCHAFTLICHE NEBENPRODUKTE

Landwirtschaftliche Nebenprodukte umfassen alle Produkte, die im landwirtschaftlichen Prozess anfallen und nicht weiter genutzt werden. Dazu zählen Exkrememente aus der Tierhaltung ebenso wie Stroh vom Ackerbau.

Tierische Exkrememente

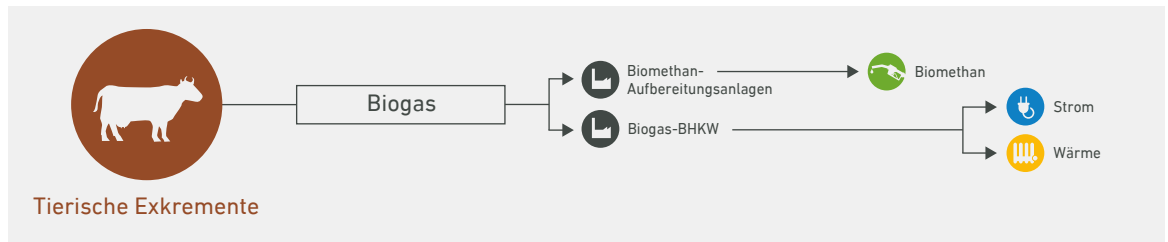
Tierische Exkrememente umfassen die Gülle von Rindern und Schweinen sowie Hühnerkot. Auch Mist zählt zu diesem Reststoff. Das Aufkommen von tierischen Exkrementen ist von den Viehbeständen abhängig. Landwirte verteilen auf den deutschen Äckern jährlich rund 200 Millionen Tonnen Gülle. Tierische Exkrememente werden in Biogasanlagen – üblicherweise zusammen mit Energiepflanzen – in einem Fermenter unter Ausschluss von Licht und Sauerstoff von Mikroorganismen abgebaut. Bei diesem Gärprozess entsteht Biogas. Es kann in Blockheizkraftwerken (BHKW) verbrannt werden, um Strom und Wärme zu erzeugen.

An einigen Biogasanlagen wird Biogas auch zu Biomethan aufbereitet. Biomethan ist hinsichtlich Energiegehalt und Eigenschaften identisch mit dem fossilen Energieträger Erdgas. Es kann als Bio-Kraftstoff für Fahrzeuge mit Gasmotor genutzt werden oder in das bestehende Erdgasnetz eingespeist werden, um es anderenorts zur Strom- und Wärmeerzeugung zu entnehmen.

Eine Konkurrenz zu anderen Nutzungspfaden besteht bei tierischen Exkrementen nicht, im Gegenteil:

- Nach der Vergärung können Gärreste von tierischen Exkrementen und Energiepflanzen als hochwertiger Dünger auf Ackerflächen genutzt werden. Der Reststoff Gülle muss nicht entsorgt werden, seine Nährstoffe können genutzt werden. Damit lassen sich Stoffströme schließen. Mineraldünger, der auf dem fossilen Energieträger Erdöl beruht, kann einspart werden.
- Die Geruchsbelästigung durch unbehandelte Gülle kann durch die Vergärung weitgehend reduziert werden, da die geruchsentwickelnden flüchtigen Fettsäuren und Phenole stark abgebaut werden.
- Vergorene Gülle lässt sich als Dünger leichter ausbringen als unvergorene Gülle. Die Mineralisierung der Gülle durch den Gärprozess macht sie pflanzenverträglicher.
- Während bei einer Lagerung von tierischen Exkrementen in offenen Güllebehältern das klimaschädliche Methan entweichen kann, leistet die Verbrennung von Biogas zur Strom- und Wärmeerzeugung

bzw. Biokraftstoffherzeugung einen aktiven Beitrag zur Emissionsreduktion. Im Vergleich zur Biogaserzeugung mit Energiepflanzen liegt der Klimaschutzbeitrag von tierischen Exkrementen deutlich höher.



Stroh

Stroh ist der Ernterückstand, der nach dem Anbau von Getreide und Raps anfällt. Neben Restholz und tierischen Exkrementen kann Stroh einen der wichtigsten Beiträge von Reststoffen im Bioenergiebereich liefern. Es fällt dezentral in der Landwirtschaft an. Stroh lässt sich grundsätzlich flexibel zur Strom-, Wärme- und Biokraftstoffproduktion einsetzen.

Wie viel Stroh anfällt, hängt zunächst von der Anbaufläche und vom Mix der unterschiedlichen Anbaukulturen ab. Je mehr Hektar die Pflanzenarten mit guten Erträgen und hohem Strohaufkommen belegen, desto größer fällt das energetisch nutzbare Angebot aus.

