



**Studie zum Aufkommen und zu energetischen sowie stofflichen
Verwertungsmöglichkeiten biogener Reststoffe
in den Landkreisen Pfaffenhofen und Neuburg-Schrobenhausen**

- Endbericht -

31. März 2020



Gefördert durch das Bayerische Staatsministerium für Ernährung,
Landwirtschaft und Forsten und den Europäischen Landwirtschafts-
fonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER)



ia GmbH –
Wissensmanagement und
Ingenieurleistungen



Technische Universität München
Lehrstuhl für Holzwirtschaft/
Holzforschung München (HFM)



Dr. Gehrig Management- &
Technologieberatung GmbH

ia GmbH - Wissensmanagement und Ingenieurleistungen

Dipl.-Ing. Werner Bauer
Lipowskystr. 8,
81373 München

**Holzforschung München,
Technische Universität München,**

Standort Freising
Lehrstuhl für Holzwissenschaft
M.Sc. Sabine Helm
Apl. Prof. Dr. rer. silv. Gabriele Weber-Blaschke
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2
85354 Freising

Dr. Gehrig Management- & Technologieberatung GmbH

Dr. Sarah Gehrig
Escherstrasse 23
30159 Hannover

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	7
1 Ausgangslage	10
2 Zielsetzung und Systemgrenzen	11
2.1 Zielsetzung	11
2.2 Systemgrenzen	12
3 Projektpartner	12
3.1 ia GmbH - Wissensmanagement und Ingenieurleistungen	12
3.2 Technische Universität München - Lehrstuhl für Holzwissenschaft/ Holzforschung München (HFM)	12
3.3 Dr. Gehrig Management- & Technologieberatung GmbH	13
4 Teilprojekt: Aufkommen und energetische sowie stoffliche Verwertungsmöglichkeiten kommunaler Bioreststoffe	14
4.1 Definition	14
4.2 Datenerhebung	14
4.3 Anlagen zur Verwertung von kommunalen Bioreststoffen	14
4.4 Nutzung und Potentiale	15
4.4.1 Abfälle aus der Biotonne	15
4.4.2 Grüngut	16
4.5 Zusammenfassende Darstellung der kommunalen Reststoffströme	17
4.6 Techniken zur optimierten Verwertung biogener Reststoffströme	18
4.7 Zusammenfassung und Ausblick	19
5 Teilprojekt: Aufkommen und energetische sowie stoffliche Verwertungsmöglichkeiten holzartiger Reststoffe	20
5.1 Kurzfassung	20
5.2 Begriffsbestimmungen und Definitionen	22
5.2.1 Untersuchungsrahmen	22
5.2.2 Biogene Reststoffarten	22
5.2.3 Holzflüsse und Reststoffverwertung	23
5.2.4 Energetische Biomasseverwertung	25
5.2.5 Potenzialanalyse	27
5.3 Allgemeine Vorgehensweise	29
5.4 Analyse der einzelnen Restholzsortimente	30
5.4.1 Waldrestholz	30

5.4.1.1	Begriffsbestimmung.....	30
5.4.1.2	Datenerhebungs- und Berechnungsmethoden	32
5.4.1.3	Regionale Gegebenheiten und Aufkommen von Waldholz einschließlich Waldhackschnitzel.....	36
5.4.1.4	Aktuelle Verwendung und Verwertung des Waldholzes	40
5.4.1.5	Potenzialanalyse von Waldholz und Waldenergieholz aus Derbholz und Waldrestholz	42
5.4.1.6	Ökologische und Ökonomische Auswirkungen	46
5.4.2	Sägenebenprodukte	51
5.4.2.1	Begriffsbestimmung.....	51
5.4.2.2	Datenerhebungs- und Berechnungsmethoden	51
5.4.2.3	Regionale Gegebenheiten und Aufkommen von Sägenebenprodukten.....	52
5.4.2.4	Aktuelle Verwendung und Verwertung	53
5.4.2.5	Potenzialanalyse und mögliche optimierte Verwertungsverfahren und -wege	53
5.4.2.6	Ökologische und Ökonomische Auswirkungen	54
5.4.3	Industrierestholz	55
5.4.3.1	Begriffsbestimmung.....	55
5.4.3.2	Datenerhebungs- und Berechnungsmethoden	56
5.4.3.3	Regionale Gegebenheiten und Aufkommen von Industrierestholz.....	56
5.4.3.4	Aktuelle Verwendung und Verwertung	57
5.4.3.5	Potenzialanalyse und mögliche optimierte Verwertungsverfahren und -wege	58
5.4.3.6	Ökologische und Ökonomische Auswirkungen	58
5.4.4	Gebrauchtholz	58
5.4.4.1	Begriffsbestimmung.....	58
5.4.4.2	Datenerhebungs- und Berechnungsmethoden	59
5.4.4.3	Regionale Gegebenheiten und Aufkommen von Gebrauchtholz.....	60
5.4.4.4	Aktuelle Verwendung und Verwertung	61
5.4.4.5	Potenzialanalyse und mögliche optimierte Verwertungsverfahren und -wege	63
5.4.4.6	Ökologische und Ökonomische Auswirkungen	64
5.4.5	Landschaftspflegeholz und kommunale Grünabfälle	65
5.4.5.1	Begriffsbestimmung.....	65
5.4.5.2	Datenerhebungs- und Berechnungsmethoden	65
5.4.5.3	Regionale Gegebenheiten und Aufkommen von Landschaftspflegeholz	66
5.4.5.4	Aktuelle Verwendung und Verwertung	68
5.4.5.5	Potenzialanalyse und mögliche optimierte Verwertungsverfahren und -wege	68
5.4.5.6	Ökologische und Ökonomische Auswirkungen	70
5.5	Fazit und Handlungsempfehlungen für holzartige Reststoffe.....	70

5.5.1	Restholzflüsse in den Landkreisen Pfaffenhofen und Neuburg-Schrobenhausen	70
5.5.2	Nutzung und Potenziale von Waldrestholz im Staatswald	72
5.5.3	Nutzung und Potenziale von Waldrestholz im Privatwald	72
5.5.4	Nutzung und Potenziale von Sägenebenprodukte	74
5.5.5	Nutzung und Potenziale von Industrierestholz	74
5.5.6	Nutzung und Potenziale von Gebrauchtholz	75
5.5.7	Nutzung und Potenziale von Landschaftspflegeholz	75
6	Teilprojekt: Aufkommen und energetische sowie stoffliche Verwertungsmöglichkeiten von Klärschlamm sowie landwirtschaftlichen und gewerblichen Abfällen	76
6.1	Definition, Herkunft und Mengen der Reststoffe	76
6.1.1	Landwirtschaft	77
6.1.2	Tierische Exkrememente	77
6.1.3	Landwirtschaftliche Reststoffe	82
6.1.4	Grünland	84
6.1.5	Nachwachsende Rohstoffe	85
6.1.6	Verarbeitende Industrie und Gewerbe	86
6.1.7	Klärschlamm	87
6.2	Verwertungsmethoden und Bilanzen	91
6.2.1	Hydrothermale Carbonisierung	92
6.2.1.1	Verfahren	93
6.2.1.2	Substrate	95
6.2.1.3	Anwendungsfälle und Verbreitung	95
6.2.1.4	Vor- und Nachteile	95
6.2.1.5	CO ₂ -Bilanz HTC	97
6.2.1.6	Ökonomische Bilanz HTC	98
6.2.2	Pyrolyse	99
6.2.2.1	Die schnelle Pyrolyse	100
6.2.2.2	Die langsame Pyrolyse	100
6.2.2.3	Substrate	101
6.2.2.4	Stand der Technik/Kosten	102
6.2.2.5	Beispielhafte Auslegung der Pyrolyseanlagen	102
6.2.2.6	CO ₂ -Bilanz der Pyrolyse	104
6.2.2.7	Ökonomische Bilanz der Pyrolyse	105
6.2.3	Holzvergasung	105
6.2.4	CO ₂ -Bilanz Vergasung	107
6.3	Klärschlammverwertung	107

7 Handlungsempfehlungen	108
8 Literatur 1	111
9 Literatur 2	116
10 Anhang	118

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Sinnvolle Bioabfallmengen und Potenzialbetrachtung	15
Abbildung 2: Grüngutmengen und Potenzialbetrachtung Basisdaten aus ForumZ	17
Abbildung 3: Aufkommen, Stoffströme, Verwertungswege und Potenziale der kommunalen Bioreststoffen in den Landkreisen Pfaffenhofen und Neuburg-Schrobenhausen.	17
Abbildung 4: Sensitivitätsanalyse Gesamtkosten Bioabfallverwertung, Bioabfallforum Stuttgart	18
Abbildung 5: Einteilung und Bereitstellung biogener Reststoffe	23
Abbildung 6: Holzfluss entlang der Verarbeitungskette mit Darstellung der Resthölzer und deren durchschnittliche Anteile für die energetische Nutzung (RÜTER 2011)	24
Abbildung 7: Beispielhafte mögliche Kaskadennutzung von holzigen Reststoffen (HÖGLMEIER et al. 2016).....	24
Abbildung 8 Typische Bereitstellungsketten zur energetischen Verwertung von Biomasse (KALTSCHMITT et al. 2016)	25
Abbildung 9: Möglichkeiten der thermochemischen Umwandlung biogener Festbrennstoffe	26
Abbildung 10: Technologien und Entwicklungsstand der Technik zur Energiebereitstellung aus Holz (FNR 2014).....	27
Abbildung 11: Bioenergiepotenziale und deren Beziehungen zueinander (KALTSCHMITT et al. 2016).....	28
Abbildung 12: Holzfraktionen, die bei der Aufarbeitung von Bäumen anfallen (KÖHL & PLUGGE 2016).....	30
Abbildung 13: Mögliche Nutzungsvarianten bei der Holzfraktionen bei der klassischen Holzernte (linke Seite) und bei der Vollbaumnutzung (rechte Seite) (Kuptz et al. 2015)	31
Abbildung 14: Problemgebiete und Gunsträume in Deutschland hinsichtlich der Ernährungssituation des Waldes (MELLERT et al. 2017). Schwarz umrandeter Bereich stellt die Landkreise Pfaffenhofen und Schrobenhausen dar.....	49
Abbildung 15: Aufkommen an Gebrauchtholz der Klassen I bis III über die kommunale Abfallentsorgung 2007 – 2017 in kg pro Einwohner und Jahr im Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm (GÄNGER 2018)	61
Abbildung 16: Aufkommen an Gebrauchtholz der Klassen I bis IV über die kommunale Abfallentsorgung 2012 – 2017 im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen (LANDKREISBETRIEBE NEUBURG-SCHROBENHAUSEN 2018a)	61
Abbildung 17: Aufkommen an Baum-/Strauchschnitt und Grüngut über die kommunale Abfallentsorgung 2012 – 2017 im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen (LANDKREISBETRIEBE NEUBURG-SCHROBENHAUSEN 2018a)	67
Abbildung 18: Aufkommen, Stoffströme, Verwertungswege und Potenziale der holzigen Reststoffe in den Landkreisen Pfaffenhofen und Neuburg-Schrobenhausen. Die Mengenangaben in Tsd. t beziehen sich auf die Frischmasse des jeweiligen Reststoffes. Die prozentualen Angaben beziehen sich auf das Gesamtaufkommen der aller holzartigen Reststoffe in den untersuchten Landkreisen.	71

Abbildung 19: Beispielhaftes Konzept eines runden Tisches zur Umsetzung von regionalen Energieversorgungs-konzepten auf Basis von Waldhackschnitzeln	74
Abbildung 20: Anzahl der verschiedenen Nutztiere in den landwirtschaftlichen Betrieben im Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm und Neuburg Schrobenhausen	79
Abbildung 21: Größenordnung und Anlagensystem für den Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm.....	88
Abbildung 22: Größenordnung und Anlagensystem für den Landkreis Neuburg-Schrobenhausen.....	89
Abbildung 23: Anzahl und Einwohnerwerte (EW) der kommunalen Kläranlagen je Landkreis, eigene Darstellung mit Daten aus BayLfU 2013.	90
Abbildung 24: Abgeschätzte Masse an Klärschlamm bezogen auf TR der kommunalen Kläranlagen je Landkreis, eigene Darstellung mit Daten aus BayLfU 2013 und DWA 2015.	91
Abbildung 25: Schema Jan Ohlert Integration HTC in Kläranlage (bisher nur selten umgesetzt)	94

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Berechnung des Potenzials an zusätzlichem Bioabfall in den untersuchten Landkreisen	16
Tabelle 2: Zusammenfassung der Art der Datenerhebung und Anzahl der Umfragen für die einzelnen Reststoffe in den untersuchten Landkreisen	29
Tabelle 3: Experteninterviews zum Potenzial von Waldrestholz	32
<i>Tabelle 4: Dichteangaben zur Umrechnung von Festmeter lutro in Tonne lutro bei einem Wassergehalt von 50% (KALTSCHMITT et al. 2016))</i>	<i>34</i>
Tabelle 5: Berechnete untere Heizwerte (Hu) zur Ermittlung des Energieinhalts von frischem und luftgetrocknetem Waldenergieholz	34
Tabelle 6: Zusammensetzung, aggregierte Raumdichte und Heizwert der Baumartengruppen zur Energiepotenzialberechnung aus Derbholz	36
Tabelle 7: Waldfläche und Eigentumsart in den Landkreisen Neuburg-Schrobenhausen und Pfaffenhofen im Vergleich zu Bayern auf Basis der Bundeswaldinventur 2012, Kleinprivatwald: Waldeigentum ≤ 20 ha (AELF PFAFFENHOFEN A. D. ILM 2018, LWF 2014)	36
Tabelle 8: Baumartenzusammensetzung der Planungsregion Ingolstadt auf Basis der Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur aus dem Jahr 2012 (LWF 2018)	37
Tabelle 9: Charakterisierung der Waldbesitzervereinigungen (WBV) Pfaffenhofen und Neuburg-Schrobenhausen	38
Tabelle 10: Holzaufkommen im Privatwald in den untersuchten Landkreisen im Vergleich zu Bayern	39
Tabelle 11: Gegenüberstellung des Wärmebedarfs (Endenergiebedarf) in den untersuchten Landkreisen (STMWi (2018), Bezugsjahr: 2016) und den verfügbaren Energiemengen aus den 2017 über die WBVs vermarkteten Waldhackschnitzel	39
Tabelle 12: Menge und Anteil des Waldholzes, unterteilt in den jeweiligen Sortimenten, aus der Vermarktung der Waldbesitzervereinigungen (WBVs), die im eigenen Landkreis verwertet wird, bzw. bei Stammholz maximal verwertet werden könnte.	41
Tabelle 13: Verbrauch an Waldhackschnitzeln der Biomasseheiz(kraft)werke in den untersuchten Landkreisen im Jahr 2017	42
Tabelle 14: Vergleich des Aufkommens an Waldholz und Waldenergieholz in Teilgebieten der untersuchten Landkreise mit dem theoretischen wirtschaftlichen Potenzial	43
Tabelle 15: Treibhausgasvermeidung durch Wärme aus Holz in g CO ₂ -eq pro MJ Nutzenergie bzw. kg CO ₂ -eq pro fm Holz (DRESSLER et al. 2016a) (Geltungsbereich der Ergebnisse: Hackschnitzel 50 kW: 30 – 100 kW; Hackschnitzel 300 kW: 100 – 700 kW; Hackschnitzel 1.000 kW: 700 – 5.000 kW; Pellets 15 kW: 10 – 30 kW; Pellets 50 kW: 30 – 100 kW; Scheitholz 6 kW: 6 – 20 kW; zur Umrechnung von Megajoule (MJ) in Kilowattstunden (kWh) müssen die Ergebnisse durch 3,6 dividiert werden).	47
Tabelle 16: Dichteangaben zur Umrechnung von Festmeter lutro in Tonne lutro bei einem Wassergehalt von 20%.....	51

Tabelle 17: Berechnete untere Heizwerte zur Ermittlung des Energieinhalts von Sägenebenprodukten	52
Tabelle 18: Hochgerechneter Jahreseinschnitt und Aufkommen an Sägenebenprodukten in den untersuchten Landkreisen	52
Tabelle 19: Berechnetes Aufkommen und Verwertung von Sägenebenprodukten in den untersuchten Landkreisen 2017	53
Tabelle 20: Treibhausgaseinsparungen von Spanplatten-Produkten gegenüber Nicht-Holz-Vergleichsprodukten (KNAUF et al. 2015)	55
Tabelle 21: Dichteangaben zur Umrechnung von Schüttraummeter (srm) Industrierestholz in Tonne lutro bei einem Wassergehalt von 20% (KALTSCHMITT et al. 2016).....	56
Tabelle 22: Berechnete untere Heizwerte zur Ermittlung des Energieinhalts von Industrierestholz	56
Tabelle 23: Anzahl aller gemeldeten Zimmerer und Schreiner in den untersuchten Landkreisen sowie Anzahl aller Mitglieder in den zuständigen Innungen.	57
Tabelle 24: Einteilung von Altholz und Verwertungsmöglichkeiten (AltholzV, BImSchV)	59
Tabelle 25: Untere Heizwerte zur Ermittlung des Energieinhalts von Industrierestholz	60
Tabelle 26: Gebrauchtholzaufkommen der privaten Haushalte in den untersuchten Landkreisen im Jahr 2017 im Vergleich zum bayern- und oberbayernweitem Durchschnitt.....	63
Tabelle 27: Untere Heizwerte zur Ermittlung des Energieinhalts von Landschaftspflegeholz und holzartigem Grünschnitt.....	65
Tabelle 28: Erfasste Mengen an Landschaftspflegeholz und holzartigem und nicht-holzartigem Grünschnitt im Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm im Jahr 2017	66
Tabelle 29: Erfasste Mengen an Landschaftspflegeholz und holzartigem und nicht-holzartigem Grünschnitt im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen im Jahr 2017	67
Tabelle 30: Erfasste Mengen an Landschaftspflegeholz und holzartigen Grünschnitt in den untersuchten Landkreisen im Jahr 2017	68
Tabelle 31: Aufkommen an Grünschnitt aus der kommunalen Sammlung in den untersuchten Landkreisen im Jahr 2017 im Vergleich zum bayern- und oberbayernweitem Durchschnitt	69
Tabelle 32: Anzahl landwirtschaftlicher Betriebe und Anzahl der dort gehaltenen Tiere in den Landkreisen Pfaffenhofen a.d.Ilm und Neuburg Schrobenhausen.	78
Tabelle 33: Jährliche Güllemengen der verschiedenen Nutztierarten in den Landkreisen Pfaffenhofen a.d.Ilm und Neuburg-Schrobenhausen.	80
Tabelle 34: Richtwerte zur Berechnung des Methanertrages [eigene Darst. nach Kunz 2004 und KTBL 2005].....	81
Tabelle 35: Berechnung der Energiemenge aus Rinder-, Schweinegülle und Hühnerkot [eigene Darstellung nach KTBL].....	81
Tabelle 36: Durchschnittliche Korn- und Stroherträge (der Jahre 2016 und 2017) sowie Anbauflächen in den Landkreisen Pfaffenhofen und Neuburg-Schrobenhausen. [Bayrisches Landesamt für Statistik 2019], eigene Darstellung.....	83

Tabelle 37: Berechnung der Energiemengen, welche aus Gras von Wiesen und Weiden im Projektgebiet gewonnen werden könnte. [eigene Darstellung, nach KTBL]	85
Tabelle 38: Übersicht über das biogene Reststoffaufkommen in der deutschen Lebensmittel- und Biotechnik-Industrie (in Mg/a) [Gaida, B., Schüttmann, I, et al. 2013]	86
Tabelle 39: Reststoffaufkommen aus Gewerbe im Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm im Jahr 2013	87
Tabelle 40: Eigenschaften der thermochemischen Konversionsverfahren. (Teichmann 2014)	92
Tabelle 41: Übliche Betriebsparameter der HTC Technologie(Masurat 2015; Reza et al. 2014).....	93
Tabelle 42: Vor- und Nachteile der HTC von Klärschlamm gegenüber der Monoverbrennung	97
Tabelle 43: Übersicht über die industrielle HTC-Anlagen aus der Literatur. (Quelle: Reza et al. 2014).....	99
Tabelle 44: Verwertungsmatrix für die unterschiedlichen biogenen Reststoffe	101
Tabelle 45: Vor- und Nachteile der Pyrolyse von Reststoffen.....	103
Tabelle 46: Vor- und Nachteile der gängigen Verfahren zur Holzvergasung.....	106

1 Ausgangslage

Das Projekt „Studie zum Aufkommen und zu energetischen sowie stofflichen Verwertungsmöglichkeiten biogener Reststoffe in den Landkreisen Pfaffenhofen und Neuburg-Schrobenhausen“ wurde als Kooperationsprojekt der Energie Effizient Einsetzen e.V. und der Energie- und Solarverein Pfaffenhofen e.V. der ia GmbH in Auftrag gegeben. Der Lehrstuhl für Holzwissenschaft/Holzforschung München der Technischen Universität München sowie die Dr. Gehrig Management- & Technologieberatung GmbH sind Projektpartner und Unterauftragnehmer.

Von den Auftraggebern wird angenommen, dass Abfälle biogener Herkunft in den beiden Landkreisen überwiegend nicht verwertet werden und das energetische Potenzial dieser Abfallströme nur eingeschränkt genutzt wird. Bisher existiert keine entsprechende qualitative und oder quantitative Datengrundlage, welche auf die Landkreise anwendbar ist. Deutschland- und bayernweit existieren einige Analysen (BROSOWSKI et al. 2015, AEE 2013), die die Verfügbarkeit und die Menge bisher nicht genutzter biogener Reststoffe beziffern, aber auch angeben, dass die biogenen Reststoffe räumlich sehr heterogen verteilt sind.

BROSOWSKI et al. (2015) bewerten die Datenverfügbarkeit z.B. von forstwirtschaftlichen Reststoffen auf Landkreisebene überwiegend mit „nicht vorhanden“, bezeichnen aber dagegen die räumliche Relevanz des Reststoffaufkommens für die energetische Nutzung als hoch bis sehr hoch.

Aufgabe dieser Studie ist deshalb die Evaluierung des vorhandenen Reststoffpotenzials, der aktuellen Behandlungswege sowie der Einsatz möglicher optimierter Verwertungsverfahren unter Berücksichtigung der besonderen regionalen und landkreisspezifischen Gegebenheiten.

Im Rahmen der Studie sollen ebenfalls Energiebilanzen, CO₂-Bilanzen und ökonomische Bilanzen bestehender und potenzieller Verwertungsverfahren gegenübergestellt werden. Unter Berücksichtigung der im Laufe der Studie erarbeiteten Ergebnisse soll eine Handlungsempfehlung für die optimierte Verwertung der biogenen Reststoffe in den Landkreisen Pfaffenhofen und Neuburg-Schrobenhausen entwickelt werden.

Die Nutzungsmöglichkeiten von Bioenergie werden in Deutschland kontrovers diskutiert. Denn „Bioenergie hat teilweise zwar eine bessere Treibhausgasbilanz als fossile Energie. Jedoch kann der Anbau von Biomasse mit vielfältigen negativen Wirkungen auf Mensch und Umwelt verbunden sein.“ (UBA). Da die aufbereitete Biomasse lagerfähig ist, kann dieser erneuerbare Energieträger zu Photovoltaik und Windkraft supplementär eingesetzt werden. Damit sind Energieträger aus Biomasse ein wesentlicher und stabilisierender Faktor in der Energiewende.

Die Umweltfolgen der Bioenergieförderung wurden in den letzten Jahren nur unzureichend beachtet. „Die ackerbaulich erzeugten Energiepflanzen (so genannte Anbau-Biomasse, im Unterschied zur Abfall-Biomasse), insbesondere der wegen seiner hohen Flächenerträge, hohen Gülle-Verträglichkeit und seines hohen Energieinhalts für die Biogas-Erzeugung bevorzugte Mais, lösten einen zusätzlichen Intensivierungsdruck auf vorhandenen Ackerflächen und Produktionsausweitungen zu Lasten bisheriger Grünlandstandorte aus. Dadurch wurden mühsam erreichte umweltentlastende Trends konterkariert, die Nitratgehalte im Grundwasser stiegen wieder an und durch Grünlandumbruch, vor allem auf Niedermoor Standorten, wurden klimawirksame Spurengase in erheblichem Umfang freigesetzt. Hinzu kommt der erhebliche Umweltdruck der intensiven Tierhaltung.“ (UBA).

Die Klage der EU-Kommission am Europäischen Gerichtshof (EuGH) gegenüber der Bundesrepublik in Bezug auf mutmaßliche Versäumnisse beim Grundwasserschutz aus dem Oktober 2016 ist mit Abgabe der Studie nach wie vor anhängig. Die Klageschrift umfasst rund 40 Seiten und 1500 Seiten Anhang. Darin geht es um die seit Jahren in vielen Regionen Deutschlands steigende Belastung des

Grundwassers mit Nitrat. Als Hauptursache werden die Landwirtschaft, sowie die Überdüngung mit Gülle und Mist genannt. (Quelle Spiegel Online vom 7.11.2016).

Da durch das neue Klärschlammgesetz mittelfristig Klärschlammengen nicht mehr landwirtschaftlich genutzt werden dürfen und langfristig auch der Phosphor verwertet werden soll, macht es mehr denn je Sinn, die Erfassung und Verwendung organischer Reststoffe neu zu entwerfen.

2 Zielsetzung und Systemgrenzen

2.1 Zielsetzung

Aufgabe der Studie ist die Evaluierung des vorhandenen Reststoffpotenzials, der aktuellen Behandlungswege sowie des Einsatzes möglicher optimierter Verwertungsverfahren unter Berücksichtigung der regionalen landkreisspezifischen Gegebenheiten.

Im Rahmen der Studie sollen ebenfalls Energiebilanzen, CO₂-Bilanzen und ökonomische Bilanzen bestehender und potenzieller Verwertungsverfahren gegenübergestellt werden. Ebenso soll der Einsatz der Verwertungsprodukte als Düngemittel betrachtet und beurteilt werden.

Unter Berücksichtigung der im Laufe der Studie erarbeiteten Ergebnisse soll eine Handlungsempfehlung für die optimierte Verwertung der biogenen Reststoffe in den Landkreisen Pfaffenhofen und Neuburg-Schrobenhausen entwickelt werden.

Die biogenen Reststoffe wurden zur weiteren Bearbeitung in folgende Reststoffarten unterteilt:

1. Bio- und Grüngut aus privaten Haushalten
2. biogene Reststoffe aus der Landschaftspflege und kommunale Bioreststoffe
3. biogene Reststoffe aus der Land- und Forstwirtschaft
4. biogene Reststoffe aus der verarbeitenden Industrie und dem Gewerbe
5. nachwachsende Rohstoffe
6. sonstige biogene Reststoffe

Hinsichtlich der lokalen Stoffströme von biogenen Reststoffen in den Landkreisen Pfaffenhofen und Neuburg-Schrobenhausen werden folgende Arbeitspakete durchgeführt:

1. Literaturstudie und Begriffe: Sichtung und Auswertung vorhandener Studien
2. Definition und Herkunft der in dieser Studie betrachteten Reststoffarten
3. Aufkommen der in dieser Studie betrachteten Reststoffarten (inkl. der noch nicht genutzten Potenziale)
4. Aktuelle Behandlungswege (Überblick vorhandener Anlagen zur Behandlung biogener Reststoffe und Einsatzmengen)
5. Mögliche optimierte Verwertungsverfahren und Zuordnung zu den Reststoffarten
6. Energie- und CO₂-Bilanzen von aktuellen und potenziellen Verwertungsverfahren
7. Ökonomische Bilanzen (Kostenschätzungen) von aktuellen und potenziellen Verfahren
8. Handlungsempfehlungen zur zukünftigen Verwertung biogener Reststoffe in der Region

2.2 Systemgrenzen

Untersuchungsgebiet ist der Landkreis Pfaffenhofen und der Landkreis Neuburg-Schrobenhausen, Untersuchungszeitraum ist das Kalenderjahr 2017.

3 Projektpartner

Alle Projektpartner sind seit über 20 Jahren mit ihren spezifischen Schwerpunkten in der Abfallwirtschaft tätig und verfügen neben langjähriger Erfahrung im Bereich der Abfallwirtschaft auch über ausgezeichnete Kenntnisse der länderspezifischen Gesetze und Planungsverfahren und Erfahrungen im Projektmanagement.

3.1 ia GmbH - Wissensmanagement und Ingenieurleistungen

Seit 1985 entwickelt das Team der ia GmbH - Wissensmanagement und Ingenieurleistungen innovative Lösungen in Abfallwirtschaft und Kommunalmanagement. Die Schwerpunkte der ingenieurtechnischen Arbeit liegen dabei im technisch/wirtschaftlichen Controlling sowie in der ingenieurtechnischen Planung von abfallwirtschaftlichen Anlagen. Besonderes projektbezogenes Know-How liegt durch aktuelle Studien zur Potenzialanalyse von kommunalen Grün- und Bioabfällen sowie Studien und Anlagenplanungen zur Verwertung von kommunalen Grün- und Bioabfällen insbesondere durch Vergärung und Kompostierung - auch mit Aufträgen im Gebiet der beiden Landkreise im Gebiet des Leaderprojekts - vor.

Im Rahmen des Wissensmanagements besteht durch das von der ia GmbH gegründete und moderierte Netzwerk der kommunalen Abfallwirtschaft ForumZ (www.formuz.de) ein enger und vertrauensvoller Kontakt zu über 70 Partnerkommunen. Das Netzwerk zielt auf die Optimierung der Vernetzung von Wissen, wobei darauf hingewiesen wird, dass der Landkreis Pfaffenhofen an der Ilm seit dem Jahr 2004 und der Landkreis Neuburg-Schrobenhausen bereits seit 1996 Partnerkommunen im Netzwerk ForumZ sind.

Im Rahmen dieser Studie bearbeitete die ia GmbH Bio- und Grüngut aus privaten Haushalten sowie die nichtholzigen biogene Reststoffe aus der Landschaftspflege und kommunale Bioreststoffe.

3.2 Technische Universität München - Lehrstuhl für Holzwissenschaft/ Holzforschung München (HFM)

Die Holzforschung München (HFM) ist ein Institut der Technischen Universität München (TUM). Sie betreibt Hochschulausbildung, Forschungs- und Entwicklung und bietet Servicearbeiten an, um Holz als nachwachsenden Rohstoff in seinen Eigenschaften und Nutzungspotenzialen zu optimieren, so dass holzbasierte Produkte materialgerecht, effizient und nachhaltig eingesetzt werden. Seit April 2011 leitet Prof. Dr. Klaus Richter die Holzforschung München sowie den Lehrstuhl für Holzwissenschaft als einen Teil der HFM. Verwaltungstechnisch ist die Holzforschung München dem Wissenschaftszentrum Weihenstephan (Life Sciences) zugeordnet, und arbeitet als Teil der Studienfakultät für Forstwissenschaften und Ressourcenmanagement der TU München unter dem Dach des Zentrums Wald-Forst-Holz eng mit der Fakultät Wald und Forstwirtschaft der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf sowie der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft zusammen. Die HFM beschäftigt derzeit ca. 60 Mitarbeiter, wovon 35 Mitarbeiter wissenschaftlich tätig sind. Ihre

Fachkompetenz reicht von der Forstwirtschaft über den verfahrenstechnischen Bereich bis weit in die wichtigsten Märkte für Holzprodukte.

ProjektpartnerInnen im vorliegenden Projekt sind die MitarbeiterInnen des Forschungsbereiches Stoffstrommanagement (Leiterin: Prof. Dr. Gabriele Weber-Blaschke). Potenzialstudien sowie ökologisch bewertete Stoff- und Energieflussanalysen für Holz und Holzprodukte über den gesamten Lebensweg (Ökobilanz) sind einer der Schwerpunkte dieses Forschungsbereiches. Sie werden national und international für Forstwirtschaft, Holzindustrie und Bauwesen erarbeitet und durch intensive Öffentlichkeitsarbeit Politik, Gesellschaft und Praktikern zur Verfügung gestellt.

Der Leistungskatalog des Projektteils des Lehrstuhls für Holzwissenschaft/Holzforschung München der Technischen Universität München umfasst die Analyse der holzartigen Reststoffarten hinsichtlich Aufkommen und aktueller und potenzieller Verwertung in den Landkreisen Pfaffenhofen und Neuburg-Schrobenhausen. Als holzartige Reststoffe werden die fünf Sortimenten Waldrestholz, Sägebeneprodukte, Industrierestholz, Landschaftspflegeholz und kommunaler Grünschnitt sowie Gebrauchtholz betrachtet.

3.3 Dr. Gehrig Management- & Technologieberatung GmbH

Die Dr. Gehrig Management- & Technologieberatung GmbH (Dr. Gehrig GmbH) versteht sich als ein fachkundiger Unterstützer an den Schnittstellen von Technologie- zu Managementfragestellungen. Das betrifft in vielen produzierenden Unternehmen z.B. die Erfüllung umwelt- oder arbeitsrechtlicher Anforderungen, aber auch die Tätigkeit und Entwicklung kompletter Branchen wie die der Erneuerbaren Energien.

Die Dr. Gehrig GmbH berät in erster Linie Betreiber, Investoren, kommunale Auftraggeber, Ministerien und andere Behörden zu allen Fragen der energetischen Nutzung von Biomasse. Dazu gehören alle Pfade der Nutzung und Verwertung von Energiepflanzen wie von Residualbiomassen über die verschiedenen Technologien wie die Biogaserzeugung und -aufbereitung, Biomasseverbrennung und Vergasung sowie die Hydrothermale Carbonisierung inkl. aller Nebenaspekte der Nutzung.

Innerhalb der Bioenergiebranche verfügt die Dr. Gehrig GmbH über ein sehr belastbares und von gegenseitigem Vertrauen geprägtes Netzwerk, das durch eine absolute Unabhängigkeit von Einzelinteressen gekennzeichnet ist. Als kritische, unabhängige Experten steht die nachhaltig wirtschaftliche Nutzung der Technologien im Vordergrund jeder Betrachtung und Aktivität. Das Netzwerk umfasst deshalb sowohl die wissenschaftliche Landschaft bestehend aus den einschlägigen Forschungseinrichtungen und Hochschulen, politische Einflussnehmer sowie Kreditinstitute, Sachversicherer und andere unabhängige Dienstleister.

Über das ehrenamtliche Engagement im Fachverband Biogas e.V., mit Sitz in Freising, im VDI, im Arbeitskreis zur Nutzung von Sekundärrohstoffen und für Klimaschutz (ANS) e. V. und anderen Verbänden bestehen auch zu den in der Branche tätigen Firmen langjährig gewachsene persönliche Kontakte, bei denen jedoch stets eine größtmögliche Neutralität im Vordergrund steht. Die Mitgliedschaft von Frau Gehrig am Runden Tisch Energiewende des Landes Niedersachsen zwingt mitunter auch zum Blick auf die Erfordernisse der weltweit anstehenden Dekarbonisierung der Wirtschaft.

Die umfangreiche Erfahrung in der Erstellung von Studien und Gutachten speziell aus der „Welt“ der Bioenergie macht die Dr. Gehrig GmbH zu einem versierten, erfahrenen Berater und Branchenkenner.

Die Fraktionen Klärschlamm, biogene Reststoffe aus der verarbeitenden Industrie und dem Gewerbe, nachwachsende Rohstoffe sowie sonstige biogene Reststoffe werden von der Dr. Gehrig GmbH bearbeitet.

4 Teilprojekt: Aufkommen und energetische sowie stoffliche Verwertungsmöglichkeiten kommunaler Bioreststoffe

4.1 Definition

Bioabfall

Mit der Umsetzung der EU-Abfallrahmenrichtlinie im Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) wurde der Begriff Bioabfall entsprechend definiert. Gemäß § 3 Abs. 7 KrWG sind biologisch abbaubare pflanzliche, tierische oder aus Pilzmaterial bestehende Garten- und Parkabfälle, Landschaftspflegeabfälle, Nahrungs- und Küchenabfälle aus Haushalten und sonstigen Herkunftsbereichen unter dem Begriff Bioabfall zu verstehen. Seit 2012 umfasst Bioabfall neben den Abfällen aus der Biotonne demnach auch das Grüngut, welches sich aus Grüngut aus Haushalten und Grüngut aus der kommunalen Grünflächenpflege zusammensetzt.

4.2 Datenerhebung

Die Mengen der Fraktionen Bio- und Grüngut aus privaten Haushalten sowie nichtholzige biogene Reststoffe aus der Landschaftspflege und kommunale Bioreststoffe wurden den Abfallbilanzen Bayern entnommen. Die Daten für das Jahr 2016 waren frei verfügbar. Um die Daten für das Jahr 2017 zu erhalten, mussten die jeweiligen öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (örE) angefragt werden. Dies waren im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen die Landkreisbetriebe Neuburg-Schrobenhausen und im Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm der Abfallwirtschaftsbetrieb des Landkreises Pfaffenhofen a. d. Ilm.

Für weiterführende Informationen wurden zudem Telefonate mit den Mitarbeitern der jeweiligen örE geführt.

Um an Informationen über die Abfallbilanz hinaus zu gelangen, wurden Telefonate und Anfragen bei den Landratsämtern der Landkreise Neuburg-Schrobenhausen und Pfaffenhofen geführt. Aufgrund der Datenschutzgrundverordnung und der Rechtsunsicherheit, wie mit Daten umzugehen ist, waren zum Zeitpunkt der Erhebung jedoch kaum weitergehende Informationen zu bekommen. Insbesondere wurden Fragen über Mengen und Interessen privater Dritter im Landkreis oder gar über Vertragsbeziehungen eindeutig abgewiesen.

4.3 Anlagen zur Verwertung von kommunalen Bioreststoffen

Im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen gibt es eine Kompostieranlage und zwei Biogasanlagen, welche bisher identifiziert wurden. In der Kompostieranlage werden 11.267 Mg nicht holziges Grüngut von kommunalen Wertstoffhöfen verarbeitet. Die beiden Biogasanlagen verwerten nach Aussage des Landratsamtes Grüngut nur in untergeordnetem Umfang, ohne jedoch genaue Zahlen zu nennen. Die Abfälle aus der Biotonne (3.839 Mg) werden vollständig außerhalb des Landkreises verwertet.

Im Landkreis Pfaffenhofen gibt es zwei Anlagen zur Verwertung von nicht holzigem Grüngut. Beide Anlagen zusammen verwerten 17.259 Mg Grüngut. Auch in diesem Landkreis werden Abfälle aus der Biotonne (6.605 Mg) vollständig außerhalb des Untersuchungsgebietes verwertet.

4.4 Nutzung und Potentiale

4.4.1 Abfälle aus der Biotonne

Beide Landkreise weisen eine geringere Pro-Kopf-Sammelmenge für 2016 auf, als der Erfahrungswert von 80 kg/E*a aus langjährigen Aufzeichnungen erwarten ließe. Im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen liegt der Wert bei 40,56 kg/E*a, im Landkreis Pfaffenhofen bei 53,21 kg/E*a. Zudem liegt der Anschlussgrad an die Biotonne im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen bei unter 40 %.

Auf der Suche nach einem sinnvoll anzustrebenden Potenzial an Bioabfall wird häufig der Mittelwert der in einem Bundesland gesammelten Mengen herangezogen. Da es jedoch unterschiedlichste Arten der Sammlung von Bioabfall gibt, würde eine Mittelwertbildung kein sinnvolles Ergebnis bringen. ...

Beispiele unterschiedlicher Systeme und Sammelmengen:

- Das bis Ende 2012 im Landkreis Augsburg praktizierte Bringsystem mit Erfassung von Bioabfällen über 52 Wertstoffsammelstellen führte zu einer spezifischen Bioabfallmenge von ca. 6 kg/E*a.
- Bzw. ebenda nach Einführung der Biotonne (14-tägige Abfuhr, flächendeckend, gebührenfrei, Standardvolumen: 240 l MGB) stieg die über die Biotonne erfasste Menge auf über 115 kg/E*
- Bzw. im Bringsystem bei Wertstoffhöfen, wie etwa im Landkreis Regensburg mit einer spezifischen Bioabfallmenge von unter 6 kg/E*a.

Demgegenüber muss sich eine sinnvoll anzustrebende Bioabfallmenge am reinen Anteil des Küchenabfalls orientieren, verknüpft mit den Mengen an anteiligen Grünguts, die für eine gute technische Verwertung erforderlich sind. Diese Mengen kann – ja nach Größe des Haushalts - mit Mülltonnen in Größe von 60, 80 oder 120 MGB erreicht werden. Bei größeren Tonnen steigt nur noch der Anteil des Grünguts.

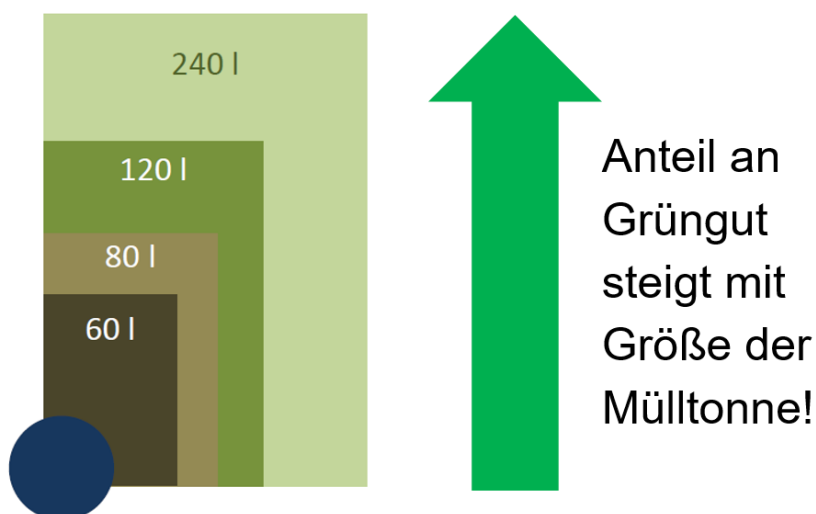


Abbildung 1: Sinnvolle Bioabfallmengen und Potenzialbetrachtung (Bauer 2015)

Je größer die Biotonne, desto höher ist der Anteil an Grüngut. Aufgrund der Erkenntnisse aus einer speziellen Sammlung im Bringsystem in der Stadt Wasserburg kann man davon ausgehen, dass die reine Abfallmenge aus der Küche (ohne Grüngut) etwa bei 50 kg/E,a liegt.

Da aufgrund technischer Bedingungen bei der Verarbeitung des Bioabfalls etwa ein Drittel holzige Abfälle von Vorteil sind, wird die Zielmenge des Potenzials bei 80 kg/E,a angesetzt.

Tabelle 1: Berechnung des Potenzials an zusätzlichem Bioabfall in den untersuchten Landkreisen

Kommunen	Mengen in kg/E,a gerundet		
	Ausgang-	Ziel-	Potential
Landkreis Neuburg-Schrobenhausen	41	80	39
Landkreis Pfaffenhofen a.d.Ilm	53	80	27
	Einwohner (Dez. 2017)		Menge in Mg / a
Landkreis Neuburg-Schrobenhausen	96.164		3.750
Landkreis Pfaffenhofen a.d.Ilm	126.244		3.409
Gesamtpotential:			7.159

Die Verwertung des Abfalls findet außerhalb der Landkreisgrenzen statt. Der Bioabfall des Landkreis Neuburg-Schrobenhausen wird im Landkreis Donau-Ries verwertet, der des Landkreises Pfaffenhofen im Landkreis Kelheim.

Der Vergleich der erhobenen Daten mit dem oben genannten Zielpotential zeigt, dass in beiden Landkreisen das Potenzial der Biotonne rein rechnerisch noch nicht voll ausgeschöpft ist. Aus Gesprächen mit der Verwaltung ist zu entnehmen, dass in beiden Landkreisen keinerlei Bestrebungen vorliegen, eine Ausweitung der Biotonne anzustreben.

4.4.2 Grüngut

In beiden Landkreisen wurde 2016 überdurchschnittlich viel Grüngut aus Haushalten gesammelt. Als Vergleichswert wurde mit 83,4 kg/E*a der gemittelte Wert aus der Abfallbilanz Bayern 2016 genommen: Dem gegenüber wurden im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen im Jahr 2016 130,67 kg/E*a gesammelt, im Landkreis Pfaffenhofen sogar 155,87 kg/E*a.

Setzt man diese beiden Werte in Bezug zu einem im kommunalen Netzwerk ForumZ mit Daten aus dem Jahr 2013 durchgeführten bayernweiten Vergleich für in der Kommune gesammeltes Grüngut, zeigt die Boxplot-Grafik der Abbildung 2, dass beide Landkreise in etwa im Bereich des 75% Quartils liegen. Der 75% Quartil besagt, dass 75% aller Gebietskörperschaften niedrigere Sammelmengen aufweisen und nur 25% der Gebietskörperschaften höhere Werte. Demnach liegen vereinzelt auch Werte aus anderen Kommunen bis über 300 kg/E,a (Maximalwert) vor.

Es ist allerdings nicht möglich daraus ein weitergehendes Potenzial für zum Beispiel Grüngut aus kommunalen Grünflächen abzuleiten, da ein direkter Vergleich mit anderen Landkreisen auch eine Beurteilung der Flächen von Parkanlagen, Randstreifen etc. beinhalten müsste.

Es kann somit angenommen werden, dass in beiden Landkreisen das Potenzial an Grüngut eher überproportional ausgeschöpft ist. Die Verwertung von Grüngut findet ausschließlich innerhalb der Landkreisgrenzen statt.

