

Analyse von Logistikketten zur Versorgung von Bioenergieanlagen unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten

Sarah Deterling, Prof. Dr.-Ing. Bettina Keil (Westfälische Hochschule Zwickau)

Auf dem Weg hin zu einem Energiesystem, welches ohne die Verbrennung von fossilen Energieträgern auskommt, leistet eine Energieform einen besonders hohen Anteil – die Bioenergie. Bioenergie hat sich in der Vergangenheit zu einer tragenden Säule für die Strom-, Wärme- und Kraftstoffbereitstellung etabliert und ist damit gegenüber den anderen erneuerbaren Energieformen in allen drei Energiesektoren vertreten (vgl. Abb. 1).

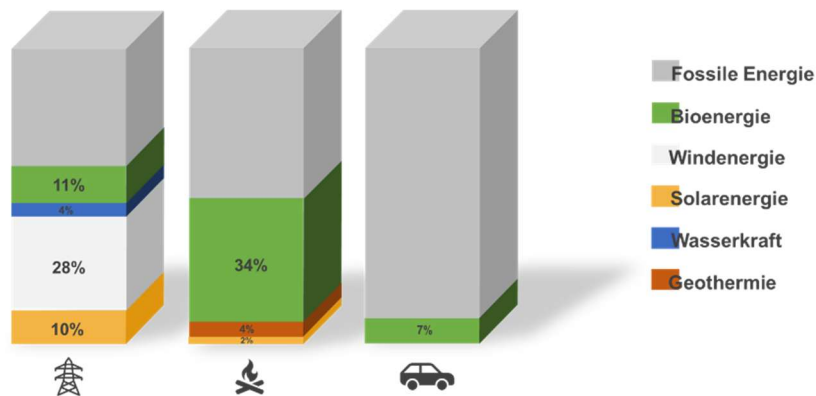


Abbildung 1: Anteil der erneuerbaren Energien in den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr

Vgl. Umweltbundesamt (2020): Erneuerbare Energien in Zahlen

Eine besondere Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang den Logistikketten zur Versorgung von Bioenergieanlagen zu, welche die entsprechenden Bioenergieträger nach der Sechs-R-Regel¹ der Logistik zur Verfügung stellen. Im Rahmen eines ganzheitlichen Analyseansatzes zur Bewertung des Bioenergiepotenzials als zukunftssträchtige Energiequelle sind die logistischen Vorketten ein unabdingbarer Bestandteil. Aus diesem Grund untersucht dieser Beitrag anhand eines ausgewählten Fallbeispiels die mit der Bereitstellung von Bioenergie einhergehenden Auswirkungen.

Nutzungspfade von Bioenergie

Verglichen mit den erneuerbaren Energieformen Wind- und Sonnenenergie sind die Nutzungspfade für Bioenergie äußerst vielfältig (vgl. Abb. 2). Die in den unterschiedlichen Pfaden eingesetzte Biomasse umfasst alle Energieträger, die ihre chemische Energie über den Photosyntheseprozess gewinnen. Durch Vorbehandlung wird die Biomasse in entsprechende Bioenergieträger umgeformt – so zum Beispiel Mais in verschiedenen Zwischenschritten zerlegt und unter anderem in Methan umgewandelt – und in Bioenergieanlagen durch Konversion in elektrische Energie, thermische Energie oder Kraftstoffe als Endenergie bereitgestellt.

¹ Die Sechs-R-Regel beschreibt den Grundsatz eines logistischen Auftrags und ist wie folgt definiert: Die richtige Ware, zur richtigen Zeit, am richtigen Ort, in der richtigen Menge, in der richtigen Qualität und zu den richtigen Kosten bereitzustellen.