Eine Konkurrenz ergibt sich aus der stofflichen Nutzung von Stroh:

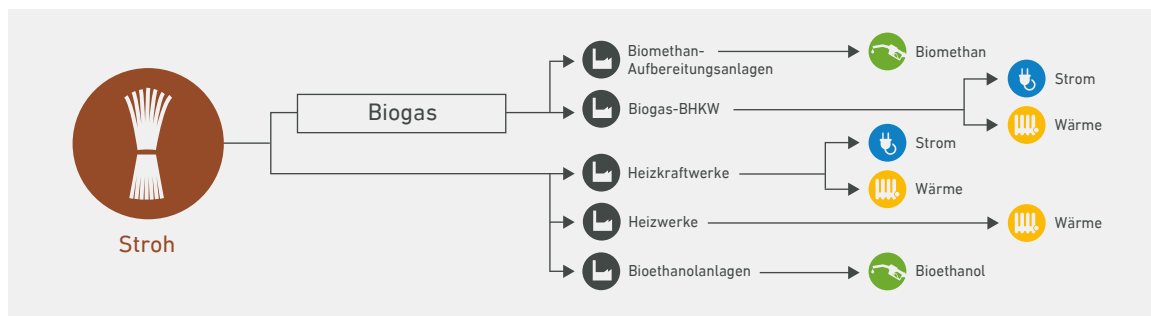
- Stroh wird als Einstreu in der Tierhaltung eingesetzt. Auch in Zukunft ist von einer entsprechenden Nachfrage auszugehen, die auch von der weiteren Entwicklung der Viehbestände abhängt.
- Stroh verbleibt in bestimmtem Umfang nach der Ernte auf dem Acker und wird untergepflügt, um die Humus- und Nährstoffqualität des Ackerbodens zu sichern.

Hinsichtlich der Humusbilanzen, aus denen sich der auf dem Acker zu verbleibende Anteil des Strohs errechnet, müssen nach Einschätzung des DBFZ noch methodische Unsicherheiten geklärt werden. Der Klimaschutzbeitrag von Stroh ist jedoch üblicherweise bilanziell höher, wenn Stroh zur Strom-, Wärme- oder Biokraftstoffproduktion eingesetzt wird, als wenn es auf dem Acker verbleibt und zum Humusaufbau, d.h. zur Bindung von Kohlenstoff im Boden beiträgt.⁸

Auch wenn durch Ertragssteigerungen und Fortschritte bei der Züchtung in Zukunft mit einem größeren Strohpotenzial gerechnet werden kann, sollte nur ein geringer Anteil der gesamten Strohmenge energetisch genutzt werden, um die stoffliche Nutzung als Einstreu und als Humusgabe nicht in Frage zu stellen.

Bisher werden keine nennenswerten Mengen von Stroh energetisch genutzt. Nur vereinzelt bestehen in Deutschland Erfahrungen mit Anlagen, die Stroh einsetzen. Heizkesseln zur Verfeuerung von Strohpellets sind am Markt verfügbar. An wenigen Standorten gibt es auch Heizkraftwerke, die Stroh zur Wärmeerzeugung verfeuern. Strohheizkraftwerke zur Strom- und Wärmeproduktion in Kraft-Wärme-Kopplung sind in Deutschland bisher nicht errichtet worden. Stroh wird in geringerem Umfang auch in Biogasanlagen mitvergoren und als Biomethan auch als Treibstoff eingesetzt. Verfahren zur Bioethanolproduktion aus Stroh sind erst in der Markteinführung.

Eine zentrale Herausforderung bei der Nutzung von Stroh ist der Aufwand zur Bereitstellung des Rohstoffs für ein bestimmtes Anlagenkonzept: Wo können welche Strohmenngen kostengünstig für welche Anlagentechnologie bereitgestellt werden? Da Stroh viel Volumen jedoch einen relativ geringen Energiegehalt besitzt, können hohe Transport- und Logistikkosten anfallen. Auch eine möglicherweise für bestimmte Anlagen notwendige Aufarbeitung, z.B. zu Strohpellets, muss berücksichtigt werden. Vor diesem Hintergrund haben sich die meisten Anlagenkonzepte für die Strohnutzung bisher als betriebswirtschaftlich wenig attraktiv erwiesen. Strom, Wärme und Biokraftstoffe können mit anderen Bioenergieträgern meistens deutlich günstiger angeboten werden.



4.3 SIEDLUNGSABFÄLLE

Biogene Abfallstoffe fallen größtenteils in Siedlungen an. Dazu gehören neben den seit 2015 getrennt zu sammelnden Bioabfällen aus Haushalten und Gewerbe auch der Klärschlamm aus den Klärwerken. Hinzu kommen noch Altfette

Bio- und Grünabfälle

Bio- und Grünabfälle werden in Deutschland bisher fast ausschließlich zur Kompostierung stofflich genutzt, obwohl eine Vergärung zur Biogasgewinnung vorgeschaltet werden könnte.