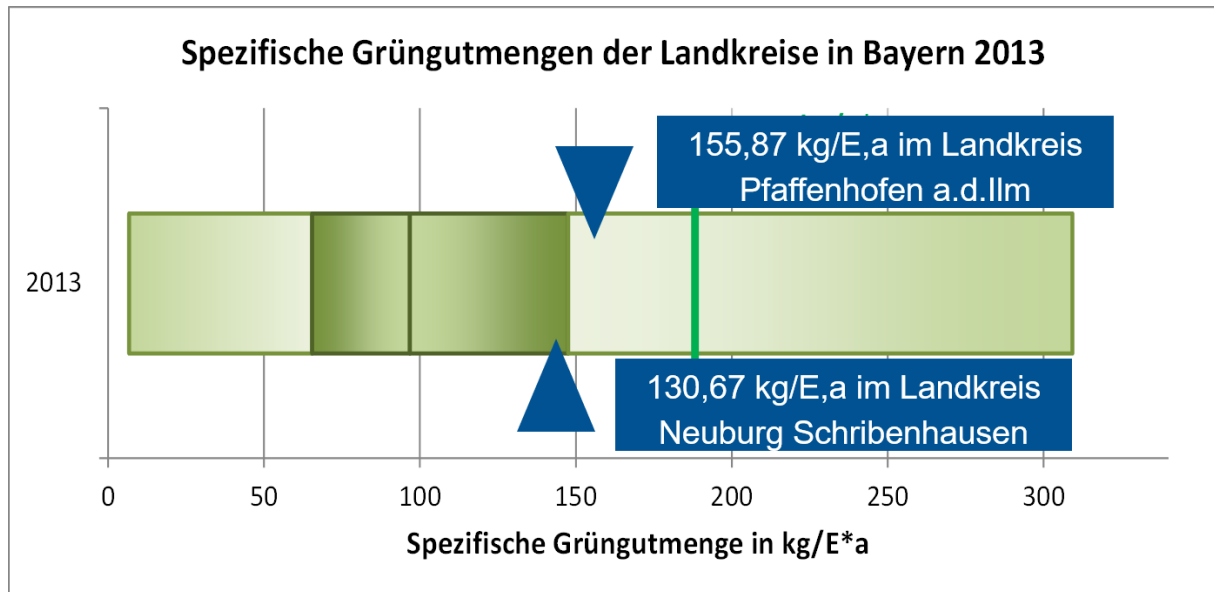


Abbildung 2: Grüngutmengen und Potenzialbetrachtung Basisdaten aus ForumZ

4.5 Zusammenfassende Darstellung der kommunalen Reststoffströme

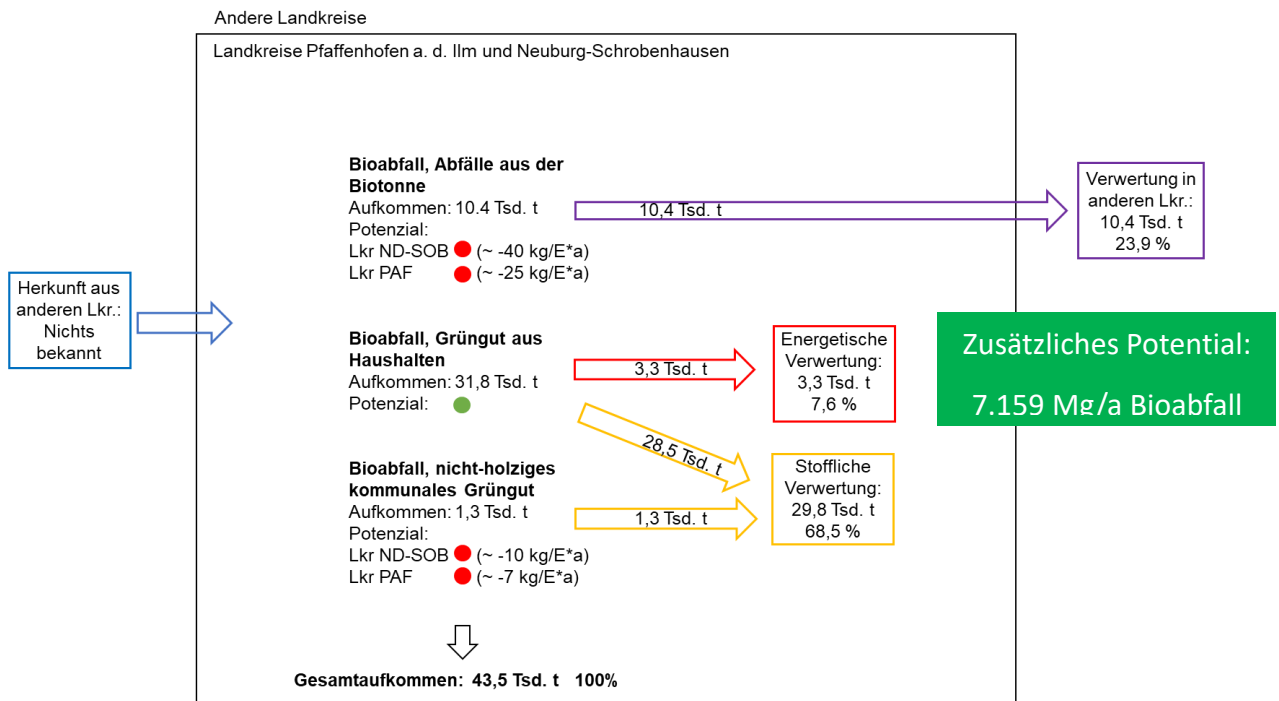


Abbildung 3: Aufkommen, Stoffströme, Verwertungswege und Potenziale der kommunalen Bioreststoffe in den Landkreisen Pfaffenhofen und Neuburg-Schrobenhausen.

Die prozentualen Angaben beziehen sich auf das Gesamtaufkommen der aller holzartigen Reststoffe in den untersuchten Landkreisen.

Potenzialbewertung: rot = kein Potenzial vorhanden;
 grün = Potenzial vorhanden;

Das zusätzliche Potenzial aus einer erweiterten Biotonne läge rechnerisch bei 7.159 Mg/a. Bei konsequenter Umsetzung dieser Strategie, würden sich allerdings auch Mengen aus dem Güngut in die Biotonne und aus der Eigenkompostierung verlagern und die gesammelten Mengen dort reduzieren. Aus Gesprächen mit der Verwaltung ist zu entnehmen, dass eine Ausweitung der Biotonne aktuell nicht diskutiert wird.

4.6 Techniken zur optimierten Verwertung biogener Reststoffströme

Jahrelang war es gängige Technik, organische Reststoffe aerob zu kompostieren. Mit dem Aufkommen der Biotonne und der Bündelung immer größerer Mengen, wurde es – wie im BimSchG verankert – erforderlich die wesentlichen Anlagenkomponenten einzuhausen und mit relativ hohen Luftmengen zu belüften. In der Folge wurden zu Beginn des letzten Jahrtausends immer mehr Kompostwerke zu Vergärungsanlagen (mit kombinierter Nachrotte) umgebaut oder neue Anlagen gleich mit Anaerobtechnik versehen.

Der in den letzten fünf Jahre eingeläutete Trend der verbesserten Schadstofffreiheit im Kompost (zum Schutz der Böden) führt dazu, dass die technischen Anlagen immer aufwendiger werden und mittlerweile bereits aufwendige NIR-Sortiertechnik eingesetzt wird. Dies bedingt, dass kommerzielle Anlagen mit immer größeren Durchsatzmengen gebaut werden und dennoch die Kosten der Behandlung kontinuierlich steigen.

Spätestens nach dem Gutachten zum Forschungsvorhaben der ATAB „Optimierung der Ökoeffizienz von Vergärungsanlagen durch Integration in die thermische Abfallverwertung“ ist bekannt, dass der Standort einer Vergärungsanlage optimal mit einem Kraftwerksstandort mit Energieversorgung zusammenpasst. Dies gilt sowie für Kosten als auch für die die Ökoeffizienz des Gesamtsystems.

Wie man an der technischen Eingliederung einer Vergärungsanlage am AHKW Augsburg der AVA erkennen kann, wurde dieses Verfahren bereits erfolgreich realisiert.

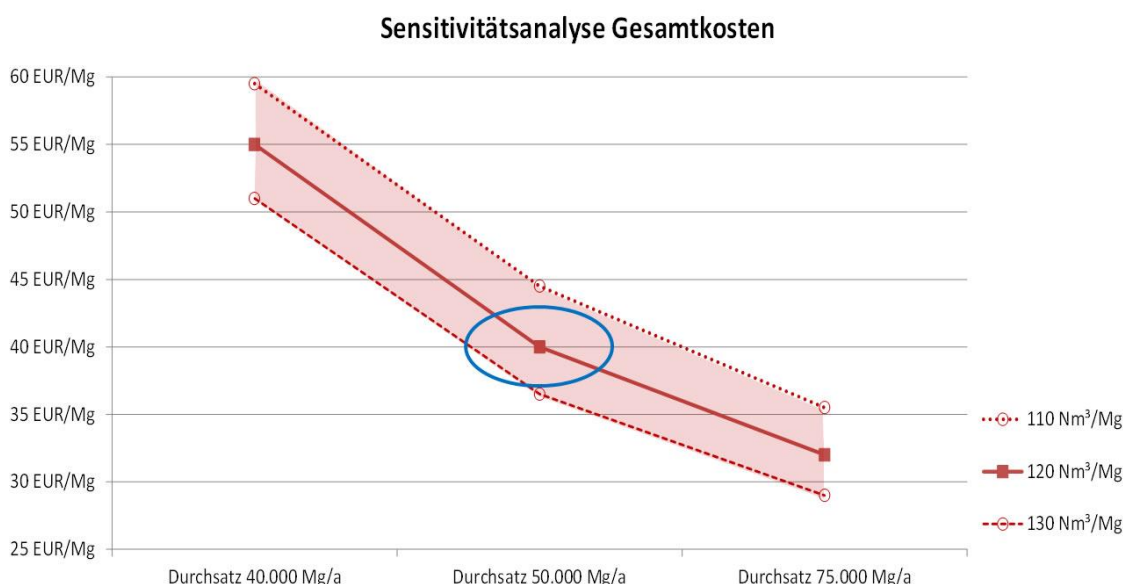


Abbildung 4: Sensitivitätsanalyse Gesamtkosten Bioabfallverwertung, Bioabfallforum Stuttgart (Bauer 2015)

Einer Veröffentlichung einer anderen Anlagenkombination zwischen einer Vergärungsanlage und einem Abfallheizkraftwerk ist obiger Grafik zu entnehmen. Einer Studie gemäß ergeben sich bei einer

rechnerischen Anlagenausbaugröße von 50.000 Mg/a, bei vorausgesetzter Vollauslastung, optimalen Rahmenbedingungen und einem Gasertrag von 120 Nm³/Mg Behandlungskosten von netto ca. 40 EUR/Mg „frei Anlage“. Die anonymisierte Sensitivitätsanalyse zeigt die Auswirkung auf den Behandlungspreis, wenn die Anlage nicht ausgelastet ist, sowie Skaleneffekte bei einer Ausbauvariante von 75.000 Mg/a.

Mehr noch als die Menge ist der Standort einer Vergärungsanlage für die Kosten und die Ökoeffizienz von Bedeutung. Hier wird auf die einschlägigen Veröffentlichungen zu Forschungsvorhaben der ATAB „Optimierung der Ökoeffizienz von Vergärungsanlagen durch Integration in die thermische Abfallverwertung“ verwiesen sowie auch auf die Schwierigkeiten des Absatzes der Gärprodukte, die sich zunehmend an Qualitätsvorgaben aus dem Bodenschutz orientieren müssen.

Marktbedingte Annahmekosten für die Verwertung von Bioabfällen liegen mit Abgabe der Studie überwiegend jenseits von 75 EUR/t.

Ansätze zur Ökobilanzen und zur Energie bei Bioabfällen sind überaus komplex und würden in der Wiedergabe den Rahmen der hier vorliegenden Studie sprengen. Wesentliche Beiträge zum Thema können unter Bifa Umweltinstitut (2018), Bifa Umweltinstitut (2015), bzw. Bifa Umweltinstitut (2013) im Detail nachvollzogen werden. Bifa schreibt hierzu: „Die Vielzahl an technischen Verfahrensalternativen und die Möglichkeiten zur Gestaltung der zugehörigen Erfassungssysteme führen zu einer großen Bandbreite von Strategien und Konzepten zur Behandlung biogener Abfälle in den Städten und Landkreisen. Dabei bestehen erhebliche Potenziale, die Verfahren von der Behandlung der Abfälle bis hin zur Ausbringung von Komposten und Gärprodukten noch weiter zu verbessern. Im Mittelpunkt dieser Untersuchung, die im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Gesundheit (StMUG) durchgeführt wurde, stand die Analyse des Ökoeffizienzpotenzials von Kompostierung und Vergärung durch Konzeption und Modellierung optimaler Konfigurationen über die gesamte Prozesskette. Die Identifizierung und Nutzung von Ökoeffizienzreserven im Zusammenspiel stofflicher und energetischer Verwertung leistet dabei einen wichtigen Beitrag zu einer weiteren Verbesserung der Ökoeffizienz der gesamten Abfallwirtschaft. Die Berücksichtigung aktueller Untersuchungen und Daten ermöglicht dieser Untersuchung im Vergleich zur Basisstudie aus dem Jahr 2010 [bifa 2010] einen weiter vertieften Blick auf die Behandlungsverfahren.“

4.7 Zusammenfassung und Ausblick

Man erkennt, dass die vorab genannten Potenziale beim Ausbau der Biotonne in den Landkreisen von knapp 7.000 Mg pro Jahr für sich allein keinen nennenswerten Beitrag für die Energiewende bringen können. Dass aktuell keine Bestrebungen vorliegen, die jetzige Situation der Sammlung der Organik zu ändern, liegt auch daran, dass die Verantwortlichen in beiden Landkreisen wissen, dass sich eine Ausweitung der Biotonne nur wenig auf die organischen Mengen im Restmüll auswirken würden und dennoch erheblich höhere Kosten im Gesamtsystem provozieren würden.

Dies ist auch der Grund warum keine Bestrebungen der Kommunen zu erkennen sind, etwa über Kontakte mit der heimischen Industrie oder mittelständischen Produzenten die Mengen der Organik zu bündeln und/oder gemeinsam eigene Verwertungsanlagen zu erschließen.

Mit Blick auf den kommunalen Einflussbereich kann erst dann ein wesentlich neuer Beitrag zur Energiewende erzielt werden, wenn die Grenzen zu anderen Ressorts – wie etwa der Abwasseraufbereitung – ausgelotet werden und Synergien zwischen angrenzenden Bereichen gesucht und gefunden werden.

Wenn es gelingt, ressortübergreifend zu agieren und die ökonomischen Aspekte einer konsequenten Bioabfallsammlung und –verwertung über eine flexible Nutzung von Biomethan auf die Energiewende hin anzuwenden, zeigen sich auch die ökologischen Vorteile.

Weitere Überlegungen sollten – aus Sicht der Kommunen - auch die Variante einplanen, durch Neuordnung aller Fraktionen und Neuausschreibung das Zusammenspiel zwischen Energieausbeute und Nutzen zu optimieren.

5 Teilprojekt: Aufkommen und energetische sowie stoffliche Verwertungsmöglichkeiten holzartiger Reststoffe

5.1 Kurzfassung

Zielsetzung

Der Leistungskatalog des Projektteils des Lehrstuhls für Holzwissenschaft/Holzforschung München der Technischen Universität München umfasst die Analyse der holzartigen Reststoffarten. Als holzartige Reststoffe werden Waldrestholz, Sägenebenprodukte, Industrierestholz, Landschaftspflegeholz und kommunaler Grünschnitt sowie Gebrauchtholz betrachtet.

Vorgehensweise

Die holzartigen Reststoffarten wurden inhaltlich definiert und separat erfasst. Die Datenerfassung des Aufkommens und der Verwertung der jeweiligen Reststoffe beruht entweder auf eigenen schriftlichen oder telefonischen Umfragen, auf Literaturanalysen oder Expertenmeinungen. Relevante regionale Gegebenheiten (wirtschaftliche Struktur, Naturräume, etc.) in den Untersuchungsgebieten wurden analysiert und das Aufkommen sowie die aktuelle Verwendung und Verwertung der jeweiligen holzartigen Reststoffe dargestellt. Mittels Potenzialanalyse wurden gegebenenfalls bisher nicht genutzte Reststoffpotenziale abgeleitet und soweit vorhanden optimierte Verwertungsverfahren dargestellt. Die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen der aktuellen und potenziellen Verwertungswege wurden möglichst über Substitutionsfaktoren oder Wirkungsindikatoren quantifiziert.

Ergebnisse

Insgesamt liegt das Aufkommen aller erfassten Reststoffe bei gut 58 Tsd. Tonnen an holzartiger Frischmasse. Das entspricht, abhängig von den unterschiedlichen Wassergehalten der jeweiligen Reststoffe einem Heizwert von 158 Tsd. MWh. Das gesamte Aufkommen wurde zu 55 % in den untersuchten Landkreisen verwertet (99% davon energetisch, 1 % stofflich), 45 % wurden außerhalb der Landkreise verwertet.

Das Aufkommen an Waldrestholz aus dem Staatswald konnte nicht genau beziffert werden, aus den Expertenbefragungen ging jedoch hervor, dass kein zusätzliches Potenzial an Waldrestholz für energetische Verwertung zur Verfügung steht. Dies gilt zumindest für den Staatswald. Mit Abstand den größten Anteil am erfassten Gesamtaufkommen an holzartigen Reststoffen hat das Waldrestholz aus dem Privatwald. Hier besteht das größte, wenn auch nicht genau bezifferbare, Potenzial an bisher ungenutzten holzartigen Reststoffen. Das Potential ergibt sich auch aus der Nutzung von Fichtenaltholz im Zuge des Umbaus zu Mischwäldern sowie der Aufarbeitung von Schadholz. Sturm- und Käferholzmengen, wie sie in den letzten beiden Jahren verstärkt aufgetreten sind, werden zwar wahrscheinlich auch zukünftig anfallen, sind aber unregelmäßig und im Ausmaß nicht vorhersehbar. Ein jährlich kalkulierbares Angebot an Schadholz ist daher nicht einfach zu quantifizieren.

Die Analyse der derzeitigen Nutzung zeigte, dass im Privatwald Waldhackschnitzel sowohl aus Derbholz als auch als Reisholz bereits zum Großteil (69 %) in den eigenen Landkreisen in Biomasseheiz(kraft)werken verwertet werden. Diese energetische Nutzung führt durch die Substitution von fossilen Energieträgern zu Treibhausgaseinsparungen. Allein die zwei Biomasseheizwerke (BHW) im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen sparten im Jahr 2017 ca. 900 t CO₂ gegenüber Erdgas bzw. ca. 1.200 t CO₂ gegenüber Heizöl ein.

Bei Sägenebenprodukten und Industrierestholz wurde das derzeitige Aufkommen von insgesamt 6,3 Tsd. t bereits vollständig verwertet. 52 % der Sägenebenprodukte und 100 % des Industrierestholzes wurde in den untersuchten Landkreisen verwertet. Ein Potenzial an bisher ungenutzten Mengen besteht nicht. Durch die thermische Nutzung in den untersuchten Landkreisen konnten im Jahr 2017 ca. 2.700 t CO₂ gegenüber Erdgas bzw. ca. 3.700 t CO₂ gegenüber Erdöl eingespart werden.

Das erfasste Aufkommen an Landschaftspflegeholz (5,4 Tsd. t) und Gebrauchtholz (7,7 Tsd. t) wird vollständig außerhalb der untersuchten Landkreise verwertet. Aus Literaturanalysen geht hervor, dass das bisherige Aufkommen an Landschaftspflegeholz noch nicht ausgeschöpft ist. Es besteht ein, aufgrund der Datenlage zwar schwer bezifferbares, aber nicht vernachlässigbares Potenzial. Beim kommunalem Gebrauchtholz könnte die Sortierung von Sperrmüll zusätzliche Mengen an holzigem Abfall verfügbar machen. Durch die Verbrennung in Biomasseheizkraftwerken werden Treibhausgase eingespart, indem fossile Energieträger ersetzt werden. Durch vorherige stoffliche Kaskadennutzung des Gebrauchtholzes, beispielsweise in der Spanplattenherstellung, könnten die Umweltwirkungen noch weiter reduziert werden.

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Holznutzung ist per se nicht klimaneutral, die Treibhausgasemissionen der energetischen Holznutzung sind jedoch im Vergleich zu fossilen Energieträgern gering. Durchschnittlich spart nach KNAUF et al. (2015) die energetische Holznutzung in Deutschland ca. 615 kg CO₂/fm Holz ein, die stoffliche Holznutzung durchschnittlich 1,4 t CO₂/fm Holz. Die Treibhausgaseinsparung der stofflichen Holznutzung gegenüber Nichtholzprodukten ist demnach wesentlich höher als die der energetischen Nutzung. Derzeit werden alle im Landkreis erfassten und verwerteten holzigen Reststoffe weitestgehend thermisch genutzt. Durch die Substitution von fossilen Energieträgern werden dadurch Treibhausgase eingespart. Die stoffliche Nutzung von holzartigen Reststoffen (beispielsweise in der Holzwerkstoffindustrie) könnte Umweltauswirkungen durch Substitution von Nicht-Holz-Produkten weiter verringern, in den untersuchten Landkreisen stehen jedoch keine potenziellen stofflichen Verwerter zur Verfügung.

Die an den Handel in anderen Landkreisen fließenden Mengen an Sägenebenprodukten, sowie zusätzliches Landschaftspflegeholz und bisher ungenutzte Mengen an Waldrestholz aus dem Privatwald könnten für regionale dezentrale Konzepte zur Energieversorgung (Wärme und gegebenenfalls Strom) von kleinen bis mittleren Gewerben oder Wohngebieten über Hackschnitzelzentralheizungen oder Holzvergasungsanlagen bereitgestellt werden. Um langfristig verfügbare Holzmengen aus dem Privatwald zu mobilisieren, benötigt es neben wirtschaftlich und logistisch optimierter Aufbereitung, Lagerung und Verteilung (siehe auch Kapitel 7.3) eine koordinierte Kommunikation und Kooperation zwischen Abnehmern und Anbietern. Eine mögliche Umsetzung besteht beispielsweise in der Einführung eines runden Tisches für die zwei Landkreise. Grundsätzliches Ziel dabei ist es, einerseits die bestehende Nachfrage zu erfassen sowie Bewusstsein, Interesse und Akzeptanz für Hackschnitzelanlagen zu fördern, andererseits diesem Bedarf gleichzeitig ein vorhandenes und mobilisierbares Potenzial gegenüberzustellen. Auf einer solchen Basis ließen sich potenzielle neue Standorte identifizieren und neue Anlagen zur regionalen Wärme- und oder Energieversorgung realisieren.

Für die Verwertung von Landschaftspflegematerial oder Gebrauchtholz existieren in den untersuchten Landkreisen bisher keine Anlagen. Die Verschiebung von Stoffströmen zwischen unterschiedlichen Landkreisen bedarf einer überregionalen Analyse, um die ökologischen und ökonomischen Vor- und Nachteile abzuwägen. Mit entsprechender Aufbereitung (mobilem Hacken) und energetischer Verwertung ist die Bereitstellung von Energie aus zusätzlichem Landschaftspflegeholz als ökologisch und ökonomisch vorteilhaft zu bewerten.

Konkrete Entscheidungen zu Förderungen der energetischen oder stofflichen Holznutzung sollten dennoch situations- und fallbezogen erfolgen. Insbesondere bei der energetischen Verwertung sollten zusätzlich zu Treibhausgasemissionen und Primärenergieeinsparungen, auch Feinstaubemissionen und andere Umweltwirkungen wie Eutrophierung oder Versauerung genauer betrachtet werden. Die Entscheidung ob eine Verschiebung von Stoffströmen zwischen unterschiedlichen Landkreisen aus ökologischer und ökonomischer Sicht sinnvoll ist, sollte auf Basis einer überregionalen Analyse erfolgen.

5.2 Begriffsbestimmungen und Definitionen

5.2.1 Untersuchungsrahmen

Betrachtete Stoffströme (Frischmasse):

- alle holzartigen Reststoffe, die in den beiden Landkreisen Neuburg-Schrobenhausen und Pfaffenhofen anfallen und verwertet werden
- alle holzartigen Reststoffe, die in den beiden Landkreisen Neuburg-Schrobenhausen und Pfaffenhofen anfallen und außerhalb der Landkreise verwertet werden
- alle holzartigen Reststoffe, die in den beiden Landkreisen Neuburg-Schrobenhausen und Pfaffenhofen anfallen und noch nicht verwertet werden
- alle holzartigen Reststoffe, die in anderen Landkreisen/Ländern anfallen und in den beiden Landkreisen verwertet werden

5.2.2 Biogene Reststoffarten

Biogene Reststoffe fallen entweder direkt in der Land- und Forstwirtschaft oder als organische Nebenprodukte (Koppelprodukte) bei der Verarbeitung von land- und forstwirtschaftlichen oder sonstigen Produkten oder als organische Abfälle nach der Endnutzung an. Es werden dabei holzartige, halmgutartige und sonstige Reststoffe unterschieden. Folgende holzartige Reststoffe werden in dieser Studie betrachtet (Abbildung 5): **Waldrestholz**, **Sägenebenprodukte**, **Industrierestholz**, **Landschaftspflegeholz** und **kommunaler Grünschnitt** sowie **Gebrauchtholz**.

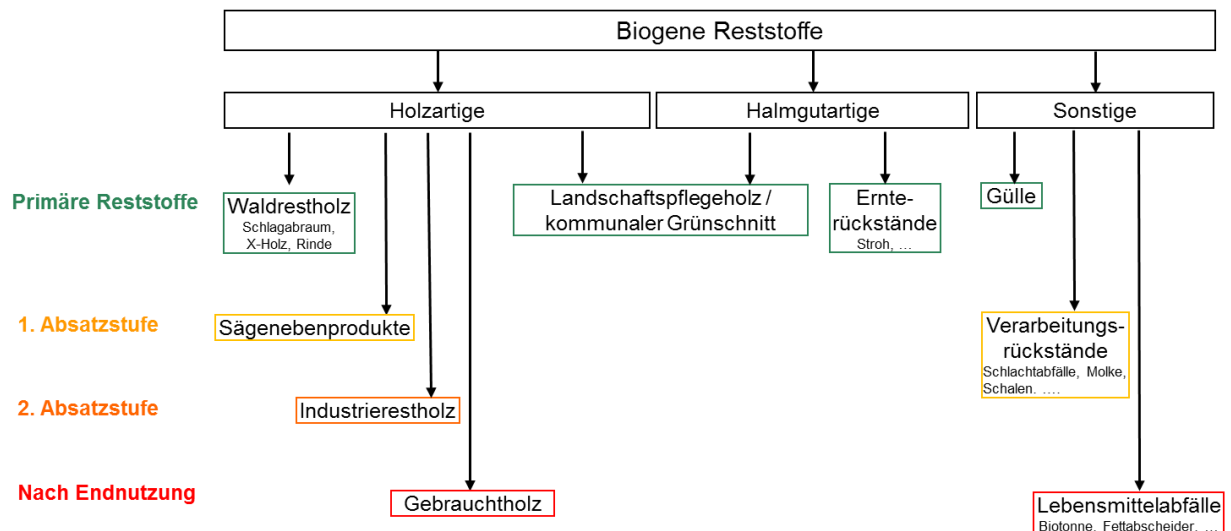


Abbildung 5: Einteilung und Bereitstellung biogener Reststoffe

Ein Großteil der holzartigen Reststoffe fällt bei der Ernte und der Verarbeitung von Stammholz an. Wird ein Baum geerntet, so ist das primäre Produkt das Stammholz. Zusätzlich fällt bei der Ernte (Pflegetmaßnahmen/Endnutzung) Industrieholz an, welches als Rohstoff für die Papier- und Holzwerkstoffindustrie verwendet wird, und/oder Energieholz in Form von Scheitholz und/oder Waldhackschnitzel. Das tatsächliche (bisher ungenutzte) **Waldrestholz** ist der restliche holzartige Teil des Baumes, der nicht als Energieholz oder Industrieholz verwendet wird, sondern im Wald verbleibt (meist Schlagabraum und Nicht-Derbholz < 7 cm Zopfdurchmesser, siehe Kap. 6.2.1).

In der 1. Absatzstufe der Stammholzverarbeitung im Sägewerk fallen weitere Reststoffe, die sogenannten **Sägenebenprodukte**, an (Kap. 6.3). In der 2. Absatzstufe wird als Reststoff **Industrierestholz** bei der Verarbeitung des Schnittholzes in Zimmereien bzw. der Möbelbranche produziert (Kap. 6.4). Am Ende seines Lebenszyklus fällt das verarbeitete Holzprodukt (z. B. Bauholz oder Möbelholz) als **Gebrauchtholz** an und steht einer erneuten stofflichen und/oder energetischen Verwertung zur Verfügung (Kap. 6.5).

Außerhalb des Lebenswegs von Stammholz fallen als holzartige Reststoffe **Landschaftspflegeholz und kommunaler Grünschnitt** an, die ebenfalls in dieser Studie betrachtet werden (Kap. 6.6).

5.2.3 Holzflüsse und Reststoffverwertung

RÜTER (2011) stellte auf Basis von Rohstoffbilanzen von Deutschland den Holzfluss entlang der Verarbeitungskette mit Anteilen der Resthölzer schematisch dar (

Abbildung 6). Resthölzer umfassen Ernterückstände/Waldrestholz und Rinde, die energetisch verwertet werden können, Sägenebenprodukte, Verschnitt/Industrierestholz sowie Altholz/Gebrauchtholz, die in unterschiedlichen Anteilen stofflich und energetisch genutzt werden können.

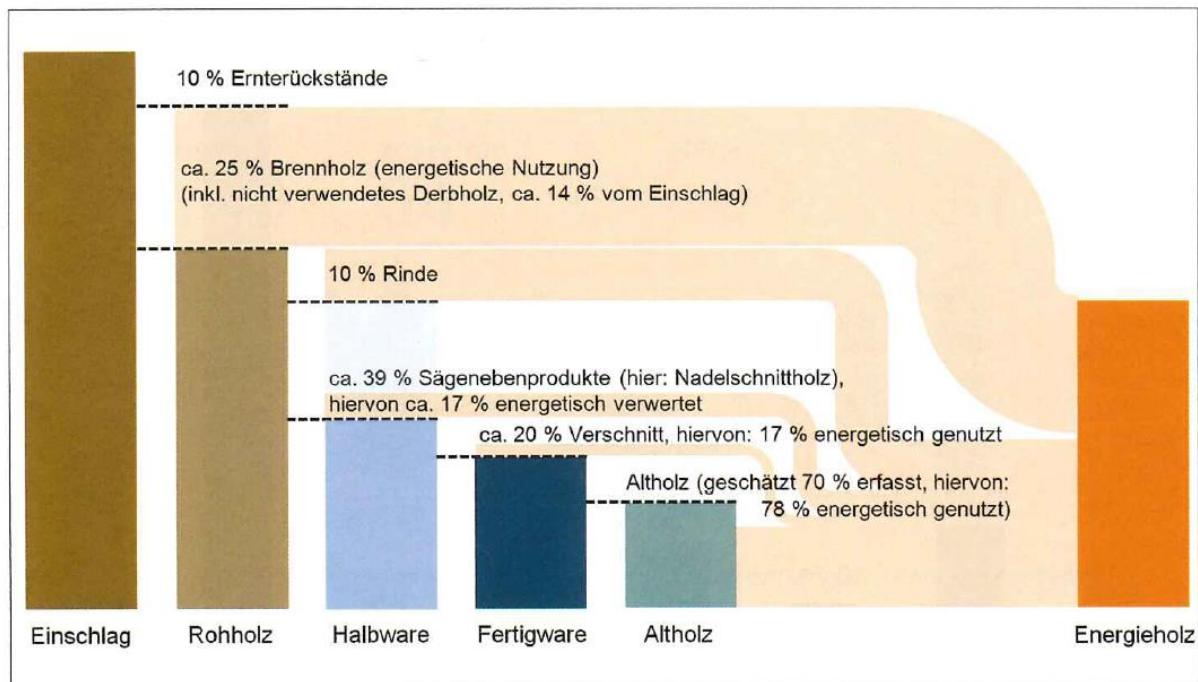


Abbildung 6: Holzfluss entlang der Verarbeitungskette mit Darstellung der Resthölzer und deren durchschnittliche Anteile für die energetische Nutzung (RÜTER 2011)

Biogene Reststoffe können somit stofflich oder energetisch verwertet werden. Werden Reststoffe über mehrere Stufen mehrmals stofflich genutzt, wird dies Kaskadennutzung genannt. Sie führt bei holzartigen Reststoffen in der Regel zu Treibhausgaseinsparungen, gesteigerter Wertschöpfung und erhöhter Ressourceneffizienz (RISSE et al. 2017, HÖGLMEIER 2015). Eine mögliche stoffliche Kaskadennutzung von holzigen Reststoffen ist in Abbildung 7 dargestellt.

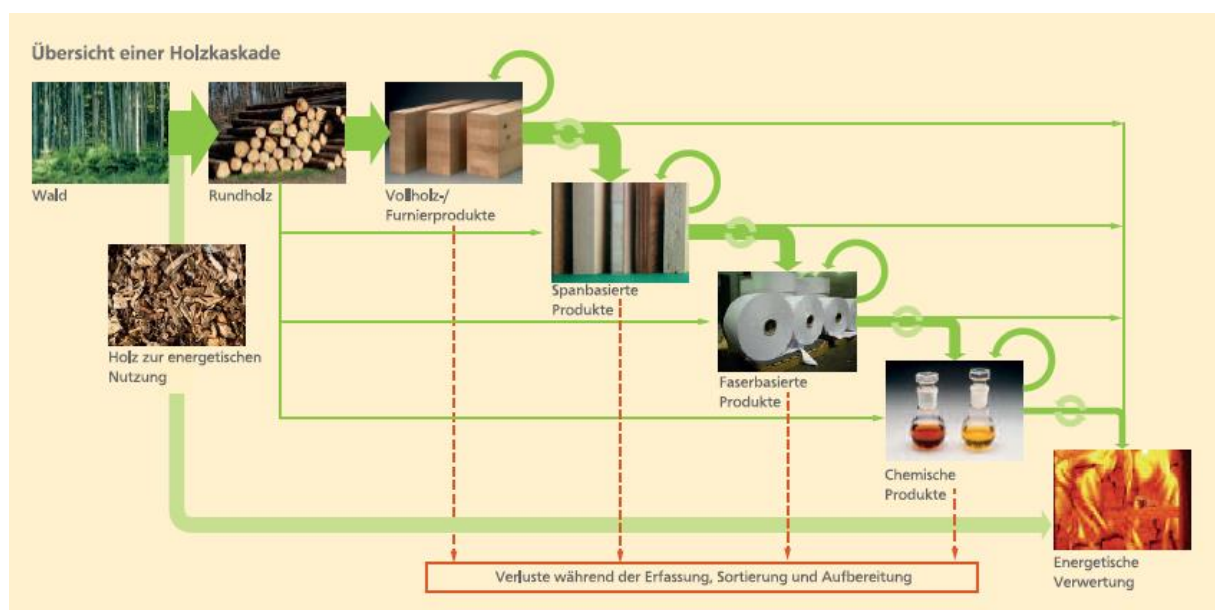


Abbildung 7: Beispielhafte mögliche Kaskadennutzung von holzigen Reststoffen (HÖGLMEIER et al. 2016)

Im Gegensatz zur direkten energetischen Verwertung können ein oder mehrere Produktebenen zwischengeschaltet sein. Auf jeder Produktebene besteht wieder die Möglichkeit einer Kreislaufwirtschaft durch Weiter-/Wiederverwendung und Weiter-/Wiederverwertung des ausgedienten Produktes zur Herstellung neuer Produkte. Am Ende der stofflichen Nutzung steht immer eine energetische Verwertung.

5.2.4 Energetische Biomasseverwertung

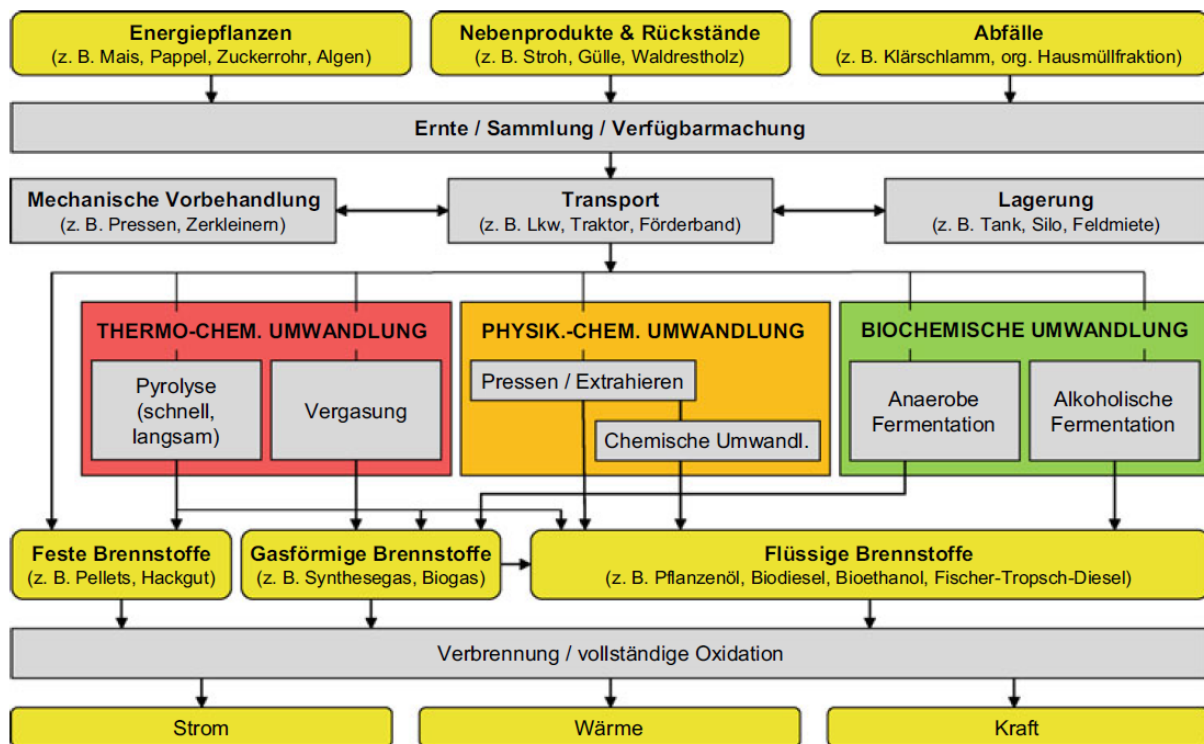


Abbildung 8 Typische Bereitstellungsketten zur energetischen Verwertung von Biomasse (KALTSCHMITT et al. 2016)

Abbildung 8 zeigt typische energetische Verwertungswege biogener Stoffe. Holzartige Reststoffe werden entweder unmittelbar als feste Brennstoffe in Feuerungsanlagen eingesetzt (z. B. als Pellets oder Hackschnitzel) oder sie werden durch eine vorherige thermochemische Umwandlung in Sekundärenergieträger (z. B. Produktgas, Pyrolyse-Öl oder „verbesserte“ Feststoffe) überführt, welche auch an einem anderen Ort und zu einer anderen Zeit ebenfalls verbrannt werden können.

Das Ziel der Umwandlung ist, einen Sekundärenergieträger mit definierten Eigenschaften zu erzeugen, der einfacher und problemloser gelagert, transportiert und verbrannt werden kann. Die dabei anfallende thermische Energie kann als Heiz- bzw. Prozesswärme und/oder zur Stromerzeugung verwendet werden (KALTSCHMITT et al. 2016).

Abbildung 9 zeigt die verschiedenen Möglichkeiten der thermochemischen Umwandlung. Je nachdem unter welchen Bedingungen das Holz umgewandelt wird, entstehen als Sekundärenergieträger Flüssigkeiten, Feststoffe oder Gase. Von der Herstellung bis zur Verwertung der Sekundärenergieträger finden prinzipiell die gleichen thermochemischen Umwandlungsprozesse statt wie bei der klassischen Verbrennung (Aufheizung, pyrolytische Zersetzung, Vergasung und Oxidation), diese sind jedoch räumlich und zeitlich voneinander trennbar.

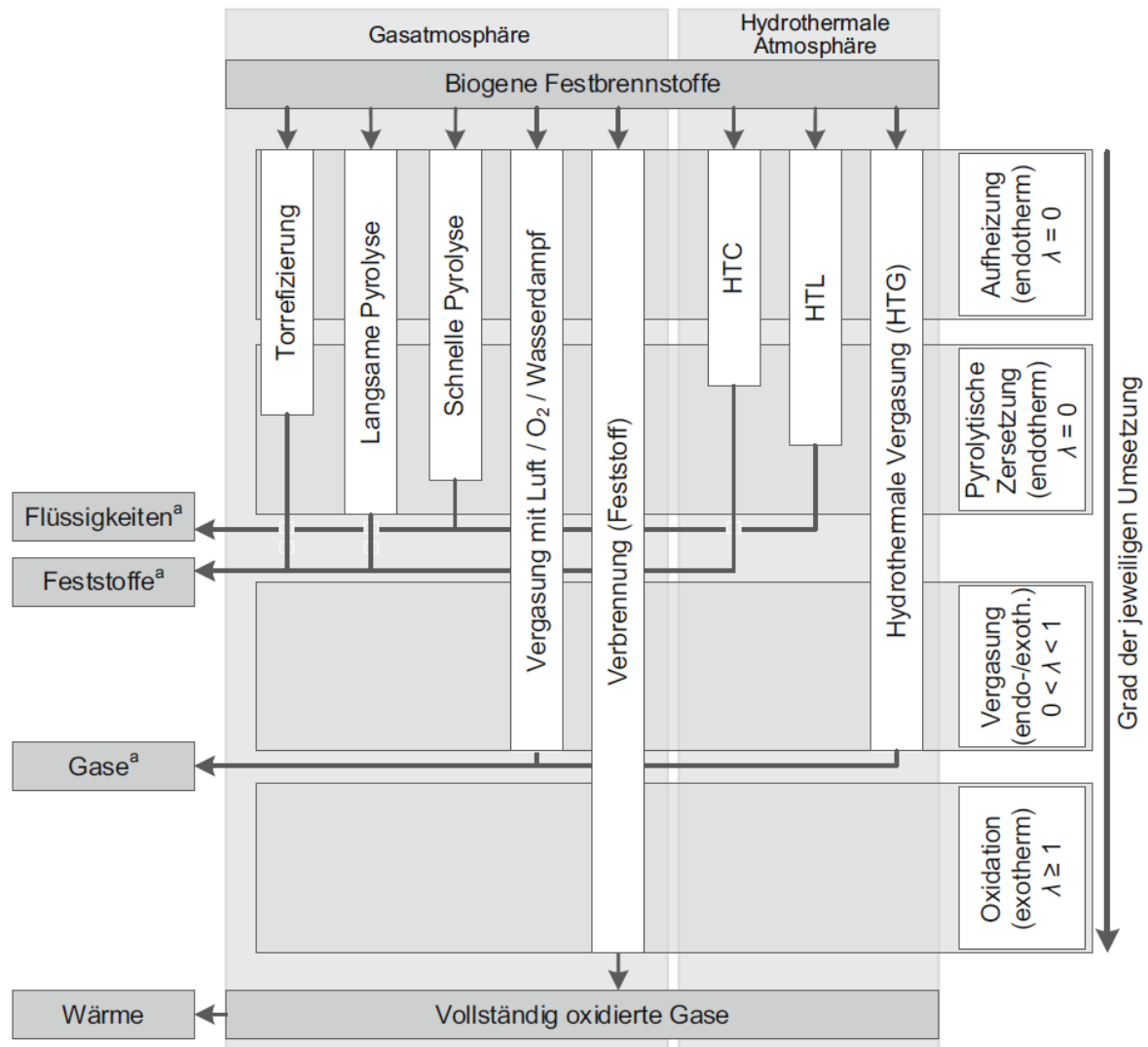


Abbildung 9: Möglichkeiten der thermochemischen Umwandlung biogener Festbrennstoffe

(Idealisierte Zuordnung der verfahrenstechnischen Prozesse bei der thermochemischen Umwandlung (HTC: Hydrothermale Karbonisierung; HTL: Hydrothermale Verflüssigung; a unter Normalbedingungen, nur Hauptprodukte; unter dem Begriff der schnellen Pyrolyse werden hier die eigentliche schnelle Pyrolyse und die mittelschnelle Pyrolyse zusammengefasst) (KALTSCHMITT et al. 2016))

Zum derzeitigen Stand der Technik kommt für feste holzartige Biomasse nur die direkte Verbrennung und die thermochemische Umwandlung in Frage (FNR 2014). In Abbildung 10 sind die derzeit verfügbaren Verbrennungstechnologien bzw. thermo-chemischen Umwandlungstechnologien für Biomasseheiz(kraft)werke und deren Entwicklungsstand dargestellt.

	Technologien	theoretisch	Labor	Pilot-Anlage	Demonstration	Markt
Direkte Verbrennung	Holz-Heizwerk	✓	✓	✓	✓	✓
	Holz-HKW mit Dampfturbine	✓	✓	✓	✓	✓
	Holz-HKW mit ORC-Turbine	✓	✓	✓	✓	✓
	Holzstaubfeuerung mit Motor/Turbine	✓	✓			
	Stirling-Motor	✓	✓	✓	✓	
	Co-Feuerung Holz im Kohlekessel	✓	✓	✓	✓	✓
	Heißgasturbine	✓	✓	✓	✓	
Thermo-chemische Umwandlung	Holzvergasung und Wärmekessel	✓	✓	✓	✓	✓
	Holzvergasung und Gasmotor (BHKW)	✓	✓	✓	✓	✓
	Holzvergasung und Gasturbine (GuD)	✓	✓	✓	✓	
	Holzvergasung und Brennstoffzelle	✓	✓			
	Holzvergasung und Biokraftstoffsynthese	✓	✓	✓	✓	
	Holzvergasung und SNG-Synthese	✓	✓	✓	✓	
	Pyrolyse und Stromerzeugung mit Motor	✓	✓	✓	✓	
	Pyrolyse und Stromerzeugung mit Gasturbine	✓	✓	✓	✓	

Abbildung 10: Technologien und Entwicklungsstand der Technik zur Energiebereitstellung aus Holz (FNR 2014)

5.2.5 Potenzialanalyse

Entsprechend KALTSCHMITT et al. (2016) wird bei Biomassepotenzialen zwischen dem theoretischen, dem technischen, dem wirtschaftlichen, dem erschließbaren und dem nachhaltig nutzbaren Potenzial unterschieden:

Theoretisches Potenzial

Das theoretische Potenzial beschreibt die theoretisch physikalisch nutzbare Biomasse und markiert damit die absolute Obergrenze des theoretisch realisierbaren Potenzials. Wegen unüberwindbarer technischer, ökologischer, ökonomischer, sozialer, struktureller und administrativer Hürden kann das theoretische Potenzial allerdings meist nur zu sehr geringen Teilen erschlossen werden.