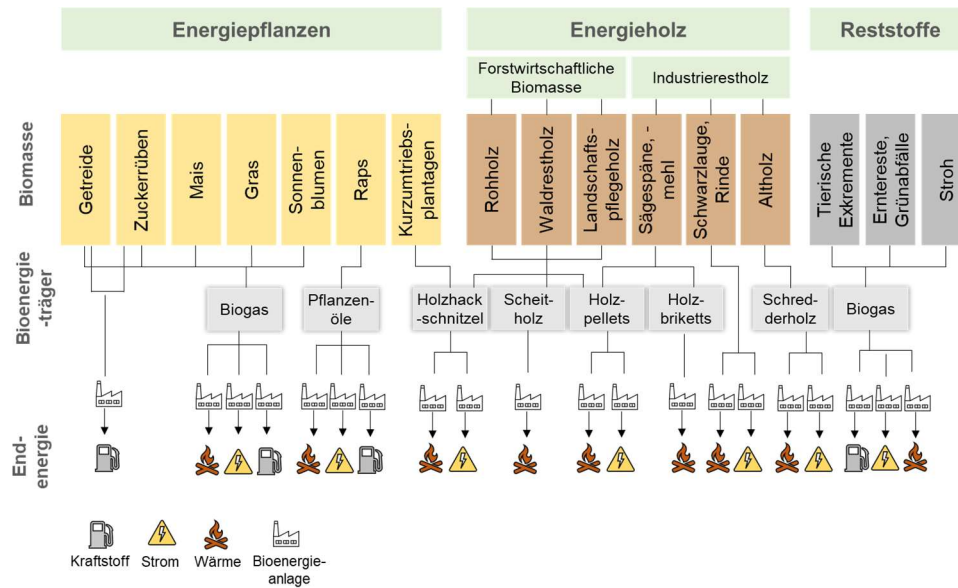


Abbildung 2: Nutzungspfade von Bioenergie

Vgl. Agentur für erneuerbare Energien (2020): Nutzungspfade von Biomasse, Energieholz, Energiepflanzen und Reststoffen

Logistikketten zur Versorgung von Bioenergieanlagen

Entsprechend der vielseitigen Nutzungspfade von Biomasse sind auch mehrere logistische Vorketten zur Bereitstellung von Bioenergieträgern in der Praxis gängig. Im Folgenden sollen die Logistikketten für die beiden Kategorien Energiepflanzen und Energieholz (vgl. Abb. 2) kurz dargelegt werden.

Bei Energiepflanzen folgt auf die Ernte in der Regel ein Transport zur nächsten Lagerstätte, wo die zerkleinerte Biomasse direkt eingelagert wird. Demzufolge bestehen bei inländischen Logistikketten von Energiepflanzen keine oder nur sehr geringe Pufferkapazitäten bis zur finalen Einlagerung vor dem Eingang in den Produktionsprozess. (World Bioenergy Association 2018, S.3)

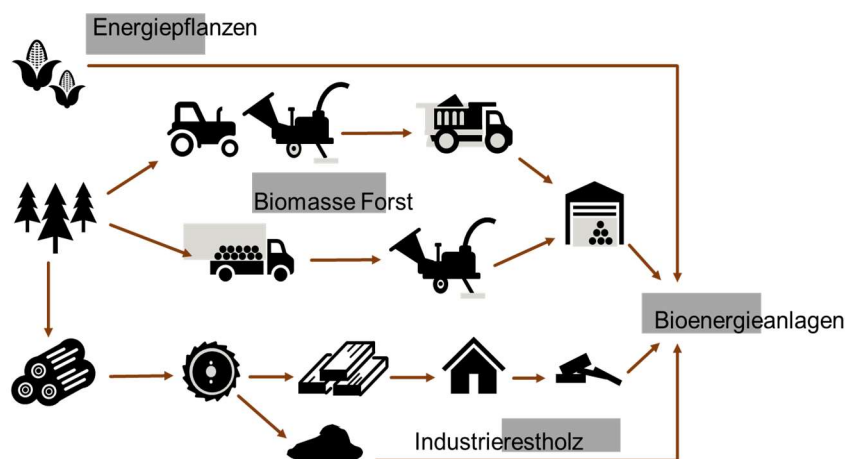


Abbildung 3: Logistikketten zur Versorgung von Bioenergieanlagen (vereinfacht)

Vgl. World Bioenergy Association (2018): Fact sheet: Biomass Supply Chains Harvesting & Collection, Pre-Treatment and Upgrading, Storage, Transportation and Handling, S.2