Bioabfälle umfassen alle Reststoffe im Sinne der Bioabfallverordnung aus Haushalten und Gewerbe wie z.B. Küchenabfälle und Reststoffe der Lebensmittelindustrie. Grünabfälle umfassen Grünschnitt aus der Garten-, Landschafts- und Parkpflege. Bio- und Grünabfälle können – wie tierische Exkrememente – in Fermentern von Biogasanlagen vergoren werden, um Biogas zu erzeugen, das zur Strom-, Wärme- oder Biokraftstoffherzeugung eingesetzt wird. Grünabfälle mit hohem Holzanteil können auch aussortiert werden und zur Wärmeerzeugung in Biomassekesseln verbrannt werden, wenn eine Vergärung in Biogasanlagen nicht möglich oder gewünscht ist. Holzartiges Landschaftspflegematerial ist für die Biogaserzeugung nicht geeignet und wurde zuvor im Abschnitt „Landschaftspflegeholz“ behandelt.

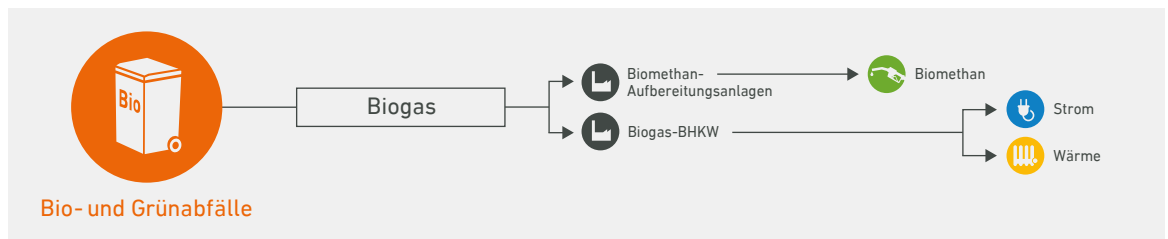
Da die Bio- und Grünabfälle höchst heterogen sind und an vielen unterschiedlichen Stellen und in unterschiedlicher Qualität und Zusammensetzung anfallen können, ist ihre energetische Nutzung vielerorts mit verhältnismäßig hohem Aufwand verbunden. Werden Bio- und Grünabfälle über Biotonnen („Braune Tonne“, „Grüne Tonne“) separat von den Abfallwirtschaftsbetrieben erfasst, sind sie gut für die energetische bzw. stoffliche Nutzung verfügbar.

Seit den 1980er Jahren werden Bio- und Grünabfälle in Deutschland in insgesamt rund 1.000 Kompostierungsanlagen kompostiert, d.h. in unterschiedlichen Rottesystemen unter Luftzufuhr zersetzt. Ziel war dabei zunächst die stoffliche Nutzung des Komposts als Pflanzennährstoff und Humusliefer-

rant in der Landwirtschaft und im Gartenbau. Der Kompostierung kann jedoch auch eine Vergärung unter Luftausschluss vorgeschaltet werden. Das dabei entstehende Biogas lässt sich dann vor Ort in Blockheizkraftwerken zur Strom- und Wärmeerzeugung nutzen. Alternativ kann das Biogas auch zu Biomethan aufbereitet werden um es in das Erdgasnetz einzuspeisen oder Fahrzeuge mit Gasmotoren zu betreiben.

Durch die vorgeschaltete energetische Nutzung entsteht keine Konkurrenz gegenüber der stofflichen Nutzung. Vielmehr ergeben sich mehrere Vorteile aus Sicht der Kompostierungsanlagen:

- Die nach der Vergärung verbleibenden Gärreste lassen sich anschließend kompostieren und weitervermarkten. Der Nährstoffgehalt verringert sich nur geringfügig.
- Die Strom- und Wärmeerzeugung mit Biogas kann ein betriebswirtschaftlich attraktives zusätzliches Standbein schaffen.
- Die Geruchsbelästigung des Kompostierungsprozesses wird nach der Vergärung unter Luftabschluss reduziert. Die Nachrotte im Kompostwerk kann durch diese Vorbehandlung schneller erfolgen.
- Das bei der Kompostierung unter Luftzufuhr entstehende Treibhausgas Methan kann nicht mehr ungehindert entweichen, sondern wird durch die Vergärung unter Luftabschluss als Biogas genutzt. Je Tonne Bioabfall nimmt das Institut für Umwelt- und Energieforschung (IfEU) Heidelberg eine CO₂-Einsparung von bis zu 160 kg an.