Technisches Potenzial

Das technische Potenzial beschreibt den Teil des theoretischen Potenzials, der unter Berücksichtigung der gegebenen technischen Restriktionen (beispielsweise Bergungsrate, Lagerverluste, Konversionsverluste) nutzbar ist. Zusätzlich werden die gegebenen strukturellen und gesetzlich verankerten ökologischen Begrenzungen sowie weitere gesetzliche Vorgaben und mögliche gesellschaftliche Restriktionen berücksichtigt (z. B. Naturschutzgebiete).

Wirtschaftliches Potenzial

Das wirtschaftliche Potenzial beschreibt den zeit- und ortsabhängigen Anteil des technischen Potenzials, der unter den jeweils gültigen Rahmenvorgaben und den zugrunde gelegten Randbedingungen unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Kriterien (aus volkswirtschaftlicher Sicht z. B. Steuern, Subventionen; aus betriebswirtschaftlicher Sicht z. B. Preise, technische Neuerungen) erschlossen werden kann. Da vom theoretischen Potenzial ausgehend über das technische bis zum wirtschaftlichen Potenzial immer stärkere Restriktionen zum Tragen kommen, beinhaltet das wirtschaftliche Potenzial nur noch einen relativ kleinen Teil des ursprünglichen theoretischen Potenzials.

Erschließbares Potenzial

Das erschließbare Potenzial erfasst das zu einem bestimmten Zeitpunkt und an einem bestimmten Ort bestehende wirtschaftliche Potenzial. Theoretisch nähert sich das erschließbare Potenzial im Verlauf eines entsprechend langen Zeitraumes an das wirtschaftliche Potenzial an.

Nachhaltiges nutzbares Potenzial

Das nachhaltig nutzbare Potenzial kann unter Berücksichtigung bestimmter Nachhaltigkeitsrestriktionen aus dem technischen Potenzial abgeleitet werden. Diese Nachhaltigkeitsrestriktionen betreffen u. a. Produktions- und Nutzungseinschränkungen der Biomasse aufgrund von Klimaschutzüberlegungen, aus Gründen des Natur- und Bodenschutzes oder wegen weitergehender ökologischer, ökonomischer und sozialer Nachhaltigkeitsforderungen.

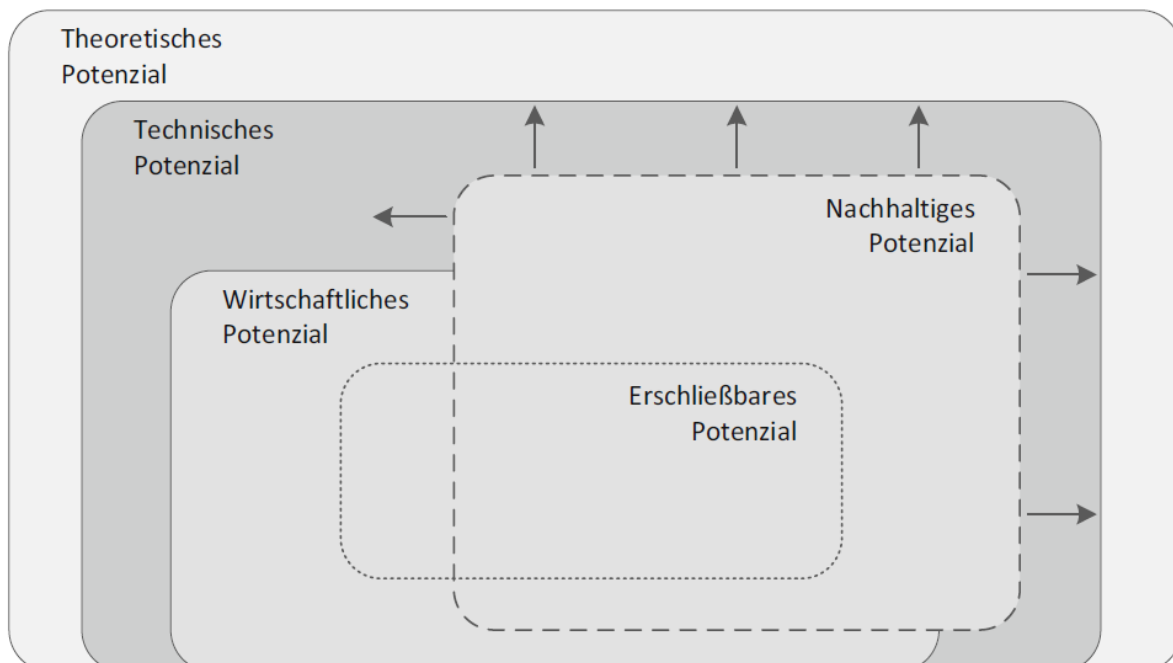


Abbildung 11: Bioenergiepotenziale und deren Beziehungen zueinander (KALTSCHMITT et al. 2016)

5.3 Allgemeine Vorgehensweise

In dieser Studie werden die im Kapitel 5.2 genannten holzartigen Reststoffe im Rahmen des hinterlegten Untersuchungsrahmen und der Systemgrenze untersucht. Die jeweiligen Reststoffarten werden dabei separat betrachtet. Für jede Reststoffart wird in Kapitel 5.4 nach folgendem Schema vorgegangen:

1. Begriffsbestimmung
2. Datenerhebungs- und Berechnungsmethoden
3. Regionale Gegebenheiten und Holzaufkommen
4. Aktuelle Verwendung und Verwertung
5. Potenzialanalyse
6. Ökologische und Ökonomische Auswirkungen

Die Begriffsbestimmung dient im ersten Schritt der exakten Klassifikation und Einordnung bzw. Einschränkung der jeweiligen Reststoffart. Anschließend wird die für die jeweilige Reststoffart verwendete Vorgehensweise zur Datenerhebung und die Berechnungsmethoden dargestellt. Die Datenerfassung des Aufkommens und der Verwertung der holzhaltigen Reststoffe beruht entweder auf eigenen schriftlichen oder telefonischen Umfragen oder umfassender Literaturanalyse bzw. einer Mischung aus beidem. In Tabelle 2 sind die Art und der Umfang der Datenerhebung mittels Umfragen für alle Reststoffe in den beiden Landkreisen dargestellt. Fragebögen siehe Anhang, Kapitel 10.

Tabelle 2: Zusammenfassung der Art der Datenerhebung und Anzahl der Umfragen für die einzelnen Reststoffe in den untersuchten Landkreisen

Reststoffart und befragte Unternehmen	Art der Erhebung	Anzahl der Firmen	erfolgreiche Kontaktaufnahme	Fragebogen (z.T.) verwertbar	Lkr. Pfaff.	Lkr. N.-S.
Waldrestholz: Privat- und Kommunalwald: Waldbesitzervereinigungen	Teil- erhebung, Experten- befragung	2	2	2	1	1
Waldrestholz: Staatswald	Experten- befragung	2	2	2	1	1
Waldrestholz: Heiz(kraft)werke	Voll- erhebung	5	5	4	2	2
Sägenebenprodukte: Sägewerke	Voll- erhebung	9	9	6	3	3
Industrierestholz: Zimmereien / Schreinereien	Stichproben- erhebung	296	5	5	3	2
Altholz/ Landschaftspflegeholz: Entsorgungsunternehmen	Voll- erhebung	10	10	5	2	3

Es werden im Unterpunkt 2 zudem sämtliche verwendeten Berechnungsformeln, Umrechnungsfaktoren und Datensätze zur Berechnung des Aufkommens und der ökologischen und ökonomischen Auswirkungen dargelegt, sowie falls vorhanden Berechnungsgrundlagen der Potenzialanalyse. Im Unterpunkt 3 werden zunächst relevante regionale Gegebenheiten (wirtschaftliche Struktur, Naturräume etc.) in den Untersuchungsgebieten analysiert und anschließend

das Aufkommen an holzigen Reststoffen dargestellt. Die aktuelle Verwendung und Verwertung der Reststoffe werden in Unterpunkt 4 dargestellt. Bei der Potenzialanalyse (Unterpunkt 5) werden gegebenenfalls bisher nicht genutzte Reststoffpotenziale abgeleitet. Inwieweit die im Kapitel 5.2.5 definierten Potenziale zu den einzelnen Reststoffarten beschrieben werden können, hängt stark von der Datenverfügbarkeit und den Ergebnissen der Umfragen ab und wird für die jeweilige Reststoffart festgelegt. Zur Bewertung der Reststoffverfügbarkeit wurden zusätzlich telefonisch oder persönlich Expertenmeinungen eingeholt. Soweit vorhanden werden alternative optimierte Verwertungsmöglichkeiten aufgezeigt.

Die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen der aktuellen, potenziellen und alternativen Verwertung werden im Unterpunkt 6 aufgezeigt und wenn möglich über Substitutionsfaktoren oder Wirkungsindikatoren quantifiziert.

5.4 Analyse der einzelnen Restholzsortimente

5.4.1 Waldrestholz

5.4.1.1 Begriffsbestimmung

Waldrestholz wird definiert als sämtliche bisher nicht verwerteten (das heißt nach Abschluss eines Hiebes im Wald, auf der Fläche oder auf der Rückegasse verbleibenden) oberirdischen holzartigen Baumkompartimente, wie Wipfel, Kronen und Kronenteile, Äste, X-Holz und minderwertiges Stammholz (KUPTZ et al. 2015). Sobald diese Baumkompartimente jedoch zur energetischen Verwertung aus dem Wald genommen werden (oft im Nachhinein durch Brennholzwerber) zählen sie zum Sortiment Energieholz (z.B. als Waldhackschnitzel).

Waldrestholz kann in Form von Reisholz oder Derbholz anfallen. Unter Reisholz versteht man alle oberirdischen holzartigen Teile eines Baumes mit einem Durchmesser von weniger als 7 cm. Derbholz dagegen bezeichnet alle oberirdischen holzartigen Teile eines Baumes mit einem Durchmesser von mindestens 7 cm. Waldrestholz fällt als Restprodukt beim Einschlag von Stammholz oder bei Durchforstungsmaßnahmen an und verbleibt wirtschaftlich ungenutzt im Wald. Alle biogenen Reststoffe (z. B. auch Blätter und Zapfen), die nach der Holzernte auf der Einschlagfläche im Wald zurückbleiben, nennt man auch Schlagabraum. Der holzige Teil des Schlagabraums ist dem Waldrestholz zuzuordnen.

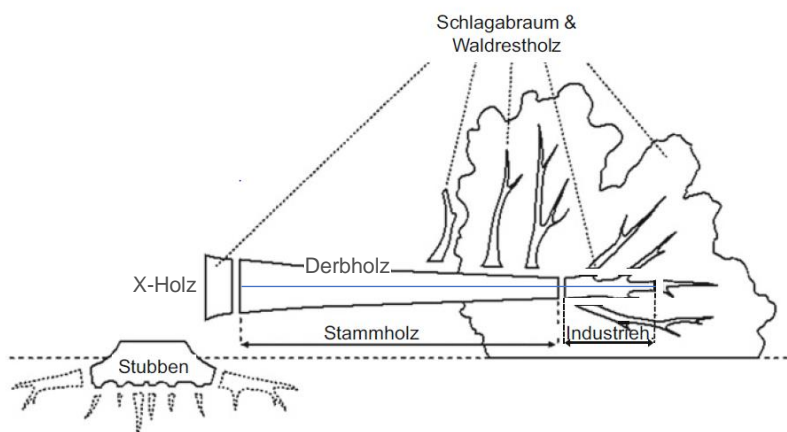


Abbildung 12: Holzfraktionen, die bei der Aufarbeitung von Bäumen anfallen (KÖHL & PLUGGE 2016)

Abbildung 12 zeigt eine mögliche Nutzung bei der Holzernte. Stammholz und qualitativ angemessenes Derbholz werden in der Regel rein stofflich verwertet. Stammholz wird zu Schnittholz weiterverarbeitet und Derbholz in der Papier-/Zellstoffindustrie oder in der Holzwerkstoffindustrie genutzt (siehe nachfolgende Abbildung, linke Seite). Weniger qualitatives Derbholz, Reisholz und Schlagabraum verbleiben als Waldrestholz im Wald.

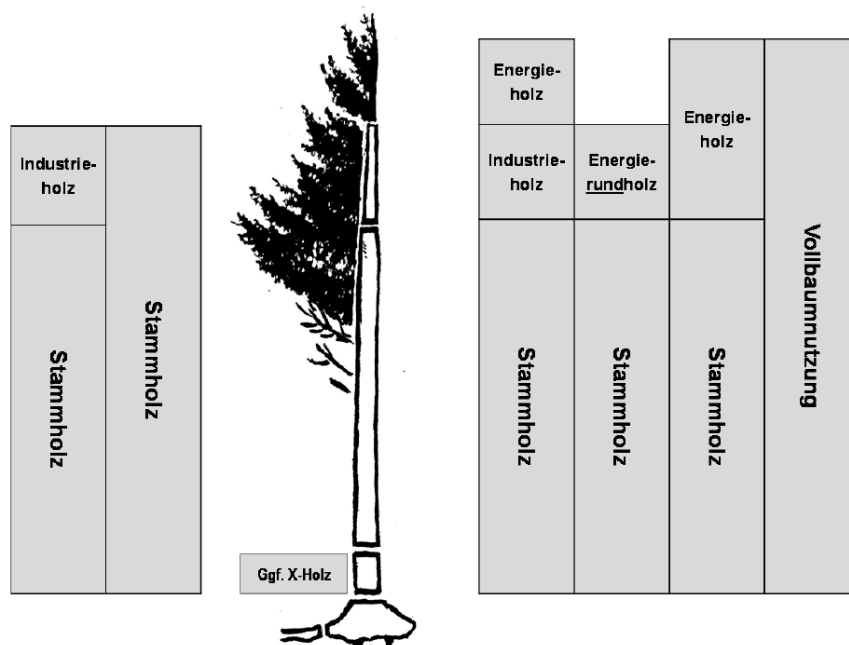


Abbildung 13: Mögliche Nutzungsvarianten bei der Holzfraktionen bei der klassischen Holzernte (linke Seite) und bei der Vollbaumnutzung (rechte Seite) (Kuptz et al. 2015)

Die Nutzung des Waldholzes kann aber deutlich variieren (siehe Abbildung 13, rechte Seite). Wenn Stammholz qualitativ ungeeignet ist für die Schnittholzproduktion, kann dieses auch als Industrieholz oder Energieholz verarbeitet werden. Ob Derbholz als Industrieholz oder Energieholz verwertet wird oder als Waldrestholz auf der Fläche liegen bleibt, ist von zahlreichen Faktoren, wie Nachfrage, Marktpreise, regionalen Abnehmerstrukturen oder Erntemöglichkeiten (motormanuell oder vollmechanisiert und maschinell) abhängig. Die Vollbaumnutzung ist die intensivste Nutzungsvariante, bei der weitestgehend alle Baumkompartimente einer Nutzung zugeführt werden. Waldrestholz fällt bei der Vollbaumnutzung daher nicht an.

Das Aufkommen an Waldrestholz ist direkt gekoppelt an die Ernte des Hauptproduktes Stammholz, welches monetär die größte Bedeutung hat. Einem höheren Einschlag an Stammholz folgt dadurch ein höheres Aufkommen an den restlichen Holzfraktionen. Je nachdem welche stofflichen Sortimente produziert werden, variieren die Aushaltungsgrenzen und damit der Anteil des Energieholzes am genutzten Holz. Die Nachfrage nach Energieholz hängt zudem stark von der Witterung im jeweiligen Winter ab. Außerdem wird das Holzaufkommen durch zufällige Ereignisse wie Sturmwürfe oder Insektenbefall bestimmt (KUPTZ et al. 2015, KÖHL & PLUGGE 2016). Waldrestholz-Baumkompartimente werden neben Vollbäumen und Energierundholz als primäres Ausgangsmaterial zur Erzeugung von Waldhackschnitzeln genutzt (Kuptz et al. 2015), die wegen der hohen Rinden- und Nadelanteile fast ausschließlich energetisch genutzt werden.

Das Angebot an Waldrestholz hängt maßgeblich von der Art der Nutzung ab. Bei einer Vollbaumnutzung (bei Durchforstung und Ernte) wird das gesamte oberirdische Material des Baumes

verwertet. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass der Biomasseentzug aus dem Wald auch einen Nährstoffentzug bedeutet. Grundsätzlich sollte deshalb vor einer Vollbaumernte eine Standortsbeurteilung durchgeführt werden, um sicher zu gehen, dass die Nährstoffnachhaltigkeit des Bodens nicht gefährdet wird (siehe auch Kapitel 5.4.1.6).

5.4.1.2 Datenerhebungs- und Berechnungsmethoden

Daten- und Informationserhebung

Das Aufkommen an Waldrestholz, sowie die potenzielle Nutzung wurden unter anderem über die Analyse des Waldholzaufkommens abgeschätzt. Zusätzlich wurden Befragungen, Experteninterviews sowie Literatur- und Internetrecherchen durchgeführt.

Zur Erhebung des Waldholzaufkommens im Privat- und Kommunalwald wurden auf Produzentenseite die Waldbesitzervereinigungen (WBV Pfaffenhofen und WBV Neuburg-Schrobenhausen) sowie Experten stellvertretend befragt. Das Aufkommen und Potenzial an Waldrestholz im Staatswald wurde anhand von Expertenbefragungen bewertet.

Auf Abnehmerseite wurde in den beiden Landkreisen eine Vollerhebung der energetischen Verwertung von Waldhackschnitzeln in Heiz(kraft)werken durchgeführt. Über Literatur- und Internetrecherche wurden Heiz(kraft)werk ausfindig gemacht und diese telefonisch und/oder schriftlich kontaktiert. Des Weiteren wurden technische Informationen und Kontaktdaten vom Technologie- und Förderzentrum (TFZ) im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, einer Einrichtung des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, eingeholt, welches eine Liste mit geförderten Biomasseheizwerken bereitstellt (TFZ 2018).

Zusätzlich zu den Umfragen wurden Experten interviewt (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Experteninterviews zum Potenzial von Waldrestholz

Experte	Institution, Funktion	Thema
Florian Renner	Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), Mitglied des Expertenteams Energiewende im ländlichen Raum	<ul style="list-style-type: none"> Potenzielles Rohholzaufkommen / Energieholzaufkommen (Energiepotenziale aus Waldderbholz) in den untersuchten Landkreisen Berechnungsgrundlagen und Umrechnungsfaktoren bei der Berechnung der Energiepotenziale aus Waldderbholz für den Energie-Atlas Bayern
Dr. Peter Stapel	Nachhaltigkeitsmanager der Stadt Pfaffenhofen a. d. Ilm	<ul style="list-style-type: none"> Einschätzung des Aufkommens an Waldrestholz
Dr. Andreas Hahn	Stellvertretender Behördenleiter und Bereichsleiter Forsten, AELF Pfaffenhofen a. d. Ilm	<ul style="list-style-type: none"> Beurteilung der Waldstandorte in den Landkreisen bezgl. Nährstoffnachhaltigkeit Waldrestholzaufkommen und -verwertung im Privatwald in den Landkreisen Neuburg-Schrobenhausen und Pfaffenhofen
Dr. Alfred Fuchs	Forstbetriebsleiter Freising	<ul style="list-style-type: none"> Einschätzung des Aufkommens/Verwertung von Waldrestholz im Staatswald im Landkreis Pfaffenhofen
N. N.	Experte Staatsforst Neuburg-Schrobenhausen	<ul style="list-style-type: none"> Einschätzung des Aufkommens/Verwertung von Waldrestholz im Staatswald im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen

Berechnung des tatsächlichen Aufkommens an Waldholz, insbesondere an Waldhackschnitzeln im Privatwald und Bewertung des Potenzials an Waldrestholz im Staatswald

Der Großteil des Waldes in den beiden Landkreisen ist Privatwald (rund zwei Dritte bzw. drei Viertel, Tabelle 7) Um das Aufkommen und die Verwertungswege des Waldholzes im Privatwald der beiden Landkreise abzuschätzen, wurden die Waldbesitzervereinigungen (WBVs) stellvertretend befragt. Das Holz aus den Körperschaftswäldern im Landkreis Pfaffenhofen wird ebenfalls über die WBV vermarktet (HAHN 2019). Die Angaben der WBV Pfaffenhofen, die im Telefoninterview übermittelt wurden, berufen sich zum größten Teil auf Unterlagen aus der Jahreshauptversammlung, die dem Interviewten vorlagen, und beziehen sich auf das Jahr 2017. Die Daten der WBV Neuburg-Schrobenhausen sind eher als Abschätzungen von Jahresdurchschnittswerten einzustufen.

Das Aufkommen an Waldholz wurde in unterschiedlichen Einheiten dokumentiert, so dass Umrechnungen notwendig waren. Schüttraummeter (srm) Waldhackschnitzel wurden in Festmeter (fm) umgerechnet mit dem Faktor 0,41, abgeleitet aus entsprechenden Dichteangaben in KALTSCHMITT et al. (2016). Dieser Umrechnungsfaktor steht im Einklang mit dem Umrechnungsfaktor von 0,4, den GÖßWEIN et al. (2018) verwendeten.

Für die Erhebung der derzeitigen und potenziellen Nutzung von Waldrestholz im Staatswald wurden telefonische und schriftliche Experteninterviews durchgeführt.

Berechnung des Verbrauchs und Energieinhalts von Waldhackschnitzeln

Es konnten in den beiden Landkreisen zwei Biomasseheizkraftwerke und drei Biomasseheizwerke, die Holz als Substrat verwenden, ausfindig gemacht und kontaktiert werden. Zwei Heizwerke machten Angaben zur eingesetzten Menge an Holz. Ein Heizwerk machte nur Angaben zur erzeugten Wärmemenge, und bei den zwei Heizkraftwerken wurden Daten aus der Literatur verwendet, um den Holzeinsatz 2017 zu schätzen (HERCHENBACH 2018, DANPOWER GMBH 2018).

Schüttraummeter (srm) Waldhackschnitzel (Industrieholz und Energieholz) werden mit dem Faktor 0,41 in Festmeter (fm) umgerechnet.

Als Annahme für den Wassergehalt wurden die Ergebnisse aus einem Forschungsprojekt des Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ) zur Optimierung der Bereitstellungsverfahren für Holzhackschnitzel verwendet (KUPTZ et al. 2015). Der mittlere Wassergehalt der Hackschnitzel aus frischem Holz betrug 50% (Spanne 36% bis 65%), bei gelagertem Holz 31%. Es wird somit für das Aufkommen an Waldhackschnitzeln in den untersuchten Landkreisen angenommen, dass der Wassergehalt 50% beträgt. Wie hoch möglicherweise der Anteil an vorgetrockneten Waldhackschnitzeln ist, konnte im Untersuchungsgebiet nicht erhoben werden. Da der Anteil jedoch nach KUPTZ et al. (2015) sehr niedrig ist, wird bei der Berechnung der erzeugten Energiemenge angenommen, dass in Heiz(kraft)werken mit Leistungen über 1 MW der Wassergehalt der Hackschnitzel bei 50% liegt und bei kleineren Biomasseheizwerken unter 1 MW bei 30%. Mögliche Lagerungsverluste durch Trocknung wurden vernachlässigt, da beim einzigen Biomasseheizwerk, bei dem eine natürliche Vortrocknung angenommen wurde, nur Angaben zur Wärmezeugung zur Verfügung standen. Auf die eingesetzte Holzmenge wurde entsprechend der Umrechnungsfaktoren in einem Top-Down-Ansatz zurückgerechnet.

Die Umrechnung der Volumeneinheiten „srm“ und „fm“ in Tonne lutro wurde mit Hilfe von Dichteangaben aus KALTSCHMITT et al. (2016) bei einem angenommenen Wassergehalt von 50% bzw.

Tabelle 4).

Tabelle 4: Dichteangaben zur Umrechnung von Festmeter lutro in Tonne lutro bei einem Wassergehalt von 50% (KALTSCHMITT et al. 2016))

	Dichte Hackschnitzel [t _{lutro} /srm]	Dichte festes Holz [t _{lutro} /fm]
Fichte (Nadelholz), w=50%	0,312	0,758
Buche (Laubholz), w=50%	0,459	1,117
Fichte/Buche (2/3 zu 1/3), w=50%	0,361	0,878
Fichte/Buche (2/3 zu 1/3), w=30%	0,258	0,627

Zur Berechnung der Energiemenge wurde der vom Wassergehalt abhängige Heizwert des Holzes verwendet. Die jeweilige Feuchtmasse (FM) des Holzes wurde mit dem entsprechenden Heizwert Hu multipliziert (Formel 1).

$$\text{Energiemenge} = \text{FM} * \text{Hu}$$

Formel 1

Unter dem Heizwert (auch unterer Heizwert) versteht man die Wärmemenge, die bei der vollständigen Oxidation des Holzes ohne Berücksichtigung der Kondensationswärme (Verdampfungswärme) des im Abgas befindlichen Wasserdampfes freigesetzt wird.

Zur Bestimmung des jeweiligen Heizwertes Hu wurde Formel 2 verwendet (KALTSCHMITT et al. 2016):

$$\text{Hu} = \frac{\text{Hu}(wf)(100 - w) - 2,443w}{100}$$

Formel 2

Hu Heizwert in MJ/kg bei einem bestimmten Wassergehalt w

w Wassergehalt in %

Hu(wf) Heizwert der biogenen Trockenmasse in MJ/kg nach GÖßWEIN et al. (2018)

mit Hu(wf) Fichte mit Rinde = 18,8 MJ/kg

Hu(wf) Nadel-/Laubholz (entspricht Verh. 2/3 Fichte zu 1/3 Buche) = 18,67 MJ/kg

Hu(wf) Buche mit Rinde = 18,4 MJ/kg

Die Konstante 2,443 resultiert aus der spezifischen Verdampfungswärme des Wassers in MJ/kg bei 25°C (KALTSCHMITT et al. 2016)

In Tabelle 5 sind die berechneten unteren Heizwerte, die bei der Bestimmung des Energieinhalts von Energieholz verwendet wurden, dargestellt.

Tabelle 5: Berechnete untere Heizwerte (Hu) zur Ermittlung des Energieinhalts von frischem und luftgetrocknetem Waldenergieholz

Unterer Heizwert (Hu)	Buche	Fichte	Fichte 2/3, Buche 1/3
-----------------------	-------	--------	-----------------------

Hu(WG=50%) [MJ/kg]	8,0	8,2	8,1
Hu(WG=30%) [MJ/kg]	12,1	12,4	12,3

Berechnung des Potenzials von Waldenergieholz aus Waldderbholz

Der Energie-Atlas Bayern (StMWi 2018) gibt Auskunft über die aus den Wäldern jährlich nutzbaren Energiepotenziale. Die Potenziale beziehen sich dabei auf Derbholz mit Rinde und werden in der Einheit GJ und GJ/ha für alle bayerischen Gemeinden dargestellt. Verantwortlich für den Inhalt ist die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF). Es handelt sich dabei um eine reine Potenzialberechnung unter Verwendung unterschiedlicher Fernerkundungs-, Modellierungs- und Inventurdatensätze. Es gibt keine Auskunft darüber, in welchem Maß die Potenziale bereits genutzt werden oder tatsächlich verfügbar gemacht werden können (StMWi 2018).

Florian Renner, Mitarbeiter in der Abteilung Forsttechnik, Betriebswirtschaft, Holz an der LWF und Mitglied des Expertenteams Energiewende im ländlichen Raum (Projekt N 10) wurde als Experte über die Vorgehensweise bei der Berechnung des Energiepotenzials aus Waldderbholz interviewt und stellte freundlicherweise Daten und Berechnungsgrundlagen für alle in den untersuchten Landkreisen liegenden Gemeinden zur Verfügung (Renner 2019):

- Holzvorrat in Vfm m. R. (darrtrocken, unterteilt in die Baumartengruppen Fichte, Kiefer und Laubholz)
- Potenzielles Holzaufkommen in Vfm m. R. (unterteilt in Fichte, Kiefer und Laubholz)
- Potenziell verfügbare Energiemenge aus dem Holzaufkommen in GJ

Das potenzielle Energieholzaufkommen basiert auf der Grundlage der Stichprobenflächen der 3. Bundeswaldinventur für einen Zeitraum von 40 Jahren unter Berücksichtigung des Waldumbaus zur Anpassung der Wälder an den Klimawandel (BORCHERT & RENNER 2018). Es wurden Korrelationen zwischen den Holzvorräten (im Wald stehende Holzmenge) an den Stichprobenflächen zu Beginn des Modellierungszeitraums und den Baumhöhen sowie dem potenziellen Holzaufkommen getrennt nach Baumartengruppen ermittelt. Somit wurde basierend auf den flächendeckend vorliegenden Informationen über die Baumhöhen (BORCHERT & RENNER 2018) und dem Vorkommen von Baumarten (IMMITZER et al. 2015) die Korrelation auf die Fläche übertragen mit dem Ergebnis flächendeckender Daten zu den Holzvorräten. Die Korrelation zwischen den Holzvorräten und dem potenziellen Holzaufkommen an den Stichprobenflächen wurde auf die flächendeckenden Daten zu den Holzvorräten übertragen und dadurch das potenzielle Holzaufkommen auf Gemeindeebene geschätzt. Der Anteil an Energieholz am potenziellen Holzaufkommen wurde entsprechend der unterschiedlichen Sortierungspraxis von Kleinprivatwald und größeren Forstbetrieben, die aus der Holzeinschlagserhebung der LWF bekannt sind (HASTREITER 2013), abgeleitet. Dabei wird angenommen, dass mit dieser Herangehensweise das wirtschaftliche Potenzial abgebildet wird. Die Flächen der Besitzarten und -größen stammen aus dem Automatisierten Liegenschaftsbuch.

Bei der Umrechnung von Vorratsfestmeter in Erntefestmeter wird ein Ernteverlust von 10% angenommen (RENNER 2019). Die Umrechnung der Erntefestmeter in Holzmasse basiert auf Dichteangaben aus KOLLMANN (1982). Es wurden für alle Baumartengruppen, die in der 3. Bundeswaldinventur erfasst wurden, die Raumdichte in kg/fm unter Berücksichtigung des Schwindmaßes berechnet (Formel 3):

$$R = \frac{r0 * (100 - \beta v)}{100}$$

Formel 3

- R Raumdichte [g/cm^3]
 r0 Rohdichte darrtrocken [g/cm^3]
 β_v Schwindmaß [%]

Für die hier berechneten aggregierten Baumgruppen Fichte, Kiefer und Laubholz wurden gewichtete Mittelwerte der Raumdichte nach ihren Anteilen innerhalb der jeweiligen Baumartengruppe entsprechend der 3. Bundeswaldinventur bestimmt (siehe Tabelle 6). Die Umrechnung der ermittelten Trockenmasse in Energie erfolgte nur getrennt für Nadelholz und Laubholz mit mittleren Heizwerten aus KALTSCHMITT et al. (2009) Tabelle 6.

Tabelle 6: Zusammensetzung, aggregierte Raumdichte und Heizwert der Baumartengruppen zur Energiepotenzialberechnung aus Derbholz
 (ALH: Esche, Hainbuche, Bergahorn, Spitzahorn, Lindenarten, Robinie, Ulme, Rosskastanie, Edelkastanie, Nussbaumarten; ALN: Birkenarten, Balsampappel, Schwarzpappel, Zitterpappel, Weidenarten)

Baumartengruppe	Zugehörige Baumarten	Raumdichte [kg/fm]	Heizwert [MJ/kg]
Fichte	Fichte, Tanne, Douglasie	379	18,8
Kiefer	Kiefer, Lärche	435	18,8
Laubholz	Eiche, Buche, ALH (andere Laubbäume mit hoher Lebenserwartung), ALN (andere Laubbäume mit niedriger Lebenserwartung)	541	18,4

5.4.1.3 Regionale Gegebenheiten und Aufkommen von Waldholz einschließlich Waldhackschnitzel

Waldbestand und Eigentumsart im Untersuchungsgebiet

In den beiden Landkreisen Neuburg-Schrobenhausen und Pfaffenhofen an der Ilm erstreckt sich der Wald auf rund 24% der Amtsfläche, was etwa 34.600 Hektar entspricht. 73 ha davon sind als Naturwaldreservate ausgewiesen, in denen die forstwirtschaftliche Nutzung untersagt ist (AELF PFAFFENHOFEN A. D. ILM 2018). Das Gebiet fällt unter die dienstliche Zuständigkeit des Amtes für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (AELF) Pfaffenhofen a. d. Ilm.

Tabelle 7 sind die Bewaldung und die Waldbesitzverhältnisse der beiden Landkreise im Vergleich zu Bayern dargestellt.

Tabelle 7: Waldfläche und Eigentumsart in den Landkreisen Neuburg-Schrobenhausen und Pfaffenhofen im Vergleich zu Bayern auf Basis der Bundeswaldinventur 2012, Kleinprivatwald: Waldeigentum ≤ 20 ha (AELF PFAFFENHOFEN A. D. ILM 2018, LWF 2014)

Region	Bewaldung		Privatwald (davon Kleinprivatwald)	Staatswald	Körperschaftswald
	[ha]	[%]	[%]	[%]	[%]
Bayern	2.606.000	37	56 (65)	32	12

Landkreis Neuburg-Schrobenhausen	16.600	22	63 (35)	22	15
Landkreis Pfaffenhofen	18.000	25	77 (60)	19	4

Der Waldanteil der zu untersuchenden Landkreise liegt deutlich unterhalb des bayernweiten Durchschnitts.

Weitere Daten zur Zusammensetzung der Baumarten gehen aus der Auswertung der Bundeswaldinventur 2012 für die sogenannte Planungsregionen (regionale Planungsräume nach dem Bayerischen Landesentwicklungsprogramm (LEP)) hervor (LWF 2018). Die Planungsregion Ingolstadt (Region 10) umfasst neben den Landkreisen Neuburg-Schrobenhausen und Pfaffenhofen a.d.Ilm, auch den Landkreis Eichstätt, sowie die kreisfreie Stadt Ingolstadt. Der Waldanteil der untersuchten Landkreise an der Planungsregion Ingolstadt beträgt ca. 37%. Die Baumartenzusammensetzung der Planungsregion Ingolstadt ist in Tabelle 8 zu sehen (AELF PFAFFENHOFEN A. D. ILM 2018):

Tabelle 8: Baumartenzusammensetzung der Planungsregion Ingolstadt auf Basis der Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur aus dem Jahr 2012 (LWF 2018)

	Waldfläche nach Baumartengruppen [%]
Laubholz	41,5
Buche	21,8
Eiche	5,7
Andere Laubbäume mit niedriger Lebensdauer (z. B. Birke, Elsbeere, Pappel)	8,2
Andere Laubbäume mit hoher Lebensdauer (z. B. Ahorn, Esche, Hainbuche)	5,7
Nadelholz	58,5
Fichte	43,1
Kiefer	13,9
Lärche	0,9
Douglasie	0,4
Tanne	0,1

Regionale Gegebenheiten in den Landkreisen

Im Jahr 2017 gab es hinsichtlich des Klimas zwei wichtige Faktoren, die die Holzernte und den Holzmarkt beeinflusst haben. Sturmereignis „Kolle“ und die darauffolgenden Borkenkäfervermehrungen haben große Schäden in den Wäldern Bayerns verursacht und zu einem hohen Aufkommen an Sturm- und Käferholz geführt, welches den Holzmarkt belastet (BAYSF 2018a). Der Landkreis Pfaffenhofen blieb zwar von den Sturmereignissen weitestgehend verschont und war auch verhältnismäßig weniger betroffen vom Borkenkäferbefall, dennoch war der Käferbefall hier schlimmer als üblich (HAHN & ZITZELSBERGER 2017).

Im Januar 2018 bewirkte das Orkantief „Friederike“ ein Sturmholzaufkommen von rund 10-12 Mio. Festmeter Holz in Mittel- und Norddeutschland. Zusätzlich belastend war in diesem Jahr der hohe Befall durch den Borkenkäfer aufgrund der überdurchschnittlich warmen Witterung (BAYSF 2018a). Das Orkantief „Friederike“ hat zwar im Landkreis Pfaffenhofen keine größeren Schäden hinterlassen, das hohe Aufkommen von Schad- und Sturmholz aus anderen Gebieten und das eigene um 25% gegenüber dem Vorjahr höhere Käferholzaufkommen belastete aber den regionalen Holzmarkt, so dass die WBV Pfaffenhofen von Frischholzeinschlägen im Sommer 2018 abriet (BRUNDKE et al. 2018, BRUNDKE & HAHN 2018). Es kann davon ausgegangen werden, dass diese Extremereignisse wie Stürme und trocken Sommer zukünftig gehäuft aber unregelmäßig auftreten.

Aufkommen von Waldholz einschließlich Waldhackschnitzeln im Privatwald

In Tabelle 9 sind die WBVs Pfaffenhofen und Schrobenhausen kurz charakterisiert. Die durch die gemeinsame Vermarktung vertretene Fläche repräsentiert im Landkreis Pfaffenhofen 63% und im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen 41% der gesamten Waldfläche.

*Tabelle 9: Charakterisierung der Waldbesitzervereinigungen (WBV) Pfaffenhofen und Neuburg-Schrobenhausen
die Waldfläche der Mitglieder (eingeklammelter Wert) entspricht nicht der Waldfläche der zwecks Vermarktung vertretenen Fläche, da bedeutende Großprivatwaldbesitzer trotz Mitgliedschaft in der WBV eigenständig vermarkten.

	Waldfläche [ha]	Privatwald [ha]	Waldfläche vertreten durch WBV [ha]	Anteil an gesamter Waldfläche	Anzahl der Mitglieder	durchschnittliche Waldbesitzgröße der Mitglieder
Landkreis Pfaffenhofen	18.000	13.860	11.356	63%	2.150	5,3
Landkreis Neuburg-Schrobenhausen	16.000	10.080	6.540 (9.540)*	41%	1.000	9,6

Tabelle 10 zeigt das Holzaufkommen im Privatwald der untersuchten Landkreise stellvertretend durch die jeweilige Waldbesitzervereinigung (WBV) im Vergleich zu den bayernweiten Erntemengen der Privatwälder nach GÖßWEIN et al. (2018). Dabei ist zu beachten, dass sich die Daten der WBVs auf das Untersuchungsjahr 2017 beziehen und kein Scheitholz beinhalten, die bayernweiten Vergleichsdaten sich jedoch auf das Jahr 2016 beziehen, da hier keine aktuelleren Daten zur Verfügung stehen. Das Scheitholz ist zum besseren Vergleich aus den bayernweiten Daten herausgerechnet. Laut GÖßWEIN et al. (2018) waren im Jahr 2016 in Bayern zwei Drittel des Energieholzes Scheitholz. Nach KUPTZ et al. (2015) ist Waldrestholz, insbesondere Fichten-

Waldrestholz das aktuell wichtigste Sortiment für die Waldhackschnitzelbereitstellung. Das Aufkommen an Waldhackschnitzeln kann daher zur Abschätzung der Verwendung von Waldrestholz dienen. GÖßWEIN et al. (2018) geben einen durchschnittlichen Anteil von 77% Waldrestholz in den Waldhackschnitzeln an, der Rest ist Energierundholz. Die mengenmäßige Zusammensetzung von Waldhackschnitzeln aus Waldrestholz und Energierundholz wurde bei der Befragung der WBVs nicht beziffert.

Bis auf das Industrieholz ist das Aufkommen der jeweiligen Holzsortimente pro ha Privatwald in den untersuchten Landkreisen höher als das bayernweite Aufkommen 2016. Dies könnte zum einen auf die im Jahre 2017 stattgefundenen Sturm- und Käferschäden zurückzuführen sein, zum anderen auch an der Erhebungsmethode des Energieholzmarktberichtes liegen, da die Holzeinschlagsstatistik den tatsächlichen Holzeinschlag nur unvollständig erfasst. Weiter auffallend ist der überproportional hohe Anteil an Waldhackschnitzeln. Im Privatwald der untersuchten Landkreise ist der Anteil der Waldhackschnitzel am Holzaufkommen ohne Scheitholz mehr als doppelt so hoch wie beim bayernweiten Durchschnitt.

*Tabelle 10: Holzaufkommen im Privatwald in den untersuchten Landkreisen im Vergleich zu Bayern
Die Daten der WBVs stammen aus eigener Befragung mit dem Bezugsjahr 2017 exklusive Scheitholz, die bayernweiten Daten für den Privatwald sind GÖßWEIN et al. (2018) entnommen mit dem Bezugsjahr 2016;*

	Aufkommen Waldholz (ohne Scheitholz) [Tsd. Efm]	Aufkommen Waldholz (ohne Scheitholz) [Efm/ha Privatwald]	Aufkommen Stammholz [Efm/ha Privatwald]	Aufkommen Waldhackschnitzel [Efm/ha Privatwald]	Aufkommen Scheitholz [Efm Privatwald]	Aufkommen Industrieholz [Efm/ha Privatwald]
WBV Pfaffenhofen	84	7,4	4,7	2,6	n. b.	0,1
WBV Neuburg-Schrobenhausen	50	7,6	4,6	2,3	n. b.	0,8
Privatwald Bayern (2016)	7.440	5,1	3,7	1,1	3.000	0,3

Die verfügbaren Energiemengen in den vermarkteten Waldhackschnitzeln der WBVs belaufen sich für den Landkreis Pfaffenhofen auf 208 Mio. MJ und für den Landkreis Neuburg-Schrobenhausen auf 107 Mio. MJ, unter der Annahme, dass alles Energieholz mit einem Wassergehalt von 50% in den regionalen Heiz(kraft)werken verbrannt wurde.

Um diese Energiemengen besser einordnen zu können, wurde der theoretische Energieinhalt der Waldhackschnitzel mit dem Wärmebedarf als Endenergiebedarf in den untersuchten Landkreisen (StMWi 2018) verglichen (Tabelle 11). Die theoretisch verfügbare Energiemenge aus Waldhackschnitzeln im Privatwald würde in Form von Wärme ca. 2% des gesamten Wärmebedarfs bzw. 3-4% des Wärmebedarfs der privaten Haushalte in den beiden Landkreisen abdecken.

Tabelle 11: Gegenüberstellung des Wärmebedarfs (Endenergiebedarf) in den untersuchten Landkreisen (StMWi (2018), Bezugsjahr: 2016) und den verfügbaren Energiemengen aus den 2017 über die WBVs vermarkteten Waldhackschnitzel

Landkreis	Wärmebedarf gesamt (StMWi 2018) [MWh/a]	Wärmebedarf Haushalte (StMWi 2018) [MWh/a]	Energiemengen aus Waldhackschnitzel [MWh/a]
Neuburg-Schrobenhausen	1.919.058	1.050.435	29.633
Pfaffenhofen	3.090.521	1.326.656	57.771

Summe	5.009.579	2.377.091	87.404
-------	-----------	-----------	--------

Anhand der Bundeswaldinventur 2012 wurden für die Planungsregion Ingolstadt Daten zum Holzeinschlag und zum Holzzuwachs aus dem Jahr 2012 ausgewertet (LWF 2018). Der durchschnittliche Holzzuwachs lag demnach über alle Baumarten und Altersklassen bei 11,03 Vorratsfestmetern pro Hektar und Jahr ($V_{fm} \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}$). Die Holznutzung übertraf in den Privat- und Kommunalwäldern mit 11,68 $V_{fm} \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}$ den Zuwachs. Gründe für den leichten Vorratsabbau sind gemäß AELF PFAFFENHOFEN A. D. ILM (2018) die gezielte Schaffung von artenreichen Mischwäldern, wofür zunächst hiebsreife Fichten- und Kiefernbestände geerntet werden müssen. Zudem musste in Fichtenwäldern auf Grund von Borkenkäfervermehrungen und Stürmen Holz geerntet werden.

Aufkommen von Waldholz einschließlich Waldhackschnitzeln im Staatswald

Der Forstbetrieb Freising bewirtschaftet im Landkreis Pfaffenhofen 2.536 ha Wald. Der Zuwachs auf diesen Staatswaldflächen liegt bei ungefähr $9,2 \text{ fm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$. Aktuell und in den nächsten Jahren wird der Holzzuwachs vollständig abgeschöpft. Ein großer Anteil der Waldfläche befindet sich in der Phase des aktiven Waldumbaus, während der für begrenzte Zeiträume sogar mehr Holz anfällt, als gerade zuwächst. Mittelfristig wird sich die Nutzung aber wieder etwas unterhalb des Zuwachses bewegen, so dass langfristig ein kontinuierlicher Vorratsaufbau erfolgt. Mit dem laufenden Waldumbau werden sich die Baumartenanteile stärker zur Buche hin verschieben. Die Fichte wird stark rückläufig sein, jedoch zum Teil durch Douglasie ersetzt werden. Insofern sind zukünftig auch keine allzu großen Veränderungen des Nutzungspotenzials zu erwarten. Die zunehmenden Schadereignisse in Europa haben aktuell zu einer Überversorgung des Holzmarkts mit Nadelholz geführt. Als Gegenreaktion haben die Bayerischen Staatsforsten (BaySF) den Nadelholzeinschlag insgesamt stark reduziert. Dennoch können Sturm und Borkenkäfer-Schadereignisse auch den Staatswald treffen (wie z. B. im Trockensommer 2018) und das Angebot an Holz kurzfristig erhöhen. (FUCHS 2019)

Im Kalenderjahr 2017 wurde im Staatswald im Landkreis Pfaffenhofen rund 9.200 fm Waldholz eingeschlagen. Etwa 800 fm blieben ungenutzt im Wald liegen. Dieser Wert ist jedoch untypisch, da das Kalenderjahr zweimal während der Haupteinschlagszeit abgrenzt und es somit vom Zufall abhängt, ob dort gerade ein großer Teil der Hiebsmenge geschlagen ist oder nicht. (FUCHS 2019)

5.4.1.4 Aktuelle Verwendung und Verwertung des Waldholzes

Das Hauptprodukt aus dem Waldholz ist das Stammholz (über 60%), welches in Sägewerken weiterverarbeitet wird. In den beiden Landkreisen gibt es jedoch nur sehr wenige und kleine Sägewerke (siehe auch Kapitel 5.4.2.3). Der Stammholzbedarf dieser Sägewerke ist fast immer aus dem Landkreis gedeckt. Nur ein Sägewerk, welches an der Landkreisgrenze liegt, bezieht zusätzlich Holz aus anderen Landkreisen. Das Aufkommen an Stammholz von 83 Tsd. fm aus dem Privat- und Kommunalwald in den beiden Landkreisen, welches über die WBVs vermarktet wird, sowie dem Aufkommen aus dem Staatswald steht einem Bedarf von hochgerechneten 17 Tsd.¹ fm Stammholz in den befragten Sägewerken gegenüber. Im Jahr 2017 bezogen die Sägewerke in den beiden Landkreisen 15 Tsd. fm Stammholz aus dem eigenen Landkreis. Das heißt, der Großteil des

¹ Da bei drei der befragten Sägewerke keine Angaben zum Jahreseinschnitt und zur Herkunft des Holzes vorlagen, wurden Aufkommen und Verwertung geschätzt anhand des durchschnittlichen Einschnitts der restlichen Sägewerke und unter der Annahme, dass alles aus dem Landkreis stammt und im Landkreis verwertet wird.