Analog zu den Energiepflanzen müssen auch Energiehölzer vor ihrem Eintritt in den Energieumwandlungsprozess entsprechend zerkleinert werden. Je nach Ort der Zerkleinerung unterscheiden sich die darauffolgenden Bereitstellungsketten von Energieholz. Eine Möglichkeit besteht mit dem Hacken im Bestand, wobei das Rohholz direkt nach dem Fällen am gleichen Ort gehäckselt und anschließend zur Forststraße gerückt wird. Von dort aus erfolgt das Umschlagen auf einen Lastkraftwagen, welcher das Hackgut zum nächsten zentralen Umschlags- und Lagerpunkt transportiert. (Wolfsmayr, Rauch 2013, S.366)

Aufgrund der räumlichen Einschränkungen beim Hacken im Bestand wird das geerntete Energieholz in den meisten Fällen jedoch vor dem Häckseln zur Forststraße gerückt und an dieser mit mobilen Hackern zerkleinert. (Schulmeyer, Hüttl 2014, S.4) Über einen speziellen Auswurfarm besteht die Möglichkeit einer direkten Lastkraftwagen-Beladung. Um Verzögerungen zu vermeiden oder Platzprobleme zu umgehen, kann die Beladung auch vom Hackprozess entkoppelt stattfinden. (Wolfsmayr, Rauch 2013, S.366 f.)

Eine weitere Option bietet das Hacken in einem Terminal, welcher als Umschlags- und Lagerplatz in der Logistikkette dient. An diesem können unterschiedliche Sortimente von Energieholz, so zum Beispiel auch Altholz, gehäckselt bzw. geschreddert und anschließend per Lastkraftwagen (LKW) oder über Bahn- oder Wasserstraßen zum nächsten Terminal bzw. zur Bioenergieanlage weitertransportiert werden. (Wolfsmayr, Rauch 2013, S.367) Alle hier aufgeführten möglichen Bereitstellungsketten verfügen über verschiedene Pufferoptionen zwischen der Ernte und dem Weitertransport zur Umwandlungsanlage.

Transportmodi für Energieholz

Unabhängig von der Bereitstellungskette wird der Transport von Energieholz aufgrund der geografischen Verteilung und Erschließung der Wirtschaftswälder zum großen Teil mittels LKW abgewickelt. Bei lokalen Transporten, so zum Beispiel das Rücken zur Forststraße, werden zudem landwirtschaftliche Fahrzeuge eingesetzt. Neben geografischen Aspekten sind weiterhin auch Flexibilitätsanforderungen sowie die räumliche Verteilung von Biomasse für den überwiegenden Straßentransport ausschlaggebend. (Wolfsmayr, Rauch 2013, S.368 f.)

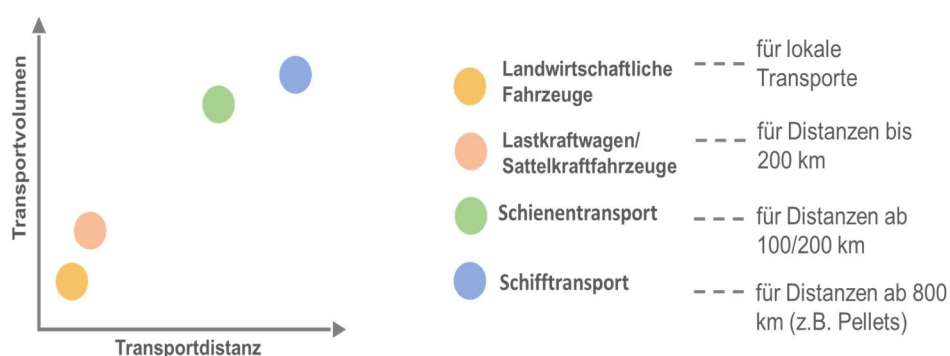


Abbildung 4: Transportmodi für Energieholz

Für einen wirtschaftlichen Schienen- oder Schifftransport sind Entfernungen von 100 bzw. 800 Kilometer erforderlich, sodass die geringen distanzabhängigen Kosten die hohen distanzunabhängigen Kosten, in erster Linie durch den Umschlag, kompensieren können. (Searcy et al 2007, S.649) Neben dem Transportvolumen und der Transportdistanz beeinflussen letztlich auch die Sortimentseigenschaften des Transportgutes sowie der