Haushaltsabfälle

Haushaltsabfall beschreibt eine heterogene Gruppe von biogenen Reststoffen, die über die Hausmülltonne bzw. als Gewerbemüll von den lokalen Entsorgungsstrukturen erfasst werden. Im Haushaltsabfall sind häufig verschiedene biogene Reststoffe und organische Anteile zu finden, die in vorherigen Abschnitten teilweise bereits behandelt wurden:

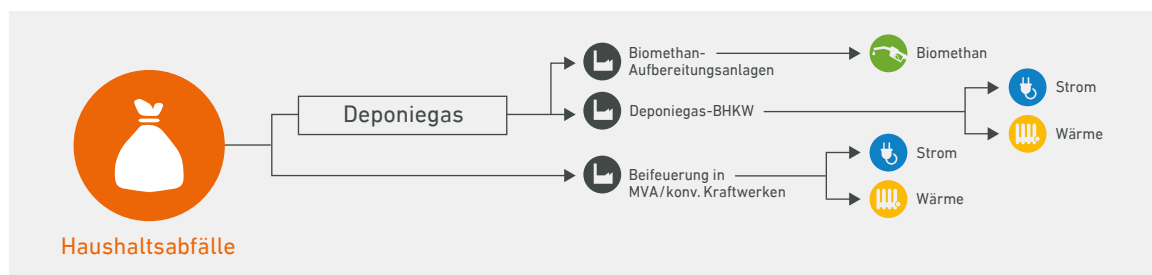
- Bio- und Grünabfälle
- Papier, Pappe, Karton
- Altholz (z.B. aus Sperrmüll)
- Mischfraktionen wie Textilien, Leder und Gummi

Je nach Sortierungsgrad werden vor Ort mehr oder weniger große Anteile der biogenen Reststoffe getrennt erfasst und können dann energetisch genutzt werden (vgl. Abschnitte „Altholz“ und „Bio- und Grünabfälle“). Auch andere Bestandteile des Haushaltsabfalls werden getrennt gesammelt und stofflich wiederverwertet (z.B. Papier u.a.). Der nach der Getrenntsammlung verbleibende Haushaltsabfall wird

vor diesem Hintergrund auch als Restmüll bezeichnet. Die Abfallverordnung schreibt ab 2015 eine getrennte Erfassung von Bioabfällen vor („Braune Tonne“, „Grüne Tonne“), wodurch der Anteil dieses biogenen Reststoffs am Hausabfall möglicherweise weiter zurückgeht.⁹ Dennoch enthält der verbleibende Restmüll weiterhin relevante organische Anteile sowie Anteile von biogenen Reststoffen.

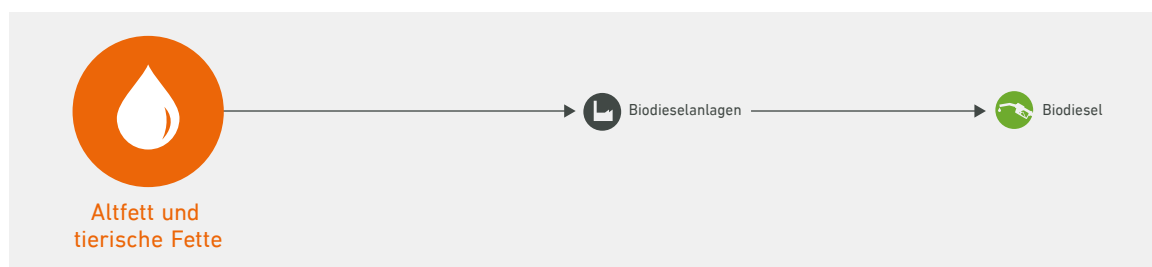
Das seit 2012 geltende Kreislaufwirtschaftsgesetz setzt die Müllvermeidung als oberstes Ziel fest, gefolgt von der Vorbereitung zur Wiederverwertung und dem Recycling von Abfall. Erst wenn Stoffe nicht wiederverwertet werden können, soll eine energetische Nutzung in Müllverbrennungsanlagen erfolgen, um eine größtmögliche Ressourcenschonung und Treibhausgasvermeidung zu erreichen.

Die Deponierung von unbehandeltem Hausmüll ist in Deutschland seit 2005 verboten. Die Reduzierung der Abfalldeponierung ergibt sich nicht allein aus dem Ziel einer weitgehenden Kreislaufwirtschaft unter Vermeidung von Restmüll. Bestehende Mülldeponien verursachen auch ökologische Probleme: Das Sickerwasser von Deponien gefährdet Boden und Grundwasser. In den Deponien entsteht durch die Zersetzung von organischen Anteilen des Abfalls das so genannte Deponiegas. Es kann Feuer und Explosionen verursachen und hat einen hohen Anteil des besonders klimaschädlichen Treibhausgases Methan. Deponiegas wird daher in der großen Mehrheit der deutschen Deponien erfasst und in BHKW verbrannt, um Strom- und Wärme zu erzeugen und gleichzeitig die klimaschädlichen Emissionen zu reduzieren. Da eine Deponierung von Hausmüll mit organischen Anteilen nicht mehr erfolgt und das deponiegasbildende Material in den bestehenden Deponien in Zukunft weiter zersetzt wird, sinkt das Gasaufkommen. Das aktuelle Deponiegaspotenzial wird annähernd vollständig in BHKW energetisch genutzt. Bis etwa 2030 dürften die Deponien voraussichtlich ausgegast sein und die Strom- und Wärmeerzeugung aus Deponiegas weitgehend eingestellt werden.¹⁰