Stammholzes wird außerhalb der Landkreise verwertet. Das Energieholz aus dem Privatwald verblieb im Landkreis Pfaffenhofen zu 100%, es wurde an die zwei ansässigen Heiz(kraft)werke, sowie private oder kleingewerbliche Abnehmer in Form von Waldhackschnitzeln verkauft. Das aktuell wichtigste Sortiment für die Waldhackschnitzelbereitstellung ist nach KUPTZ et al. (2015) Waldrestholz, insbesondere Fichten-Waldrestholz. Im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen verblieben 10% des Energieholzes (hochwertigere Waldhackschnitzel) im Landkreis. Diese wurden an die ansässigen Heizwerke sowie private oder kleingewerbliche Abnehmer verkauft, 90% der Waldhackschnitzel mit Waldrestholzanteil gingen an Biomasseheizkraftwerke außerhalb der Landkreisgrenzen. Energieholz in Form von Scheitholz wird nicht über die WBVs erfasst und kann daher nicht beziffert werden. Es ist jedoch anzunehmen, dass das Scheitholz nahezu vollständig im eigenen Landkreis verwertet wird entweder zur Eigenversorgung der Waldbesitzer oder über ansässige Selbstwerber bzw. Käufer frei Waldstraße oder gegebenenfalls frei Hof bzw. Haus. Das Industrieholz wurde als Rohstoff für die Holzwerkstoffindustrie bzw. Papierindustrie nur außerhalb der Landkreise verwertet (Tabelle 12). Insgesamt verblieben vom Holz, welches über die WBVs vermarktet wurde, 43% in den zwei Landkreisen.

Tabelle 12: Menge und Anteil des Waldholzes, unterteilt in den jeweiligen Sortimenten, aus der Vermarktung der Waldbesitzervereinigungen (WBVs), die im eigenen Landkreis verwertet wird, bzw. bei Stammholz maximal verwertet werden könnte.

	Stammholz		Energieholz (Waldhackschnitzel)		Industrieholz	
	Aufkommen [Efm]	Verwertung im Lkr.	Aufkommen [Efm]	Verwertung im Lkr.	Aufkommen [Efm]	Verwertung im Lkr.
WBV Pfaffenhofen	53.000	n. b. (max. 18%)	29.000	100%	1.000	0%
WBV Neuburg-Schrobenhausen	ca. 30.000		ca. 15.000	10%	ca. 5000	0%

Das Energieholz der WBVs wurde als Waldhackschnitzel vermarktet. Dem gesamten Aufkommen der WBVs von umgerechnet ca. 108 Tsd. srm stand ein Bedarf von 264 Tsd. srm allein in den Heiz(kraft)werken gegenüber (Tabelle 13). Sämtliche Heiz(kraft)werke decken ihren Bedarf fast ausschließlich mit Waldhackschnitzeln. Die Biomasseheizwerke im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen setzen nur qualitativ hochwertigere Waldhackschnitzel bevorzugt aus Energierundholz ein. Die Biomasseheizkraftwerke im Landkreis Pfaffenhofen verbrennen vorrangig Waldhackschnitzel aus Waldrestholz.

Bis auf das Biomasseheizkraftwerk Pfaffenhofen konnten 2017 alle Heiz(kraft)werke ihren Bedarf an Waldhackschnitzeln aus dem eigenen Landkreis decken. Da aber Pfaffenhofen mit Abstand das größte Heizkraftwerk ist, und laut HERCHENBACH (2018) nur 20 % der eingesetzten Hackschnitzel aus dem eigenen Landkreis kommen, wurden ca. 190 Tsd. srm Waldhackschnitzel aus anderen Landkreisen (inkl. dem Landkreis-Neuburg-Schrobenhausen) antransportiert.

Tabelle 13: Verbrauch an Waldhackschnitzeln der Biomasseheiz(kraft)werke in den untersuchten Landkreisen im Jahr 2017

*Quelle: HERCHENBACH (2018)

Biomasseheiz(kraft)werk (BH(K)W)	Waldhackschnitzel [srm]	Waldhackschnitzel [t lutro]	Anteil aus dem eigenen Landkreis
BHW Schrobenhausen Schulzentrum (0,8 MW)	3.700	1.300	100%
BHW Schrobenhausen Krankenhaus (0,8 MW)	3.000	1.100	100%
BHW Pörnbach (0,1 MW)	300	80	100%
BHKW Wolnzach (2,8 MW thermisch, 0,5 MW elektrisch)	20.100	7.300	100%
BHKW Pfaffenhofen (26,7 MW thermisch, 6 MW elektrisch)	237.300	86.000	20%*
Summe	264.400	95.800	28%

Aus dem Staatswald im Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm wurden laut FUCHS (2019) im Kalenderjahr 2017 rund 600 fm Stammholz und rund 400 fm Brennholz direkt im Landkreisgebiet vermarktet. Die übrigen Mengen an Stammholz sowie das Industrieholz und auch die Waldhackschnitzel wurden außerhalb des Landkreises vermarktet.

5.4.1.5 Potenzialanalyse von Waldholz und Waldenergieholz aus Derbholz und Waldrestholz

Das zusätzliche Potenzial an Waldrestholz kann von zwei verschiedenen Gesichtspunkten analysiert werden. Zum einen könnte das jährliche Aufkommen an Waldholz durch vermehrten Einschlag von Stammholz (das Potenzial ergibt sich aus ungenutztem Zuwachs) insgesamt und damit auch das Koppelprodukt Waldenergieholz aus Derbholz sowie das ungenutzte Produkt Waldrestholz erhöht werden. Zum anderen kann die Nutzung des bereits anfallenden Waldrestholzes, das bisher teilweise, aber ggf. nicht maximal möglich genutzt wird, intensiviert und theoretisch bis hin zur Vollbaumnutzung gesteigert werden. Diese Möglichkeiten fallen allerdings unter das „theoretische Potenzial“. Inwieweit die Steigerung der Nutzung als „Nachhaltiges Potential“ bewertet werden kann, wird im Folgenden aufgezeigt. Zunächst wird das Waldenergieholzpotenzial aus Derbholz dargestellt, die wichtigste Größe zur Deckung des Bedarfs der BMH(K)W.

Potentialanalyse Waldholz und Waldenergieholz aus Derbholz im Privatwald (Einschlag erhöhen)

Der Energie-Atlas Bayern (verfügbar unter www.energieatlas.bayern.de) gibt seit Januar 2019 Auskunft über die aus den Wäldern jährlich nutzbaren Waldenergieholzpotenziale. Die Potenziale beziehen sich dabei nur auf darrtrockenes Derbholz mit Rinde und werden in der Einheit GJ und GJ/ha für alle bayerischen Gemeinden dargestellt. Es gibt keine Auskunft darüber, in welchem Maße die Potenziale bereits genutzt werden oder tatsächlich verfügbar gemacht werden können. Die Energiemenge die tatsächlich nutzbar gemacht werden kann, hängt vom Wassergehalt des Holzes, sowie von den Wirkungsgraden und Jahresnutzungsgraden der Anlagen ab, die das Energieholz verbrennen. Alle Faktoren verringern die tatsächlich nutzbare Energiemenge gegenüber dem

theoretischen Energiepotenzial aus dem Energie-Atlas. Das Waldenergieholzpotenzial im Energie-Atlas Bayern wird von der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) unter Verwendung unterschiedlicher Fernerkundungs-, Modellierungs- und Inventurdatensätze berechnet (StMWi 2018). Das Potenzial entspricht dabei einem wirtschaftlichen Potenzial unter Einbeziehung von Nachhaltigkeitsaspekten des Waldes. Es bildet damit in etwa die potenziellen Mengen ab, die heute und in Zukunft wirtschaftlich und nachhaltig genutzt werden können. Durch Florian Renner, Mitarbeiter in der Abteilung Forsttechnik, Betriebswirtschaft, Holz an der LWF und Mitglied des Expertenteams Energiewende im ländlichen Raum (Projekt N 10) wurden im Experteninterview freundlicherweise tieferegehende, auf dieser Modellierung beruhende Daten zum Waldenergieholzpotenzial in den beiden untersuchten Landkreisen bereitgestellt.

Tabelle 14 zeigt die Ergebnisse der Analyse der Daten zum Wald- und Waldenergieholzpotenzial auf Landkreisebene pro ha Wald im Vergleich zum landkreisspezifischem Holzaufkommen aus den Privatwäldern der WBVs.

Tabelle 14: Vergleich des Aufkommens an Waldholz und Waldenergieholz in Teilgebieten der untersuchten Landkreise mit dem theoretischen wirtschaftlichen Potenzial

	Datengrundlage	Neuburg-Schrobenhausen	Pfaffenhofen
Wirtschaftliches Potenzial [Efm m. R. /ha Wald]			
Waldholz gesamt	Renner 2019, StMWi 2018 inkl. Scheitholz, inkl. Staatswald	9,7	10,9
Waldenergieholz		4,0	4,7
Aufkommen [Efm m. R./ha Wald]			
Waldholz gesamt ohne Scheitholz	eigene Berechnungen auf Basis der Befragung der WBVs, Bezugsjahr 2017, ohne Scheitholz	7,6	7,4
Waldenergieholz ohne Scheitholz		2,6	2,3
Waldholz inkl. Scheitholz	eigene Berechnungen auf Basis der Befragung der WBVs, Bezugsjahr 2017, Scheitholzanteil in den untersuchten Landkreisen wurde basierend auf dem bayernweiten Anteil am Stammholz aus GÖßWEIN et al. (2018) hochgerechnet und dem Aufkommen zugerechnet	9,3	9,1
Waldenergieholz inkl. Scheitholz		4,0	4,3

Das für Waldholz modellierte wirtschaftlich-nachhaltige Potenzial für die untersuchten Landkreise (9,7 bzw. 10,9 Efm m.R./ha Wald liegt in ähnlichen Größenordnung wie die 2012 in der BWI3 ermittelten Holznutzung von 10,5 Efm m.R./ha Wald, die bereits geringfügig über dem Holzzuwachs lag (AELF PFAFFENHOFEN A. D. ILM 2018). Bei dem tatsächlichen Aufkommen der WBVs in den Landkreisen ist das Sortiment Scheitholz noch nicht beinhaltet. Zur groben Abschätzung des Aufkommens an Scheitholz wurde der Anteil Scheitholz am Stammholz (37%) aus dem Energieholzmarktbericht Bayern (GÖßWEIN et al. 2018) übertragen auf den Einschlag der Landkreise und so ein geschätztes Aufkommen an Scheitholz berechnet. Der Anteil an Scheitholz am gesamten Einschlag liegt mit dieser Hochrechnung in den untersuchten Landkreisen bei 18% bzw. 19%, im Energieholzmarktbericht Bayern liegt er bei 21%. Das sich auf Basis dieser Hochrechnung ergebende rechnerisch noch verfügbare Potenzial für die von den WBVs vertretene private Waldfläche liegt im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen für Waldholz bei 0,4 Efm m. R./ha, beim Waldenergieholz scheint es bereits

ausgeschöpft zu sein. Im Landkreis Pfaffenhofen liegt das noch verfügbare Potenzial an Waldholz bei 1,8 und an Waldenergieholz bei 0,4 Efm m. R./ha Wald. Insgesamt zeigt der Vergleich, dass das allgemeine Einschlagverhalten der privaten Waldbesitzer in den untersuchten Landkreisen bereits nahe bis sehr nahe am wirtschaftlich-nachhaltigem Potenzial liegt. Eine Steigerung des allgemeinen Einschlags im Privatwald, welche mit einem erhöhten Anfall an Waldenergie- und Waldrestholz einhergehen würde, könnte nach dieser Berechnung vor allem im Privatwald des Landkreises Pfaffenhofen noch erreicht werden. Es müssen hierbei allerdings die Unsicherheiten im Zusammenhang mit der Datenerhebung, insbesondere die Hochrechnung des Scheitholzes, sowie jährliche Schwankungen aufgrund von Sturm- oder Käferschäden berücksichtigt werden.

Potentialanalyse Waldholz und Waldenergieholz aus Derbholz im Staatswald (Einschlag erhöhen)

Der Holzeinschlag und damit das Aufkommen von Waldenergieholz und Waldrestholz im Staatswald sind vom jeweiligen Forstbetrieb in einem Forstwirtschaftsplan zentral festgelegt. Der Staatswald in den untersuchten Landkreisen gehört teilweise zum Forstbetrieb Freising, teilweise zum Forstbetrieb Kaisheim. Der Zuwachs auf den Staatswaldflächen im Landkreis Pfaffenhofen liegt bei ungefähr 9,2 Festmeter pro ha Wald und Jahr. In den nächsten Jahren wird der Holzzuwachs aufgrund des Waldumbaus vollständig abgeschöpft (FUCHS 2019). Ein zusätzliches Potenzial in Form nicht genutzten Zuwachses besteht nicht. Dies gilt auch für die Staatswälder im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen (N. 2019).

Potentialanalyse von Waldrestholz im Privatwald (Nutzung intensivieren)

Im Energieholzmarktbericht 2016 (GÖRWEIN et al. 2018) wird ein Teil der Einschlagsmenge als „nicht verwertet“ bezeichnet. Dabei handelt es sich um Derbholz, welches nach dem Schlag im Wald liegen bleibt und nach der Definition in diesem Bericht dem Waldrestholz zuzuordnen ist. Im Jahr 2016 lag dieser Wert bei 0,41 Mio. Efm m. R. für Bayerns Wälder, das entspricht etwa 0,16 Efm m.R. pro ha Wald. In den bayerischen Privatwäldern sind es 0,7 Efm m.R. pro ha Wald und im Staatswald 0,24 Efm m.R. pro ha Wald. Ein Teil dieser Mengen könnte jedoch später noch durch Selbstwerber als Brennholz verwertet worden sein.

Nach der Einschätzung von Dr. Andreas Hahn, dem stellvertretenden Behördenleiter und Bereichsleiter Forsten am AELF Pfaffenhofen a. d. Ilm, sowie den in den beiden untersuchten Landkreisen verantwortlichen Revierleiter ist grundsätzlich noch ein verwertbares Potenzial an Waldrestholz im Privatwald vorhanden. Sowohl an Derbholz als auch an Reisigholz. Allein aus Waldschutzgründen nimmt seit ca. 3 Jahren die Menge an verwertbarem Waldrestholz (Käferholz) spürbar zu. Im Falle eines Käferbefalls wird der gesamte Baum (inkl. Reisigholz und Nadeln) aus dem Wald geholt oder direkt im Wald gehackt, um die Ausbreitung des Borkenkäfers zu verhindern. Diese Schadhölzer bleiben jedoch oft unverwertet liegen. HAHN (2019) nimmt an, dass die zusätzlich verfügbaren Mengen auch in den nächsten zwei Jahrzehnten nicht weniger werden. Die Problematik in der Nutzung dieser potenziellen zusätzlichen Mengen Waldrestholz liege in den Landkreisen nicht nur an der materiellen Verfügbarkeit, sondern auch an der Bereitstellung und Logistik. Zum einen passt der zeitliche Anfall der Käferkalamiten im Sommer nicht mit dem geringeren Wärmebedarf im Sommer überein. Zum anderen ist der logistische und finanzielle Aufwand, im Zusammenhang mit geringer Gewinnmarge, bei der Verarbeitung des anfallenden Waldrestholzes zu Hackschnitzeln oft zu hoch für die Privatwaldbesitzer (HAHN 2019).

Die Nutzung des Waldrestholzes könnte optimiert und intensiviert werden, indem Rahmenbedingungen für eine einfachere logistische Aufbereitung und Verteilung der Waldrestholzsortimente geschaffen werden. Die Lagerung von Waldrestholz-Hackschnitzeln könnte der Problematik des punktuellen Überangebots durch Sturm- oder Käferschäden v. a. im Sommer und der generell höheren Nachfrage im Winter entgegenwirken. Ein zusätzlicher Nutzen der Lagerung ist die Reduzierung des Wassergehaltes, welche sich positiv auf den nutzbaren Energieinhalt auswirkt. Insbesondere beim Waldrestholz wirkt sich eine (Vor-)Lagerung im ungehackten Zustand positiv aus, da zum einen Waldrestholzpolter durch die lockerere Schichtung deutlich besser luftdurchströmt sind als Hackschnitzel und zum anderen vorhandenes Grüngut (Nadeln, Blätter) und Rinde abfallen und damit die Qualität hinsichtlich des Aschegehaltes verbessert wird. Die kleinere Oberfläche beugt zudem starkem Schimmelpilzbefall vor (HOFMANN et al. 2017). Im Falle eines Käferbefalls ist die Lagerung im ungehackten Zustand kritisch zu sehen und sollte zur Vermeidung der Ausbreitung von Schädlingen vermieden werden. Waldrestholz kann während trocken-warmen Sommern auch in Form von Hackschnitzeln ohne große Einschränkungen gelagert werden, im Winter sollte die Lagerung nur sehr kurz oder mit Regenschutz (beispielsweise durch Überdachung oder mit einer Vliesabdeckung) erfolgen. Der Trockenmasseverlust kann teilweise durch die verbesserten Brennstoffeigenschaften (reduzierter Wassergehalt) kompensiert werden, die Lagerung verursacht jedoch zusätzliche Kosten. (HOFMANN et al. 2017).

Der immense Preisverfall bei Waldhackschnitzeln von 2015 bis 2017 setzte leider noch keine monetären Anreize für eine ambitioniertere Nutzung des anfallenden Waldrestholzes. Das Waldarbeitsverhalten der Waldbesitzer ist jedoch maßgeblich vom Preis und vom Eigenbedarf gelenkt und nur schwer vorhersehbar bzw. beeinflussbar.

Potentialanalyse von Waldrestholz im Staatswald (Nutzung intensivieren)

Im Staatswald ist das Einschlagverhalten deutlich vom Privatwald zu differenzieren, auch der Umgang mit Waldrestholz unterliegt anderen Kriterien. Grundsätzlich vermarkten die Bayerischen Staatsforsten mehr Stammholz (69% des Waldholzes) und Industrieholz (14% des Waldholzes) als die Privatwaldbesitzer, dafür jedoch deutlich weniger Energieholz (Waldhackschnitzel und Energierundholz, 9% des Waldholzes) (BAYSF 2018b). Aus Gründen der Nährstoffnachhaltigkeit wird im Staatswald im Landkreis Pfaffenhofen kein Laubholzmaterial unter 7 cm Durchmesser genutzt. Die Nutzung von Nadel-Reisholz ist ebenfalls stark eingeschränkt, da auf großen Teilen der Standorte nur eine Nutzung pro Umtriebszeit vertretbar ist (FUCHS 2019). Aus Forstschutzgründen wird im Staatswald der untersuchten Landkreise Kronenmaterial befallener Fichten nur in Ausnahmefällen (z. B. aufgrund von Käferbefall) vollständig gehackt und für eine thermische Nutzung zur Verfügung gestellt (FUCHS 2019, N. 2019). Ein zusätzliches Potenzial an Waldrestholz aus Reisholz besteht im Staatswald nicht.

Im Fall von größeren Käferkalamitäten, wie es im Jahr 2017 der Fall war, griff zusätzlich das „Marktentlastungsprogramm“ der Bayerischen Staatsforsten (BAYSF 2017). Darunter verstehen die Bayerischen Staatsforsten (BaySF) die Einlagerung von größeren Mengen Käferholz im Nasslager mit künstlicher Beregnung. Durch die Beregnung wird zum einen der Käfer ertränkt und zum anderen die Holzqualität über einen längeren Zeitraum erhalten. Sinkt das Holzaufkommen wieder, werden die eingelagerten Hölzer bedarfsgerecht an Sägewerke ausgeliefert. Das Hacken als Schutzmaßnahme im Bestand ist somit nicht zwingend erforderlich und es fällt kein käferbedingtes Waldrestholz an.

Potenzialanalyse der regionalen Holznachfrage

Der Bedarf an Stammholz im Landkreis ist gedeckt. Ein Bedarf an Industrieholz ist in den untersuchten Landkreisen nicht gegeben. Das Holz wird auch an größere Sägewerke sowie an die wenigen größeren in Bayern vorhandenen Holzwerkstoff- und Papierindustrien außerhalb des Landkreises vermarktet. Der Bedarf an Energieholz in Form von Waldhackschnitzeln aus Waldrestholz ist nicht über das Aufkommen im Landkreis gedeckt. Dies liegt allerdings alleine am hohen Bedarf des großen Biomasseheizkraftwerks Pfaffenhofen. Trotz dieses hohen Bedarfs zeigte es sich, dass durch die vermutlich recht festen Verträge des Heizkraftwerks Pfaffenhofen mit seinen Holzlieferanten keine überhöhte Nachfrage nach Waldhackschnitzeln im Landkreis besteht. Eine potenzielle Nachfragemenge ergäbe sich hier demnach nur in einer Ausweitung der Lieferverträge mit dem Biomasseheizkraftwerk. Bei der Umfrage der restlichen Heiz(kraft)werke zeigte es sich, dass das Angebot an Waldhackschnitzeln sogar den eigenen Bedarf der restlichen Heiz(kraft)werke in den Landkreisen überstieg. Dr. Peter Stapel, Nachhaltigkeitsmanager der Stadt Pfaffenhofen a. d. Ilm, bestätigte, dass insbesondere in den Sommermonaten ein Überangebot an Waldenergieholz besteht und die Waldbesitzer Probleme haben Abnehmer zu finden. Im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen sah man eine entsprechende Situation auf Abnehmerseite. Die beiden Heizwerke im Landkreis konnten gar nicht so viel Holz annehmen, wie ihnen angeboten wurde. Trotz dieser Tatsache war eines der Heizwerke nicht ausgelastet. Der Grund hierfür liegt in der fehlenden Nachfrage von Wärmeabnehmern. Das Wärmenetz müsste ausgebaut werden, um das Heizwerk vollständig auszulasten. Als Hinderungsgrund wurde hier die Kostenkonkurrenzfähigkeit von Gas genannt, sowie Energieeffizienzmaßnahmen der angeschlossenen Wärmeabnehmer.

5.4.1.6 Ökologische und Ökonomische Auswirkungen

Ökologische Auswirkungen

Einsparung von Treibhausgasemissionen

Im Rahmen der Umsetzung des bayerischen Energiekonzepts „Energie Innovativ“ wurde vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten im Jahr 2012 die „Expertengruppe Ressourcenmanagement Bioenergie“ (kurz ExpRessBio) ins Leben gerufen (DRESSLER et al. 2016a). Innerhalb dieser Studie wurden bayernspezifische Energie- und Stoffströme der forstwirtschaftlichen Produktion zur Bereitstellung von Holz für die Energieumwandlung und die stoffliche Nutzung analysiert. Mittels einer abgestimmten und harmonisierten Ökobilanzierungsmethode, welche gültigen Normen, Verordnungen und Richtlinien entspricht, wurden für praxisrelevante Fallbeispiele und Modellvarianten Treibhausgasemissionen (THG) berechnet.

Für die ökologische Bewertung der Holzverwendung in Bayern modellierten DRESSLER et al. (2016a) die Wärmeerzeugung aus Hackschnitzeln und Scheitholz, sowie die Kombinierte Strom- und Wärmeerzeugung in Holzheizkraftwerken „cradle to grave“ („von der Wiege bis zur Bahre“, d. h. von der Bereitstellung im Wald bis zur thermischen Verwertung) und stellten sie der Wärmeerzeugung aus fossilen Energieträgern gegenüber. Alle untersuchten Holzproduktsysteme tragen zu einer THG-Einsparung bei, wenn sie fossile Energieträger substituieren (DRESSLER et al. 2016a). Die THG-Vermeidungsleistung ist jedoch abhängig von den jeweiligen Referenzsystemen, wie zum Beispiel Wärme aus Erdgas oder Erdöl (Tabelle 15).

Die betrachteten Holzheizsysteme mit Hackschnitzeln sparen gegenüber Erdgas zwischen 65 und 68 g CO₂-eq, gegenüber Heizöl 89 bis 91 g CO₂-eq je produziertes MJ Wärme ein (WOLF et al. 2015, DRESSLER et al. 2016a). Selbst im Vergleich zu einem Mix aus anderen erneuerbaren Energiequellen

(Solarthermie, Geothermie, Biogas, biogener Anteil des Abfalls) können mit Hackschnitzelsystemen 10 bis 12 g CO₂-eq / MJ eingespart werden.

Tabelle 15: Treibhausgasvermeidung durch Wärme aus Holz in g CO₂-eq pro MJ Nutzenergie bzw. kg CO₂-eq pro fm Holz (DRESSLER et al. 2016a) (Geltungsbereich der Ergebnisse: Hackschnitzel 50 kW: 30 – 100 kW; Hackschnitzel 300 kW: 100 – 700 kW; Hackschnitzel 1.000 kW: 700 – 5.000 kW; Pellets 15 kW: 10 – 30 kW; Pellets 50 kW: 30 – 100 kW; Scheitholz 6 kW: 6 – 20 kW; zur Umrechnung von Megajoule (MJ) in Kilowattstunden (kWh) müssen die Ergebnisse durch 3,6 dividiert werden).

THG-Vermeidung	Erdgas		Heizöl		Sonstige Erneuerbare	
	g CO ₂ -Äq./MJ	kg CO ₂ -Äq./fm	g CO ₂ -Äq./MJ	kg CO ₂ -Äq./fm	g CO ₂ -Äq./MJ	kg CO ₂ -Äq./fm
Fichte Hackschnitzel 50 kW (w = 20 %)	- 66,7	- 343	- 90,4	- 465	-12,2	- 63
Fichte Hackschnitzel 300 kW (w = 20 %)	- 67,6	- 348	- 91,3	- 470	-13,1	- 67
Fichte Hackschnitzel 300 kW (w = 50 %)	- 65,4	- 303	- 89,1	- 412	-10,9	- 50
Fichte Hackschnitzelheizwerk 1 MW	- 66,8	- 334	- 90,5	- 452	-12,3	- 61
Buche Scheitholz 6 kW Einzelfeuerung	-73,2	- 462	- 96,9	- 612	-18,7	-118
Buche Scheitholz 6 kW Kessel	-75,4	- 571	- 99,1	- 751	- 20,9	-159
Fichte Pellets 15 kW	- 57,6	- 314	- 81,3	- 443	- 3,1	-17
Fichte Pellets 50 kW	- 59,1	- 322	- 82,8	- 452	- 4,6	- 25
Bayerischer Holzwarmemix	-71,5	- 410	- 95,2	- 546	-17,0	- 97

Zur Veranschaulichung der Vermeidungsleistung werden beispielhaft die zwei Biomasseheizwerke (BHW) im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen herangezogen. Die BHW (je 0,8 MW) sind in etwa vergleichbar mit dem Fichte Hackschnitzelheizwerk (1 MW). Auf Basis der eingesetzten Holzmenge im Jahr 2017 kann mithilfe der Faktoren aus DRESSLER et al. (2016a) eine jährliche Treibhausgasvermeidungsleistung von gut 900 t CO₂ gegenüber Erdgas bzw. von gut 1.200 t CO₂ gegenüber Heizöl geschätzt werden.

Im Vergleich zur Stromerzeugung stellt die Wärmebereitstellung in den meisten Fällen die effizientere Nutzung von Waldholz dar. Für die kombinierte Erzeugung von Strom und Wärme sollte hinsichtlich der ökologischen Auswirkungen der Fokus auf der Nutzung von Altholz möglichst aus einem Umkreis von max. 250 km liegen (DRESSLER et al. 2016a).

Der Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie ist direkt proportional zu den Treibhausgasemissionen, so dass bei der energetischen Nutzung von Holz entsprechend Primärenergie eingespart wird.

Eine zusätzliche Erhöhung der Energieholznutzung führt zu keinen weiteren substanziellen Treibhausgasminderungen bezogen auf den Warmemix Bayerns. Eine 15%ige Steigerung der Energieholzmenge würde lediglich zu einer zusätzlichen Treibhausgasreduktion von 2 % der gesamten Treibhausgasemissionen der Wärmebereitstellung in Bayern führen, wobei eine gleichzeitige Erhöhung der schon sehr hohen Feinstaubemissionen um 12 % zu erwarten ist (WOLF et al. 2016).

Nährstoffnachhaltigkeit des Waldes

Eine naturnahe Waldbewirtschaftung gehört zu den Grundsätzen der deutschen Forstwirtschaft und wird durch internationale Zertifizierungssysteme (PEFC, FSC) belegt. Die energetische Nutzung von Waldholz muss entsprechend nachhaltig erfolgen. Eine erhöhte Nutzung von Energieholz, insbesondere durch vermehrte Nutzung des bisherigen Waldrestholzes, kann kritisch gesehen werden, da dabei vor allem Ast- und Nadelmaterial genutzt werden, und es dadurch zu hohen Nährstoffausträgen aus dem Bestand kommen kann (KUPTZ et al. 2015).

Der mittlere Nährstoffgehalt in Fichten und Buchen zeigt gegenüber der Biomasseverteilung deutliche Unterschiede. Während das Stammholz mit ca. 80 % den größten Teil der Baummasse darstellt, hat es den geringsten durchschnittlichen Nährstoffgehalt. Die Rinde mit ca. 5 % Biomasseanteil hat einen deutlich höheren mittleren Nährstoffgehalt. Das Kronenmaterial (Biomasseanteil ca. 20 %) besitzt den höchsten Nährstoffgehalt. Die Vollbaumnutzung führt damit zu einem deutlich höheren Nährstoffentzug (WEIS & GÖTTLEIN 2012).

KOLB & GÖTTLEIN (2012) geben einen groben Überblick, an welchen Standorten Deutschlands eine intensivere Nutzung (über Derbholz mit Rinde hinaus) kritisch scheint. Die Wuchsgebiete Tertiärhügelland sowie Schwäbisch-Bayerische Jungmoräne und Molassevorberge, in denen die beiden untersuchten Landkreise liegen, sind überwiegend als unkritisch bzw. ausreichend für eine intensive Nutzung anzusehen. MELLERT et al. (2017) analysierten die erste und zweite Bodenzustandserhebung in Deutschland hinsichtlich der Ernährungssituation des Waldes und erstellten einen Mangelindex mit den Hauptnährstoffen in Wäldern. Das Ergebnis bestätigt auch hier, dass die beiden untersuchten Landkreise generell sehr günstige Nährstoffbedingungen für eine intensive Waldnutzung aufweisen (Abbildung 14).

Nach der Einschätzung von Dr. Andreas Hahn, dem stellvertretenden Behördenleiter und Bereichsleiter Forsten am AELF Pfaffenhofen a. d. Ilm, ist die Nährstoffsituation der Waldböden grundsätzlich als unkritisch einzustufen, da sich die Wälder überwiegend auf nährstoffreichen Lössböden befinden. Problematisch zu sehen wäre nur eine reine Vollbaumnutzung mit dem Entzug des gesamten Holzes und Grüngutmaterials.

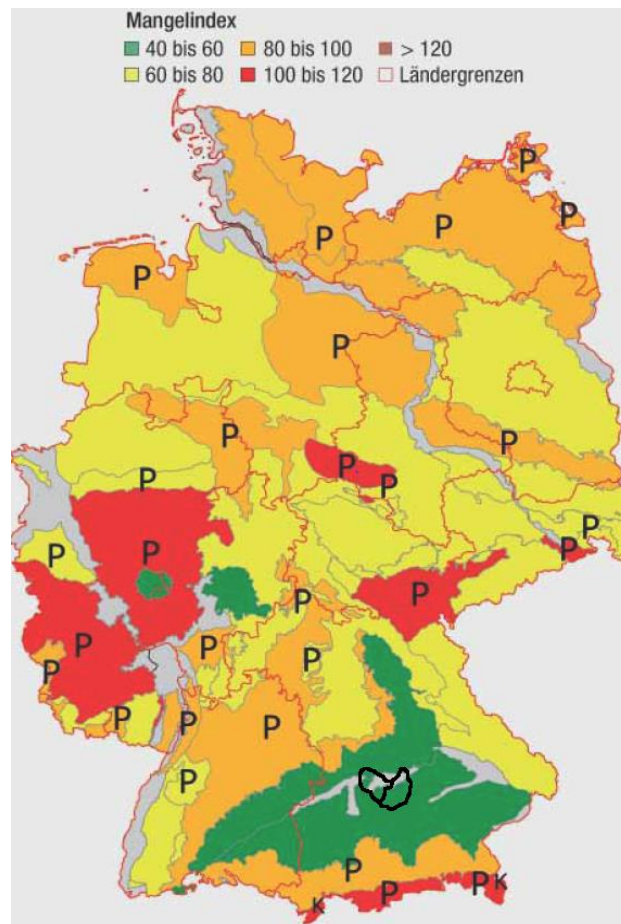


Abbildung 14: Problemgebiete und Gunsträume in Deutschland hinsichtlich der Ernährungssituation des Waldes (MELLERT et al. 2017). Schwarz umrandeter Bereich stellt die Landkreise Pfaffenhofen und Schrobenhausen dar. Dargestellt ist ein Mangelindex, der die Mangelhäufigkeiten der Hauptnährstoffe Phosphor, Kalium, Calcium und Magnesium aufsummiert. Je geringer der Index ausfällt, desto günstiger ist die Nährstoffsituation. In Gebieten mit einem Index über 80 wird das Haupt-Mangelelement dargestellt mit „P“=Phosphor und „K“=Kalium. Schwarz umrandet sind die Gebiete der betrachteten Landkreise Neuburg-Schrobenhausen und Pfaffenhofen a. d. Ilm. Grau dargestellt sind große Flusstäler und angrenzende Tiefländer.

Dennoch sollte immer eine standortsangepasste Nutzung erfolgen. Private und kommunale Waldbesitzer werden durch die Bayerische Forstverwaltung auf Grundlage der Daten des Bayerischen Standortinformationssystem der Forstverwaltung (BASIS) beraten. Ansprechpartner sind die Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (AELF). Die Bayerischen Staatsforsten A. ö. R. (BaySF) haben bereits 2012 als internes Nährstoffmanagementsystem sogenannte Kronennutzungskarten eingeführt (KUPTZ et al. 2015).

Eine Ascherückführung als Ausgleichsmaßnahme wird kritisch gesehen, da durch bodenchemische und bodenbiologische Reaktionen negative Auswirkungen auf das Ökosystem möglich sind. Zugleich bedeutet dies auch immer einen Mehraufwand an Zeit, Materialien und Energie durch die Sammlung, Aufbereitung und Ausbringung der Holzasche. Auch die bestehenden abfall- und düngerechtlichen Vorgaben stehen einer direkten Rückführung nicht aufbereiteter Holzasche in den Wald entgegen. Die Entwicklung standortbezogener Entscheidungshilfen und geeigneter Ernteverfahren, bei denen gezielt auf die Nutzung von Feinästen und Nadeln verzichtet wird, muss daher oberste Priorität haben. (KUPTZ, et al. 2015)

Ökonomische Auswirkungen

Bereitstellungskosten

Im Verbundprojekt ExpResBio wurden bayernspezifische Energie- und Stoffströme der forstwirtschaftlichen Produktion von Biomasse zur Bereitstellung von Rohstoffen bis Waldstraße bzw. Werk analysiert und Kostenberechnungen durchgeführt. Die Bereitstellungskosten von Rohholz wurden als Gestehungskosten über die gesamte Umtriebszeit verschiedener Baumarten mittels Vollkostenrechnung bestimmt. Die Gesamtkosten liegen zwischen 45 €/Efm m.R. bei der vollmechanisierten Fichtenernte aus Naturverjüngung und 90 €/Efm m.R. bei der schwach mechanisierten Eichenholzernte aus künstlich verjüngten Beständen. Optimierungspotenzial bietet die Naturverjüngung anstatt einer manuellen Pflanzung sowie der Verzicht auf den Zaunbau. Die Ernte mit Harvester anstatt Motorsäge verringert in den meisten Fällen die Kosten (DRESSLER et al. 2016a).

Bei der Aufbereitung zu Energieholzsortimenten (Hackschnitzel, Scheitholz und Pellets) für die Bereitstellung von 1 MJ Wärme fanden DRESSLER et al. (2016a) heraus, dass Hackschnitzelsysteme im Vergleich mit Pellet- oder Scheitholz-Heizsystemen über die gesamte Wertschöpfungskette gesehen bis auf geringe Unterschiede, unabhängig von der Holzart und der Kesselleistung, die kostengünstigsten Varianten darstellen. Die Wärmegestehungskosten liegen bei ca. 0,022 €/MJ für Hackschnitzelheizungen bis 300kW. Scheitholzsysteme (mit 6kW und 15kW) liegen mit 0,026 bis 0,027 €/MJ darüber.

Die Preise für Waldhackschnitzel in Bayern sind im Zeitraum 2015 bis 2017 bis auf das Niveau von 2008 mit ca. 80€/t lutro (entspricht ca. 50€/fm) gefallen, dies bestätigt ein bayernweites Überangebot, dessen Ursachen im niedrigen Bedarf aufgrund der warmen Winter und der zusätzlichen Mengen durch Sturmschäden und Borkenkäfermassenvermehrung gesehen wird (GÖRWEIN et al. 2018).

Die Befragungen der Biomasseheizkraftwerke zeigte eine ausreichende Versorgung oder sogar Überversorgung mit Waldhackschnitzeln. Trotz dieser guten Versorgungssituation konnten die Kapazitäten der Heizwerke nur teilweise ausgeschöpft werden. Ein Heizwerk in Schrobenhausen welches bisher nur das Krankenhaus mit Wärme versorgt hat keinen Abnehmer für die zusätzlich mögliche Wärmemenge. Als Grund für diese Problematik wurde die Kostenkonkurrenz mit Wärme aus Erdgas genannt. Nach DRESSLER et al. (2016b) haben Gasheizungen durchschnittlich etwa um 30% geringere Wärmebereitstellungskosten als Holzheizungen. Auch HERCHENBACH (2018) bestätigt in seinem Interview mit dem Leiter des Biomasseheizkraftwerks Pfaffenhofen, dass insbesondere die Kosten für einen Fernwärmeanschluss mit rund 500 Euro pro Rohrmeter sehr hoch sind. Dennoch ist ein Ausbau des Fernwärmenetzes des Biomasseheizkraftwerks Pfaffenhofen um 25 % geplant (HERCHENBACH 2018).

Treibhausgasvermeidungskosten

DRESSLER et al. (2016b) berechneten für die untersuchten Holzheizungssysteme auch Treibhausgasvermeidungskosten, indem die Bereitstellungskosten für Wärme aus Holz mit den Referenzsystemen Bereitstellung von Wärme aus Heizöl und Erdgas verglichen wurde. Die Vermeidungskosten gegenüber Heizöl liegen zwischen -27 €/t CO_{2-eq.} (sogar Kosteneinsparung) und knapp 100 €/t CO_{2-eq.}, gegenüber Erdgas (welches günstiger ist wie Heizöl) liegen die Vermeidungskosten zwischen 100 und 250 €/t CO_{2-eq.}

5.4.2 Sägenebenprodukte

5.4.2.1 Begriffsbestimmung

Sägenebenprodukte (SNP) fallen im Rahmen der Schnittholzproduktion als Koppelprodukte in Sägewerken an. Sie können als Rohstoff für die Holzwerkstoff- und Papierindustrie sowie zur Wärme- und Stromerzeugung oder weiterverarbeitet als Pellets oder Briketts dienen. Zu den Sägenebenprodukten zählen Säge-/Hobelspäne, Hackschnitzel, Kapphölzer, Schwarten, Spreißel und Rinde.

5.4.2.2 Datenerhebungs- und Berechnungsmethoden

Datenerhebung

Für die Erfassung des Aufkommens und der Verwendung von Sägenebenprodukten in den beiden Landkreisen wurde eine Vollerhebung durchgeführt. Über Literatur- und Internetrecherche wurden alle Sägewerke in den untersuchten Landkreisen ausfindig gemacht und diese telefonisch und oder schriftlich befragt.

Berechnung des Aufkommens von Sägenebenprodukten

Als Schnittholzausbeute wurde von zwei Sägewerken 65 % angegeben, das entspricht auch dem Durchschnittswert für kleine und mittlere Sägewerke nach GÖßWEIN et al. (2018). Dieser Wert wurde, sofern keine individuellen Angaben der Sägewerke zur Verfügung gestellt wurden, zur Herleitung des Jahreseinschnitts bzw. der Menge an anfallenden SNP verwendet.

Der Anteil an Sägespäne und Sägemehl von 33,5 % an den gesamten Sägenebenprodukten wurde aus SÖRGEL et al. (2006) entnommen. SÖRGEL et al. (2006) führten eine detaillierte Studie zum Aufkommen und zur Verwendung von Sägenebenprodukte durch, bei welcher 215 Sägewerke in Deutschland befragt wurden.

Die Umrechnung der Volumeneinheiten „srm“ und „fm“ wurde mit Hilfe von Dichteangaben aus KALTSCHMITT et al. (2016) bei einem angenommen Wassergehalt von 20% vorgenommen (

Tabelle 16)

Tabelle 16: Dichteangaben zur Umrechnung von Festmeter lutro in Tonne lutro bei einem Wassergehalt von 20% (KALTSCHMITT et al. 2016)

	Dichte Hackschnitzel [t _{lutro} /srm]	Dichte festes Holz [t _{lutro} /fm]
Fichte (Nadelholz)	0,201	0,488
Buche (Laubholz)	0,300	0,730

Zur Berechnung der Energiemenge wurde der vom Wassergehalt abhängige Heizwert des Holzes verwendet. Die jeweilige Feuchtmasse (FM) des Holzes wurde mit dem entsprechenden Heizwert H_u multipliziert (siehe Formel 1, Kapitel 5.4.1.2, S. 32).

In Tabelle 17 sind die berechneten unteren Heizwerte, die bei der Bestimmung des Energieinhalts von Energieholz verwendet wurden, dargestellt.

Tabelle 17: Berechnete untere Heizwerte zur Ermittlung des Energieinhalts von Sägenebenprodukten

	Sägenebenprodukte	
Unterer Heizwert (Hu)	Buche	Fichte
Hu(WG=20%) [MJ/kg]	14,2	14,6

5.4.2.3 Regionale Gegebenheiten und Aufkommen von Sägenebenprodukten

In den Landkreisen Neuburg-Schrobenhausen und Pfaffenhofen a. d. Ilm konnten insgesamt 8 aktive Sägewerke recherchiert werden. Eines davon wird aufgrund von fehlender Übernahme nach Generationswechsel bald geschlossen werden, und es werden nur noch sehr geringe Mengen eingeschnitten, die in der Befragung nicht beziffert werden konnten. Ein weiteres Sägewerk stellt nur noch im Nebenbetrieb mit sehr geringem Einschnitt Paletten her. Diese zwei Sägewerke wurden bei der Aufkommensberechnung vernachlässigt. Unter den restlichen 6 Sägewerken machten nur 3 Angaben zum Jahreseinschnitt bzw. zum Aufkommen an SNP. Der Einschnitt der restlichen drei Sägewerke wurde als Durchschnitt aus den bekannten Einschnitten der anderen Sägewerke berechnet. Es wurde dabei angenommen, dass nur Nadelholz eingeschnitten wird. Jeweils drei Sägewerke befinden sich im Landkreis Pfaffenhofen und im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen. In Tabelle 18 sind die Ergebnisse auf Landkreisebene dargestellt.

Tabelle 18: Hochgerechneter Jahreseinschnitt und Aufkommen an Sägenebenprodukten in den untersuchten Landkreisen

Landkreis	Jahreseinschnitt [fm]	SNP gesamt [srm]
Pfaffenhofen	8.167	6.972
Neuburg-Schrobenhausen	8.833	7.541
Summe	17.000	14.512

Von den im Jahr 2017 eingeschnittenen 17.000 fm Stammholz stammen ca. 87 % (14.800 fm) aus dem eigenen Landkreis. Grundsätzlich stammt aber alles Stammholz aus der näheren Region. Bei Sägewerken, die an der Landkreisgrenze sitzen, geht der lokale Bezugsradius über die Landkreisgrenze hinaus.

Insgesamt ist die Anzahl an Sägewerken und auch die Größe der Sägewerke in den beiden Landkreisen sehr gering, und dadurch auch das Aufkommen an Sägenebenprodukten. Unweit hinter den Landkreisgrenzen befinden sich jedoch Großsägewerke:

- Großsägewerk der Pfeifer Group an Landkreisgrenze in Unterbernbach bei Kühbach im Landkreis Aichach-Friedberg mit jährlichen Kapazitäten von 500.000 m³ Schnittholz, 120.000 t Holzpellets, 55 Mio. kWh Biostrom (durch ein eigenes Biomasseheizkraftwerk) und 210.000 m³ Palettenklötzen. Der Standort wirbt mit der 100%igen Verwertung des angelieferten Rundholzes durch die vollständige Verarbeitung und Verwertung der Sägenebenprodukte (PFEIFER GROUP 2017),
- Standort Kösching der Binderholz Holzindustrie im Landkreis Eichstätt mit einem Sägewerk, einem Hobelwerk, einer Pelletierungs-/Brikettierungsanlage sowie einem Biomasseheizkraftwerk. Der Einschnitt 2017 lag bei gut 1 Mio. fm (BINDERHOLZ GMBH 2018, NÖSTLER 2018).

5.4.2.4 Aktuelle Verwendung und Verwertung

Die in den untersuchten Landkreisen produzierte Menge an SNP geht zum größten Teil an den Holzhandel außerhalb der Landkreise (Tabelle 19). Fünf der sechs Sägewerke verwerten mindestens einen Teil der SNP selbst im eigenen Betrieb zur Wärmeerzeugung. Ein Sägewerk verkauft Sägereste in Bündeln zu ca. 1,7 Ster an private Abnehmer. Insgesamt wurden im Jahr 2017 gut 5.000 srm SNP thermisch in den Landkreisen verwertet. Die stoffliche Nutzung von SNP beschränkt sich in den befragten Betrieben auf ca. 17 % und wird als Einstreu in der Landwirtschaft verwendet. In den Landkreisen verbleibt somit eine Menge von ca. 7.600 srm (52%) des gesamten Aufkommens.