Feuchtegehalt² (unnötiger Transport von im Holz enthaltenen Wasser) eine ökonomisch und ökologisch sinnvolle Transportlösung. (World Bioenergy Association 2018, S.5)

Transporteigenschaften

Hinsichtlich der Sortimentseigenschaften kann eine grobe Unterteilung in unzerkleinert und zerkleinert vorgenommen werden. Im ungehackten Zustand erweist sich der Transport von Energieholz aufgrund der geringen Ladedichten nur über kürzere Entfernungen zwischen dem Ort der Ernte und dem Terminal als wirtschaftlich kompetitiv, da ein Teil der Ladekapazität ungenutzt bleibt. Bei einem längeren Vortransport von unzerkleinertem Energieholz zu einem zentralen Umschlags- und Lagerplatz stellt eine geringe Ladedichte einen wesentlichen wirtschaftlichen Nachteil dar. (Kühmaier et al. 2007, S.60) Bei einem Hacken im Bestand bzw. an der Forststraße hängt die Wirtschaftlichkeit des Transportes im gehackten Zustand primär von dem Wassergehalt des Transportgutes ab. (Schulmeyer, Hüttl 2014, S.6).

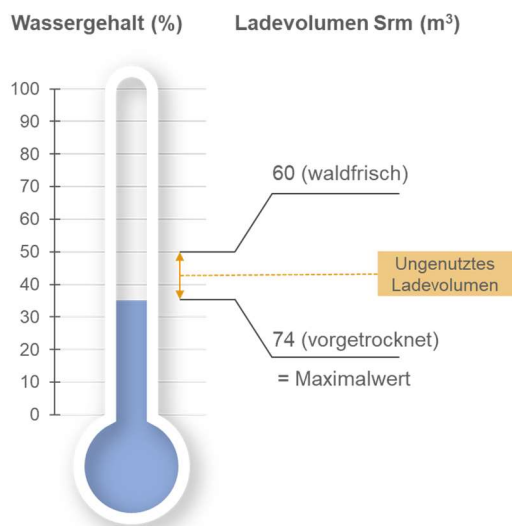


Abbildung 5: Einfluss des Wassergehalts von Hackgut auf das Ladevolumen

Aufgrund ungeeigneter oder fehlender Lagerkapazitäten im Wald werden die waldfrischen Hackschnitzel in vielen Fällen direkt zum nächsten Lagerplatz transportiert. Aufgrund eines hohen Wassergehaltes von circa 50% bei waldfrischem Hackgut kann das mittlere maximale Ladevolumen jedoch nicht vollständig ausgenutzt werden. (Schulmeyer, Hüttl 2014, S.6) Hier gilt: je höher der Wassergehalt, desto höher die Schüttdichte und desto geringer das Ladevolumen. Sowohl die Produktivität als auch die Kosten des Hackschnitzeltransportes auf der Straße hängen demnach maßgeblich vom Wassergehalt ab. (Kühmaier et al. 2010, S.52)

In dem zu Beginn aufgeführten Beispiel eines Biomasseheizkraftwerkes liegt der jährliche Brennstoffbedarf bei 80.000 Tonnen Holz hackschnitzeln. Unter der Annahme einer optimalen Vortrocknung des Hackgutes entspricht diese Menge 400.000 Schüttraummetern pro Jahr, welche sich auf 5.714 Fahrten pro Jahr (und die gleiche Anzahl an entsprechenden Rückfahrten) verteilen. An einem Tag wären demnach 16 Hin- und Rücktransporte zur Brennstoffbereitstellung der Hackschnitzel erforderlich. Je nach Wassergehalt kann diese Zahl noch höher ausfallen. Ein Großteil der Brennstofflieferungen soll in diesem Beispiel aus einer Entfernung von 100 Kilometer erfolgen und lediglich ein kleiner Prozentsatz aus über 250 Kilometer Entfernung angeliefert werden. Umso größer die Entfernung beim Straßentransport zwischen Lager und Bioenergieanlage, umso höher fallen in der Regel auch die distanzabhängigen Kosten aus. In diesem Fall gilt es eine optimale Kapazitätsauslastung der Transportfahrzeuge sicherzustellen, um ungenutzten Laderaum durch einen zu hohen Wassergehalt (und eine entsprechend zu hohe Schüttdichte) zu vermeiden.