Altfett und tierische Fette

Altfett wie zum Beispiel gebrauchte Frittierfette, Bratfette oder Altspiseöle fällt vor allem in der Gastronomie an und wird von Entsorgungsunternehmen weitgehend erfasst. Aus Altfett kann im chemischen Prozess des Umesterns in Biodieselanlagen der Kraftstoff Biodiesel gewonnen werden. Die Datenlage zu Aufkommen und Potenzialen von Altfett und Altspiseölen ist unklar.



⁹ AEE 2013.

¹⁰ Öko-Institut 2004.

Die Europäische Union will die Nutzung von Reststoffen wie Altfett und tierischen Fetten für die Biokraftstoffproduktion verstärken und ermöglicht eine Doppeltanrechnung von Biokraftstoffen auf das Ausbauziel im Verkehrssektor, wenn diese aus Reststoffen wie Altfett und tierischen Fetten produziert wurden. Biokraftstoff aus Altfett oder tierischen Fetten zählen als doppelte Menge von Biokraftstoffen aus Energiepflanzen – obwohl der Energiegehalt identisch bleibt und mengenmäßig nicht mehr fossile Kraftstoffe ersetzt werden können. Deutliche Steigerungen der Biodieselproduktion aus den in Deutschland anfallenden Reststoffen Altfett oder tierische Fette sind vorerst nicht zu erwarten, da diese bereits weitgehend von der oleochemischen Industrie genutzt werden.

Klärschlamm

Klärschlamm fällt ausschließlich in kommunalen und in geringerem Umfang in industriellen Kläranlagen an. Das Aufkommen ist abhängig von der Bevölkerungszahl und dem Anschlussgrad an die kommunale Abwasserentsorgung, welcher in Deutschland bei rund 95 Prozent liegt.¹¹ Bei der Abwasserreinigung in sogenannten Abwasserbehandlungsanlagen entsteht Klärgas, das auch als Faulgas bezeichnet wird. Es ist in seiner Zusammensetzung mit Biogas vergleichbar. Unter den Anlagen mit Klärgas-BHKW befinden sich die bundesweit größten Kläranlagen, die alleine oft die Entsorgung für Hunderttausende Einwohner abdecken. Das Gros der kleineren Anlagen besitzt keine energetische Klärgasnutzung. Bei diesen Anlagen fällt allerdings auch nur Klärschlamm von wenigen Tausend Einwohnern an.

Die Klärgas-BHKWs stellen Strom direkt für den energieintensiven Betrieb der Pumpen, Turbinen und sonstigen Anlagenteile der Kläranlage zur Verfügung. Alternativ wird Strom ins öffentliche Netz eingespeist, wofür die Betreiber des Klärgas-BHKW eine Vergütung im Rahmen des EEG erhalten. Neben dem Eigenverbrauch der Wärme zum Beispiel für die Beheizung des Faulturms beziehungsweise anderer Prozesse der Kläranlage wird Abwärme von den Klärgas-BHKWs auch an Nahwärmenetze abgegeben. An wenigen Kläranlagen wird das Klärgas auch zu Biomethan aufbereitet und kann dann in das bestehende Erdgasnetz eingespeist oder als Biokraftstoff in Fahrzeugen mit Gasmotor genutzt werden.

Im Gegensatz zu anderen biogenen Reststoffen ist die Rohstoffbeschaffung und Logistik durch die etablierten Entsorgungsstrukturen kein Problem. Das Potenzial von Klärschlamm wird größtenteils von den kommunalen Kläranlagen mobilisiert. Ein großer Teil des energetischen Potenzials bleibt jedoch bisher in den Kläranlagen ungenutzt, da bisher nur für die größten Kläranlagen die Strom- und Wärmeerzeugung mit Klärgas wirtschaftlich ist. Bei diesen Anlagen ließe sich die Gasausbeute weiter verbessern: Durch eine optimierte Klärschlammbehandlung (anaerobe Faulung) in den Kläranlagen könnte die Klärgasgewinnung nach Schätzungen von Öko-Institut und IfEU um rund ein Drittel gesteigert werden. Eine rechnerische energetische Selbstversorgung der Kläranlagen ist möglich, wenn nicht nur die Gasausbeute gesteigert, sondern gleichzeitig die Effizienz der BHKW verbessert und die Stromverbräuche der Kläranlage gesenkt werden.¹² Eine energetische Klärgasnutzung ausschließlich in den 2.200 größten Kläranlagen mit einem Einzugsgebiet von mehr als 10.000 Einwohnern würde die Stromerzeugung nach Berechnungen der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) etwa verdoppeln.¹³