Tabelle 19: Berechnetes Aufkommen und Verwertung von Sägenebenprodukten in den untersuchten Landkreisen 2017

Landkreis	Aufkommen gesamt [srm]	Einstreu für die Landwirtschaft [srm]	Holzhandel [srm]	Thermische Verwertung [srm]
Pfaffenhofen	6.972	715	3.396	2.861
Neuburg- Schrobenhausen	7.541	1.716	3.522	2.303
Summe	14.512	2.431	6.918	5.163

5.4.2.5 Potenzialanalyse und mögliche optimierte Verwertungsverfahren und -wege

Das zur Verfügung stehende Aufkommen an Sägenebenprodukten trägt bei fast allen Sägewerken zur Deckung des eigenen Wärmebedarfs bei. Nur eines der befragten Sägewerke hatte keine Möglichkeit zur eigenen thermischen Verwertung mittels Scheitholzofen oder Hackschnitzelheizung. Hier gäbe es noch Optimierungspotenzial. Für die Menge, die in den Holzhandel außerhalb der Landkreise fließt (Verwendung unbekannt), wurde evaluiert, ob stoffliche oder energetische Verwerter in den untersuchten Landkreisen selbst zur Verfügung stehen. Der Energieinhalt dieser Menge (Wassergehalt 20%) beläuft sich auf etwa 5.600 MWh. Dies entspricht in etwa dem Wärmeverbrauch von 220 Einfamilienhäusern mit einem durchschnittlichen Verbrauch von 160 kWh/m² und 160 m² beheizter Fläche (Lagerungsverluste und Wirkungsgrad der Heizanlage sind nicht berücksichtigt).

Verfügbare energetische Verwertungswege für SNP

Biomasseheiz(kraft)werke

Alle im Landkreis befragten Heiz(kraft)werke nehmen ausschließlich Waldhackschnitzel als Brennmaterial an.

Hackschnitzelheizungen

Private und gewerbliche Abnehmer mit Hackschnitzelheizung stehen zur Verfügung. Aus logistischen Gründen kommen für die Sägewerke vor allem Abnehmer in räumlicher Nähe zum Werk infrage. Mögliche Verwertungswege müssten standortspezifisch identifiziert werden.

Pellet-/Briketthersteller

Es gibt keine Pellet Hersteller in den untersuchten Landkreisen. Die zwei den Landkreisen am nächsten gelegenen Hersteller sind Binderholz Deutschland GmbH, Kösching im Landkreis Eichstätt, und die DR Pellets Südbayern AG in Mertingen im Landkreis Donau-Ries.

Holzvergasungsanlagen

Denkbar wären auch Lösungen mit Holzvergasung und Nahwärmenetzen für Wohngebäude, öffentliche Einrichtungen oder kleinere Gewerbe. Mögliche Verwertungswege müssten standortsspezifisch identifiziert werden.

Verfügbare stoffliche Verwertungswege für SNP

Papier-/Zellstoffindustrie

Es gibt nur einen Hersteller von Papier im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen: Standort der LEIPA Georg Leinfelder GmbH in Neuburg: Schrobenhausen mit dem Produktbereich Verpackungen aus Karton und Spezialpapieren. Diese werden allerdings zu 100% aus Altpapier hergestellt.

Weitere in Bayern befindliche Werke sind: Zellstoffwerk SAPPI in Stockstadt, Unterfranken. Das Werk setzt Hackschnitzel aus SNP ein. Vier bayerische Papierfabriken: in Augsburg, Plattling, Ettringen und Schongau (alle vier gehören zu UPM). Nur in Schongau werden TMP-Hackschnitzel aus der Sägeindustrie eingesetzt (GÖßWEIN et al. 2018).

Holzwerkstoffindustrie

Es gibt keine Holzwerkstoffindustrie in den untersuchten Landkreisen. An den Landkreisgrenzen befindet sich allerdings ein großer Holzwerkstoffhersteller: Die Pfeifer Group an der Landkreisgrenze in Unterbernbach bei Kühbach im Landkreis Aichach-Friedberg produziert jährlich ca. 210.000 m³ Pressspanklötzen aus Sägespänen und Recyclingholz (PFEIFER GROUP 2017).

Somit gibt es in beiden Landkreisen keine zur Verfügung stehenden industriellen stofflichen Verwerter für das Koppelprodukt Sägenebenprodukte.

5.4.2.6 Ökologische und Ökonomische Auswirkungen

Ökologische Auswirkungen

Treibhausgasemissionen

Da Sägenebenprodukte als Koppelprodukte bei der Schnittholzproduktion entstehen, werden die dabei entstehenden Umweltwirkungen sowohl auf das Schnittholz, als auch auf die SNP verteilt. Dies geschieht über die so genannte ökonomische Allokation, so dass durchschnittlich 20-25 % der Umweltwirkungen den SNP und 75-80 % dem Schnittholz zugeordnet werden (GÖßWEIN et al. 2018).

36% der in den Landkreisen angefallenen SNP wurden in Stückholz- oder Hackschnitzelheizungen der Sägewerke zur Eigenversorgung mit Wärme eingesetzt. Holzheizsysteme in Bayern haben im Vergleich zu fossilen Heizsystemen wie Erdgas, Heizöl oder auch sonstigen erneuerbaren Energien verminderte THG-Emissionen (WOLF et al. 2015, siehe Tabelle 15, Seite 47). Unter der Annahme, dass die im Landkreis thermisch verwertete Menge an SNP in Hackschnitzelheizung mit 30-100 kW und einem Wassergehalt von 20% verbrannt wurden, errechnet sich nach DRESSLER et al. (2016b) eine Treibhausgaseinsparung von ca. 700 t CO₂ gegenüber Erdgas bzw. von knapp 1.000 t CO₂ gegenüber Erdöl.

Die Verwertungswege der an den Handel in anderen Landkreisen verkauften SNP ist nicht Teil dieser Studie. Grundsätzlich können SNP aber auch zu Pellets veredelt (energetische Nutzung) oder zur Spanplattenproduktion (stoffliche Nutzung) eingesetzt werden. Durchschnittlich spart nach KNAUF et al. (2015) die energetische Holznutzung in Deutschland ca. 0,67 tC/tC bzw. 615 kg CO₂/fm Holz ein,

die stoffliche Holznutzung dagegen durchschnittlich 1,50 tC/tC bzw. 1,4 t CO₂/fm Holz. Die Treibhausgaseinsparung der stofflichen Holznutzung gegenüber Nichtholzprodukten ist demnach wesentlich höher als die der energetischen Nutzung. Wenn Sägenebenprodukte beispielsweise für die Produktion von Spanplatten eingesetzt werden, können gegenüber Nicht-Holzprodukten zwischen 1 – 1,5 tC/tC bzw. 0,9 – 1,4 tCO₂/fm Holz eingespart werden (Tabelle 20).

Tabelle 20: Treibhausgaseinsparungen von Spanplatten-Produkten gegenüber Nicht-Holz-Vergleichsprodukten (KNAUF et al. 2015)

Holzprodukt	Vergleich mit Nichtholz-Produkt	Treibhausgas-einsparung [tC/tC]	Treibhausgas-einsparung [kg CO ₂ /fm]
Holz basierte Platten, z.B. Spanplatten, MDF, OSB, für Wände, Decken	Gipsplatten, Beton-, Ziegelwände	1,10	1.009
Holzmöbel basierend auf Platten	Glass, Kunststoff, Metall	1,46	1.340

Da die stoffliche Nutzung in der Regel höhere Treibhausgaseinsparungen erbringt, ist eine Kaskadennutzung (stoffliche Mehrfachnutzung) vorteilhaft (HÖGLMEIER et al. 2015). Durch die Kaskadennutzung würde sich durch eine oder mehrere stoffliche Nutzungen vor einer energetischen Nutzung zusätzlich ein Mehrwert hinsichtlich Ressourceneffizienz erzielen lassen (RISSE et al. 2017).

Ökonomische Auswirkungen

Herstellungskosten

Sägenebenprodukte entstehen als Koppelprodukte bei der Herstellung von Schnittholz. Es fallen keine direkten Herstellungskosten oder logistischen Aufwände für die Bereitstellung an. Durch die Herstellung von Pellets oder Spanplatten lässt sich eine Wertsteigerung erzielen.

Treibhausgasvermeidungskosten

DRESSLER et al. (2016b) berechneten für bayernspezifische Holzheizungssysteme Treibhausgasvermeidungskosten indem die Bereitstellungskosten für Wärme aus Holz mit den Referenzsystemen Bereitstellung von Wärme aus Heizöl und Erdgas verglichen wurde. Die Vermeidungskosten gegenüber Heizöl liegen zwischen -27 €/t CO_{2-eq} (sogar Kosteneinsparung) und knapp 100 €/t CO_{2-eq}. Gegenüber Erdgas (welches günstiger ist wie Heizöl) liegen die Vermeidungskosten zwischen 100 und 250 €/t CO_{2-eq}.

5.4.3 Industrierestholz

5.4.3.1 Begriffsbestimmung

Die zweite Absatzstufe der Holzverarbeitung ist die holzweiterverarbeitende Industrie. In Zimmereien, Schreinereien/Tischlereien sowie gegebenenfalls Möbelindustrie fällt bei der Bearbeitung des Schnittholzes Industrierestholz als Reststoff an.

5.4.3.2 Datenerhebungs- und Berechnungsmethoden

Datenerhebung

Zur Erfassung des Aufkommens und der Verwertung von Industrierestholz in den untersuchten Landkreisen wurde eine Stichprobenerhebung durchgeführt.

Berechnung des Aufkommens von Industrierestholz

Die Umrechnung der Volumeneinheiten „srm“ auf die Masseinheit t_{luro} wurde mit Hilfe von Dichteangaben aus KALTSCHMITT et al. (2016) bei einem angenommenen Wassergehalt von 20% vorgenommen. Da bei der Befragung keine Angaben zur verwendeten Holzart gemacht wurden, wurde mit dem Mischwert (2/3 Fichte zu 1/3 Buche), hergeleitet aus den Dichteangaben für Buche und Fichte, gerechnet (Tabelle 21).

Tabelle 21: Dichteangaben zur Umrechnung von Schüttraummeter (srm) Industrierestholz in Tonne luro bei einem Wassergehalt von 20% (KALTSCHMITT et al. 2016)

	Dichte Hackschnitzel [$t_{\text{luro}}/\text{srm}$]
Fichte (Nadelholz)	0,201
Buche (Laubholz)	0,300
2/3 Fichte und 1/3 Buche	0,234

Zur Berechnung der Energiemenge wurde der vom Wassergehalt abhängige Heizwert des Holzes verwendet. Die jeweilige Feuchtmasse (FM) des Holzes wurde mit dem entsprechenden Heizwert Hu multipliziert (siehe Formel 1, Kapitel 5.4.1.2, S. 32).

In Tabelle 22 sind die verwendeten unteren Heizwerte, die bei der Bestimmung des Energieinhalts von Industrierestholz verwendet wurden, dargestellt. Da bei der Befragung keine Angaben zur verwendeten Holzart gemacht wurden, wurde mit dem Mischwert (2/3 Fichte zu 1/3 Buche), hergeleitet aus den Heizwerten für Buche und Fichte, gerechnet. Zur Umrechnung von Megajoule (MJ) in Kilowattstunden (kWh) wurden die Ergebnisse durch 3,6 dividiert.

Tabelle 22: Berechnete untere Heizwerte zur Ermittlung des Energieinhalts von Industrierestholz

Baumart	Industrierestholz		
	Buche	Fichte	2/3 Fichte und 1/3 Buche
Hu(WG=20%) [MJ/kg]	14,2	14,6	14,4

5.4.3.3 Regionale Gegebenheiten und Aufkommen von Industrierestholz

In den beiden Landkreisen sind laut Handwerkskammer München (HWK MÜNCHEN 2019) insgesamt 296 Zimmerer und Schreiner gemeldet (Tabelle 23 oben). Dazu gehören alle meldepflichtigen Betriebe inklusive Nebenerwerbs- und Kleinstunternehmen. Da das Aufkommen an Industrierestholz in vielen der gemeldeten Betriebe daher vernachlässigbar klein ist, wurde zur Abschätzung der Anzahl relevanter Betriebe die vollerwerblichen Mitgliedsbetriebe der zuständigen Innungen gezählt (Tabelle 23 unten).

Tabelle 23: Anzahl aller gemeldeten Zimmerer und Schreiner in den untersuchten Landkreisen sowie Anzahl aller Mitglieder in den zuständigen Innungen.

Landkreis	Neuburg-Schrobenhausen	Pfaffenhofen
Gemeldete Zimmerer laut HWK MÜNCHEN (2019)	35	45
Gemeldete Schreiner laut HWK MÜNCHEN (2019)	101	115
Summe je Landkreis	136	160
Summe gesamt	296	
Zimmerer in Innungen (ZIMMERER-INNUNG INGOLSTADT 2019, ZIMMERER-INNUNG NEUBURG-SCHROBENHAUSEN 2019)	15	15
Schreiner in Innungen (SCHREINERINNUNG INGOLSTADT-PFAFFENHOFEN 2019, SCHREINERINNUNG NEUBURG-SCHROBENHAUSEN 2019)	36	26
Summe je Landkreis	51	41
Summe gesamt	92	

Bei diesen insgesamt 92 Handwerksbetrieben in Innungen handelt es sich um eher kleinere mittelständische Unternehmen, Familienbetriebe oder auch Ein-Mann-Betriebe. Größere Firmen (z.B. Möbelhersteller oder Bauholzfabrikanten) konnten nicht ausfindig gemacht werden. Es wurden stichprobenhaft fünf Firmen kontaktiert, wovon drei Angaben zum Aufkommen an Industrierestholz machten. Das Aufkommen im Jahr 2017 lag zwischen 60 und 200 srm, durchschnittlich bei ca. 150 srm Industrierestholz. Das eingekaufte Holz der Betriebe stammte aus anderen Landkreisen.

Unter der Annahme, dass alle 92 Innungsmitglieder ein jährliches Aufkommen von 150 srm haben ergibt das ein hochgerechnetes Gesamtaufkommen für die Innungsmitglieder von ca. 14 Tsd. srm Hackschnitzeln. Das entspricht einem Energieinhalt von ca. 47. Mio. MJ oder 13 GWh. Das Aufkommen der restlichen Betriebe (Nicht Innungsmitglieder) wurde vernachlässigt, da es sich vermutlich großteilig um Klein- und Kleinstbetriebe handelt und eine Hochrechnung zu viele Unsicherheiten mit sich bringt.

5.4.3.4 Aktuelle Verwendung und Verwertung

Drei der befragten Firmen gaben an, das Industrierestholz zu 100% über eine Hackschnitzelheizanlage für die eigene thermische Verwertung zu nutzen. Ein Betrieb gab an, Stückholz in einer eigenen Stückholzheizung zu verwerten, und Sägemehl, sowie Hackschnitzel im Landkreis als Einstreu zu verkaufen (Mengen wurden nicht genannt). Zu einem ganz ähnlichen Ergebnis einer Befragung von acht Schreinereien und Zimmereien ähnlicher Größenordnung in Oberbayern kommt HELM (2011): 99 % der Industrieresthölzer wurden zur thermischen Eigenverwertung genutzt, der Rest als Einstreu in der Landwirtschaft verkauft. Dies bestätigt die hohe thermische Eigenverwertung von Industrierestholz in kleinen mittelständischen Handwerksbetrieben.

5.4.3.5 Potenzialanalyse und mögliche optimierte Verwertungsverfahren und -wege

Es kann angenommen werden, dass das gesamte verfügbare Aufkommen bereits zum größten Teil thermisch für den Eigenbedarf der Handwerksbetriebe im eigenen Landkreis verwendet und ein kleiner Teil als Einstreu in der Landwirtschaft eingesetzt wird. Aufgrund der kleinen Mengen in vielen Betrieben sind aus logistischer Sicht die aktuellen Verwertungswege sinnvoll.

5.4.3.6 Ökologische und Ökonomische Auswirkungen

Ökologische Auswirkungen

Bei der Verbrennung von Industrierestholz in Stückholz- oder Hackschnitzelheizungen zur Eigenversorgung der Holzverarbeitenden Betriebe wird Wärme erzeugt. Im Gegensatz zu anderen Heizungssystemen wie Erdgas, Heizöl oder auch sonstigen erneuerbaren Energien können dadurch Treibhausgaseinsparungen erzielt werden (WOLF et al. 2015, siehe Tabelle 15, Seite 47). Unter der Annahme, dass die im Landkreis thermisch verwertete Menge an Industrierestholz in Hackschnitzelheizungen mit 30-100 kW und einem Wassergehalt von 20% verbrannt wurden, errechnet sich nach DRESSLER et al. (2016b) eine Treibhausgaseinsparung von ca. 2.000 t CO₂ gegenüber Erdgas bzw. von knapp 2.700 t CO₂ gegenüber Erdöl.

Ökonomische Auswirkungen

Herstellungskosten

Da Industrierestholz direkt am Ort der Verwertung als Koppelprodukt anfällt und verwertet wird, fallen keine zusätzlichen Kosten oder logistischen Aufwände für die Bereitstellung an. Die Verwendung von Industrierestholz im eigenen Betrieb spart zudem Kosten für eine alternative Wärmebereitstellung. Hackschnitzelfeuerungen weisen im Vergleich zu anderen Holzfeuerungen geringere Wärmegestehungskosten auf und sind aus Endkundensicht zu empfehlen (DRESSLER et al. 2016a).

Treibhausgasvermeidungskosten

Die Treibhausgasvermeidungskosten für Industrierestholz lassen sich analog für Sägenebenprodukte basierend auf den bayernspezifische Werten für Holzheizungssysteme aus DRESSLER et al. (2016b) abschätzen. Die Vermeidungskosten gegenüber Heizöl liegen zwischen -27 €/t CO_{2-eq} (sogar Kosteneinsparung) und knapp 100 €/t CO_{2-eq}. Gegenüber Erdgas (welches günstiger ist wie Heizöl) liegen die Vermeidungskosten zwischen 100 und 250 €/t CO_{2-eq}.

5.4.4 Gebrauchtholz

5.4.4.1 Begriffsbestimmung

Der Begriff Gebrauchtholz wird dem Begriff Altholz untergeordnet und muss klar von diesem differenziert werden. Altholz setzt sich laut der deutschen Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (Altholzverordnung, kurz: AltholzV) zusammen aus Gebrauchtholz und Industrierestholz. Letzteres wurde in diesem Projekt separat erfasst (Kapitel 5.4.3). Gebrauchtholz umfasst gebrauchte Produkte, die zu mehr als 50 % aus Holz bestehen und bereits einem oder mehreren stofflichen Verwendungszwecken zugeführt wurden (Kaskadennutzung) und als

Abfall zur Altholzentsorgung oder als Sekundärrohstoff für die thermische oder stoffliche Verwertung bereitstehen.

Je nach Qualität und Fremdstoffanteil wird Gebrauchtholz in vier Kategorien, sowie in PCB-Altholz unterschieden (Tabelle 24). Durch die Kategorisierung ist festgelegt, ob Gebrauchtholz thermisch und/oder stofflich wiederverwertet werden kann oder deponiert werden muss. Die Bundes-Immissionsschutzverordnung (BImSchV) schreibt dabei die Anforderungen an die Anlagen zur Verwertung der Altholzkategorien vor.

Tabelle 24: Einteilung von Altholz und Verwertungsmöglichkeiten (AltholzV, BImSchV)

Kategorie	Eigenschaften	Verwertung
A I	<ul style="list-style-type: none"> Naturbelassen mechanisch bearbeitet 	<ul style="list-style-type: none"> stofflich thermisch, in beliebiger Anlage
A II	<ul style="list-style-type: none"> verleimt/beschichtet/lackiert ohne halogenorganische Verbindungen in der Beschichtung ohne Holzschutzmittel 	<ul style="list-style-type: none"> stofflich Thermisch, in Anlagen mit mehr als 1 MW Leistung Thermisch in Betrieben der Holzverarbeitung mit mehr als 30 kW
A III	<ul style="list-style-type: none"> Halogenorganische Verbindungen in der Beschichtung Ohne Holzschutzmittel 	<ul style="list-style-type: none"> stofflich, falls Beschichtung durch Vorbehandlung weitestgehend entfernt wurde thermisch, in Anlagen mit mehr als 1 MW Leistung und Abgasreinigung
A IV	<ul style="list-style-type: none"> mit Holzschutzmittel behandelt aufgrund Schadstoffbelastung keine Zuordnung zu den Kategorien A I, A II, A III möglich 	<ul style="list-style-type: none"> thermisch, in Anlagen mit mehr als 1 MW Leistung und Abgasreinigung
PCB-Altholz	<ul style="list-style-type: none"> behandelt mit polychlorierten biphenylhaltigen Mitteln 	<ul style="list-style-type: none"> Entsorgung auf geeigneter Sonderabfalldeponie

5.4.4.2 Datenerhebungs- und Berechnungsmethoden

Zur Erfassung des Aufkommens und der Verwertung von Gebrauchtholz in den Landkreisen Pfaffenhofen und Neuburg-Schrobenhausen wurde eine Vollerhebung der kommunalen und privaten Abfallentsorgungsbetrieben angestrebt und eine Internetrecherche durchgeführt.

Berechnung des Aufkommens an Gebrauchtholz

Zur Berechnung der Energiemenge wurde der vom Wassergehalt abhängige untere Heizwert des Holzes verwendet. Die jeweilige Feuchtmasse (FM) des Holzes wurde mit dem entsprechenden Heizwert H_u multipliziert (siehe Formel 1, Kapitel 5.4.1.2, S. 32). Es wurde entsprechend GÖßWEIN et al. (2018) ein Wassergehalt von 15 % angenommen. (GÖßWEIN et al. 2018).

In Tabelle 22 sind die verwendeten unteren Heizwerte, die bei der Bestimmung des Energieinhalts von Industrierestholz verwendet wurden, dargestellt. Da bei der Befragung keine Angaben zur Holzart gemacht wurden, wurde mit dem Mischwert (2/3 Fichte zu 1/3 Buche), hergeleitet aus den Heizwerten

für Buche und Fichte aus GÖßWEIN et al. (2018), gerechnet. Zur Umrechnung von Megajoule (MJ) in Kilowattstunden (kWh) wurden die Ergebnisse durch 3,6 dividiert.

Tabelle 25: Untere Heizwerte zur Ermittlung des Energieinhalts von Industrierestholz

	Gebrauchtholz		
Baumart	Buche	Fichte	2/3 Fichte und 1/3 Buche
Hu (WG=0%) [MJ/kg] (GÖßWEIN et al. 2018)	18,8	18,4	18,67
Hu (WG=15%) [MJ/kg] (eigene Berechnung)	-	-	15,5

Um die Vergleichbarkeit mit bayernweiten Daten zum Aufkommen herzustellen, wurde ausgehend von der Trockenmasse auf die Feuchtmasse umgerechnet (Formel 4):

$$FM = TM / (1-w)$$

Formel 4

FM Feuchtmasse
 TM Trockenmasse
 w Wassergehalt

5.4.4.3 Regionale Gegebenheiten und Aufkommen von Gebrauchtholz

Pfaffenhofen a. d. Ilm

Altholz der Kategorien I bis III kann nach den Vorgaben der Altholzverordnung (AltholzVO) über die **kommunale** Gebrauchtholzentsorgung des Abfallwirtschaftsbetriebes des Landkreises Pfaffenhofen a.d.Ilm (AWP) an allen Wertstoffhöfen (20 Stück) im Landkreis in haushaltsüblichen Mengen kostenlos angeliefert werden. Dazu zählt auch holziger Sperrmüll welcher getrennt von sonstigem Sperrmüll gesammelt wird Über die sogenannten Möbelholz-Container wurde 2017 eine Menge von 3.156 t Gebrauchtholz getrennt erfasst, das entspricht einer Menge von 25 kg pro Einwohner und Jahr (Abbildung 15, GÄNGER 2018). Das einwohnerspezifische Aufkommen seit 2007 ist relativ konstant, es schwankt zwischen 22 und 25 kg.

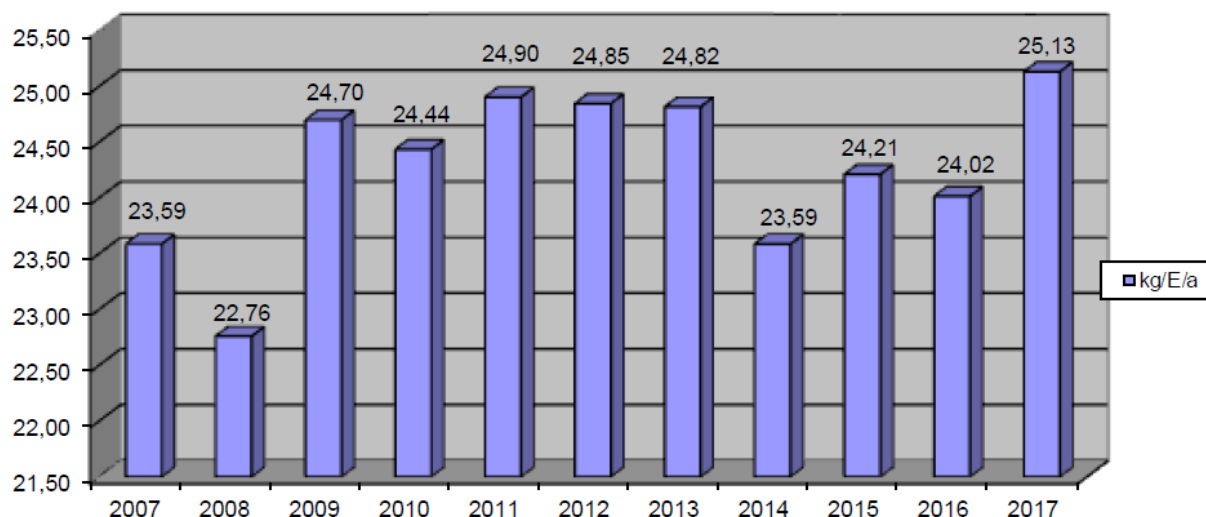


Abbildung 15: Aufkommen an Gebrauchtholz der Klassen I bis III über die kommunale Abfallentsorgung 2007 – 2017 in kg pro Einwohner und Jahr im Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm (GÄNGER 2018)

Neuburg-Schrobenhausen

Zuständig für die **kommunale** Abfallentsorgung im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen sind die Landkreisbetriebe Neuburg-Schrobenhausen (Eigenbetrieb des Landkreises Neuburg-Schrobenhausen). Auf den Wertstoffhöfen wurde 2017 eine Menge von 3.417 t Gebrauchtholz der Kategorien I bis IV gesammelt (LANDKREISBETRIEBE NEUBURG-SCHROBENHAUSEN 2018b, Abbildung 16). Dazu zählt auch holziger Sperrmüll welcher getrennt von sonstigem Sperrmüll gesammelt wird. Der Anteil an Gebrauchtholz der Kategorie IV liegt bei ca. 15%.

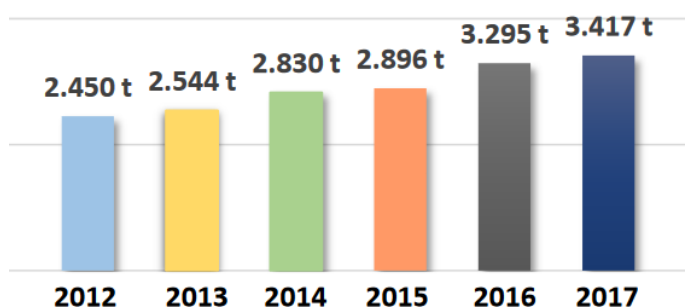


Abbildung 16: Aufkommen an Gebrauchtholz der Klassen I bis IV über die kommunale Abfallentsorgung 2012 – 2017 im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen (LANDKREISBETRIEBE NEUBURG-SCHROBENHAUSEN 2018a)

5.4.4.4 Aktuelle Verwendung und Verwertung

Pfaffenhofen a. d. Ilm

Das Unternehmen Gigler GmbH mit Sitz in Neuburg-Schrobenhausen war 2017 vom Abfallwirtschaftsbetrieb des Landkreises Pfaffenhofen a. d. Ilm (AWP) für die **kommunale** Gebrauchtholzentsorgung beauftragt. Das Gebrauchtholz wird sortiert und außerhalb des Landkreises weiterverkauft und thermisch verwertet. Kein Biomasseheiz(kraft)werk im Landkreis nimmt

Landschaftspflegeholz an. Grund hierfür sind die strengen gesetzlichen Regelungen hinsichtlich der Emissionsgrenzwerte bei der Verbrennung von belastetem Altholz. Um diese einzuhalten wären sehr teure Filteranlagen notwendig. Landschaftspflegematerial wird ebenfalls nicht genutzt. Für das Jahr 2018 hat ein Entsorgungsunternehmen aus Garching (Landkreis München) den Zuschlag bekommen.

Zusätzlich zur kommunalen Entsorgung stehen im Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm folgende private Entsorgungsunternehmen zur Verfügung, welche kostenpflichtig gewerblich anfallendes Gebrauchtholz entsorgen:

- Hechinger Bau GmbH (Müllentsorgung, Containerdienst)
- Demmel Sixtus AG (Kompostwerk, Entsorgung und Holzaufbereitung)
- Braun Entsorgung GmbH (Müllentsorgung, Containerdienst)

Alle Unternehmen wurden kontaktiert, aber nur ein Unternehmen beantwortete den Fragebogen. Der private Entsorger gab an, dass ca. 80% des Gebrauchtholzes aus dem eigenen Landkreis stammen. Damit ergibt sich ein erfasstes Gesamtaufkommen von ca. 4.000 t Gebrauchtholz im Landkreis, welches einem Heizwert von 17. Tsd. MWh entspricht.

Die kostenpflichtige Entsorgung von Althölzern der Kategorie IV oder PCB-Altholz erfolgt im Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm über die thermische Abfallbehandlungsanlage der MVA Ingolstadt (Zweckverband Müllverwertungsanlage (MVA) Ingolstadt) in Ingolstadt Mailing oder über die Reststoff-Deponie in Eberstetten (MVA INGOLSTADT 2018). Die Menge konnte nicht beziffert werden.

Neuburg-Schrobenhausen

Das von den Landkreisbetrieben Neuburg-Schrobenhausen gesammelte Altholz wird vom Container-Service Schöpfel GmbH in Neuburg zu Holzhackschnitzel verarbeitet und weiter verkauft (LANDKREISBETRIEBE NEUBURG-SCHROBENHAUSEN 2017). Welcher Anteil davon thermisch bzw. stofflich verwertet oder entsorgt wird ist unklar. Das gesamte Aufkommen wird außerhalb der Landkreise verwertet.

Zusätzlich zur kommunalen Entsorgung stehen im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen folgende private Entsorgungsunternehmen zur Verfügung, welche kostenpflichtig gewerblich anfallendes Gebrauchtholz entsorgen:

- Schad Karl Abbruch- und Container-Service
- Bichler Container- und Entsorgungsdienstleistungen
- Gigler GmbH (hat den Zuschlag für die kommunale Altholzverwertung 2017 im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen)

Alle Firmen wurden kontaktiert. Nur eine Firma stellte Informationen zum Umgang mit dem Gebrauchtholz zur Verfügung, machte aber keine Angaben zum Aufkommen. Das Aufkommen stammte zu 100 % aus dem eigenen Landkreis und wurde kostenpflichtig an Unternehmen außerhalb des Landkreises gegeben. Der Anteil an Gebrauchtholz der Kategorie IV wurde als „minimal“ bezeichnet.

Insgesamt können in den beiden Landkreisen 7.453 t Gebrauchtholz erfasst werden. Das entspricht einem Energieinhalt von 116 Mio. MJ bzw. 32 Tsd. MWh bei 15 % Wassergehalt (Zusatzstoffe von behandeltem Holz wurden vernachlässigt).

5.4.4.5 Potenzialanalyse und mögliche optimierte Verwertungsverfahren und -wege

Das theoretische Potenzial von Altholz ist abhängig von der Einwohnerdichte und deren jeweiligem Wohlstand, der Industriedichte, der Bautätigkeit und einer Vielzahl weiterer Einflussgrößen (KALTSCHMITT et al. 2016). Das tatsächlich verfügbare Potenzial ist abhängig von der Art und Effizienz der Sammlung und Trennung der Gebrauchtholzsortimente. Zur Einschätzung der Effizienz der Sammlung von Gebrauchtholz der privaten Haushalte wurden die erfassten Mengen Gebrauchtholz auf pro Einwohner berechnet und mit bayern- bzw. oberbayernweiten Daten des bayerischen Landesamts für Umwelt (LFU 2018) verglichen (

Tabelle 26).

Tabelle 26: Gebrauchtholzaufkommen der privaten Haushalte in den untersuchten Landkreisen im Jahr 2017 im Vergleich zum bayern- und oberbayernweitem Durchschnitt

	Pfaffenhofen a. d. Ilm	Neuburg-Schrobenhausen	Oberbayern (LFU 2018)	Bayern (LFU 2018)
Aufkommen [t]	3.156	3.417	124.358	306.368
Aufkommen [kg*Einw. ⁻¹]	25,0	35,5	26,7	23,6

Im Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm entfallen auf jeden Einwohner 25,0 kg Gebrauchtholz pro Jahr, im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen sind es 35,5 kg. Der große Unterschied kann zum Teil damit erklärt werden, dass die Landkreisbetriebe Neuburg-Schrobenhausen auch Gebrauchtholz der Kategorie IV annehmen. Die Werte beider Landkreise liegen damit über dem bayernweiten Durchschnitt. Der oberbayerische Durchschnitt liegt etwas höher als das pro Kopf Aufkommen im Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm. Im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen übertrifft das Aufkommen auch den oberbayerischen Durchschnitt.

Das gesamte Potenzial an Gebrauchtholz inklusive der Mengen aus gewerblicher Entsorgung (vor allem Abriss) ist nochmals deutlich höher einzuschätzen als das Aufkommen aus den privaten Haushalten (vor allem Möbel) allein. Das Aufkommen außerhalb der kommunalen Entsorgungsstrukturen (Bauabfälle und Verpackungsabfälle (Paletten)) konnte in den Umfragen nicht ausreichend erfasst werden, da die Antwortquote aus den Befragungen der privaten Entsorgungsunternehmen sehr gering war. Das einzige Unternehmen, welches Daten bekannt gab, sammelte im Jahr 2017 alleine zusätzliche 7 kg Gebrauchtholz pro Einwohner im Landkreis Pfaffenhofen. GÖBWEIN et al. (2018) befragten für das Jahr 2016 bayerische Altholzverwerter und kamen auf ein einwohnerspezifisches Aufkommen von 63 kg Altholz (Gebrauchtholz und Industrierestholz) aus Bayern. Dieses Aufkommen lässt sich nochmals erweitern um Gebrauchtholz, welches mit der Menge von 8 kg pro Einwohner in privaten Feuerungsanlagen verbrannt wird (GÖBWEIN et al. 2018). Eine weiterhin potenzielle Menge in der Erfassung ist Gebrauchtholz aus der gesonderten Sperrmüllentsorgung. Laut LFU (2018) wurden 2017 in Bayern 16,6 kg Sperrmüll pro Einwohner gesammelt. WEIDNER et al. (2016) gehen davon aus, dass der Sperrmüll zu mehr als 50 % aus Gebrauchtholz besteht. Das mit Sperrmüll gemeinsam erfasste Gebrauchtholz wird meistens auch als Sperrmüll entsorgt und verbrannt (LFU 2003). In den untersuchten Landkreisen wird holziger Sperrmüll jedoch bereits von sonstigem Sperrmüll getrennt erfasst. Deutschlandweit gibt KALTSCHMITT et al. (2016) ein Gesamtaufkommen an Gebrauchtholz von ca. 59 kg pro Einwohner an (Stand 2011-2013), wovon jedoch nur 13 kg Siedlungsabfälle sind. Der Großteil (65%) sind Bauabfälle, welche i. d. R. über private Entsorgungsunternehmen einer Verwertung zugeführt werden.

Optimierte Verwertungswege von Gebrauchtholz über die energetische Nutzung hinaus könnten die Kaskadennutzung miteinbeziehen (siehe Kap. 6.4.2). Hierzu sind jedoch neue logistische und technische Konzepte notwendig. Entsprechende Firmen aus der Recyclingbranche und Holzwerkstoffindustrie sind überwiegend außerhalb der untersuchten Landkreise zu finden.

5.4.4.6 Ökologische und Ökonomische Auswirkungen

Ökologische Auswirkungen

Gebrauchtholz der Kategorien I bis IV kann thermisch verwertet werden. Grundsätzlich können bei der thermischen Verwertung von Gebrauchtholz durch die Erzeugung von Wärme und Strom aus Holz Treibhausgase eingespart werden. Die Erzeugung ist zwar nicht klimaneutral (in einem Biomasseheizkraftwerk werden 0,0259 kg CO_{2-eq} pro erzeugtem MJ elektrischer Energie bzw. 0,0098 kg CO_{2-eq} pro erzeugtem MJ thermischer Energie emittiert) gegenüber fossilen Heizkraftwerken können dennoch Treibhausgaseinsparungen erreicht werden (DRESSLER et al. 2016a).

Die kombinierte Strom- und Wärmeerzeugung aus Gebrauchtholz in Biomasseheizkraftwerken sollte aus Klimaaspekten einen Einzugsradius von 244 km nicht überschreiten (DRESSLER et al. 2016a).

Gebrauchtholz der Kategorien I bis III kann stofflich in der Holzwerkstoffindustrie verwertet werden (Kategorie III mit entsprechender Aufbereitung). Die stoffliche Nutzung mittels Kaskadennutzung birgt zusätzliche Potenziale an Treibhausgas- und Primärenergieeinsparungen. Durch den Ersatz von Produkten aus frischem Waldholz mit recyceltem Holz (beispielsweise in der Spanplattenherstellung) werden bis zu 14% an frischem Holz eingespart und die Treibhausgasemissionen bis zu 10 % gesenkt (HÖGLMEIER et al. 2014, 2015). Die Substitution von Nicht-Holzprodukten führt je nach Material des substituierten Produktes zu Treibhausgaseinsparungen (siehe Tabelle 20, Seite 55). Nach der stofflichen (Mehrfach)Nutzung schließt sich am Ende wieder die energetische Nutzung an. Die stoffliche Nutzung ist daher einer unmittelbaren energetischen Nutzung vorzuziehen.

Eine Bewertung der Kaskadennutzung am Beispiel Bayern unter Berücksichtigung der wichtigsten Holzflüsse zeigt zudem eine Steigerung der Ressourceneffizienz (Risse et al. 2017).

Ökonomische Auswirkungen

Aus ökonomischer Sicht bietet Altholz als Brennstoff aufgrund der vorhandenen Bereitstellungsmöglichkeiten eine höhere regionale Wertschöpfung als die kombinierte Wärme- und Stromerzeugung aus Erdöl oder Erdgas oder die Stromerzeugung aus nuklearer Energie. Eine ökonomische Schwäche von Holzheizkraftwerken ist jedoch noch immer die geringere Rentabilität im Vergleich zu fossilen Heizkraftwerken aufgrund der nach wie vor sehr niedrigen fossilen Brennstoffkosten (DRESSLER et al. 2016a). Eine optimierte möglichst weitgehende Wärmenutzung in den Biomasseheizkraftwerken ist daher aus ökonomischer Sicht essenziell.

Fazit

Bisher existieren in den untersuchten Landkreisen keine Anlagen, die Gebrauchtholz verwerten können. Mögliche Verschiebungen von Stoffströmen zwischen unterschiedlichen Landkreisen bedürfen einer überregionalen Analyse, um die ökologischen und ökonomischen Vor- und Nachteile abzuwägen.

5.4.5 Landschaftspflegeholz und kommunale Grünabfälle

5.4.5.1 Begriffsbestimmung

Unter Landschaftspflegeholz versteht man den holzartigen Teil, der bei Landschaftspflegemaßnahmen anfällt. Dies wird durch die Biomasseverordnung 2012 folgendermaßen definiert: „Als Landschaftspflegematerial gelten alle Materialien, die bei Maßnahmen anfallen, die vorrangig und überwiegend den Zielen des Naturschutzes und der Landschaftspflege im Sinne des Bundesnaturschutzgesetzes dienen und nicht gezielt angebaut wurden“ (BIOMASSEV 2012).

Der Begriff kann je nach dem Ort der Pflegemaßnahme untergliedert werden in Pflegeschnittholz, Straßenbegleitholz, landwirtschaftlicher Baumschnitt, Baumschnitt aus Parks und Anlagen, Wasserstraßenrandgehölze und Schwemmholz.

Privater und kommunaler holzartiger Grünschnitt, der in Gartenabfallsammelstellen an den Wertstoffhöfen gesammelt wird, ergänzt diese Reststoffkategorie.

5.4.5.2 Datenerhebungs- und Berechnungsmethoden

Zur Erfassung des Aufkommens und der Verwertung von Landschaftspflegeholz in den untersuchten Landkreisen wurde eine Stichprobenerhebung durchgeführt.

Zur Berechnung der Energiemenge wurde der vom Wassergehalt abhängige untere Heizwert des Holzes verwendet. Die jeweilige Feuchtmasse (FM) des Holzes wurde mit dem entsprechenden Heizwert H_u multipliziert (siehe Formel 1, Kapitel 5.4.1.2, S. 32). Es wurde entsprechend GÖßWEIN et al. (2018) ein Wassergehalt von 50 % angenommen.

In Tabelle 22 sind die verwendeten unteren Heizwerte, die bei der Bestimmung des Energieinhalts von Landschaftspflegeholz verwendet wurden, dargestellt. Da bei der Befragung keine Angaben zur Holzart gemacht wurden, wurde mit dem Mischwert (2/3 Fichte zu 1/3 Buche), hergeleitet aus den Heizwerten für Buche und Fichte aus GÖßWEIN et al. (2018), gerechnet. Zur Umrechnung von Megajoule (MJ) in Kilowattstunden (kWh) wurden die Ergebnisse durch 3,6 dividiert.

Tabelle 27: Untere Heizwerte zur Ermittlung des Energieinhalts von Landschaftspflegeholz und holzartigem Grünschnitt

Baumart	Landschaftspflegeholz und holzartiger Grünschnitt		
	Buche	Fichte	2/3 Fichte und 1/3 Buche
H_u (WG=0%) [MJ/kg] (GÖßWEIN et al. 2018)	18,8	18,4	18,67
H_u (WG=50%) [MJ/kg] (eigene Berechnung)	-	-	8,1

Um die Vergleichbarkeit mit bayernweiten Daten zum Aufkommen herzustellen, wurde entsprechend Formel 4 (Seite 60) ausgehend von der Trockenmasse auf die Feuchtmasse umgerechnet.

5.4.5.3 Regionale Gegebenheiten und Aufkommen von Landschaftspflegeholz

Pfaffenhofen a. d. Ilm

Landschaftspflegeholz und Grünschnitt aus Privathaushalten kann über die **kommunale** Grüngutentsorgung des Abfallwirtschaftsbetriebes des Landkreises Pfaffenhofen a.d.Ilm (AWP) über Gartenabfallsammelstellen an entsprechenden Wertstoffhöfen (16 Stück) im Landkreis gebührenfrei angeliefert werden. Holzige Gartenabfälle (wie Äste, Zweige, Stammholz usw.) müssen dabei getrennt von nicht holzigen Gartenabfällen (Gras, Rasenschnitt, Laub, Heckenschnitt etc.) abgegeben werden.

Die Demmel Sixtus AG in Wolnzach ist seit 2015 bis 2020 vom Abfallwirtschaftsbetrieb des Landkreises Pfaffenhofen a.d.Ilm (AWP) für die Sammlung und Verwertung von pflanzlichen Gartenabfällen beauftragt. Im Untersuchungsjahr 2017 wurden über die Wertstoffhöfe 14.131 t Gartenabfällen eingesammelt, wovon 2.448 t holzartige Gartenabfälle (= 14,86 % der Gesamtmenge der Demmel Sixtus AG) vor Ort gehäckselt und soweit möglich einer energetischen Verwertung in Biomasseheizkraftwerken zugeführt wurden (GÄNGER 2018). Die entsprechenden Biomasseheizkraftwerke befinden sich außerhalb des Landkreises. Zusätzlich ist auf zwei vom AWP beauftragten gewerblich betriebenen Annahmestellen die Anlieferung von Gartenabfällen möglich. Zusätzliche 2.341 t wurden 2017 auf der Annahmestelle der Hechinger Entsorgung GmbH und 916 t auf der Annahmestelle der Kompostieranlage der Hammerschmid GbR in Pfaffenhofen angeliefert. Insgesamt wurden so im Landkreis Pfaffenhofen 16.472 t Gartenabfälle aus Privathaushalten gesammelt (GÄNGER 2018).

Gewerblich anfallendes Landschaftspflegeholz, holzige Grünabfälle und Wurzelstöcke mit einem Durchmesser von mehr als 30 cm müssen kostenpflichtig über private Entsorgungsunternehmen einer Verwertung zugeführt werden. Als Entsorger für gewerblich anfallendes Grüngut sowie Baum- und Strauchschnitt stehen im Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm auch die beiden vom AWP beauftragten Annahmestellen (Hechinger Entsorgung GmbH und Hammerschmid GbR) sowie ein weiterer privater Entsorgungsdienst zur Verfügung. Das Gesamtaufkommen an Landschaftspflegeholz und Grünschnitt ist in Tabelle 28 dargestellt. Die gewerblich angenommene Menge der vom AWP beauftragten Annahmestellen wurde über Befragungen erhoben. Der dritte private Entsorgungsdienst machte leider keine Angaben. Es ist jedoch anzunehmen, dass die Mengen aufgrund der Betriebsgröße nicht unerheblich sind. Insgesamt konnte so eine Gesamtmenge von 18 Tsd. Tonnen Abfälle aus Landschaftspflegeholz und Grünschnitt erfasst werden. 20 % davon waren holzartige Gartenabfälle und Landschaftspflegeholz und 80 % nicht-holzartiger Grünschnitt.