² Der Feuchtegehalt zeigt das Verhältnis zwischen der Wassermasse im Holz und der Trockenmasse des Holzes an.

Klimarelevante Emissionen

Neben der direkten Verbrennung von Energieholz tragen insbesondere die logistischen Vorketten zu insgesamt hohen Emissionen von Kohlenstoffdioxid bei. Zur Aufbereitung der Biomasse in entsprechende Bioenergieträger sind unterschiedliche Maschinen erforderlich, deren CO₂-Emissionen die direkten Emissionen deutlich übersteigen. (Memmler et al. 2017, S.61,66,96,107) Im hier betrachteten Fallbeispiel emittieren die 16 Hin- und Rückfahrten pro Tag ungefähr die gleiche Menge an klimarelevanten Treibhausgasen, wie der Verbrennungsprozess. Die Emissionen beider Quellen zusammen, der Verbrennung und dem Transport zwischen Terminal und Biomasseheizkraftwerk, entsprechen den jährlichen Emissionen von circa 2.600 PKW mit Benzinmotor (Vgl. Abb. 6).

Im Gegensatz zu den indirekten Emissionen sind die direkten Emissionen nach den Bilanzierungsvorschriften zu vernachlässigen. Diese Regelung ist dabei die entscheidende Voraussetzung für die Einstufung der Bioenergie als CO₂-emissionsneutrale Energieform in Bezug auf den direkten Energieumwandlungsprozess. (Memmler et al. S.60) Durch die Außerachtlassung der langen Amortisationszeit, d.h. der Zeit zur Wiederabsorption des freigesetzten Kohlenstoffs, gleicht Biomasse, speziell forstliche Biomasse, kurzfristig einem weiteren fossilen Brennstoff. (Sterman et al. 2018, S.8) Infolge der deutlich reduzierten Kohlenstoffspeicherkapazität der Wälder und den erforderlichen Logistikketten zur Brennstoffaufbereitung und -bereitstellung ist daher kurzfristig mit einer Verstärkung des Treibhausgasereffektes zu rechnen.