11 DWA 2012.

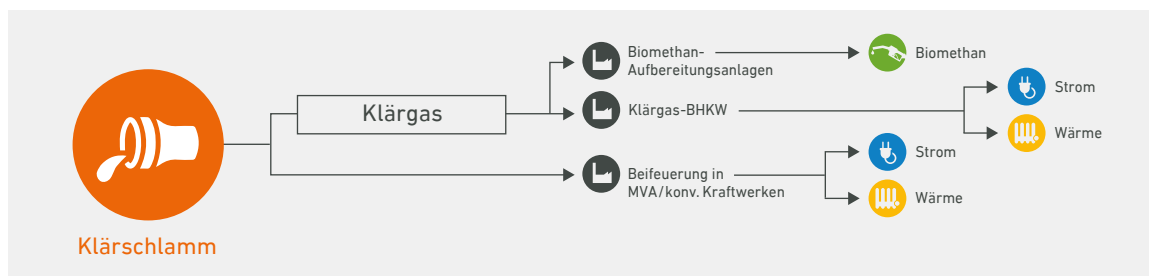
12 BDE, BMU, UBA 2010.

13 DWA 2010.

Um Klärgas energetisch nutzbar zu machen, wären in diesen Kläranlagen jedoch Investitionen z.B. in BHKW, Faultürme und andere Infrastruktur notwendig, die bisher betriebswirtschaftlich nicht attraktiv sind. Mit steigenden Kosten für Strom und Wärme kann deren Eigenerzeugung aus Klärgas jedoch lohnenswert werden. Auch höhere Einkünfte aus der Strom- und Wärmeerzeugung sowie Effizienzsteigerungen und Kostensenkungen bei der Anlagentechnologie könnten in Zukunft weitere Anreize für den Einstieg in die energetische Klärgasnutzung geben. Grundsätzlich kann trotz des rückläufigen Klärschlammaufkommens infolge rückläufiger Bevölkerungszahlen ein höherer Beitrag zur Energieversorgung geleistet werden.

Neben der Nutzung von Klärgas kommt auch der verbleibende Klärschlamm für die Strom- und Wärmeerzeugung in Frage. Der Klärschlamm kann zur Mitverbrennung in Müllverbrennungsanlagen oder konventionellen Kohlekraftwerken eingesetzt werden und dient damit ebenfalls der Strom- und/oder Wärmeerzeugung. Anteilig dient der Klärschlamm auch als Dünger in der Landwirtschaft. Ist der Klärschlamm durch Schadstoffe belastet, kommt jedoch nur eine energetische Nutzung in Frage. Je höher dessen Wassergehalt, desto niedriger liegt der Energiegehalt und damit seine Attraktivität als Brennstoff. Hinsichtlich einer möglichen Phosphorrückgewinnung kann Klärschlamm als Rohstoff für die Landwirtschaft von neuem Interesse sein.

Zu Biomethan aufbereitetes Klärgas kann in den Genuss der Mehrfachanrechnung für Biokraftstoffe aus Reststoffen im Rahmen der Mindestquoten kommen. Durch die besonders gute Klimabilanz im Rahmen der Treibhausgas-Minderungsquote ist es ein theoretisch sehr attraktiver Biokraftstoff. Aufgrund des relativ hohen Aufwands, der geringen Angebotsmengen und der überschaubaren Zahl von Fahrzeugen mit Gasmotor in Deutschland dürfte sich jedoch allenfalls ein Nischenmarkt entwickeln. Der Eigenverbrauch von Strom aus Klärgas-BHKW im Klärwerk selbst bleibt attraktiver.



Reststoffe aus der Nahrungs- und Futtermittelindustrie

Die biogenen Reststoffe aus der Industrie werden größtenteils bereits für die Futtermittelproduktion und andere stoffliche Zwecke herangezogen. Nach Erhebungen der Hochschule Bremen und der Universität Gießen sind von allen industriellen Reststoffen (einschließlich der in einem nachfolgenden Teilkapitel dargestellten tierischen Fette) maximal 0,5 Millionen Tonnen Trockenmasse in die energetische Nutzung bzw. andere Nutzungspfade umzusteuern, da nur wenige Reststoffe bisher nicht von einer attraktiven Verwertungsstruktur in Anspruch genommen werden.¹⁴

14 HSB, JLU-Gießen 2013.

5 WELCHE ROLLE WERDEN DIE RESTSTOFFE IN ZUKUNFT BEI DER ENERGIEWENDE SPIELEN?

Werden die oben genannten Gesamtpotenziale von heimischer Biomasse ins Verhältnis gesetzt zu einem Primärenergiebedarf in Höhe von 6.950 Petajoule, den das Energiekonzept der Bundesregierung bis 2050 anstrebt, so können zwischen ca. 14 bis 26 Prozent des deutschen Primärenergiebedarfs durch Bioenergie gedeckt werden. Der alleinige Beitrag der Reststoffe zum zukünftigen Energiebedarf würde eine Bandbreite von ca. 8 bis 13 Prozent erreichen.¹⁵