Tabelle 28: Erfasste Mengen an Landschaftspflegeholz und holzartigem und nicht-holzartigem Grünschnitt im Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm im Jahr 2017

Annahmestellen	Landschaftspflegeholz und holzartige Gartenabfälle [t]	Nicht-holzartiger Grünschnitt [t]	Summe holzartiger und nicht-holzartiger Abfälle [t]
Kommunale Gartenabfallsammelstellen (GÄNGER 2018)	2.448	11.683	14.131
Private Entsorgungsbetriebe (eigene Erhebung und GÄNGER (2018))	1.169	2.819	3.988
Summe (Anteil)	3.617 (20%)	14.502 (80%)	18.119 (100%)

Neuburg-Schrobenhausen

Zuständig für die kommunale Entsorgung von Grüngut, Baum- und Strauchschnitt im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen sind die Landkreisbetriebe Neuburg-Schrobenhausen (Eigenbetrieb des Landkreises Neuburg-Schrobenhausen). Holzige Gartenabfälle (Baum- und Strauchschnitt) müssen getrennt von nicht holzigen Gartenabfällen (Grünschnitt) angeliefert werden. In den Wertstoffhöfen wurde 2017 eine Menge von 15 Tsd. Tonnen Grüngut, Baum- und Strauchschnitt gesammelt (LANDKREISBETRIEBE NEUBURG-SCHROBENHAUSEN 2018b). Das Aufkommen stieg seit 2012 kontinuierlich an und machte 2016 einen Sprung auf die 2,5-fache Menge, da seit diesem Jahr die Abgabe an den Wertstoffhöfen gebührenfrei ist (Abbildung 17). Die 2017 gesammelte Menge bestand zu 88 % aus Grünschnitt und zu 12 % aus holzigem Baum- und Strauchschnitt (Tabelle 29).

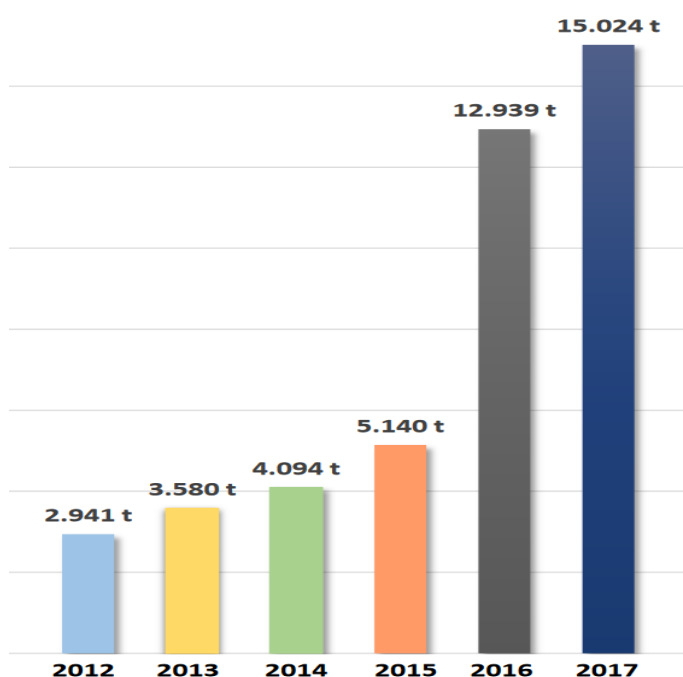


Abbildung 17: Aufkommen an Baum-/Strauchschnitt und Grüngut über die kommunale Abfallentsorgung 2012 – 2017 im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen (LANDKREISBETRIEBE NEUBURG-SCHROBENHAUSEN 2018a)

Tabelle 29: Erfasste Mengen an Landschaftspflegeholz und holzartigem und nicht-holzartigem Grünschnitt im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen im Jahr 2017

Annahmestelle	Landschaftspflegeholz und holzartige Gartenabfälle [t]	Nicht-holzartiger Grünschnitt [t]	Summe holzartiger und nicht-holzartiger Abfälle [t]
Kommunale Gartenabfallsammelstellen (GÄNGER 2018)	1.803	15.024	13.221
Anteil	12 %	88 %	100 %

Privathaushalte dürfen maximal drei Kubikmeter liefern. Bei größeren oder gewerblichen Mengen kann Grüngut sowie Baum- und Strauchschnitt direkt bei den Kompostanlagen Neuburg und Königslachen abgegeben werden. Zusätzlich gibt es vier private Entsorgungsunternehmen im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen, welche Landschaftspflegeholz und Grünschnitt kostenpflichtig

annehmen. Alle Unternehmen wurden kontaktiert, der Fragebogen wurde jedoch nicht beantwortet, bzw. eine Firma konnte keine Angaben zum Aufkommen machen und gab nur bekannt, den angenommenen Baum- und Grünschnitt im Landkreis an Kompostanlagen kostenpflichtig weiter zu reichen. In Tabelle 30 ist das erfasste holzartige Gesamtaufkommen in beiden Landkreisen, sowie die einwohnerspezifischen Werte dargestellt. Der Anteil holziger Fraktionen am Grünabfall beläuft sich auf ca. 16 %.

Tabelle 30: Erfasste Mengen an Landschaftspflegeholz und holzartigen Grünschnitt in den untersuchten Landkreisen im Jahr 2017

	Landschaftspflegeholz und holzartige Gartenabfälle [t]	Landschaftspflegeholz und holzartige Gartenabfälle [kg/Einwohner]
Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm	3.617	28,7
Landkreis Neuburg-Schrobenhausen	1.803	18,7
Beide Landkreise	5.420	24,4

5.4.5.4 Aktuelle Verwendung und Verwertung

In beiden Landkreisen wird der anfallende vorwiegend nicht-holzige Grünschnitt auf den Wertstoffhöfen in Kompostanlagen im jeweiligen Landkreis kompostiert oder als Dünger und Bodenverbesserer in der örtlichen Landwirtschaft eingesetzt. Die getrennt erfassten holzartigen Bestandteile werden gehäckselt und in Biomasseheizkraftwerken außerhalb der untersuchten Landkreise verwertet. Altholz wird nicht genutzt. Kein Biomasseheiz(kraft)werk in den untersuchten Landkreisen verwertet Landschaftspflegeholz. Der Nutzung steht entgegen, dass durch den höheren Anteil an Rinde und Grüngut der Aschegehalt steigen würde. Asche ist ein Abfall im Sinne des Abfallrechts (KrW-/AbfG) und sollte daher möglichst geringgehalten werden. Unvermeidbare Reste sollen stofflich zur Herstellung von Düngemitteln verwertet werden. Eine Ausbringung unbehandelter Asche ohne Kenntnis der Nähr- und Schadstoffzusammensetzung ist nicht erlaubt. Unverwertbarer Rest muss auf entsprechenden Deponien kostenpflichtig entsorgt werden. Da aber auch die Aufbereitung zum Dünger Kosten verursacht, ist ein höheres Aufkommen an Asche grundsätzlich mit zusätzlichen Kosten und/oder höherem Aufwand verbunden (STETTER & ZORMAIER 2010). Weiterhin sind Beschaffung und Logistik mit sehr viel Aufwand verbunden. Ein kompletter Wechsel des Brennmaterials hin zu Landschaftspflegeholz, der vom "Landschaftspflegebonus" über die EEG-Umlage profitieren würde, wäre für das Biomasseheizkraftwerk Pfaffenhofen nicht wirtschaftlich (KRAUS 2016).

Bezüglich der Sammlung und Verwertung gewerblicher Mengen an Landschaftspflegematerial und Grünschnitt konnten nur wenige Informationen erhoben werden. Aufgrund der Befragung der Biomasseheiz(kraft)werke (nur Annahme von Waldhackschnitzeln) in den beiden Landkreisen kann angenommen werden, dass die Hackschnitzel aus Landschaftspflegeholz und Baumschnitt außerhalb der Landkreise in Biomasseheiz(kraft)werken verwertet werden.

5.4.5.5 Potenzialanalyse und mögliche optimierte Verwertungsverfahren und -wege

Das theoretische Potenzial von Landschaftspflegeholz und holzartigem Grünschnitt aus der kommunalen Sammlung ist abhängig von der Einwohnerdichte und der häuslichen Gartenpflege. Das tatsächlich verfügbare Potenzial ist abhängig von der Art und Effizienz der Sammlung und Trennung von holzartigen und nicht-holzartigem Grünschnitt. Zur Einschätzung der Effizienz der Sammlung von

Grünschnitt der privaten Haushalte wurden die erfassten Mengen pro Einwohner berechnet und mit bayern- bzw. oberbayernweiten Daten des bayerischen Landesamts für Umwelt (LFU 2018) verglichen (Tabelle 31).

Tabelle 31: Aufkommen an Grünschnitt aus der kommunalen Sammlung in den untersuchten Landkreisen im Jahr 2017 im Vergleich zum bayern- und oberbayernweitem Durchschnitt

	Pfaffenhofen a. d. Ilm	Neuburg-Schrobenhausen	Oberbayern (LFU 2018)	Bayern (LFU 2018)
Aufkommen [t]	14.131	15.024	296.130	1.076.047
Aufkommen [kg*Einw. ⁻¹]	111,9	156,2	63,6	82,9

In beiden untersuchten Landkreisen ist das einwohnerspezifische Aufkommen deutlich höher als der oberbayerische und bayerische Durchschnitt. Dieser große Unterschied kann insbesondere darauf zurückgeführt werden, dass in beiden Landkreisen die Abgabe haushaltsüblicher Mengen gebührenfrei ist. Die Erlassung der Kosten im Jahr 2016 im Landkreis-Neuburg-Schrobenhausen ließ das Aufkommen sprunghaft um 250% ansteigen (Abbildung 17). Die Sammlung von kommunalem Grünschnitt in beiden Landkreisen kann damit als effizient bezeichnet werden, ein Potenzial an bisher ungenutzten Gartenabfälle wird nicht angenommen. Die Trennung der holzigen Fraktion im Zuge der Sammlung ermöglicht eine separate Verwertung der holzartigen Gartenabfälle.

Das gesamte wirtschaftliche Potenzial an Landschaftspflegeholz beinhaltet zusätzlich zur holzartigen Fraktion aus der kommunalen Sammlung auch noch die holzartigen Mengen aus kommunaler Grünflächenpflege, gewerblicher Landschaftspflege, sowie Brennholzmengen der Privathaushalte aus den eigenen Gärten oder sonstiger Flur und ist nochmals deutlich höher einzuschätzen als das Aufkommen aus der kommunalen Sammlung. GÖRWEIN et al. (2018) berechneten ein Gesamtaufkommen an Landschaftspflegeholz und holzigem Grünschnitt von 113 kg Frischmasse pro Einwohner. Allein 48,3 kg davon werden in Privathaushalten als Brennholz verwendet. Der restliche Anteil von 65,0 kg pro Einwohner übersteigt das erfasste Aufkommen von 24,4 kg in beiden Landkreisen und lässt auf einen hohen Anteil an gewerblichem Landschaftspflegeholz schließen. Inwieweit diese bayernweit durchschnittlich genutzte Menge in den untersuchten Landkreisen bereits genutzt wird, kann aufgrund des schlechten Rücklaufs bei der Befragung der privaten Unternehmen nicht abgeschätzt werden.

Die Abschätzung des bisher ungenutzten Potenzials ist regional wie überregional aufgrund mangelnder und schwieriger Datengrundlage nur ansatzweise möglich. Für Straßenbegleitholz gibt KALTSCHMITT et al. (2016) eine Nutzung von 20 – 70 % des anfallenden Materials an, das heißt 30 – 80 % verbleiben ungenutzt auf der Fläche oder werden dort verbrannt. Im Einklang mit dieser Nutzung schätzten BROSOWSKI et al. (2015) das ungenutzte technische Potenzial an Landschaftspflegeholz auf knapp 1,2 Mio. t atro in Deutschland. Dies entspricht in etwa 28 kg Frischmasse (w=50%) pro Einwohner, welche ungenutzt zur Verfügung stehen. BROSOWSKI et al. (2015) bewerteten die Datenqualität allerdings als gering.

Holzartige und nichtholzartige Abfälle aus der Landschaftspflege sollten möglichst effizient gesammelt werden. Holzartige Reststoffe sollten optimalerweise einer thermischen Verwertung in einem Biomasseheiz(kraft)werk, falls nicht anders möglich auch außerhalb des Landkreises, zugeführt werden. Nicht-holzartige Reststoffe sollten zentral kompostiert und als Dünger wiederverwertet werden.

5.4.5.6 Ökologische und Ökonomische Auswirkungen

Ökologische Auswirkungen

Die energetische Nutzung für die Bereitstellung der Hackschnitzel aus der Landschaftspflege spart im Gegensatz zur Energieerzeugung aus Heizöl Treibhausgasen. Gegenüber Heizöl werden 310,69 bis 348,49 kg CO_{2-eq}/srm, gegenüber Erdgas im Mittel 77,4 g CO_{2-eq} pro erzeugtem MJ thermischer Energie eingespart (JOHST et al. 2014).

Ökonomische Auswirkungen

Durch die gebührenfreie Abgabe des Grünschnitts privater Haushalte wird die zentrale Sammlung und Verwertung gefördert. Die kostenpflichtige Abgabe des Materials im gewerblichen Bereich an Verwerter setzt keine Anreize für eine intensive Sammlung und Abgabe von Landschaftspflegematerial durch Dienstleister, welche selbst nicht verwerten. OELKERS (2011) verglich die Kosten der zentralen Aufbereitung von Landschaftspflegematerial mit der Aufbereitung (Hacken) direkt am Ort des Anfalls. Er kam zu dem Ergebnis, dass die mobile Bereitstellung von Schredderholz und Hackschnitzeln vor Ort die günstigere Variante gegenüber der zentralen Aufbereitung darstellt und konkurrenzfähig ist.

Laut JOHST et al. (2014) führt die energetische Nutzung von Landschaftspflegeholz zu einer Kostenreduzierung der naturschutzfachlich gewünschten Freistellungsmaßnahmen gegenüber dem bisher praktizierten Ansatz des Verbrennens oder Kompostierens auf der Fläche.

Fazit

Bisher existieren in den untersuchten Landkreisen keine Anlagen, die Landschaftspflegematerial verwerten können. Mögliche Verschiebungen von Stoffströmen zwischen unterschiedlichen Landkreisen bedürfen einer überregionalen Analyse, um die ökologischen und ökonomischen Vor- und Nachteile abzuwägen.

5.5 Fazit und Handlungsempfehlungen für holzartige Reststoffe

Auf Basis der in dieser Studie erarbeiteten Ergebnisse wird ein Gesamtfazit gegeben, sowie Handlungsempfehlungen für zusätzliche oder optimierte Verwertung der biogenen Holz-Reststoffe in den Landkreisen Pfaffenhofen und Neuburg-Schrobenhausen entwickelt.

5.5.1 Restholzflüsse in den Landkreisen Pfaffenhofen und Neuburg-Schrobenhausen

In Abbildung 18 sind die Stoffflüsse der holzigen Reststoffarten, sowie die Verwertungswege in den untersuchten Landkreisen dargestellt. Insgesamt liegt das Aufkommen aller erfassten Reststoffe in den zwei Landkreisen bei rund 58 Tsd. Tonnen an Frischmasse. Das entspricht, unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Wassergehalte der jeweiligen Reststoffe, einem Heizwert von 158 Tsd. MWh. Über 99 % dieses Aufkommens stammt aus dem eigenen Landkreis. Ein geringer Teil (0,4 %) an Landschaftspflege- und Gebrauchtholz stammte aus umliegenden Landkreisen. Das gesamte Aufkommen wurde zu 55 % in den untersuchten Landkreisen verwertet (99% davon energetisch, 1 % stofflich), 45 % wurden außerhalb verwertet.

Das Aufkommen an Waldrestholz aus dem Staatswald kann nicht genau beziffert werden, aus den Expertenbefragungen ging jedoch hervor, dass kein zusätzliches Potenzial an Waldrestholz für die energetische Verwertung zur Verfügung steht. Mit Abstand den größten Anteil am erfassten Gesamtaufkommen an holzigen Reststoffen hat das Waldrestholz aus dem Privatwald. Hier besteht auch das größte Potenzial an bisher ungenutzten holzigen Reststoffen. Im Jahr 2017 wurden bereits 38,9 Tsd. Tonnen an waldfischem Material in Form von Hackschnitzeln einer energetischen Verwertung zugeführt. 69 % der angefallenen Waldhackschnitzel wurden in den untersuchten Landkreisen in Biomasse(heiz)kraftwerken verwertet, 31% in anderen Landkreisen energetisch genutzt.

Bei Sägenebenprodukten und Industrierestholz wird das derzeitige Aufkommen bereits vollständig verwertet. Ein Potenzial an bisher ungenutzten Mengen besteht nicht. Das erfasste Aufkommen an Landschaftspflegeholz und Gebrauchtholz wird vollständig außerhalb der untersuchten Landkreise verwertet. Aus Literaturanalysen geht hervor, dass das bisherige Aufkommen an Landschaftspflegeholz noch nicht ausgeschöpft ist. Kommunales Gebrauchtholz wird bereits effektiv über die Wertstoffhöfe erfasst. Ein zusätzliches Potenzial an Gebrauchtholz ist nicht zu erwarten.

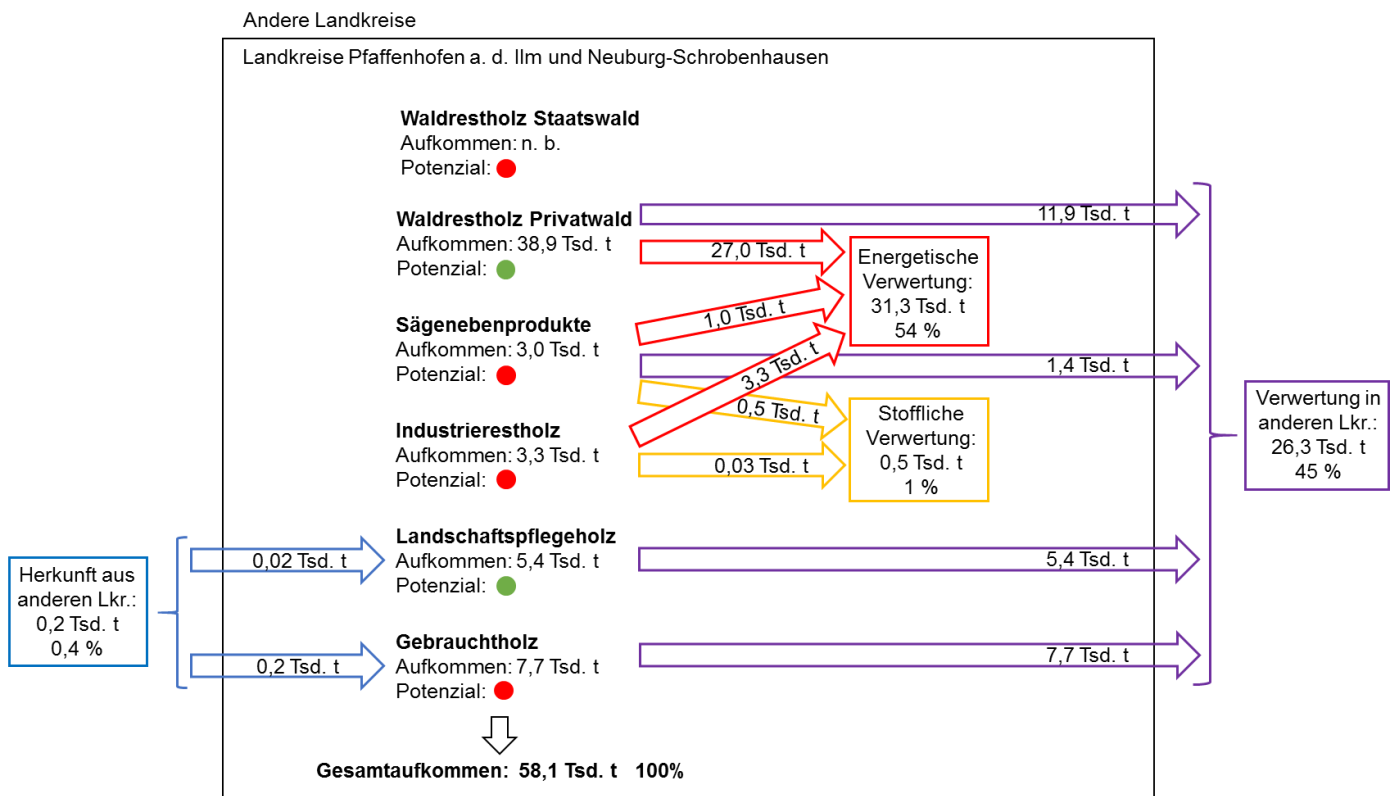


Abbildung 18: Aufkommen, Stoffströme, Verwertungswege und Potenziale der holzigen Reststoffe in den Landkreisen Pfaffenhofen und Neuburg-Schrobenhausen. Die Mengenangaben in Tsd. t beziehen sich auf die Frischmasse des jeweiligen Reststoffes. Die prozentualen Angaben beziehen sich auf das Gesamtaufkommen der aller holzartigen Reststoffe in den untersuchten Landkreisen.

Potenzialbewertung: rot = kein Potenzial vorhanden;
grün = Potenzial vorhanden;

5.5.2 Nutzung und Potenziale von Waldrestholz im Staatswald

Fazit

- Die Analyse der derzeitigen Nutzung zeigte, dass im Staatswald der Holzzuwachs bereits vollständig abgeschöpft wurde.
- Waldhackschnitzel aus Derbholz werden bereits genutzt und in anderen Landkreisen in Biomasseheiz(kraft)werken verwertet.
- Aus Gründen der Nährstoffnachhaltigkeit wird Waldrestholz aus Laubholz unter 7 cm Durchmesser (Reisholz) nicht genutzt. Die Nutzung von Nadel-Reisholz ist ebenfalls stark eingeschränkt, da auf großen Teilen der Standorte nur eine Nutzung pro Umtriebszeit vertreten wird. Nur in Ausnahmefällen wird Kronenmaterial befallener Fichten aus Forstschutzgründen vollständig gehackt und einer thermischen Nutzung zugeführt.
- Die zunehmenden Schadereignisse führten bereits zu einer Überversorgung des Holzmarkts mit Nadelholz. Als Gegenmaßnahme haben die Bayerischen Staatsforsten (BaySF) den Nadelholzeinschlag aktuell bereits stark reduziert.
- Ein zusätzliches Potenzial an nutzbarem Waldrestholz besteht im Staatswald nicht.

5.5.3 Nutzung und Potenziale von Waldrestholz im Privatwald

Fazit

- Die Analyse der derzeitigen Nutzung zeigte, dass im Privatwald Waldhackschnitzel sowohl aus Derbholz als auch als Reisholz (Waldrestholz) bereits genutzt und zum Großteil (69 %) in den eigenen Landkreisen in Biomasseheiz(kraft)werken verwertet werden.
- Durch die energetische Nutzung der Waldhackschnitzel sparten die zwei Biomasseheizwerke (BHW) im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen im Jahr 2017 ca. 900 t Treibhausgase ein, wenn Erdgas als Referenzprodukt herangezogen wird, bzw. ca. 1.200 t Treibhausgase, wenn Heizöl Referenzprodukt ist.
- Der auffallend hohe Anfall an Holz ist vor allem auf die in diesen Jahren auftretenden Schadereignisse (Sturmwürfe/Käferbefall) zurückzuführen. Die langfristigen Auswirkungen wiederkehrender extremer Wetterlagen auf bayerische Wälder und die Holzversorgung sowie den bayerischen Holzmarkt sind nicht absehbar. Ein langfristig jährlich abschöpfbares Potenzial an Sturm- und Schadholz, wie es in den letzten Jahren aufgetreten ist, ist demnach nicht gesichert.
- Mittelfristig wird durch Waldumbaumaßnahmen ein erhöhtes Holzaufkommen erwartet, langfristig stabilisiert sich das Holznutzungspotenzial jedoch auf einem deutlich niedrigeren Niveau als derzeit.
- Aufgrund der durchgeführten Analysen der aktuellen und potenziellen Nutzung von Waldholz sowie der Expertenbefragungen wird angenommen, dass im Privatwald noch ein Potenzial an vermehrter Nutzung von Waldrestholz der Sortimente Derbholz (Durchmesser > 7 cm) und Reisholz besteht.

Empfehlungen

- Bei der thermischen Verwertung des Waldrestholzes kann die Effizienz der Verbrennung gesteigert werden, indem das Holz vor der Verwertung in ungehackter und oder gehackter Form luftgetrocknet und damit der Wassergehalt reduziert wird. Im Hinblick auf die Minimierung von Umweltwirkungen und den Ressourcenschutz bedeutet ein geringerer Wassergehalt, dass weniger Holz für die gleiche bereitgestellte Energiemenge benötigt wird. Das restliche Holz könnte somit einer zusätzlichen Nutzung zugeführt werden.

- Weiterhin sollte eine Auslastung der Heizwerke angestrebt werden, indem zusätzliche Wärmeabnehmer gefunden und an Nahwärmenetze angeschlossen werden. Heiz(kraft)werke sollten ihre Wärmenetze maximal ausbauen.
- Das langfristige Aufkommen von Waldrestholz und die Bereitstellung von Waldhackschnitzeln im Privatwald könnte einerseits durch vermehrten Einschlag allgemein (soweit es das Konzept der nachhaltigen Bewirtschaftung der Wälder erlaubt), aber auch durch intensivere Nutzung des Waldrestholzes (soweit der damit verbundene Nährstoffaustrag die Nachhaltigkeitsgrenzen nicht überschreitet) erhöht werden. Hier nehmen die Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten als Ansprechpartner für die Beratung der Privatwaldbesitzer und der Waldbesitzervereinigungen eine wichtige Rolle ein.
- Die Nutzung des bereits anfallenden Waldrestholzes könnte optimiert und intensiviert werden, indem Rahmenbedingungen für eine einfachere logistische Aufbereitung und Verteilung der Waldrestholzsortimente geschaffen werden. Die Lagerung von ungehacktem und oder gehacktem Waldrestholz könnte der Problematik des punktuellen Überangebots v. a. im Sommer und der generell höheren Nachfrage im Winter entgegenwirken. Ein zusätzlicher Nutzen der Lagerung ist die Reduzierung des Wassergehaltes. Hier stehen für eine Beratung die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) und das Technologie- und Förderzentrum (TFZ) zur Verfügung (siehe auch HOFMANN et al. 2017).
- Um zusätzliche langfristig verfügbare Holzmengen zu mobilisieren, werden neben wirtschaftlich und logistisch optimierter Aufbereitung/Lagerung/Verteilung eine koordinierte Kooperation zwischen Abnehmern und Anbietern benötigt. Es wird daher empfohlen, in den beiden Landkreisen einen runden Tisch einzuführen. Grundsätzliche Idee dabei ist es, einerseits die bestehende Nachfrage zu erfassen sowie Bewusstsein, Interesse und Akzeptanz von Hackschnitzelanlagen zu fördern, andererseits diesem Bedarf gleichzeitig ein vorhandenes und mobilisierbares Potenzial gegenüberzustellen. Abbildung 16 zeigt beispielhaft Konzeption und Wirken eines runden Tisches. Das Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Pfaffenhofen a. d. Ilm (AELF Pfaffenhofen), das für die Landkreise Pfaffenhofen an der Ilm und Neuburg-Schrobenhausen Ansprechpartner ist könnte z. B. in Rolle des Koordinators zusammen mit den beiden Vereinen Energie Effizient Einsetzen e.V. und Energie und Solarverein Pfaffenhofen e.V. beratend an Bürgermeister (als Stellvertreter der Nachfrageseite) und an WBVs (Stellvertreter der privaten Waldbesitzer = Anbieterseite) herantreten, um gebündelt Informationen zu liefern und Netzwerke zwischen Versorgern und Nutzern zu schaffen. Als externe Berater hinsichtlich nachhaltiger Nutzung, Nährstoffmanagement, Lagerung, Aufbereitung etc. könnten die Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) in Freising und das Technologie- und Förderzentrum (TFZ) in Straubing eingebunden werden. Beide wirken unterstützend im Berater-Netzwerk LandSchafttEnergie des StMELF und StMWi. Weitere Informationen hierzu gibt es unter folgenden Links:
 - <http://www.lwf.bayern.de/forsttechnik-holz/holzverwendung/065671/index.php>
 - <http://www.tfz.bayern.de/landschafttnergie/>
 - <https://www.landschafttnergie.bayern/>

Auf dieser Basis könnten potenzielle neue Standorte identifiziert und neue Anlagen zur regionalen Wärme- und oder Energieversorgung aus Waldhackschnitzeln realisiert werden.

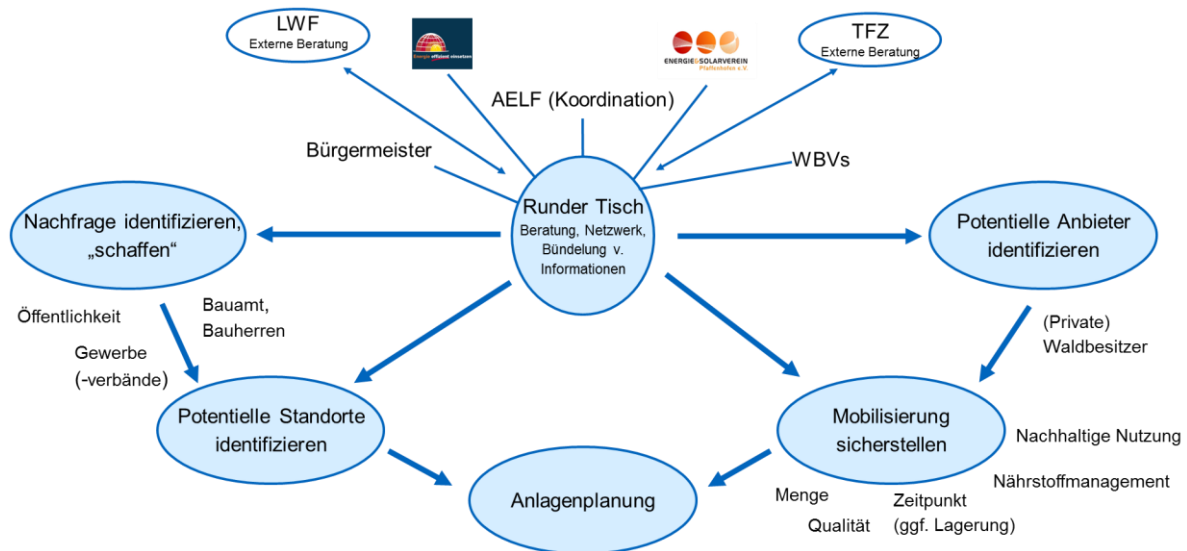


Abbildung 19: Beispielhaftes Konzept eines runden Tisches zur Umsetzung von regionalen Energieversorgungs-konzepten auf Basis von Waldhackschnitzeln

5.5.4 Nutzung und Potenziale von Sägenebenprodukte

Fazit

- Alle anfallenden Sägenebenprodukte in den untersuchten Landkreisen werden bereits genutzt. Ein ungenutztes Potenzial besteht nicht.
- Die 2017 in den Landkreisen thermisch verwerteten Mengen an Sägenebenprodukten führten zu Einsparung von ca. 700 t Treibhausgasen (Referenzprodukt Erdgas) bzw. von knapp 1.000 t Treibhausgasen (Referenzprodukt Erdöl) ein.
- Alternative Verwertungsmöglichkeiten ergeben sich hinsichtlich der Mengen, die an den Holzhandel außerhalb der Landkreise fließen.

Empfehlungen

- Die Verwertung der an den Handel in anderen Landkreisen abgegebenen Mengen im eigenen Landkreis könnte die regionale Wertschöpfung steigern und entweder direkt Heizungsanlagen oder Holzvergasungsanlagen befeuern, oder zur Produktion von Pellets verwendet werden. Die Wärmeerzeugung aus Pellets erzeugt eine hohe Rentabilität und Wertschöpfung, welche anderen Holzheizsystemen überlegen ist.

5.5.5 Nutzung und Potenziale von Industrierestholz

Fazit

- Das anfallende Industrierestholz wird bereits zu 100% in den untersuchten Landkreisen genutzt. Ein ungenutztes Potenzial besteht nicht.
- Im Jahr 2017 sparte die thermische Verwertung von Industrierestholz ca. 2.000 t Treibhausgase (Referenzprodukt Erdgas) bzw. ca. 2.700 t Treibhausgase (Referenzprodukt Erdöl) ein.

Empfehlungen

- Die thermische Verwertung im eigenen Betrieb bzw. für eigene angeschlossene Wohnräume stellt hinsichtlich regionaler Wertschöpfung und Treibhausgasemissionen eine optimale Nutzung von Industrierestholz dar.
- Hackschnitzelfeuerungen weisen im Vergleich zu anderen Holzfeuerungen geringere Wärmegestehungskosten auf und sind aus Endkundensicht zu empfehlen

5.5.6 Nutzung und Potenziale von Gebrauchtholz

Fazit

- Kommunales Gebrauchtholz wird in den untersuchten Landkreisen bereits effektiv erfasst.
- Das anfallende Gebrauchtholz wird zu 100% außerhalb der untersuchten Landkreise genutzt.
- Ob eine Verschiebung von Stoffströmen zwischen unterschiedlichen Landkreisen aus ökologischer und ökonomischer Sicht sinnvoll ist, kann nur auf Basis einer überregionalen Analyse entschieden werden.
- Durch die Verbrennung in Biomasseheizkraftwerken werden Treibhausgase eingespart, indem fossile Energieträger ersetzt werden.

Empfehlungen

- Durch eine (mehrfache) stoffliche Kaskadennutzung vor der Verbrennung können die Umweltwirkungen weiter reduziert werden. Die stoffliche (Mehrfach-)Nutzung ist daher einer rein energetischen Nutzung vorzuziehen. Da die stoffliche Nutzung nur mit sauberem und nicht mit verunreinigtem Holz möglich ist, muss bei der Erfassung auf eine effiziente Sortierung geachtet werden.

5.5.7 Nutzung und Potenziale von Landschaftspflegeholz

Fazit

- Das gesamte Aufkommen an kommunalem holzigen Grünschnitt und Landschaftspflegeholz wird in Form von Hackschnitzeln außerhalb der untersuchten Landkreise in Biomasseheizkraftwerken verwertet.
- Durch die Verbrennung in Biomasseheizkraftwerken werden Treibhausgase eingespart, indem fossile Energieträger ersetzt werden.
- Beim Landschaftspflegeholz besteht ein, aufgrund der Datenlage zwar schwer bezifferbares, aber nicht vernachlässigbares zusätzliches Potenzial.

Empfehlungen

- Mit entsprechender Aufbereitung (mobiles Hacken) und energetischer Verwertung ist die Bereitstellung von Energie aus Landschaftspflegeholz als ökologisch und ökonomisch vorteilhaft zu bewerten.
- Eine Verbrennung oder Kompostierung von Landschaftspflegematerial direkt auf der Fläche sollte möglichst vermieden werden.

6 Teilprojekt: Aufkommen und energetische sowie stoffliche Verwertungsmöglichkeiten von Klärschlamm sowie landwirtschaftlichen und gewerblichen Abfällen

6.1 Definition, Herkunft und Mengen der Reststoffe

Als Basis für die Entwicklung von möglichen Konzepten und Strategien zur Reststoffnutzung ist eine klare Abgrenzung der verschiedenen Stoffe von großer Bedeutung. Im Rahmen dieser Ausarbeitung werden im Folgenden Reststoffe aus der Landwirtschaft, der verarbeitenden Industrie und Gewerbe, nachwachsende Rohstoffe und sonstige Reststoffe (Klärschlamm) unterschieden und betrachtet. Eventuelle Importe oder Exporte von Reststoffen werden innerhalb dieser Ausarbeitung nicht betrachtet. Zur besseren Nachvollziehbarkeit der Ausführungen dieser eher weniger bekannten Verfahren werden neben der reinen Ergebnisdarstellung auch Erfassungs- und Berechnungswege beschrieben.

Im Fokus dieses Kapitels steht die Art und Herkunft der im Projektgebiet vorkommenden Reststoffquellen. Betrachtet werden dabei auch das Aufkommen und das Energiepotenzial der identifizierten Reststoffmengen. Als potenzielle Quellen werden in diesem Abschnitt drei Sektoren unterschieden. Den ersten Sektor bildet die Landwirtschaft, bei welcher die Substrate Gülle, Ernterückstände und Ernteerträge von Dauergrünland sowie nachwachsende Rohstoffe differenziert untersucht werden. Den zweiten Sektor bilden die verarbeitende Industrie und das Gewerbe. Im dritten Sektor wird das Klärschlammaufkommen betrachtet.

Grundsätzlich wird Biomasse dabei in die vergärbare und die feste brennbare Biomasse unterteilt. Als vergärbare Biomasse werden nachwachsende Rohstoffe (NawaRo) bezeichnet, wie z. B. Mais- und Grassilage, Pflanzen und Pflanzenbestandteile, die in Land- und Forstwirtschaftspflege anfallen und weder aufbereitet noch verändert sind. Aber auch Abfall wie z. B. Bioabfälle, Gülle oder Grünschnitt werden als Biomasse in Biogasanlagen verwertet. Die Aufbereitung von fester, brennbarer Biomasse geschieht bei der Verbrennung dieser in Holz(heiz)kraftwerken, Biomasseheiz(kraft)werken und in Biokraftstoffraffinerien. Für die Verbrennung werden u.a. Holzreste (aus Sägewerken), Reststroh, Mais, Zuckerrüben, Raps, Palmöl oder auch Weizen verwendet.

Bei der Betrachtung von möglichen Potentialen ist zunächst der Potentialbegriff als solcher abzugrenzen und zu definieren. Im Folgenden werden das theoretische, das technische und das nutzbare Potential unterschieden. Es existieren zwar zahlreiche weitere Kategorisierungen, sie sind im Rahmen dieser Ausarbeitung jedoch entweder nicht sinnvoll oder zu kleinteilig.

Das theoretische Biomassepotential beschreibt die theoretisch nutzbare Menge an Biomasse, die in einer gegebenen Region und einem bestimmten Zeitraum nutzbar ist. Es setzt die Obergrenze der Energiemenge, die durch Biomasse bereitgestellt werden kann, fest. Beschränkungen gibt es nur durch physikalische Nutzungsgrenzen. Das technische Potential ist ein Anteil des theoretischen Potentials unter Abzug von vorhandenen Restriktionen. Diese Einschränkungen können z.B. technischer, gesellschaftlicher, ökologischer, struktureller oder gesetzlicher Natur sein und werden im Einzelnen beschrieben. Das technische Potential beschreibt daher die stofflich und energetisch nutzbare Menge einer Biomasse primär aus technischer Sicht und unter Einbezug von Ort und Zeit. In dieser Ausarbeitung wird insbesondere das technische Brennstoffpotenzial (entweder unmittelbar oder mittelbar in Form von Biogas) beschrieben. Das technische Potenzial enthält jedoch keine Wertung der wirtschaftlich sinnvollen Nutzbarkeit oder Konkurrenzfähigkeit.

6.1.1 Landwirtschaft

Einen wesentlichen Bestandteil der Erzeugung von nutzbarer Biomasse bildet die Landwirtschaft. Bei den Produktionsprozessen fallen zwangsläufig auch organische Reststoffe an. Grundsätzlich kann dabei zwischen tierischen und pflanzlichen Reststoffen unterschieden werden. Die Art, Menge und Zusammensetzung hängt von vielen verschiedenen Faktoren ab, wie beispielsweise dem Ernteverfahren, der anschließenden Nutzung oder der Form der Haltung von Nutztieren. Eine allgemeingültige Aussage zu den anfallenden Reststoffen ist daher nur bedingt zu treffen und eine Abweichung in der Realität mit einer hohen Wahrscheinlichkeit einzuschätzen.

Die Landwirtschaft stellt im Projektgebiet die dominante Flächennutzungsform dar. Für einen einleitenden Überblick wurden zu Beginn der Betrachtung zunächst grundlegende Daten wie vorhandene Flächen und ihre Bewirtschaftung und weitere allgemeine Informationen erhoben.

In Summe werden ca. 94.000 ha der Fläche in den Landkreisen Pfaffenhofen a. d. Ilm und Neuburg.-Schrobenhausen als landwirtschaftliche Betriebsfläche genutzt. Bewirtschaftet werden diese Flächen von ca. 2.400 Betrieben, entweder als Ackerland, Grünland oder als sonstige Betriebsflächen. Vorherrschend ist jedoch der Ackerbau, welcher auf insgesamt 81.000 ha betrieben wird und vorrangig durch Getreideanbau geprägt ist. Neben dem Ackerbau bildet die Viehwirtschaft die grundlegende Säule der Landwirtschaft. Daher ergibt sich in diesem Bereich ein großes Potential aus der energetischen Nutzung landwirtschaftlicher Roh- und Reststoffe wie Stroh und Gülle, aber auch aus der Nutzung von Dauergrünland oder den Anbau von Energiepflanzen. Die Aufkommen und damit einhergehenden Potentiale werden im Folgenden näher betrachtet.

6.1.2 Tierische Exkremente

Tierische Exkremente, im Folgenden auch vereinfacht „Gülle“ genannt, fallen u. a. bei Lebensmittelproduktion mit Nutztieren an. Gemäß der EU-Verordnung 1069/2009 ist „Gülle“: Exkremente und/oder Urin von Nutztieren abgesehen von Zuchtfisch, mit oder ohne Einstreu. Für eine Einschätzung des Reststoffaufkommens solcher Gülle im Projektgebiet wurden zunächst die Nutztierzahlen ermittelt. In den Landkreisen Pfaffenhofen a. d. Ilm und Neuburg-Schrobenhausen wurden zum Stichtag 01.03.2016 insgesamt ca. 250.000 Nutztiere gehalten. In der Tabelle 32 sind die landwirtschaftlichen Betriebe und Tieranzahlen, nach Tierarten sortiert, aufgeführt.

Tabelle 32: Anzahl landwirtschaftlicher Betriebe und Anzahl der dort gehaltenen Tiere in den Landkreisen Pfaffenhofen a.d.Ilm und Neuburg Schrobenhausen.

Landkreise Pfaffenhofen a.d. Ilm und Neuburg-Schrobenhausen Stichtag 01.03.2016	Anzahl landwirtschaftlicher Betriebe mit Viehhaltung	Anzahl Tiere
Rinder	744	46.768
Kühe	610	18.048
Milchkühe	488	16.343
Andere Kühe	145	1.705
Kälber und Jungrinder bis unter 1 Jahr	692	13.777
Männliche Kälber und Jungrinder bis unter 1 Jahr	569	5.371
Weibliche Kälber und Jungrinder bis unter 1 Jahr	625	8.406
Rinder 1 bis unter 2 Jahren	702	11.885
Männliche Rinder 1 bis unter 2 Jahren	337	3.733
Weibl. Rinder 1 bis u. 2 Jahren (nicht abgekalbt)	635	8.152
Rinder 2 Jahre und älter	553	3.058
Männliche Rinder 2 Jahre und älter	126	295
Weibl. Rinder 2 Jahre und älter (nicht abgekalbt)	521	2.763
Schweine	262	69.867
Ferkel	106	22.878
Zuchtsauen	111	6.175
Andere Schweine	236	40.814
Schafe	111	5.588
Schafe unter 1 Jahr	82	1.966
Mutterschafe	103	3.369
Milchschafe	3	0
Andere Mutterschafe	100	0
Schafböcke, Hammel und andere Schafe	80	253
Ziegen	35	482
Weibliche Ziegen zur Zucht	21	170
Andere Ziegen	32	268
Einhufer	177	1.766
Hühner	512	128.347
Junghennen	18	0

Legehennen	501	37.201
Masthühner und -hähne	20	0
Sonstiges Geflügel	32	2.437
Gänse	16	0
Enten	22	100
Truthühner	13	0

Bei Betrachtung der reinen Individuenzahlen ist ersichtlich, dass das Geflügel am mit ca. 130.000 Individuen die zahlreichste Tierart ist. Gefolgt wird diese von den ca. 70.000 Schweinen und 46.000 Rindern. In der Gruppe der Rinder werden zudem noch Milchkühe unterschieden. Ihr Anteil beträgt ca. 39 %. Die Anteile der jeweiligen Tierarten sind in der Abbildung 1 dargestellt. Es ist darin ersichtlich, dass im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen der Anteil an Geflügel dominiert, während im Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm die Schweinehaltung am stärksten ausgeprägt ist.

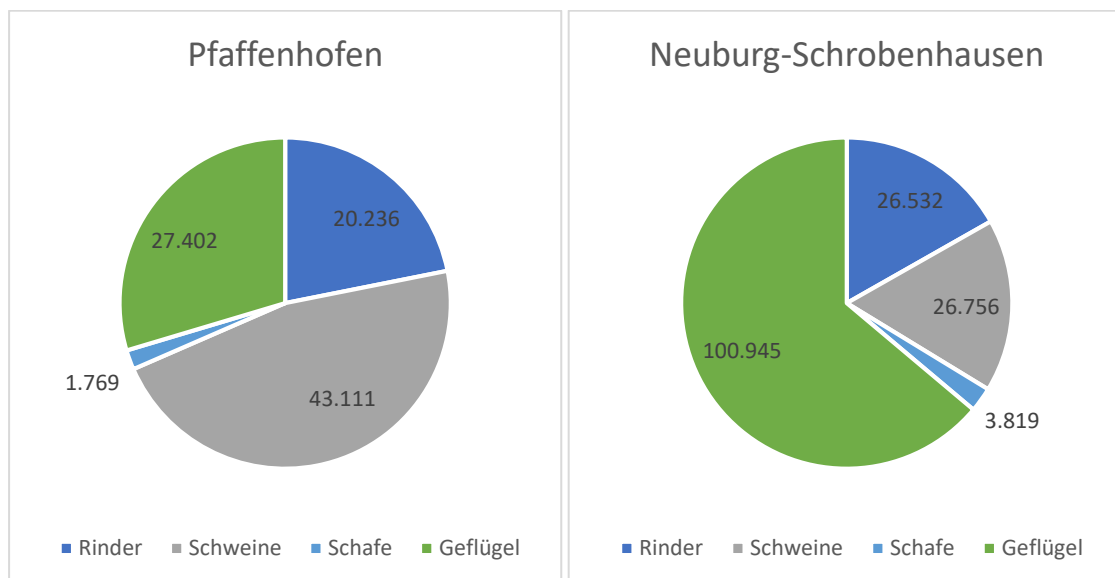


Abbildung 20: Anzahl der verschiedenen Nutztiere in den landwirtschaftlichen Betrieben im Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm und Neuburg Schrobenhausen

Aus den ermittelten Nutztierzahlen lassen sich die jährlichen Güllemengen ableiten. Die Annahmen dazu sind in der Abbildung 20 aufgeführt. Es wird deutlich, dass die Rinderhaltung die größte Menge an verwertbaren Exkrementen erzeugt.