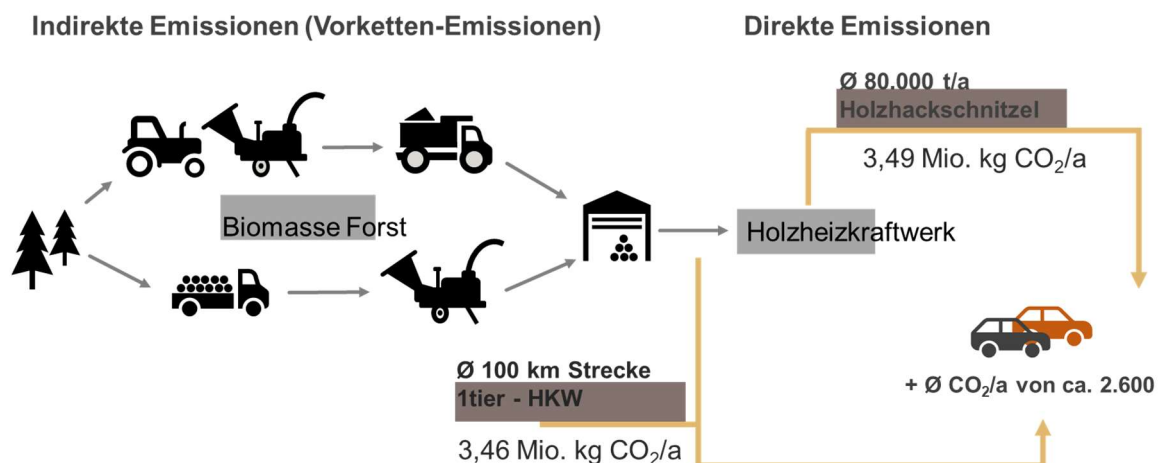


Abbildung 6: Direkte und indirekte Kohlenstoffdioxidemissionen von Bioenergie

Gesundheitsrelevante Emissionen

Neben den genannten klimarelevanten Emissionen sind mit dem Bau eines Biomasseheizkraftwerkes auch eine Reihe von gesundheitsbeeinträchtigenden Emissionen, in erster Linie Schadstoffemissionen, für die Bevölkerung in der Nähe der Anlage verbunden. Für das hier betrachtete Fallbeispiel belaufen sich die durch die Brennstoffanlieferung freigesetzten Mengen von Feinstaub auf 185 Kilogramm pro Jahr und von Stickoxiden auf 8.300 Kilogramm pro Jahr. Speziell der Feinstaubausstoß führt trotz der Einhaltung von gesetzlichen Grenzwerten (pro m³ Ausstoß) zu steigenden negativen Wirkungen bei der damit zunehmenden Schadstoffbelastung. Ob mit dem absoluten Feinstaubausstoß die Grenzwerte für den Luftraum generell eingehalten werden können, wurde bisher nicht nachgewiesen. Langfristig können sich derartige Belastungssteigerungen auf das Lungenwachstum von Kindern auswirken oder die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von

Herzinfarkten oder Lungenkrebs erhöhen, wie bisherige Studienergebnisse verdeutlichen. (Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina 2019, S.28 f.)

Zusätzliche Stickoxidemissionen durch die Verbrennung und Brennstofflieferung können zudem die Wirkung von Feinstaub verstärken sowie die Bildung von sekundärem Feinstaub verursachen. (UBA 2013) Die zusätzlichen Schadstoffkonzentrationen durch Stickoxide entsprechen dabei dem durchschnittlichen Ausstoß von circa 15.000 PKW mit Benzinmotoren pro Jahr, bei Feinstaub liegt der Vergleichswert bei circa 26.000 Benzin-PKW (Vgl. Abb.7).

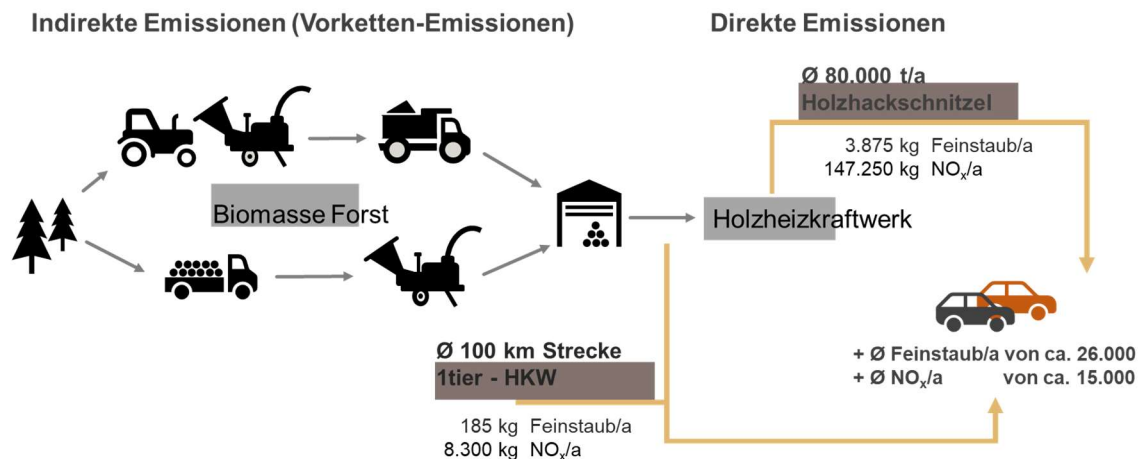


Abbildung 7: Direkte und Indirekte Stickoxid- und Feinstaubemissionen von Bioenergie