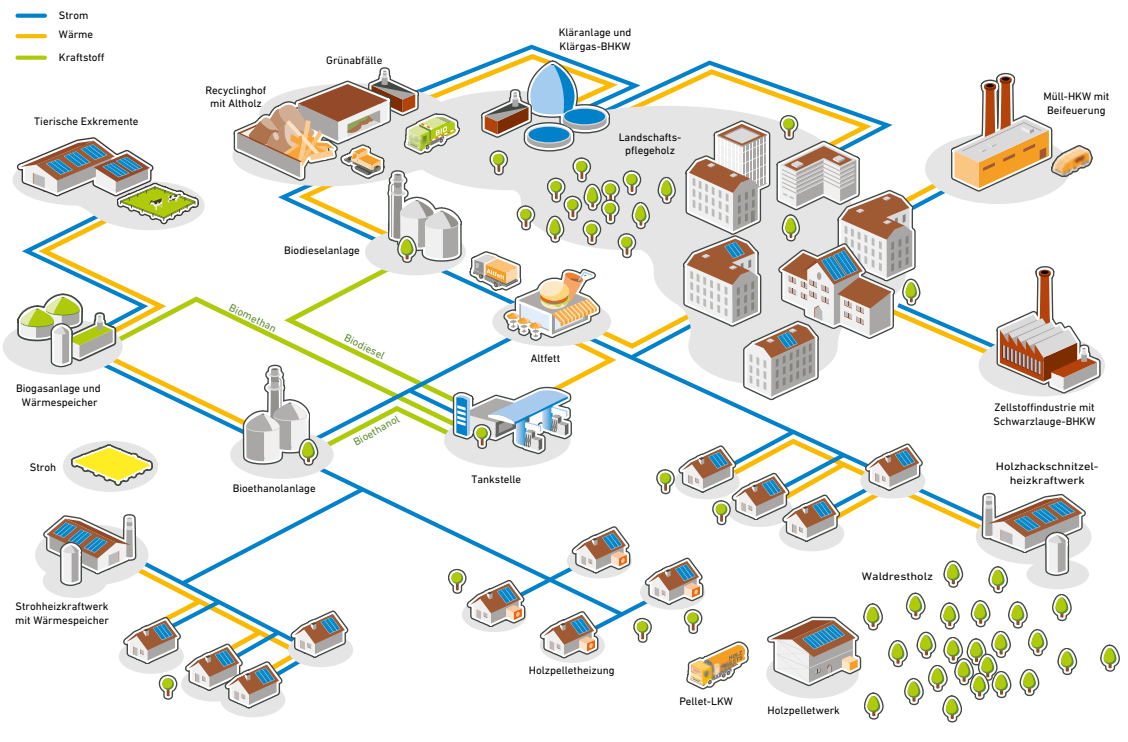
Für die Nutzung biogener Reststoffe sind oft aufwändige logistische Strukturen notwendig. Die Ausgangsbedingungen dafür sind weltweit aber sehr unterschiedlich. Während in Deutschland z.B. die etablierten Abfallsammel- und Verwertungsstrukturen die Nutzung von biogenen Reststoffen erleichtern (z.B. „Grüne“ oder „Braune Tonne“), müssen international dafür in Schwellen- und Entwicklungsländern oft noch Abfallsammelsysteme aufgebaut werden.

Die Nutzung der Reststoffe in der Landwirtschaft ist noch aufwändiger. Ohne zusätzliche Infrastruktur ist nur die direkte Nutzung von Reststoffen möglich, die bei der Verarbeitung von Biomasse z.B. in der Holzverarbeitenden Industrie und der Lebensmittelproduktion anfallen. Wenn die Reststoffe dagegen bei der Ernte anfallen und normalerweise auf dem Feld verbleiben, ist die energetische Nutzung viel aufwändiger, weil die Biomasse zusätzlich gesammelt und transportiert werden muss. Hat ein Reststoff wie z.B. Gülle einen sehr hohen Wassergehalt und damit eine niedrige Energiedichte, sind die Kosten für Transport, Weiterverarbeitung und energetische Nutzung möglicherweise zu hoch. Neben Marktpreisen sowie möglicherweise konkurrierenden Nutzungspfaden des Reststoffs (z.B. als Futtermittel, Dünger) entscheiden auch rechtliche Rahmenbedingungen und politische Förderinstrumente darüber, ob Reststoffe eingesammelt und energetisch genutzt werden können.