Tabelle 33: Jährliche Güllemengen der verschiedenen Nutztierarten in den Landkreisen Pfaffenhofen a.d.Ilm und Neuburg-Schrobenhausen.

Tierart	Güllemenge m ³ /Tier und Jahr	Güllemenge pro Jahr und Tier]	Güllemenge gesamt pro Jahr in t
Milchkühe	20	20,6	336.666
Andere Kühe	18	18,5	31.611
Kälber und Jungrinder bis unter 1 Jahr	9,3	9,6	131.970
Rinder 1 bis unter 2 Jahren	7,1	7,3	86.915
Rinder 2 Jahre und älter	7,1	7,3	22.363
Ferkel	0,6	0,6	14.139
Zuchtsauen	3,6	3,7	22.897
Andere Schweine	1,5	1,5	63.058
Hühner		0,1	13.942

Das wesentliche energetische Potential der Nutztierhaltung besteht in der Verwertung der Exkremete. In der Vergangenheit wurde Gülle häufig als Monosubstrat eingesetzt, um Nährstoffe besser pflanzenverfügbar zu machen und die Geruchsemissionen zu verringern. Mit dem EEG 2004 stellten viele Anlagenbetreiber auf die so genannte Trockenfermentation um. Dafür wurde der Technologiebonus in Höhe von 2 ct/kWh gezahlt. Voraussetzung war eine Vergärung von ausschließlich stapelfähiger Biomasse, in der Regel Silage und/oder Festmist. Mit der EEG Novelle 2009 wurde diese Formulierung aus dem Gesetz entfernt und stattdessen der Einsatz von Gülle insbesondere in kleineren Anlagen mit einem sehr attraktiven Bonus belegt. Der in dem geringen TS-Gehalt begründete hohe Volumenbedarf der Gülle und die damit höheren Baukosten einer Biogasanlage werden durch diesen Bonus aufgefangen.

Der Betrieb einer Biogasanlage ist daher unter den aktuellen gesetzlichen Rahmenbedingungen vor Allem für landwirtschaftliche Betriebe mit Viehhaltung wirtschaftlich. Dieser Umstand wird bei den nachfolgenden Betrachtungen berücksichtigt und spielt auch in der Konzeption zur Wärmeversorgung von touristischen Standorten mit Bioenergie eine wichtige Rolle. Es kann sich dabei lediglich um dezentrale Lösungen in der Nähe von landwirtschaftlichen Betrieben handeln. Dennoch stellt diese Form der Biomassenutzung derzeit die wirtschaftlich attraktivste Variante dar, zumal eine sinnvolle Wärmenutzung nochmals gesondert vergütet wird, wodurch Investitionen in Leitungen ermöglicht werden, die erst den nötigen Abstand zwischen Biogaserzeugung und Wärmenutzung bringen. Bei der Ermittlung des Biogaspotenzials aus den Exkrementen der Nutztierhaltung ist zu beachten, dass der Biogasertrag von verschiedenen Faktoren abhängig ist. Die Zusammensetzung der Gülle und die daraus resultierende Gasmenge ist abhängig von:

- der Nutzungsrichtung
- der Aufstallungsform
- der Fütterung
- den Verlusten durch Verdunstung von Ammoniak und Wasser
- den Einstreu- und Futterrestmengen
- der Niederschlags- und Reinigungswassermenge

- saisonalen Schwankungen durch Futterumstellung

Auf Grundlage des statistisch erfassten Nutztierbestandes lässt sich der Methanertrag mit geeigneten Richtwerten der KTBL- Datensammlung berechnen. Die Richtwerte für Rinder- und Schweinegülle sowie Geflügelkot sind in der Tabelle 34 zusammengefasst

Tabelle 34: Richtwerte zur Berechnung des Methanertrages [eigene Darst. nach Kunz 2004 und KTBL 2005]

Richtwert	Rindergülle	Schweinegülle	Geflügelkot
Dichte Gülle (t/m ³)	1,03	1,03	0,5
TS-Gehalt (%)	8 %	6 %	32 %
oTS-Gehalt (%)	80 %	80 %	72 %
Biogasertrag (m ³ /t oTS)	280	400	-
Methangehalt (%)	55 %	60 %	60 %
Heizwert (kWh/m ³)	10	10	-

Über diese Ausgangswerte und die in der 5 aufgeführten Mengen lässt sich das Biogaspotential der Reststoffe und daraus wiederum der potenzielle Energiegehalt ableiten. Die Berechnung der theoretischen Energiemenge aus Rinder-, Schweinegülle und Hühnerkot ist in Tabelle 35 dargestellt. Dieses Potenzial stellt gleichzeitig das technisch nutzbare Potenzial dar. Die Humusbilanz der Felder wird durch die Humusreproduktion der Ernterückstände gewährleistet, so dass zusätzlich kein Wirtschaftsdünger ausgebracht werden muss. Ebenfalls wird eine Annahme von 365 Stalltagen für Rinder und Schweine getätigt, so dass die gesamte Güllemenge im Jahr verfügbar ist. Die Mistproduktion von Pferden wird in dieser Betrachtung vernachlässigt. Somit können aus den regionalen Exkrementen der Nutztiere rund 125,3 GWh Energie erzeugt werden, wobei über 80 % aus der Rindergülle stammen.

Tabelle 35: Berechnung der Energiemenge aus Rinder-, Schweinegülle und Hühnerkot [eigene Darstellung nach KTBL]

	Rindergülle	Schweinegülle	Hühnerkot	Summe
Menge	609.525 t	100.093 t	13.942 t	723.559 t
Methangehalt	55%	60%	55%	
Biogasertrag	18,529 Mio Nm ³	2,017 Mio Nm ³	2,091 Mio Nm ³	
Energiegehalt	101,708 GWh	12,083 GWh	11,477 GWh	125,268 GWh

Das zusätzlich nutzbare Potenzial muss um den heutigen Stand der Wirtschaftsdünger-Nutzung verringert werden. Dieser Anteil bewegt sich zwischen 17 und 23 %, weshalb hier zunächst ein pauschaler Abzug von 20% vorgenommen wird. Es verbleiben in Summe immer noch über 100 GWh.

Im Zeitraum von Februar bis April 2019 wurde eine Befragung über den Fachverband Biogas e.V. und die renergie Allgäu e.V. zur detaillierten Nutzung von Wirtschaftsdüngern in Bayern durchgeführt.

Empfänger bzw. Auftraggeber war das Bayerische Landwirtschaftsministerium, das bis zur Erstellung dieses Berichtes die Ergebnisse noch nicht freigegeben hatte.

Auswirkungen RED II (Erneuerbare-Energien-Richtlinie der EU) : Die Methodik der Treibhausgasbilanzierung bei Gülle wurde in der RED II auf den neuesten Stand gebracht und die vermiedenen Gülleemissionen durch die Vergärung bestätigt.

In einer vorgegebenen Formel werden zunächst die Gesamtemissionen bei der Verwendung des Kraftstoff über die Addition aller Emissionsbestandteile bei der Gewinnung, Anbau, Verarbeitung, Transport, Vertrieb und Nutzung der Rohstoffe sowie infolge der jeweiligen Landnutzungsänderungen addiert und alle Einzelbestandteile der Emissionseinsparungen z.B. infolge besserer landwirtschaftlicher Bewirtschaftungspraktiken oder Abscheidung und geologischer Speicherung von Kohlendioxid wieder subtrahiert.

Neu eingeführt und festgelegt wurden Standardwerte für Biogas und Biomethan aus Gülle sowie Misch-Standardwerte für Biogas aus Mais & Gülle (Mischungsverhältnisse Gülle:Mais = 80:20, 70:30, 60:40) und auch Bioabfall und Gülle. Substrate können also zukünftig gemischt und bilanziell wieder auseinander gerechnet werden. Für den Anbau von anderen Energiepflanzen wie etwa Gras, Zuckerrüben oder Ganzpflanzensilage wurden noch keine Werte festgelegt.

Die neu eingeführten Gutschriften für vermiedene Methanemissionen sowie für die Düngewirkung der Gärprodukte werden die Vergärung weiter auf. Allerdings fehlen bislang die konkreten Vorgaben für die nationale Umsetzung. Dennoch ist damit zu rechnen, dass der Verwertungsweg landwirtschaftlicher Reststoffe zu Biogas und Biomethan über die RED II eine erhebliche Ausweitung und eine Verschiebung in Richtung der Nutzung im Kraftstoffmarkt erfahren wird.

6.1.3 Landwirtschaftliche Reststoffe

Neben den Exkrementen aus der Nutztierhaltung fallen noch weitere Reststoffe in der Landwirtschaft an. Den bedeutendsten pflanzlichen Reststoff stellt Stroh dar, welches im Zuge des Getreideanbaus bzw. -nutzung anfällt. Ausgangspunkt für die Ermittlung des Strohaufkommens in dem Projektgebiet ist die vorhandene Agrarstruktur. Von den ca. 81.000 ha landwirtschaftlich genutzter Fläche werden ca. 81 % mit dem Anbau von Getreide zur Körnergewinnung bewirtschaftet. Für die Ermittlung des Strohpotentials sind nur Feldfrüchte von Bedeutung, bei denen das Stroh energetisch verwertet werden kann. Dazu zählt neben verschiedenen Getreidesorten auch der Raps. Über die Ernteerträge der vergangenen Jahre und dem durchschnittlichen Korn-Stroh-Verhältnis lässt sich das theoretische Strohpotential ermitteln. In der Tabelle 36 sind die durchschnittlichen Korn- und Stroherträge aus den Jahren 2016 und 2017 aufgeführt. Mit diesen Werten und dem Stroh-Korn-Verhältnis lässt sich der Strohertrag für die jeweiligen Flächen ermitteln.

Tabelle 36: Durchschnittliche Korn- und Stroherträge (der Jahre 2016 und 2017) sowie Anbauflächen in den Landkreisen Pfaffenhofen und Neuburg-Schrobenhausen. [Bayrisches Landesamt für Statistik 2019], eigene Darstellung

	Durchschnittlicher Korntrag [t/ha]	Anbaufläche [ha]	Stroh:Korn Verhältnis	durchschnittlicher Strohertrag [t/ha]	Strohertrag [t]
Winterweizen	7,57	13.902	0,80	6,06	84.191
Roggen	6,09	3.731	0,90	5,48	20.433
Hafer	5,32	641	1,10	5,86	3.753
Sommergerste	5,58	1.758	0,80	4,46	7.841
Wintergerste	7,58	5.876	0,70	5,30	31.157
Winterraps	4,23	2.428	1,70	7,19	17.449
Summe		28.336			164.824

Auf den insgesamt 28.336 ha Anbaufläche ist mit einem Strohanfall von ca. 164.824 Tonnen zu rechnen. Aus Bodenschutzgründen ist jedoch davon abzuraten das gesamte Stroh, welches bei der Ernte anfällt, vom Feld zu entfernen. Um den Nährstoffhaushalt des Bodens nicht aus dem Gleichgewicht zu bringen, muss laut Cross-Compliance 2009 das Humusbilanzsaldo zwischen -75 und +125 kg Humus-C/ha*a liegen und darf im dreijährigen Durchschnitt den Wert von -75 kg/ha*a nicht unterschreiten. Die exakte Fruchtfolge für die einzelnen Flächen ist nicht bekannt. Es wird also davon ausgegangen, dass die Humusbilanz am Anfang und Ende des Jahres ausgeglichen ist [Cross-Compliance 2009]

Der Humusbedarf von Ölpflanzen und Getreide liegt im Bereich von 280 kg Humus-C/kg*a. Weiterhin ist zu beachten, dass die Humusreproduktion von Stroh bei 100 kg Humus-C/t Stroh liegt. Somit produziert eine Tonne Stroh im Mittel 100 kg Humus-C. Auf den Feldern müssen demnach pro Jahr und Hektar 2,8 t Stroh verbleiben, um die Humusbilanz ausgeglichen zu halten. Von dem theoretisch nutzbaren Potential verbleiben somit nur noch ca. 85.000 Tonnen Stroh zur weiteren Nutzung.

Weitere Restriktionen in der Nutzung des Strohs stellt der Einstreubedarf der landwirtschaftlichen Nutztiere dar. Im Projektgebiet wurden insgesamt ca. 46.500 Rinder (Kälber, Jungrinder und Rinder/Kühe) als Milchkühe oder zur Mast gehalten. Hinzu kommen weitere Nutztiere wie Schweine, Geflügel und Pferde. Für die Ermittlung des Einstreubedarfs wird die Gesamtanzahl der Tiere in Großvieheinheiten (GVE) umgerechnet. Im gesamten Projektgebiet existieren ca. 43.500 GVE. Der mittlere Einstreubedarf wird dabei mit 4 kg Stroh/GVE*d angenommen. Aus der Anzahl der GVE und dem mittleren Einstreubedarf ergibt sich die jährliche Einstreumenge, welche nicht für die energetische Nutzung zur Verfügung steht. Das eingestreute Stroh wird anschließend nicht wieder direkt auf das Feld zurückgeführt. Es wird für die Biogasproduktion als Potential vorgesehen und somit im Folgenden betrachtet. Die Menge beläuft sich auf 63.510 t Einstreustroh pro Jahr.

Neben den genannten Restriktionen gibt es noch eine gewisse Anzahl von weiteren Einschränkungen, wie z.B. Bergeverluste, Nutzung durch nicht erfasste Tiere und sonstige Nutzung, wie z.B. für Privatheizungen oder ähnliches. Da eine konkrete Bezifferung nicht möglich ist, sollen diese Restriktionen Ausdruck in einem frei gewählten Sicherheitsabschlag von 5 % auf das theoretische Potential Berücksichtigung finden. Es bleibt somit ein potenzieller Strohanfall von ca. 17.750 Tonnen pro Jahr. Bei einem mittleren Heizwert für Stroh (mit Wasseranteil) von 14,5 MJ/kg ergibt sich eine

theoretische Wärmemenge von ca. 71,5 GWh. Das Biogaspotential für das eingestreute Stroh beläuft sich wiederum auf weitere 102 GWh.

Ein weiterer bedeutsamer Reststoff aus der Landwirtschaft sind in Teilen der betrachteten Region die Hopfenhäcksel. Der Anfall an Rebenhäcksel kann je nach Betrieb, Sorte und Erntejahr beträchtlich schwanken. Messungen der Landesanstalt für Landwirtschaft Bayern (LFL) bei verschiedenen Sorten über mehrere Erntejahre haben Differenzen von bis zu 100 % ergeben. Für normal entwickelte Bestände gibt die LFL einen Rebenhäckselanfall von 140 dt/ha, bezogen auf 17,5 dt/ha Trockenhopfen (mit Abschlägen für schwächere Bestände oder reine Aromasorten bzw. Zuschlägen für besonders ertragreiche Bestände). Auch das Raumgewicht der Rebenhäcksel schwankt je nach Jahrgang, Sorte und Witterung erheblich. Messungen der LFL haben hier ein Ergebnis für das durchschnittliche Raumgewicht von 0,35 t/m³ ergeben.

Bei der stationären Ernte der Betriebe im Projektgebiet fallen dabei laut Jahresbericht des Hopfenring e.V. jährlich rund 21.000 t Rebenhäcksel an. Etwa 50% davon werden nach Abschluss der Erntearbeiten als Wirtschaftsdünger auf die Felder zurückgebracht, die anderen 50% werden derzeit bereits der Vergärung und der hochwertigen Nutzung als Biomethan zugeführt.

6.1.4 Grünland

Neben der Ackerfläche bildet auch das Grünland mit rund 15.000 ha einen beachtlichen Bestandteil der gesamten landwirtschaftlichen Nutzungsfläche. Das Grünland ist durch vielfältige Nutzungsformen und –intensitäten gekennzeichnet. Neben der intensiven Nutzung zur Silage- oder Heuerzeugung für die Milchviehhaltung oder Rindermast finden auch extensive Bewirtschaftungen statt. Die Milchviehhaltung in der gesamten EU ist in den letzten Jahren kontinuierlich zurückgegangen, so dass große Flächen nicht mehr für die Futterherstellung benötigt werden. Damit werden Grünlandflächen frei, die aus sozioökonomischen, landeskulturellen und naturschutzfachlichen Gründen weder brachfallen, noch in Ackerland oder Wald umgewandelt werden sollten. Die Biomasse des Grünlandes stellt somit ein mögliches Potenzial für die energetische Nutzung als Substrat für die Biogasproduktion dar. In vielen Studien zum Thema Biogaspotential wurden lediglich das Potenzial des Wirtschaftsdüngers und das der Energiepflanzen betrachtet. In dieser Ausarbeitung soll versucht werden das Potenzial des Grünlandes so detailliert wie möglich darzustellen.

12.500 ha der Grünlandflächen sind Wiesen, weitere 2.000 ha Weiden (einschließlich Mähweiden und Almen). Die restlichen Flächen sind entweder aus der Erzeugung genommenes Dauergrünland mit Beihilfe- bzw. Prämienanspruch oder sehr ertragsarmes Dauergrünland und werden daher nicht zum theoretischen Potential gerechnet.

Für die Ermittlung des theoretischen Potentials wird bei der Bewirtschaftung der Wiesen und Weiden von einer 3 bis 5 schürigen Nutzung ausgegangen. Die Biomasseerträge werden anschließend mit dem durchschnittlichen Zuwachs ermittelt.

Tabelle 37: Berechnung der Energiemengen, welche aus Gras von Wiesen und Weiden im Projektgebiet gewonnen werden könnte. [eigene Darstellung, nach KTBL]

Grasernte Wiesen	72.987 t/a
Grasernte Weiden	12.181 t/a
TS-Gehalt	35%
oTS-Anteil	90%
spez. Biogasertrag pro t oTS	600 Nm ³
Methangehalt	53%
Biogasertrag	16,096 Mio Nm ³
Energiegehalt	85,14 GWh

Auch bei der Potenzialermittlung des Dauergrünlandes sind Einschränkungen zu beachten. Als Restriktionen für die Nutzung des Dauergrünlandes sind insbesondere die Futterproduktion für die heimischen Nutztiere (als Weide) und gewisse Bergeverluste bei der Ernte zu erwähnen und mit in die Berechnung einzubeziehen. Eine weitere Einschränkung der Nutzung des Grasschnitts ergibt sich aus der Futterbereitstellung für Rinder, Milchvieh, Schafe und Pferde in Form von Grassilage oder Heu.

Die Bergeverluste werden mit 10 % angenommen und betragen somit ca. 5,96 t/ha. Wodurch das theoretische Energiepotential auf 76,63 GWh sinkt.

6.1.5 Nachwachsende Rohstoffe

Unter nachwachsenden Rohstoffen zur Energieerzeugung versteht man grundsätzlich angebaute Energiepflanzen in land- oder forstwirtschaftlichen Kulturen. Ob eine angebaute Feldfrucht tatsächlich zur Energieproduktion genutzt wird, entscheidet sich in der Praxis häufig erst nach der Ernte und hängt insbesondere von der Nachfrage des Rohstoffs für andere Nutzungsformen, wie z.B. Futtermittel oder der Chemieindustrie, ab. Die energetische Nutzung von Energiepflanzen beläuft sich grundsätzlich auf die drei Sektoren Wärmeerzeugung, Stromproduktion und Verkehr. Innerhalb der erneuerbaren Energien lag der Anteil an Bioenergie im Jahr 2017 bei 23,6 %, an der Wärmeproduktion bei 86,7 % und im Verkehr bei 87,9 %. [Hülksen, C. 2018]

Für die energetische Nutzung bieten sich verschiedene Nutzpflanzen vorrangig an. Für die tatsächliche Wahl müssen jedoch verschiedene Faktoren berücksichtigt werden. Dazu gehören insbesondere die Verwertungstechnik, Ernteerträge und Standorteigenschaften (wie Nährstoffversorgung, Temperaturen, Niederschläge bzw. Wasserverfügbarkeit).

Im Jahr 2016 wurden 7.800 ha im Projektgebiet mit Silomais/Grünmais bewirtschaftet, die auch einer energetischen Nutzung zugeführt werden. Kurzumtriebsplantagen (KUP) werden auf insg. 53 ha angebaut und bilden damit einen marginalen Anteil an der Gesamtfläche.

Da diese Biomassen bereits einer energetischen Nutzung zugeführt werden, sind sie im Rahmen dieser Ausarbeitung nicht als Reststoffquelle einzustufen.

6.1.6 Verarbeitende Industrie und Gewerbe

In ihrer Studie aus dem Jahr 2013 konnten Gaida, Schüttmann et. al. das biogene Reststoffaufkommen in der deutschen Lebensmittel- und Biotechnikindustrie ermitteln. Die Erhebung dieser Daten erfolgte insbesondere durch Interviews bei Unternehmen und durch indirekte Abschätzungen des Anfallenden Reststoffaufkommens. Diese gesamtdeutsche Übersicht spiegelt zwar nicht die Industrie im Projektgebiet wider, bietet jedoch einen ersten Überblick über die wesentlichen Sektoren mit Anfall an biogenen Reststoffen.

Tabelle 38: Übersicht über das biogene Reststoffaufkommen in der deutschen Lebensmittel- und Biotechnik-Industrie (in Mg/a) [Gaida, B., Schüttmann, I, et al. 2013]

Branche	Menge an biogenen Reststoffen	
	[Mg FM/a]	[Mg TS/a]
Schlachten & Fleischverarbeitung	1.500.000	390.000
Fischverarbeitung	100.000	25.000
Obst- & Gemüseverarbeitung	890.000	130.000
Herstellen von pflanzlichen & tierischen Ölen und Fetten	6.900.000	6.100.000
Milchverarbeitung	11.800.000	780.000
Mahl- & Schälmaschinen, Herstellung von Stärke und Stärkeerzeugnissen	4.900.000	1.740.000
Herstellung von Back- und Teigwaren	600.000	470.000
Herstellung von sonstigen Nahrungsmitteln	5.300.000	3.270.000
Herstellung von Futtermitteln	56.000	50.000
Getränkeherstellung	3.100.000	600.000
Tabakverarbeitung	7.800	7.000
Biotechnologie	1.800.000	250.000
Gesamt	36.953.800	13.812.000

Im Bereich der verarbeitenden Industrie und Gewerbe sind im Projektgebiet insbesondere der Lebensmitteleinzelhandel, Brauereien, Gärtnereien und Mensen verschiedener Unternehmen und Einrichtungen hinsichtlich eines möglichen biogenen Reststoffpotentials von Belang.

Da die Auskunftsbereitschaft der Unternehmen sehr indifferent war, musste im Rahmen dieser Ausarbeitung auf Referenzwerte aus einer Studie von Beck et al. (2013) zurückgegriffen werden, um eine sinnvolle Herleitung des Potentials zu ermöglichen. Die Werte der Tabelle 39 beziehen sich auf den Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm.

Tabelle 39: Reststoffaufkommen aus Gewerbe im Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm im Jahr 2013

Supermärkte	Anzahl	52
	Abfallaufkommen (pro Jahr und Filiale)	6,5 t -13,5 t
	Gesamtaufkommen	520 t/a
	Biogaspotential	32.097 Nm ³
	Energiegehalt	320.970 kWh
Mensen	Anzahl Kantinen	39
	Speisereste Kantinen (m ³ /Woche)	0,12 m ³
	Speisereste Kantinen	243,3 t/a
	Sicherheitsabschlag	30 %
	Speisereste Pfaffenhofener Tafel	11,8 t
	Speisereste Bundeswehrrkantine	119,43 t
	Summe Speisereste	300 t
	Methan	18.517 Nm ³
	Energiegehalt	185.176 kWh
Bäckereien / Metzgereien	Anzahl Bäckereien	60
	Anzahl Metzgereien	55
	Schlachtabfälle	429 t/a
	Backabfälle	183 t/a
	Sicherheitsabschlag	30 %
	Energiegehalt	1.213.387 kWh

6.1.7 Klärschlamm

Eine weitere potenzielle Reststoffquelle bilden die Kläranlagen im Projektgebiet. Der dort anfallende Klärschlamm besteht aus organischem Material, welches energetisch genutzt werden kann. Die Informationen über die Kläranlagen der Landkreise Pfaffenhofen a. d. Ilm und Neuburg-Schrobenhausen werden auf Basis der im Umwelt Atlas Bayern verfügbaren Daten ermittelt (BayLfU 2013): Die kommunalen Kläranlagen sind dabei folgendermaßen definiert: „... Kommunale Kläranlagen behandeln häusliches und gewerbliches Abwasser, das in der Regel über die öffentliche Sammelkanalisation zugeführt wird.“ (BayLfU 2013).

Die verfügbaren Daten umfassen folgende für diese Studie relevanten Informationen:

Anlagensystem; Baujahr; Ausbaugröße in EW; Zuständiges WWA; Gewässername; Gewässerkennzahl

In den nachfolgenden Abbildungen werden für die beiden Landkreise die Anlagensysteme der kommunalen Kläranlagen und ihre Häufigkeit dargestellt.

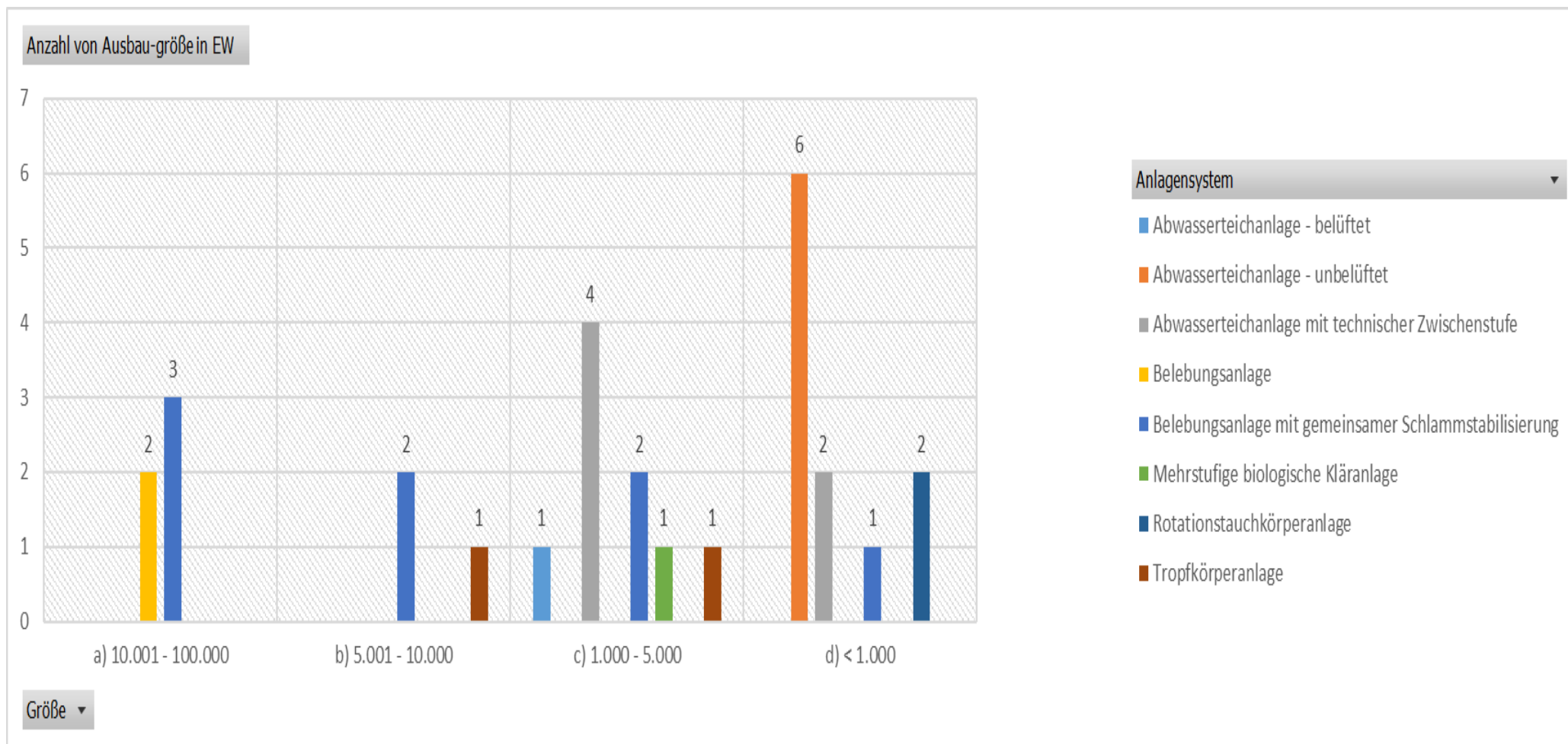


Abbildung 21: Größenordnung und Anlagensystem für den Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm.

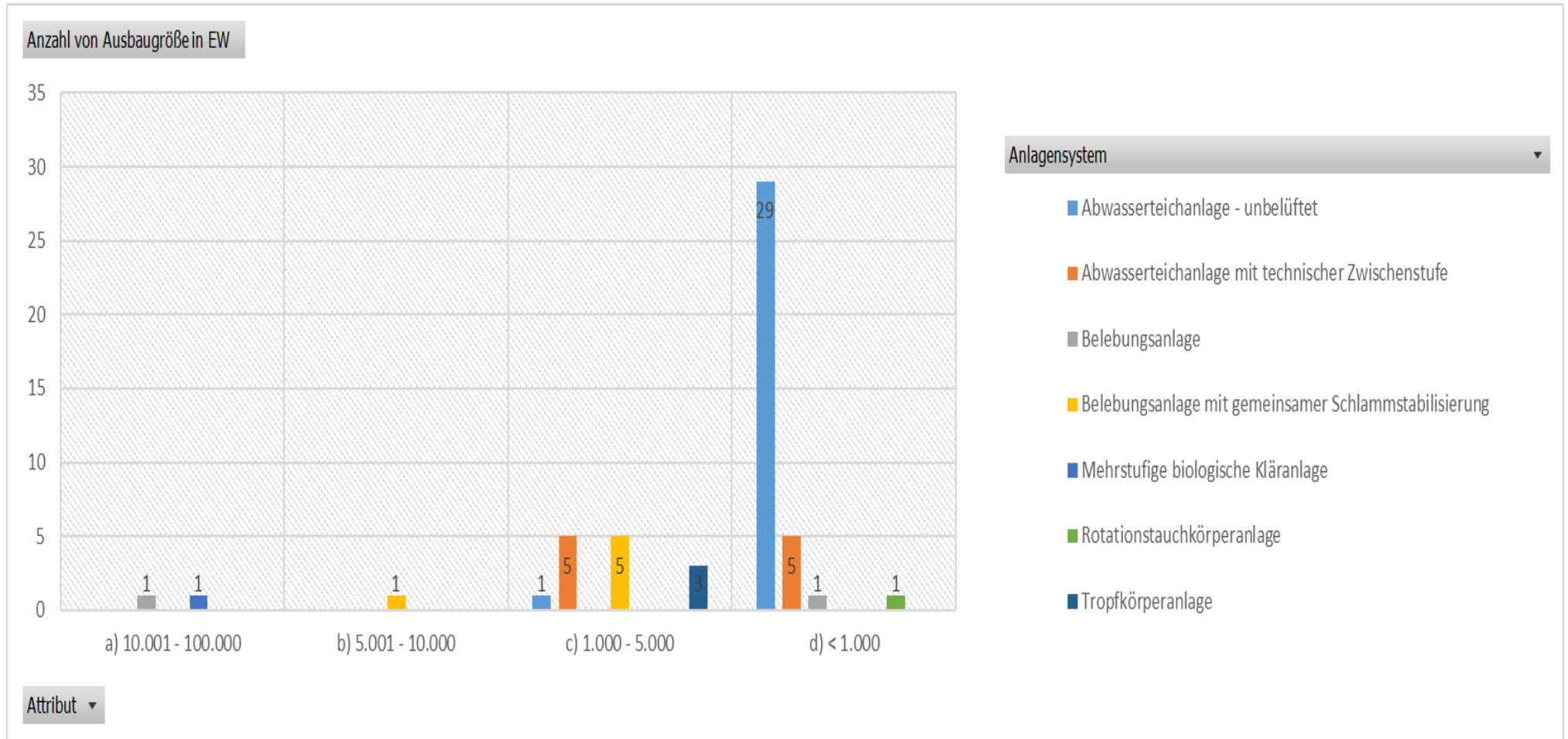


Abbildung 22: Größenordnung und Anlagensystem für den Landkreis Neuburg-Schrobenhausen.

Für die Menge anfallenden Klärschlammes und die Konsistenz sind die einerseits der Einwohnerwert und andererseits das Behandlungsverfahren von Bedeutung. Um eine Abschätzung der Klärschlamm-mengen vornehmen zu können sind die Summen der Ausbaugröße der Anlagen in EW, unterteilt nach Landkreisen und Anlagensystem, in folgender Grafik dargestellt. Die Daten werden um die Anzahl der je Landkreis und Anlagensystem installierten kommunalen Kläranlagen ergänzt.

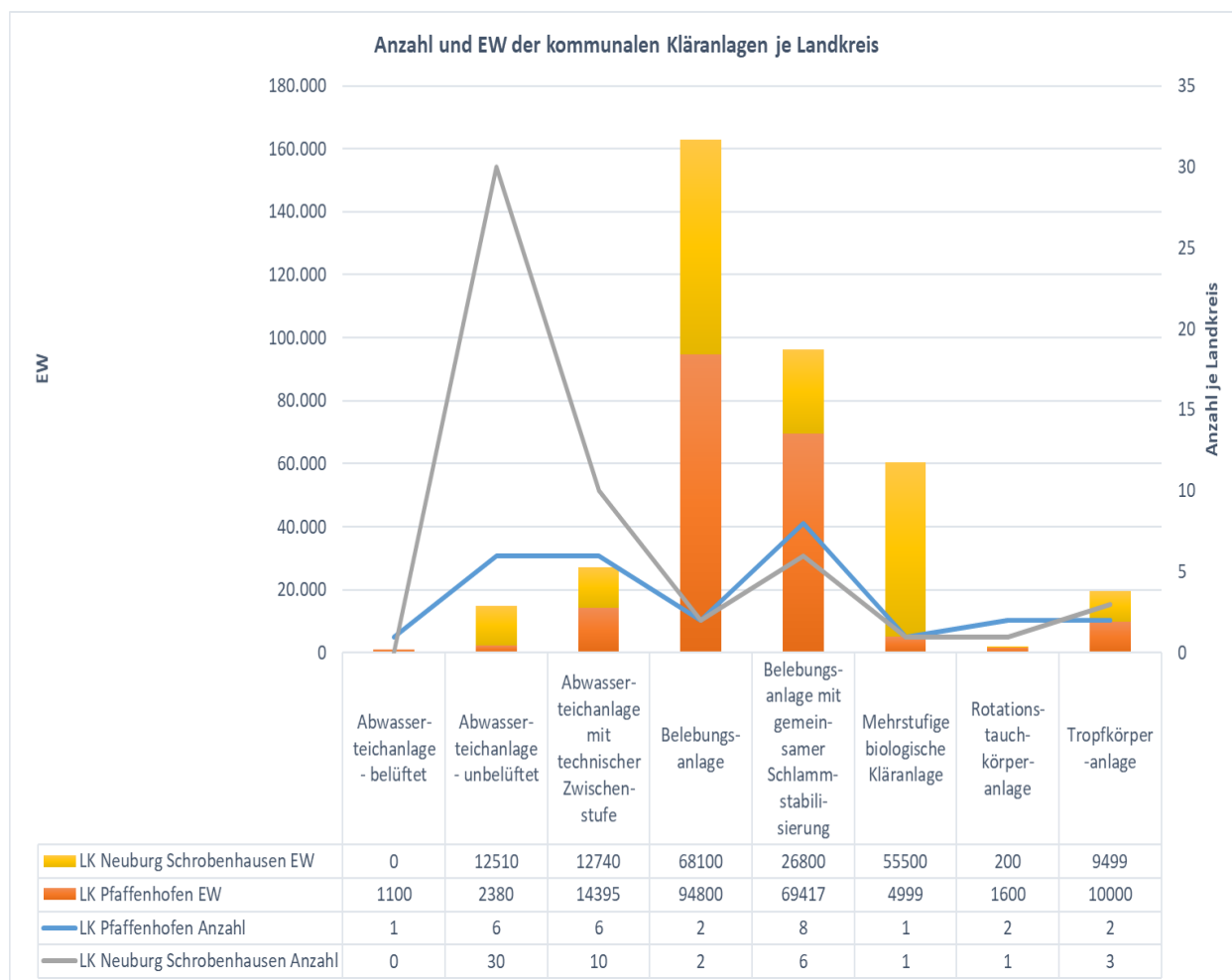


Abbildung 23: Anzahl und Einwohnerwerte (EW) der kommunalen Kläranlagen je Landkreis, eigene Darstellung mit Daten aus BayLfU 2013.

Die anfallende Masse an Klärschlamm wird basierend auf DWA 2015 abgeschätzt. Hier ist für die biologische öffentliche Abwasserbehandlung in Deutschland für das Jahr 2010 eine spezifische Klärschlammmenge von 15,8 kg TR/(EW*a) angegeben. (DWA 2015)

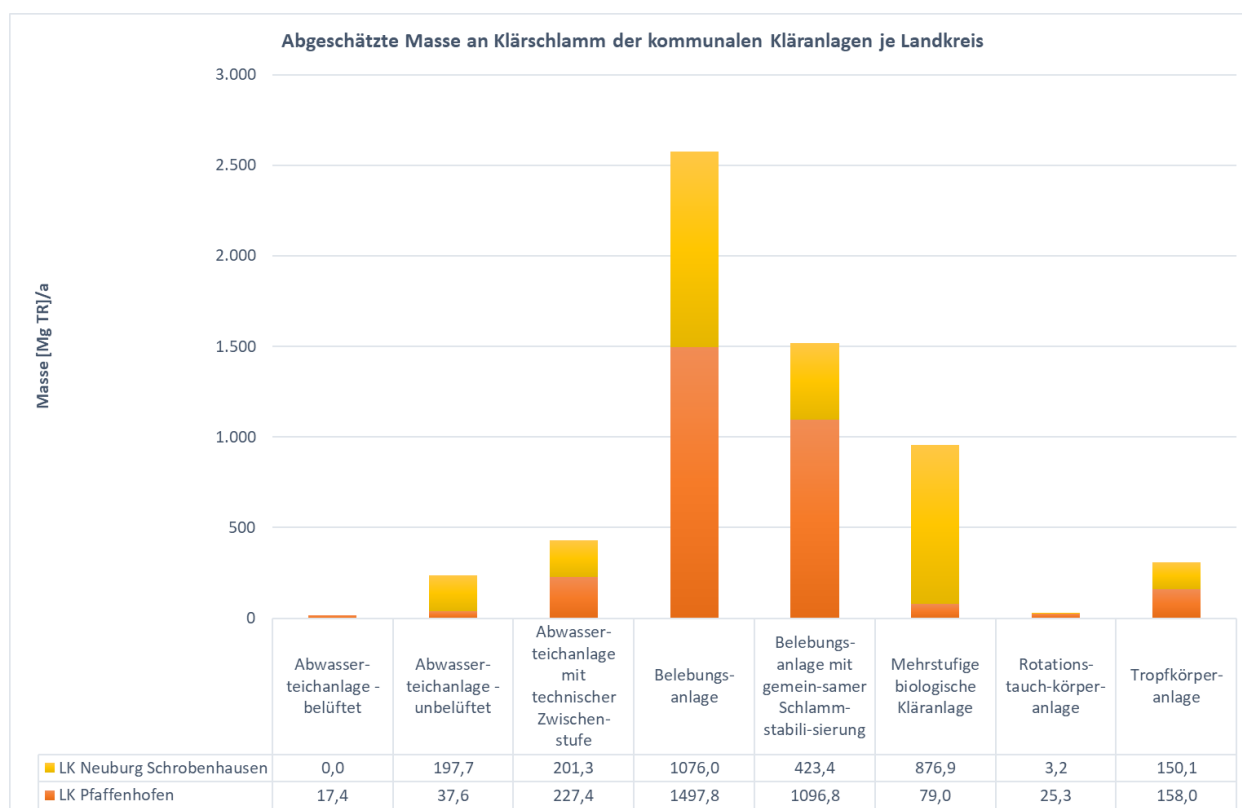


Abbildung 24: Abgeschätzte Masse an Klärschlamm bezogen auf TR der kommunalen Kläranlagen je Landkreis, eigene Darstellung mit Daten aus BayLfU 2013 und DWA 2015.

Es ist zu erkennen, dass im gesamten Projektgebiet ca. 6.000 t Klärschlamm in den unterschiedlichen Aufbereitungsanlagen anfallen.

6.2 Verwertungsmethoden und Bilanzen

Für die sinnvolle Verwertung der anfallenden Reststoffe im Projektgebiet bieten sich verschiedene Verfahren an, welche im Folgenden näher betrachtet werden sollen. Im Speziellen werden dabei die ökonomischen, CO₂- und Energiebilanzen der verschiedenen Verwertungsmethoden untersucht. Einschränkend wirken die diversen Unsicherheiten, wie beispielsweise die Einsatzstoffmengen und -zusammensetzungen, anlagenspezifische Eigenschaften oder die Kosten- und Erlösstrukturen, welche jedoch allesamt einen enormen Einfluss auf die jeweiligen Ergebnisse haben können. Als Entscheidungsgrundlage sind daher in jedem Falle standortbezogene Einzelbetrachtungen und individuelle Ganzkostenanalysen durchzuführen. Die hier betrachteten Verfahren sind die Hydrothermale Carbonisierung (HTC), die Pyrolyse und die Holzvergasung. Bei allen drei Verfahren handelt es sich um Thermochemische Konversionsverfahren. Neben der technischen Konfiguration der Anlagen, liegen die Unterschiede im Wesentlichen in der Prozesstemperatur und Verweildauer der Produkte, sowie der Sauerstoff- und Wasserzufuhr. Die Produkte der verschiedenen Verfahren sind sehr ähnlich, unterscheiden sich aber deutlich in ihren Masseanteilen.

Tabelle 40: Eigenschaften der thermochemischen Konversionsverfahren. (Teichmann 2014)

	Hydrothermale Carbonisierung	Pyrolyse	Vergasung	Verbrennung
Temperaturbereich	< 250 °C	250 – 600 °C	>600 °C	>700 °C
Anteil Kohle	50 – 80 %	12 – 35 %	10 %	Nur Asche
Anteil Öle	5 – 20 %	30 – 75 %	5 %	Wasser
Anteil Gase	2 – 5 %	13 – 35 %	85 %	CO ₂

Die verschiedenen Produkte der Verfahren können auf unterschiedliche Weise genutzt werden. Die entstehende Kohle wird häufig auch Biokohle oder Pflanzenkohle genannt, sofern sie aus biogenen Eingangsstoffen erzeugt wurde. Sie entspricht in etwa der allgemein bekannten Holzkohle, mit dem Unterschied, dass sie aus nahezu jeglicher Biomasse erzeugt werden kann. Die Verwendungsmöglichkeiten dieser Biokohle sind vielfältig. Wie Holzkohle kann auch die Biokohle energetisch genutzt werden, andere Möglichkeiten sind die Einbringung in den Boden zur Verbesserung der Bodenqualität und zur langfristigen Bindung von CO₂. Der Einsatz als Dünger geht zudem mit einer erhöhten Produktivität der Landwirtschaft einher, da der Kohlenstoff die Nährstoff- und Wasserspeicherkapazität des Bodens verbessern kann. Die Qualität und Eigenschaften der industriell hergestellten Biokohle werden von verschiedenen Einflussfaktoren bestimmt. Den wesentlichen Anteil hat dabei neben dem Ausgangsstoff das Herstellungsverfahren. Biokohlen aus der HTC sind dabei weniger stabil im Vergleich zu jenen aus der Pyrolyse. Letztere eignen sich daher besser für eine Einbringung in den Boden, während die Biokohle aus der HTC sinnvoller energetisch genutzt werden kann. Es ist jedoch auch der Eingangsstoff zu beachten, welcher über den Anteil an Nährstoffen in der Biokohle entscheidet.

6.2.1 Hydrothermale Carbonisierung

Ein Verfahren zur Verwertung von organischen Reststoffen ist die Hydrothermale Carbonisierung (HTC). Unter HTC, wird die physikochemische Verkohlung von organischen Stoffen in wässriger Lösung und unter Einfluss von hoher Temperatur und erhöhtem Druck verstanden. Erstmals schriftlich beschrieben wurde dieser Prozess durch (Bergius 1913), in seinen Worten als technische Nachbildung für den Entstehungsprozess der Steinkohle, wobei Ernst Wilhelm von Leibniz (1958) erstmalig die Notwendigkeit von heißem, unter Druck liegendem Wasser oder Dampf für die Reaktion aufzeigte (Reza et al 2014).

Für den HTC-Prozess werden die natürlichen Vorgänge der Torf- und Kohleentstehung durch technische Mittel beschleunigt und aus nasser oder mit Wasser vermengter Biomasse ein mit Kohlenstoff angereicherter Feststoff erzeugt. Als Ausgangssubstrat (Edukt) kann jeder erdenkliche organische (Rest-)Stoff zum Einsatz kommen, der in ein festes, kohlenstoffreiches Produkt umgewandelt wird. Insbesondere solche Edukte, die durch traditionelle Methoden wie Vergärung und Kompostierung oder Verbrennung und Pyrolyse aus technischen oder auch wirtschaftlichen Gründen nicht verarbeitet werden können oder sollen, bieten sich für den HTC Prozess an. Letzteres ist z.B. aufgrund einer der traditionellen Verwertungsmethode inhärenten Degradierung oder gar dem gänzlichen Verlust der Inhaltsstoffe (z.B. Phosphorverlust bei der Klärschlammverbrennung) vor allem eine politische Entscheidung, die auf dem gesellschaftlichen Konsens zur Ressourcenschonung und

Schließung von Wert- und Nährstoffkreisläufen basiert, den auch die Landkreise Pfaffenhofen a.d. Ilm und Neuburg-Schrobenhausen mittragen.