Fazit

Die Analyse der Logistikkette zur Versorgung eines Holzhackschnittzelheizkraftwerkes zeigt, dass eine pauschale Betrachtung von Biomasse als CO₂-emissionsneutrale Energieträger nicht möglich ist. Vielmehr birgt eine solche die Gefahr, mit dem großen finanziellen Aufwand eine Richtung einzuschlagen, die dem Mensch und seiner Mitwelt mehr schadet als dass sie den Weg zur Transformation eines erneuerbaren Energiesystems ebnet. Dabei sind es nicht ausschließlich die Verbrennungsprozesse von Biomasse, sondern die logistischen Vorketten, welche im Vergleich zu denen der anderen erneuerbaren Energieformen gegenwärtig erhebliche klima- und gesundheitsschädigende Emissionen freisetzen, die sich nicht mittels einer Wiederaufforstung kurzfristig amortisieren lassen. Eine differenzierte Betrachtung der vielseitigen Nutzungspfade und Bereitstellungsketten von Bioenergie ist daher dringend notwendig, um die langfristigen Potenziale einer energetischen Verwertung von Biomasse beurteilen zu können.

Literatur

Agentur für erneuerbare Energien (2020): Nutzungspfade von Biomasse, Energieholz, Energiepflanzen und Reststoffen, verfügbar unter URL: <https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken/nutzungspfade-von-biomasse-energieholz-energiepflanzen-und-reststoffen>, abgerufen am 23.11.2020.

Kühmaier, M.; Kanzian, C.; Holzleitner, F.; Stampfer, K. (2007): Wertschöpfungskette Waldhackgut. Optimierung von Ernte, Transport und Logistik. Projektstudie im Auftrag von BMLFUW, Land Niederösterreich, Stadt Wien und ÖBf AG. Institut für

Forsttechnik, Department für Wald und Bodenwissenschaften, Universität für Bodenkultur, Wien.

- Kühmaier, M.; Kanzian, C.; Holzleitner, F.; Rottensteiner, C.; Affenzeller, G.; Stampfer, K. (2010): Wertschöpfungskette Waldhackgut – Optimierung von Ernte, Transport und Logistik, verfügbar unter URL: https://raumberg-gumpenstein.at/jdownloads/Tagungen/Energietagung/Energietagung_2010/3e_2010_kuehmaier.pdf, abgerufen am 23.11.2020.
- Memmler, M.; Lauf, T.; Schneider, S. (2018): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger - Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2017, verfügbar unter URL: <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/emissionsbilanz-erneuerbarer-energietraeger>, abgerufen am 23.11.2020.
- Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina (2019): Saubere Luft. Stickstoffoxide und Feinstaub in der Atemluft: Grundlagen und Empfehlungen. Halle (Saale).
- Schulmeyer, F.; Hüttl, K. (2014): Hacken, schütten, liefern – LWF und TFZ untersuchen Produktivität und Kosten bei mobilen Hackereinsätzen in Bayerns Wälder, in LWF aktuell: Powerchips aus dem Wald, 6. Ausgabe 2014, S.4-7.
- Searcy, E.; Flynn, P.; Ghafoori, E.; Kumar, A. (2007): The Relative Cost of Biomass Energy Transport, in: Applied Biochemistry and Biotechnology, 136-140. Jg., S. 639-652 (2007).
- Sterman, J.D., Siegel, L., Rooney-Varga, J.N. (2018): Does replacing coal with wood lower CO₂ emissions? Dynamic lifecycle analysis of wood bioenergy, in: Environmental Research Letters, 13 Jg., Nr.1, S.1-10.
- Umweltbundesamt (UBA) (2013): Warum sind Stickstoffoxide (NO_x) schädlich?, verfügbar unter URL: <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/warum-sind-stickstoffoxide-nox-schaedlich>, abgerufen am 23.11.2020.
- Umweltbundesamt (UBA) (2020): Erneuerbare Energien in Zahlen, verfügbar unter URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#uberblick>, abgerufen am 23.11.2020.
- Wolfsmayr, U. J.; Rauch, P. (2013): Transportketten forstlicher Biomasse – Stand der Technik und Innovationen in Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 12. Ausgabe 2013, S.365-373.
- World Bioenergy Association (2018): Fact sheet: Biomass Supply Chains Harvesting & Collection, Pre-Treatment and Upgrading, Storage, Transportation and Handling, verfügbar unter URL: <https://worldbioenergy.org/uploads/Factsheet%20-%20Biomass%20Supply%20Chains.pdf>, abgerufen am 23.11.2020.