Eine theoretische Einschränkung der Bioenergienutzung auf Reststoffe und der Verzicht auf Energiepflanzen würden dazu führen, dass der zukünftige Beitrag der Bioenergie zur Strom-, Wärme- und Biokraftstoffversorgung allenfalls das heutige Niveau beibehalten könnte. Die Bedeutung von Bioenergie als flexibel einsetzbarer Energieträger wird aber mit dem wachsenden Anteil von wetterabhängiger Stromerzeugung aus Wind- und Solarenergie weiter steigen. Zwar versprechen Technologien wie Power-to-Gas, bei denen Wind- und Solarstrom zur Herstellung von Wasserstoff oder synthetischem Methan genutzt werden, dass Speicherung und somit Flexibilität auch auf einer breiten Wind- und Solarenergiebasis sichergestellt werden könnte. Allerdings benötigen diese Technologien ebenfalls umfassende Investitionen in eine neue Infrastruktur und sind derzeit aus wirtschaftlicher Sicht uninteressant. Im Sinne von Risikostreuung und Wettbewerb scheint eine Fokussierung auf Sonne und Wind daher nicht ratsam. In Anbetracht des immer noch vorhandenen Potenzials im Bereich der biogenen Rest- und Abfallstoffe sollten Investitionen in allen Bereichen befördert werden. Zudem ist Bioenergie im Wärme- und Kraftstoffbereich die einzige erneuerbare Energiequelle mit nennenswerten Beiträgen zur Bedarfsdeckung. Nur im Zusammenspiel aller Technologien kann ein weitgehend auf erneuerbaren Quellen basierendes Energieversorgungssystem realisiert werden.

15 FNR 2015.

Rolle der Rest- und Abfallstoffe in der Energieversorgung der Zukunft



Quelle: eigene Darstellung, Stand: 9/2017

6 LITERATUR

AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN (AEE 2013): Potenzialatlas Bioenergie in den Bundesländern. Berlin, Januar 2013.

AEE (AEE 2014): Metaanalyse zu den Potenzialen der Bioenergie in Deutschland, der EU und weltweit. Berlin, Dezember 2014.

AEE: Das Informationsportal zu Erneuerbaren Energien www.unendlich-viel-energie.de.

AEE: Das Informationsportal zur Wärmewende www.waermewende.de.

AEE: Das Bundesländerportal zu Erneuerbaren Energien www.foederal-erneuerbar.de.

AEE: RENEWS SPEZIAL 82 Holzenergie in Deutschland. Berlin, August 2017.

BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN ENTSORGUNGS-, WASSER- UND ROHSTOFFWIRTSCHAFT, /BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, UMWELTBUNDESAMT (BDE, BMU, UBA 2010): Recycling stoppt Treibhausgase. Der Beitrag der Kreislauf- und Wasserwirtschaft zum Klimaschutz. Berlin, Bonn, Dessau-Roßlau, Januar 2010.

BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (BMWI 2017): Das Wichtigste im Jahr 2016 auf einen Blick. Berlin, Februar 2017.

DEUTSCHE BIOMASSEFORSCHUNGSZENTRUM (DBFZ 2012): Energie aus Stroh. Standortplanung- und Bewertung. Leipzig, Dezember 2012.

DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL (DWA 2010): Energiepotenziale in der deutschen Wasserwirtschaft. Bonn, Mai 2010.

DWA (DWA 2012): Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen 2011. Bonn, Dezember 2012.

FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (FNR 2015): Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe Band 36 Biomassepotenziale von Rest- und Abfallstoffen. Gülzow-Prüzen, 2015.

FNR: Gülzower Fachgespräche Band 38 2. Internationale Fachtagung Strohenergie. Gülzow-Prüzen, 2013.

FNR: Basisdaten Bioenergie Deutschland 2016. Gülzow-Prüzen, 2017.

HOCHSCHULE BREMEN, JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIESSEN (HSB, JLU-GIESSEN 2013): Bestandsaufnahme zum biogenen Reststoffpotenzial der deutschen Lebensmittel- und Biotechnik-Industrie. Bremen, Gießen, Januar 2013.

ÖKO-INSTITUT (ÖKO-INSTITUT 2004): Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse. Freiburg i. B., Mai 2004.

SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN (SRU 2011): Sondergutachten Wege zur 100 % erneuerbaren Stromversorgung. Berlin, Januar 2011.

IMPRESSUM

Agentur für Erneuerbare Energien e.V.
Invalidenstraße 91
10115 Berlin
Tel.: 030 200535 30
Fax: 030 200535 51
E-Mail: kontakt@unendlich-viel-energie.de

Aktuelle Informationsangebote finden Sie im Internet:

www.unendlich-viel-energie.de
www.kommunal-erneuerbar.de
www.foederal-erneuerbar.de
www.forschungsradar.de
www.kombikraftwerk.de
www.waermewechsel.de