6.2.1.1 Verfahren

Im Vergleich zu anderen Verwertungsverfahren wie der Verbrennung oder Vergasung biogener (Rest-) Stoffe stellt ein hoher Wassergehalt keinen durch Trocknung zu beseitigenden Zustand des potenziellen Eingangssubstrats dar, sodass dahingehend problematische Substrate dennoch sinnvoll verwertet werden können. In Abhängigkeit der Behandlungsdauer und Prozessparameter und Eigenschaften der Edukte sind verschiedenartige Produkte mit unterschiedlichsten Eigenschaften, Anwendungszwecken und Qualitäten erreichbar. Dies reicht von der einfachen Brennwertverdichtung, beispielsweise für den besseren Transport oder die Volumenreduktion und Aufwertung von minderwertigem Brennstoff wie ausgefaulten Klärschlamms, über die Immobilisierung der schädlichen Inhaltsstoffe von stark mit gefährlichen Stoffen belasteten Edukten zur einfacheren und relativ sicheren Deponierung bis hin zur Veredelung schadstoffarmer Edukte zu hochwertigen Bio-Ölen die Anwendung in der Industrie finden. Die verschiedenen Methoden der Umsetzung von HTC unterscheiden sich neben den bekannten Betriebsparametern Druck und Temperatur durch die Verweilzeit im HTC-Reaktor, den Inputstoffen und dem Verhältnis zwischen Feststoff und Flüssigkeit. Auch die Art der Beheizung des Reaktors stellt eine Möglichkeit der Unterscheidung zwischen den Umsetzungsvarianten dar. Die gebräuchlichsten Betriebsparameter sind Tabelle 41 zu entnehmen.

Tabelle 41: Übliche Betriebsparameter der HTC Technologie (Masurat 2015; Reza et al. 2014)

Temperatur (T)	Druck (P)	Verweilzeit (t)	Abhängigkeiten
140 – 280 °C	10 – 40 bar	3 - 18 Stunden	Wenn T↑ und P→, dann t↓
180 – 280 °C	So hoch, dass Wasser flüssig vorliegt	1 min bis	Wenn T↑ und P↑, dann t↓
180 – 250 °C	10 – 40 bar	mehrere Stunden	Wenn T↑ und P↓, dann t→ Wenn T↑ und P↑, dann t↓

Wenngleich die zugrundeliegenden physikochemischen Reaktionen noch weitgehend unverstanden sind (Reza et al 2014), so ist es dennoch durch die Zugabe von Hilfsstoffen (Basen und/oder Säuren) möglich, das entstehende Produkt in Qualität und Ausgestaltung zu beeinflussen.

Mögliche Verwendungen der bereits o.g. Produkte sind:

- Kohlenstoffreiche Feststoffe (Biokohle) zum Einsatz als Brenn(hilfs-)stoff, z.B. als Pellets.
- Bodenverbesserungsmittel: je nach Ausgangssubstrat kann das Produkt einen hohen Humus- und Nährstoffgehalt aufweisen und zugleich vermengt mit Mutterboden strukturgebend und wasserhaltend sowie aufgrund der hohen Porosität und Oberfläche als Nährstoffspeicher wirken, hierfür sind Temperaturen jenseits der 200 °C sowie eine vorhergehende Eliminierung von möglicherweise vorhandenen Schadstoffen vonnöten.

- Synthetisches „Bio“-Öl
- Filtermaterial das für verschiedene Elemente selektiv aktiviert werden kann (Uran(VI), Kupfer, Cadmium)
- Auf Nanomaterialien basierende Katalysatoren zur Verwendung in der feinchemischen Industrie

Über weitergehende Aufbereitungsschritte/Fraktionierung, z.B. über Lösung und Extraktion oder Fermentation, ist ferner die Gewinnung von raffinerbaren Ölen, die nach Weiterverarbeitung in Verbrennungsmotoren eingesetzt werden können.

Die Elimination von Schadstoffen ist nicht grundsätzlich erforderlich. Die Notwendigkeit ergibt sich aus der geplanten Verwendung des Produkts sowie Art und Gehalt der Schadstoffe im Edukt. Nichtelementare Schadstoffe lassen sich ggf. durch den HTC Prozess abbauen, wobei hierfür eine Verlängerung der Verweilzeit im Reaktor, Erhöhung von Druck und Temperatur oder eine Kombination aus den drei Hauptanpassungsmöglichkeiten Bedingung für eine zuverlässige Abbaukinetik ist. Allen technologischen Umsetzungen gemein ist, dass der Prozess durch ständige Energiezufuhr aufrechterhalten werden muss, sodass es sich zunächst um einen energieintensiven Prozess handelt. Selbstverständlich muss die Wirtschaftlichkeit einer Eliminierung im Voraus oder über den HTC Prozess gegeben sein, anderweitig ist entweder das Edukt oder die Verwendung des Produkts zu überdenken.

Die Wirtschaftlichkeit sowie die Eigenschaften der Produkte hängen insbesondere auch von den eingesetzten Stoffen ab. Bei Frischschlamm als Ausgangssubstrat entsteht eine Biokohle mit einem vergleichbaren Brennwert wie Braunkohle (18–20 MJ/kg), während bei Faulschlamm ein geringerer Brennwert von 11 bis 12 Megajoule pro Kilogramm erzeugt wird. Die im Klärschlamm enthaltenen Schwermetalle sowie der enthaltene Phosphor verbleiben größten Teils in der Biokohle. (Büchler 2012) Von den im Projektgebiet anfallenden Reststoffen kommen auf Grund ihres hohen Wassergehaltes insbesondere Gülle und Klärschlamm als Einsatzstoffe für dieses Verfahren in Frage. Ein möglicher Ablauf eines solchen Verwertungsprozesses hat Ohlert (Ohlert 2014) erstellt und ist in der Abbildung 25 dargestellt. Eine Realisierung dieses Konzeptes fand bislang jedoch nur selten statt.

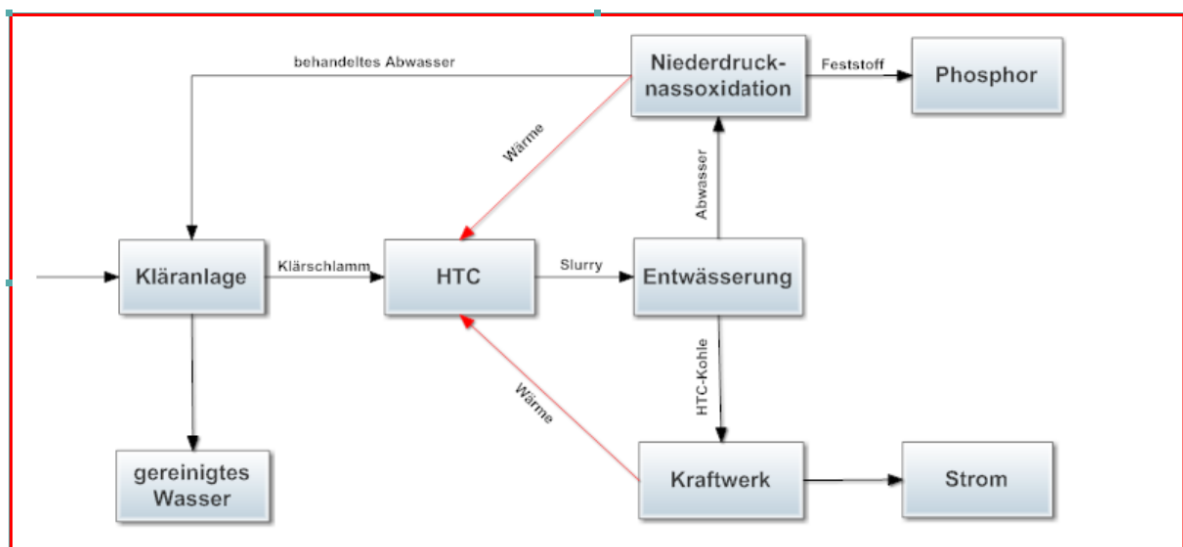


Abbildung 25: Schema Jan Ohlert Integration HTC in Kläranlage (bisher nur selten umgesetzt)

² Im Sinne von auf biologischen Grundstoffen basierend, nicht der EG-Verordnung Nr. 834/2007.

6.2.1.2 Substrate

Als Substrat für die Hydrothermale Carbonisierung (HTC) kommen sehr feuchte Biomassen (Trockenstoffgehalt <30 %) infrage, deren energetische Verwendung durch hohe Trocknungsaufwendungen sonst i.d.R. nicht sinnvoll ist. Aufgrund der sehr hohen Prozess- und Anschaffungskosten eignen sich dabei nur zwei Arten von Stoffströmen: Entweder Substrate, die aufgrund ihrer Abfalleigenschaft einer Behandlung zugeführt werden müssen und dementsprechend Entsorgungskosten mitbringen (Hauptsächlich Klärschlämme) oder solche, bei denen sich ein sehr hoher Erlös aus den produzierten, technischen Kohlen erzielen lässt. Für die stoffliche Anwendung der Kohlen muss das Ausgangssubstrat jedoch sehr genau definiert sein und besteht meist aus reinen Zuckerlösungen, Zellulose o.ä. hochpreisigen Materialien, die im Allgemeinen keine Reststoffe sind (Suncoal, 2019; TerraNova energy, 2019; Kaltschmitt et al., 2016).

6.2.1.3 Anwendungsfälle und Verbreitung

Obschon die Technologie vielversprechende Potenziale birgt, sogar zu mehreren Herausforderungen der modernen Gesellschaft positiv beizutragen – erwähnenswert, jedoch nicht erschöpfend, sind hierbei: die werterhaltende Nutzung von Bioabfällen zur Schließung von Nährstoffkreisläufen und Vermeidung von Nahrungsmittelverschwendung, Erhalt und Verbesserung der Bodensubstanz. Im letzten Jahrzehnt haben sich viele Anlagenhersteller bemüht, HTC-Anlagen im industriellen Maßstab bis zur Serienreife zu entwickeln. Bis auf TerraNova energy hat es jedoch kein Unternehmen geschafft, eine großtechnische HTC-Anlage zu verkaufen und über mehrere Jahre kontinuierlich zu betreiben (HTC-Anlage in Jining, China: 14.000 t Klärschlamm pro Jahr (TerraNova energy, 2019)). Daher ist es schwierig, Kosten für eine nicht am Markt etablierte Technik zu ermitteln. TerraNova energy gibt die Behandlungskosten mit 45 €/t zzgl. MwSt. Klärschlamm an (TerraNova energy, 2019). Zudem kann mit den erzeugten Kohlen aus Klärschlamm bislang kein Erlös erzielt werden (Buttmann, 2019). Nicht ein-gerechnet in diese Behandlungskosten sind die Phosphorrückgewinnungskosten, die aufgrund der Novellierung der Klärschlammverordnung in den nächsten Jahren in jedem Fall betrachtet werden müssen, sowie die Prozesswasserreinigung, die meistens an der Kläranlage vorhanden ist und nicht mit kalkuliert wurde. Hinzu kommen mögliche Erlöse aus CO₂-Zertifikaten, die eventuell durch eine zukünftige Einordnung der Hydrokohle in den Zertifikatshandel und die voraussichtlich steigenden Preise der Zertifikate eine wirtschaftliche Rolle bei der wirtschaftlichen Verfahrensanwendung spielen werden.

6.2.1.4 Vor- und Nachteile

Die Technologie der HTC von Klärschlämmen wurde in den letzten Jahren in vielen Forschungsvorhaben mit Pilotanlagen erprobt und einige, vorwiegend verfahrenstechnische Fragestellungen geklärt. Bis auf die Anlage von TerraNova energy in Jining existiert jedoch keine Praxisanlage, die im realen, kontinuierlichen Betrieb Erfahrungswerte sammeln konnte (ggf. ist aber zukünftig die Vapothermale Carbonisierung, bei der Dampf, anstatt flüssigen Wassers eingesetzt wird, ein interessanter Ansatz. Erste, von Forschungseinrichtungen wie Fraunhofer UMSICHT betriebene Batchanlagen haben gute Carbonisierungsergebnisse gezeigt und befinden sich aktuell im Prozess der Markteinführung durch Industriepartner). Hinzu kommt, dass der Verbleib des Prozesswassers sehr hohe gesetzliche Bürden mit sich bringt (z.B. die Einhaltung der Ablaufwerte aus der Kläranlage). Daher bestehen für die Verfahrensanwendung in den untersuchten Landkreisen einige Hürden und Unsicherheiten. Dies sind einerseits wirtschaftliche Unsicherheiten, die sich aus fehlenden Langzeiterfahrungen und möglichen Absatzwegen der Hydrokohle ergeben. Zum anderen ergeben sich möglicherweise negative toxikologische Eigenschaften der entstehenden Stoffströme, wenn diese

stofflich genutzt werden sollen. Es zeigte sich zum Beispiel, dass sich durch die HTC von leicht mit Dioxinen vorbelastetem Klärschlamm die Dioxinzusammensetzung so ändern kann, dass die Toxizität ansteigt (Brookman et al., 2018). Aufgrund der indifferenten Verarbeitungsmengenanforderungen am Markt wird die HTC-Anlagengröße individuell an lokale Gegebenheiten und Mengen angepasst. Deswegen ist zum jetzigen Zeitpunkt eine Aussage über die Wirtschaftlichkeit einer HTC-Anlage zur Klärschlammbehandlung (noch) nicht möglich. Würde man trotz der Unwägbarkeiten eine HTC des anfallenden Klärschlammes in Erwägung ziehen, könnten in den Landkreisen durch HTC Behandlung der anfallenden 6.000 t Klärschlamm und Verbrennung der Hydrokohle 546 t CO₂-eq. Emissionen im Vergleich zur Monoverbrennung eingespart werden (Gievers et al., 2019). Vor dem Hintergrund der geplanten Mono-Verbrennung in Ingolstadt, die aus dem Zusammenschluss mehrerer Klärwerksbetreiber hervorgehen soll, ist jedoch zu überlegen, ob eine HTC Anlage mit integrierter Phosphorrückgewinnung langfristig nicht die nachhaltigere Alternative für die Klärschlamm Entsorgung wäre. Die entsprechenden Verbrennungskapazitäten für die Hydrokohle und damit die nötige Prozesswärme für die HTC wären einerseits am Standort gegeben, andererseits wäre die Prozesswasseraufbereitung am Standort ein nicht unerhebliche, aber überwindbare Hürde. Bei entsprechenden Prozessbedingungen der HTC können die entstehenden Prozesswasser mit einer zu errichtenden anaeroben Vergärung soweit gereinigt werden, dass das Prozesswasser im Anschluss einleitfähig ist. Vorteilhaft wäre auch die in die HTC integrierte Phosphorrückgewinnung, die sich aus den Klärschlammverbrennungsrückständen nur technisch sehr aufwendig und finanziell (noch) nicht darstellbar realisieren lässt.

Andere feuchte Reststoffströme außer Klärschlamm kommen zwar technisch für die HTC in Frage, lassen sich aufgrund der oben genannten Schwierigkeiten wirtschaftlich aber nicht darstellen, da zudem andere, ökologisch vorteilhafte Verwertungsmöglichkeiten wie die anaerobe Vergärung bestehen und diese in den Landkreisen auch schon umgesetzt sind.

Im Vergleich zur Klärschlammmonoverbrennung stellt sich die HTC wie folgt dar (siehe Tabelle 42)

Tabelle 42: Vor- und Nachteile der HTC von Klärschlamm gegenüber der Monoverbrennung

Vorteile	Nachteile
Sehr gute Phosphorrückgewinnung durch Additivzugabe möglich im Vergleich zu der noch nicht wirtschaftlich darstellbaren Rückgewinnung aus den Monoverbrennungsaschen.	Hohe Kostenunsicherheiten durch wenig Betriebserfahrung im industriellen Maßstab.
Wertstoff „Hydrokohle“ als Energieträger mit Energiegehalten von bis zu 21 MJ/kg (Zhai et al., 2017) im Vergleich zu nicht brennbarem Klärschlamm mit Wassergehalten >70 %.	Unklare Verwertungsmöglichkeit der Hydrokohle (stofflich ohne Nachbehandlung nicht möglich, energetisch als Mitverbrennung genehmigungsrechtlich nicht geklärt).
Innovatives Verfahren mit Symbolcharakter.	Prozesswasserrückführung in bestehende Kläranlage (aerob/anaerob) schwierig, da hohe refraktäre CSB-Fracht und mögliche Hemmung der Prozessbiologie durch etwaige Phosphorrückgewinnung (Schwefelsäure) und des HTC-Prozesses an sich.
Elimination von Pathogenen-	Auswirkungen der HTC auf problematische Inhaltsstoffe (Arzneimittelrückstände, Dioxine, Furane, PCB, etc.) nicht vollumfänglich geklärt. Für einzelne Stoffströme kann es durch die HTC zu einer Erhöhung der Toxizität kommen (siehe Brookman et al., 2018)
Energetische und Ökologische Vorteile der HTC gegenüber der Trocknung und Monoverbrennung des Klärschlamm (Gievers et al., 2019).	Entsorgungssicherheit durch wenig Betriebserfahrung nicht gegeben.
	Stabilität der Hydrokohle im Vergleich zu Pflanzenkohle aus der Pyrolyse sehr gering, so dass durch den stofflichen Einsatz von Hydrokohle meist nur eine geringe CO ₂ -Sequestrierung erfolgen kann.

6.2.1.5 CO₂-Bilanz HTC

Als Treibhausgase (THG) werden Stoffe in einem gasförmigen Zustand bezeichnet, welche Wärmestrahlung, die von der Erdoberfläche ausgeht, absorbieren und wiederum emittieren. Durch diesen Effekt wird ein Teil der Wärme innerhalb der globalen Atmosphäre gehalten und das globale Klima geprägt. Eine Erhöhung der THG-Anteile in der Luft führt zu einer Verstärkung des beschriebenen Effektes. Das bedeutendste Treibhausgas ist Kohlenstoffdioxid (CO₂). Dieses ist daher namensgebend für die entsprechende Bilanzierung der THG eines Produktes. Eine CO₂-Bilanz betrachtet grundsätzlich das entstehende, verbrauchte und gespeicherte CO₂ eines Produktes. Dafür müssen zunächst die Systemgrenzen und eine funktionale Einheit, häufig dem Produkt selbst, definiert werden. Mit der Festlegung der Systemgrenzen wird versucht einen möglichst sinnvollen Rahmen für die Betrachtung abzustecken. In der Regel ist es dabei zweckmäßig auch die Vorketten

und Nachnutzungen eines Produktes zu berücksichtigen, da diese einen wesentlichen Einfluss auf die CO₂-Emissionen haben können (z.B. Transporte etc.). In der Bilanz werden neben dem bekanntesten Treibhausgas CO₂ auch andere klimaschädliche Gase wie z.B. Methan und Lachgas berücksichtigt. Diese werden zur Vereinheitlichung mit dem Emissionsfaktor von CO₂ umgerechnet und letztendlich in sog. CO₂-Äquivalenten ausgedrückt. So soll eine Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Produkten hergestellt werden. Biomasse wird in der Regel als CO₂-neutral angesehen, da es im Wachstumsprozess Kohlenstoff aus der Atmosphäre bindet. Bei einer vollständigen Betrachtung sind allerdings auch die anfallenden Emissionen für Transporte, Ernteprozesse und Verwertungsprozesse zu berücksichtigen. Zudem ist zu beachten, dass der Einsatz von Biomasse in Verbrennungsanlagen nicht grundsätzlich CO₂-frei ist. Bei der Verbrennung wird der zuvor gebundene Kohlenstoff wieder emittiert. Bei Verzicht auf eine thermische oder stoffliche Verwertung der Biomasse würde mittel- bis langfristig der natürliche Zersetzungsprozess einsetzen, bei welchem wiederum der gebundene Kohlenstoff freigesetzt wird. (Lübbert 2007)

Bei der Betrachtung der CO₂-Bilanz von der Hydrothermalen Carbonisierung (HTC) müssen zunächst die Rahmenbedingungen festgesetzt werden. Sowohl die eingesetzten Stoffe, als auch der eigentliche HTC-Prozess sowie die anschließende Verwertung der Produkte haben einen enormen Einfluss auf das Ergebnis der Bilanzierung. In der Literatur lassen sich nur wenige Informationen zu der CO₂-Bilanz der HTC finden. Ein Versuch der Züricher Hochschule für Angewandte Wissenschaften beschäftigte sich jedoch mit dem Einsatz der HTC zu Trocknung von Klärschlamm im industriellen Maßstab.

Ausgangslage war, dass das etablierte Verwertungsverfahren von Klärschlamm eine sehr energieintensive Vortrocknung voraussetzt und eine Alternative, welche den Klärschlamm CO₂- und kosteneffizienter aufbereiten kann, gesucht wurde. Es konnte in der Studie gezeigt werden, dass im Vergleich zu der thermischen Trocknung 62 % Wärmeenergie und 69 % Strom eingespart werden konnten. Zusätzlich konnte durch die energetische Nutzung der Biokohle eine gegenüber herkömmlichen thermischen Entsorgungsverfahren vorteilhafte Ökobilanz nachgewiesen werden. Die Herausforderung sehen die Autoren jedoch in der Umsetzung der Anlage in einem industriellen Maßstab. (Floris et al. 2013)

In der Studie wurden hinsichtlich der Ökobilanzierung zwei Ziele verfolgt. Zunächst sollte eine Identifikation der wichtigsten Beiträge zu den Umweltauswirkungen des HTC-Prozesses und Erarbeitung von Empfehlungen für eine Umwelloptimierung des HTC-Verfahrens erfolgen. Die funktionelle Einheit der Bilanz war dafür die „Verarbeitung von 1 kg ausgefaultem Klärschlamm mit einem TS von 21,3 % zu HTC-Kohle mit einem TS von 70% und einem Brennwert von 14 MJ/kg“. Als Systemgrenze wurde das gesamte HTC-Verfahren mit der benötigten Prozessenergie sowie die Infrastruktur und Entsorgung des Prozesswasser definiert. In einem weiteren Abschnitt der Studie wurde zudem die Verbrennung der HTC-Kohle berücksichtigt.

Als zweites Ziel wurde der Vergleich des HTC-Prozesses mit weiteren Verfahren der Klärschlamm Entsorgung aus Umweltsicht gesetzt.

6.2.1.6 Ökonomische Bilanz HTC

Wie auch bei der Bewertung der Energiebilanz und der CO₂-Bilanzierung lassen sich in der Literatur keine quantifizierbaren Angaben zu industriellen HTC-Anlagen finden. Neben der Rohstoffversorgung, dem Herstellungsverfahren und den damit einhergehenden Investitions- und Betriebskosten hat auch die Absatzmöglichkeiten der Biokohle einen entscheidenden Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit dieses Verwertungsweges. Reza et al. (2014) bewerten insbesondere die Kosten für einen Reaktor, welcher

den hohen Prozessdrücken besteht, als einen wesentlichen Kostenfaktor, welchen sie mit 8,5 % bis 21,3 % der Gesamtkosten ansetzen. In der Literatur aufgeführte Angaben zu Anlagenkosten führten sie in ihrer Ausarbeitung zusammen. Sie sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 43: Übersicht über die industrielle HTC-Anlagen aus der Literatur. (Quelle: Reza et al. 2014)

Anlage Größe (MW)	Einsatzstoff	Gesamtkosten (Mio €)	Spezifische Kosten Biokohle (€/GJ)
11,85	Palmöl, Fruchthüllen	9,01	9,67
28,65	Palmöl, Fruchthüllen	16,47	7,94
11,15	KUP Hackschnitzel	12,88	12,94
11,15	Biogener Abfall	13,91	9,81
11,15	KUP Hackschnitzel	6,98	14,68
55,75	KUP Hackschnitzel	20,72	11,11
11,15	Weizenstroh	NN	13,30
77,75	Weizenstroh	NN	9,84

Die Autoren führen dazu auf, dass insbesondere die Ausgangsstoffe einen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit haben. Werden beispielsweise Hackschnitzel eingesetzt, können diese bereits als Rohprodukt einen dreifachen Wert von der Biokohle haben, wodurch diese enorm unwirtschaftlich wäre. Auch kann Biokohle bereits hinsichtlich der Produktionskosten nicht mit importierter fossiler Kohle mithalten. Diese kostete zum Zeitpunkt der Studie ca. 2,30 €/GJ. Eine weitere Beeinträchtigung der Wirtschaftlichkeit liegt in der Behandlung des entstehenden Abwassers. Je nach Einsatzstoff entstehen 1,5 m³ bis 5,2 m³ Abwasser pro Tonne trockener Biokohle. Für einen wirtschaftlichen Betrieb einer industriellen HTC-Anlage sehen Reza et al. (2014) neben dem Bedarf ausgereifterer Anlagentechnologie insbesondere deutlich höhere Preise für CO₂-Emissionszertifikate. (Reza et al. 2014)

6.2.2 Pyrolyse

Neben der Hydrothermalen Carbonisierung soll im Folgenden die Verwertung von biogenen Reststoffen durch Pyrolyse betrachtet werden. Unter Pyrolyse ist die thermische Zersetzung von Biomasse unter Luftabschluss und Zuführung von Wärme zu verstehen. Wenngleich vom grundlegenden Ansatz nicht sehr weit voneinander entfernt, ist die Pyrolyse von der Hydrothermalen Carbonisierung abzugrenzen. Während HTC sich in wässrigem Medium im subkritischen Bereich zwischen fest, flüssig und gasförmigen Phasen bewegt, beschränkt sich der Einsatz von Pyrolyse weitestgehend auf Medien mit geringem Wassergehalt. Ausschlaggebend ist der für die Verdampfung des enthaltenen Wassers erforderliche Energieaufwand, da der Prozess der thermischen Oxidation (Verbrennung) bei der Pyrolyse in mehrere Schritte aufgeteilt wird. Bei hohen Wassergehalten ist zwar eine grundsätzliche, technische Machbarkeit gegeben, die Rentabilität kann dann jedoch nicht mehr sichergestellt werden. (Wang et al. 2018). Die Produkte der Pyrolyse sind im Wesentlichen die Pyrolysekohle (häufig auch Biokohle genannt), flüssiges Pyrolyseöl (zumeist Teer) und Pyrolysegas. Die verschiedenen Produkte können getrennt voneinander genutzt werden, wobei der Schwerpunkt auf einer Nutzung der Pyrolysekohle liegt.

Im Vergleich zu konventionellen Verwertungsverfahren (insbesondere der direkten thermischen Nutzung) von Reststoffen, gehen mit der Pyrolyse verschiedene Vorteile einher. So können die Produkte (Pyrolyseöl und-gas) direkt in entsprechenden Motoren oder Turbinen eingesetzt werden, es entstehen weniger Emissionen und Metalle sind aus dem Pyrolysekoks leichter und höherwertiger zurückzugewinnen. (Umweltbundesamt 2017) Problematisch ist jedoch, dass die Reaktoren und die Prozessführung einer hohen Aufbereitungstiefe erfordern und diese mit hohen Vorbehandlungskosten einhergehen. Auch ist der hohe Teergehalt in den Pyrolysegasen hinderlich für eine energetische Nutzung und die geringe Koksqualität sorgt für eine erschwerte Vermarktung. Neben diesen Nachteilen ist die Anlagentechnik zudem so komplex, dass hohe Wartungskosten entstehen können. Letztendlich ist aus Gründen des Klimaschutzes auch darauf zu achten, dass für die benötigte Prozessenergie keine fossilen Energieträger eingesetzt werden. (Umweltbundesamt 2017)

Grundsätzlich lässt sich die Pyrolyse grob in zwei Verfahren, die schnelle und die langsame(re) Pyrolyse unterscheiden.

6.2.2.1 Die schnelle Pyrolyse

Die schnelle Pyrolyse sorgt für eine schnelle Dekonstruktion der Biomasse, wobei hauptsächlich Gase und partikuläre Aerosole erzeugt werden. Nach Abkühlung entsteht eine gleichförmige, homogene Flüssigkeit. Der Heizwert dieser Flüssigkeit kommt in etwa der Hälfte von konventionellem Heizöl gleich. Zum Aufrechterhalten des Prozesses werden in etwa 15% des Eduktenergiegehalts benötigt. Eine mögliche Darstellung der Energieversorgung kann über eine Verwertung der als Nebenprodukt anfallenden Kohle erfolgen. Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung der schnellen Pyrolyse zur Erzeugung einer energiereichen Flüssigkeit sind insbesondere ein Wassergehalt des Feedstroms unter 10 Masse-%. Weiterhin ist für eine schnelle Erhitzung eine Biomasse-Teilchengröße kleiner 3 mm anzustreben.

Im Gegensatz zur HTC werden für die Pyrolyse sehr hohe Temperaturen um 500-800 °C zur Maximierung der Ausbeute benötigt. Eine sorgfältige Prozesskontrolle ist dabei unerlässlich. Dies bezieht sich nicht nur auf den Vergasungsprozess, also das Temperaturmanagement, sondern ebenso auf das rasche Abziehen und Kondensieren des Dampfes, was zur Vermeidung von Sekundärreaktionen und Degradationseffekten innerhalb weniger Sekunden ablaufen muss.

Neben dem abgezogenen und kondensierten Pyrolyse-Dampf, welcher das Bio-Öl darstellt, entsteht durch die Pyrolyse der Edukte außerdem noch Kohle und Pyrolysegas, die 25% respektive 5% des Energiegehalts der Edukte aufeinander vereinen. Durch optimales Prozessmanagement kann der Pyrolyseprozess mittels einer geschickten Kreislaufführung der Kohle einzig CO₂ und Wasser neben den genannten Produkten emittieren.

6.2.2.2 Die langsame Pyrolyse

Im Folgenden wird aufgrund des höheren Wertschöpfungspotentials, des breiteren Substratspektrums und der einfacheren Anlagentechnik nur noch auf die älteste Form der Carbonisierung, die langsame Pyrolyse eingegangen (Quicker und Weber, 2017).

Traditionelle Methode ist die Verwendung von Meilern zur Holzkohleproduktion. In Europa sind bzw. waren vor allem die klassischen Erdmeiler in Gebrauch, bei denen das aufgeschichtet Holz mit Erde abgedeckt und durch unterstöchiometrische Luftzufuhr und Teilverbrennung des Holzes die Wärme für die Verkohlung bereitgestellt wird. Großtechnisch werden heutzutage jedoch Retorten-Verfahren eingesetzt, bei denen Holz nach der Zerkleinerung, je nach Verfahrensvariante kontinuierlich oder im

Batchverfahren, in den Reaktor gefördert wird. Nach der Reaktion werden das Carbonisat und auch die Gasphase abgekühlt und unter Umständen die Gasphase mehrstufig kondensiert. Nicht kondensierbare Anteile des Gases werden verbrannt und für die Zufuhr der Prozesswärme bzw. zur Wärmeauskopplung genutzt. Die entstehenden flüssigen Fraktionen werden meist im Prozess mitverbrannt und ebenfalls zur Prozesswärmezufuhr oder Wärmeauskopplung genutzt (Quicker und Weber, 2017).

6.2.2.3 Substrate

Die Substratauswahl erfolgt auf Grundlage des erhobenen Potentials anhand einer Beispielanlage mit definierter Größenordnung und bekannten wirtschaftlichen und technischen Randbedingungen. Mit den gegebenen Randbedingungen kommt für die betrachteten Reststoffströme nur eine Co-Pyrolyse von nachwachsenden Rohstoffen (holzig), Klärschlamm und Landwirtschaftlichen Reststoffen in Frage. Die Eignung verschiedener, in den Landkreisen anfallende, biogene Reststoffe für die betrachteten Verwertungsverfahren ist in Tabelle 44 aufgeführt. Die Bewertung erfolgte dabei nicht nur nach technischen, sondern auch nach ökonomischen und ökologischen Faktoren. Für die Pyrolyse sind am ehesten holzartige nachwachsende Rohstoffe wie z.B. Holzhackschnitzel geeignet. Hinzu kommen Reststoffe mit geringen Wassergehalten wie die holzigen Bestandteile des Landschaftspflegematerials oder Stroh bzw. Spelze in geringen Mengen. Aufgrund der relativ hohen Nährstoffgehalte, insbesondere beim kritischen Rohstoff Phosphor, ist es sinnvoll auch biogene Reststoffe aus Industrie und Gewerbe sowie Klärschlamm mittels Pyrolyse zu behandeln und als Pflanzkohle bzw. als Düngemittelzuschlagstoff zu vermarkten, falls nicht sowieso schon eine energetische Nutzung durch Vergärung stattfindet. Im Fall von Klärschlamm kann darüber hinaus jedoch auch die Nutzung der eventuell anfallenden Gärreste für eine Verwertung in der Pyrolyse in Frage kommen, um die Phosphorrückgewinnung bei gleichzeitiger Pathogen- und Schadstoffelimination zu gewährleisten.

Tabelle 44: Verwertungsmatrix für die unterschiedlichen biogenen Reststoffe

	Vergärung	Ver- brennung	Vergasung	HTC	Pyrolyse
Tierische Exkrememente	++	--	-	+	-
Landwirtschaftliche Reststoffe	+	0	-	-	+
Nachwachsende Rohstoffe (halmgutartig)	+	-	0	-	0
Nachwachsende Rohstoffe (holzig)	--	+	++	--	++
Biogene Industrie- und Gewerbeabfälle	++	-	--	+	+
Klärschlamm	++	-	0	++	+

++ sehr gut geeignet + gut geeignet 0 Einsatz möglich - Einsatz schwer realisierbar -- nicht geeignet

6.2.2.4 Stand der Technik/Kosten

In den letzten Jahren haben sich immer mehr Unternehmen mit der Pyrolyse von Biomassereststoffen beschäftigt. Die Anlagengröße reicht dabei von Jahresdurchsätzen von 350 t Biomasse bis zu 7.500 t (Pyreg GmbH, 2019; Biomacon GmbH, 2019; Biogreen-Energy, 2019). Die Anlagengröße unterscheidet sich je nach Anlagenhersteller. So bietet die BIOMACON GmbH die Anlagenauslegung gemäß den individuellen Anforderungen des Standortes, wie die vor Ort benötigte Wärmemenge (20 bis 400 KW) oder die verfügbare Menge an Biomasse, an. Die PYREG GmbH hingegen setzt auf eine feste Modulgröße von 500 bzw. 1.500 kW Brennstoffleistung (150 bzw. 600 kW auskoppelbare Wärmemenge). Andere Anlagengrößen mit weitaus geringeren bzw. deutlich höheren Durchsätzen kommen für den betrachteten Reststoffanfall aus wirtschaftlichen Gründen nicht in Frage.

6.2.2.5 Beispielhafte Auslegung der Pyrolyseanlagen

Grundvoraussetzung für die Errichtung einer Pyrolyseanlage ist neben möglichst geringen Transportentfernungen für die Biomasse ein Standort mit Wärmenutzung aus der Pyrolyse. Um eine hochwertig vermarktungsfähige Pflanzenkohle (800-1.000 €/t) zu erzeugen, müssen die Ausgangssubstrate sauber und sortenrein sein. Es ist davon auszugehen, dass zumindest bei Einsatz von Qualitätshackschnitzeln unter Einhaltung vorgegebener Partikelgrößen, Wasser- und Aschegehalte die Anforderungen des European Biochar Certificate (EBC) in jedem Fall erreicht werden sollten. Ein möglicher Absatzweg hierfür wäre als Futterkohle oder als Terra-Preta Pflanzenkohle. Durch Beimischung von anderen (Abfall-)Biomasseströmen wie Klärschlamm und Gärrest gehen die Zulassungsvoraussetzungen für das EBC und damit die hohen Erlöse verloren, die Kohle wird jedoch durch den höheren Nährstoffgehalt aufgewertet. Bei garantierter Abnahme in der Landwirtschaft oder der Hortikultur stellt dieser Weg den ökologisch und energetisch sinnvolleren da, gerade im Hinblick auf eine lokale Nährstoffwirtschaft und den lokalen Klimaschutz.

Im Folgenden wurde eine Anlagenkonfiguration für 2 Anlagen (Jahresdurchsatz pro Anlage von ca. 2.000-2.400 t und eine Wärmeleistung von 600 kW, entsprechende Wärmeabnahme am Standort vorausgesetzt) ausgewählt. Geeignete Standorte wären zum Beispiel das Schulzentrum oder das Krankenhaus in Schrobenhausen, falls dort eine Kesselrevision anstehen sollte, oder ein ähnlicher Standort in den Landkreisen (siehe Bericht TU München).

Inputströme:

Anlage 1: nur Hackschnitzel (Zum Erreichen der Anforderungen des European Biochar Certificate (EBC)) 2.400 t (FM)/a

Anlage 2: Hackschnitzel und Reststoffe mit geringen Wassergehalten wie die holzigen Bestandteile des Landschaftspflegematerials oder Stroh bzw. Spelze in geringen Mengen. Zusätzlich können bei gesicherter Pflanzenkohleabnahme nährstoffreiche Produktströme zusätzlich oder eventuell gleichzeitig pyrolysiert werden (Klärschlamm, Gärrest, etc.)

Hackschnitzel (KUP, Landschaftspflegeholz, Waldrestholz): 1.200 t (FM)/a

Klärschlamm/Klärschlamm: 600 t (FM)/a

Stroh/Spelze/Getreideputz: 500 t (FM)/a

Verwertungswege und Menge der Pflanzenkohle:

Anlage 1: Der mit dem EBC mögliche Vermarktungsweg liegt, wenn der lokal vorhandene Markt gesättigt ist, auch außerhalb der Landkreise und ermöglicht so eine zusätzliche lokale Wertschöpfung.

Die Menge an Pflanzenkohle aus der Pyrolyse beträgt etwa 650 t/a bei Marktwerten von 650-1.000 €/t zertifizierter EBC-Pflanzenkohle.

Anlage 2: Die durch den Reststoffeinsatz (Klärschlamm, Spelze etc.) nicht (Stand: 06/2019) EBC zertifizierbaren Pflanzenkohle ist zunächst auf eine lokale Verwendung in der Landwirtschaft beschränkt, bei der Hersteller und Abnehmer (evl. sogar in einer Person) um die Qualität der Pflanzenkohle wissen. Die Grenzwerte für Schadstoffe/Schwermetalle etc. des EBCZertifikats sollten bei diesen Pflanzenkohlen aufgrund der landwirtschaftlichen oder hortikulturellen Anwendung natürlich ebenfalls eingehalten werden (was bei energetischer Nutzung der Kohlen nicht nötig ist). Die Menge an Pflanzenkohle aus der Pyrolyse beträgt etwa 500-550 t/a bei Marktwerten bis 200-500 €/t (je nach Nährstoffgehalten und Eigenschaften etc.) Sollte zukünftig die Mischung von Substraten nach EBC zulässig sein, könnten die Erlöse auch weit höher ausfallen.

Investitionskosten:

Die Kosten für eine Pyrolyseanlage mit einem Durchsatz von etwa 2.000 – 2.400 t/a belaufen sich inkl. Infrastruktur grob kalkuliert auf ca. 2 Mio. €.

Erlöse Wärmeverkauf:

Der entscheidende, für die Standortwahl wichtigste Faktor sind die möglichen Erlöse aus dem Abwärmeverkauf. Die Kosten für die Bereitstellung von 1 kWh in der betrachteten Größenklasse belaufen sich laut FNR (2005) auf ca. 0,05 €. Bei einer Laufzeit von 7.000 h und Wärmeabnahme von 4.000 MWh ergeben sich daraus erzielbare Einnahmen von 200.000 € pro Jahr. Dabei ist zu beachten, dass eine möglichst hohe Jahreslaufzeit anzustreben ist, um auch neben der Heizperiode hohe Wärmeabnahme (z.B. durch Prozesswärmebereitstellung) zu erreichen.

Vor- und Nachteile:

Die Vor- und Nachteile der Pyrolyse von Reststoffen sind in Tabelle 45 aufgeführt.

Tabelle 45: Vor- und Nachteile der Pyrolyse von Reststoffen

Vorteile	Nachteile
Sehr gute Nährstoffrückgewinnung möglich bei Einsatz der Biokohlen in der Landwirtschaft.	Definierter Kostenrahmen für die Anlage durch eine Vielzahl von Referenzanlagen und lang-jährige Betriebserfahrung in unterschiedlichen Anwendungsfällen.
Vermarktung als lokaler, sehr sauberer Brennstoff „Biokohle“ im Vergleich zu importierten „Grillkohlen“ aus evtl. Regenwaldholz	Stark wachsender Markt für die Verwertung der Biokohle (Landwirtschaft, Gartenbau, Futtermittelzuschlag, etc.).
Innovatives Verfahren mit Symbolcharakter.	Sehr gute Prozessüberwachung möglich, dadurch qualitativ sehr hochwertige Biokohlen (European Biochar Certificate (EBC)).
Elimination von Pathogenen.	Entsorgungssicherheit durch umfangreiche Betriebserfahrung gegeben.
CO ₂ -Sequestrierung durch die hohe Stabilität der Biokohle möglich.	
CO ₂ -Zertifikatshandel möglich. Entsprechende ges. Eingliederung in Vorbereitung.	

6.2.2.6 CO₂-Bilanz der Pyrolyse

Bei der Bewertung der potenziellen Treibhausgasemissionen einer Pyrolyse von den o.g. Reststoffen im Projektgebiet sind diverse Einflussfaktoren zu berücksichtigen. Diese beginnen bei der Art des Reststoffes, der Erzeugung, des Transportes (inkl. Entfernungen), der eingesetzten Maschinen, der Anlagentechnik, Reaktorgröße, des Pyrolyseverfahrens und erstrecken sich bis zu den alternativen Nutzungen und der letztlichen Verwendung der Produkte. Eine realistische Einschätzung ist daher nur für den konkreten Einzelfall sinnvoll planbar und in der Skalierung dieser Studie tendenziell eher irreführend. Für einen Eindruck der grundsätzlichen Auswirkungen des Pyrolyseverfahrens soll eine Untersuchung von Obersteiner et al. (2015) im Folgenden kurz dargestellt werden.

In ihrem Projekt untersuchten Obersteiner et al. (2015) die Umweltauswirkungen der pyrolytischen Verkohlung von Abfällen (Papierfaserschlamm und Getreidespelze) in einer Anlage des österreichischen Unternehmens Sonnenerde Gerald Dunst Kulturerden GmbH. Das Material wird in der Anlage auf ca. 600 °C erhitzt, wobei die entstehenden Gase abgesaugt und in der Brennkammer direkt bei ca. 1.100 °C bis 1.400 °C verwertet werden. Eine NO_x-Bildung kann so weitestgehend verhindert werden. Die dort entstehenden Abgase werden wiederum über einen Wärmetauscher zur Trocknung, Erhitzung und Entgasung des Eduktes verwendet. Der Durchsatz der Anlage lag dabei bei ca. 250 kg/h und die Wärmeleistung bei ca. 120 kW. Als weiteres und wesentliches Produkt entsteht Pflanzenkohle (ca. 350 t/Jahr). Die Anlage ermöglicht zwar verschiedene Einsatzstoffe, der Heizwert muss jedoch mindestens bei 10MJ/kg liegen. Die Inputstoffe für dieses Verfahren sind die eigentlichen biogenen Rohstoffe, Wasser, elektrische Energie, Flüssiggas und Diesel. Die Abfälle sind Schlacke, Asche und Kondensat sowie Abgase. Für die Ökobilanzierung wurden die Grundsätze aus der DIN EN ISO 14040 angewandt. Demnach ist die Ökobilanzierung eine modulare, systematische und iterative Methode zur Analyse von Umweltaspekten entlang des gesamten Lebensweges eines Produktes bzw. Prozesses. Für die Erstellung muss zunächst das Ziel und die funktionelle Einheit definiert werden. Obersteiner et al. (2015) formulierten das Ziel, die Umweltauswirkungen der Pflanzenkohleherstellung zu bewerten. Die funktionelle Einheit ist die Herstellung von 1 kg TM Pflanzenkohle. Untersucht wurden dabei einerseits die direkt von der Anlage emittierten Emissionen, aber auch die eingesetzten Inputmaterialien, Abfälle und Energieflüsse. Es ist dabei anzumerken, dass die Vorketten zu den eingesetzten Rohstoffen (Papierschlamm und Getreidespelze) nicht berücksichtigt worden sind. Beginn des Systems ist der Transportaufwand für diese Stoffe. Das Ende der Betrachtungen bildet die Pflanzenkohle, welche anschließend auf unterschiedliche Weisen genutzt werden kann. Die jeweilige Verwertung hat wiederum einen Einfluss auf die letztendliche Ökobilanz. (Obersteiner et al. 2015)

Als Ergebnis konnten (Obersteiner et al. 2015) festhalten, dass bei der Herstellung von 1 kg TM Pflanzenkohle das Treibhausgaspotential von 1,11 kg CO₂-Äq reduziert werden konnte. Während des Prozesses werden jedoch zunächst 0,257 kg CO₂-Äq verursacht. Da ein Teil des biogenen Kohlenstoffes, welcher als grundsätzlich klimaneutral eingestuft wird, in der Kohle verbleibt, ergibt sich die vorteilhafte CO₂-Bilanz. Die (langfristige) Bindung des CO₂ reduziert indirekt die atmosphärische Konzentration. Bei den verursachten Emissionen wirkt insbesondere der Verbrauch elektrischer Energie mit 92,2 g CO₂-Äq nachteilig. Die zweite große Emissionsquelle ist der Radlader mit 78,9 g CO₂-Äq sowie der Transport der Rohstoffe mit 46,4 g CO₂-Äq. Aber auch die Abwasserreinigung des Kondensates sowie die Entsorgung der Asche und Schlacke verursachen eine Steigerung des THG-Potentials. (Obersteiner et al. 2015)

Auch Hammond et al (2011) kommen in ihrer Ökobilanzierung der Pyrolyse auf ein ähnliches Ergebnis. Die Speicherung des Kohlenstoffes in der Biokohle führt zu der größten CO₂-Reduzierung. Eine Speicherung im Boden ist hinsichtlich der THG-Minderung vermutlich als sehr bedeutend einzuschätzen, aber noch zu wenig wissenschaftlich erforscht. Das Minderungspotential geben die

Autoren dabei in einem Bereich zwischen 0,7 t und 1,4 t CO₂/t TM an. Es ist jedoch zu betonen, dass auch in diesem Versuch zwar zehn verschiedene Ausgangsstoffe betrachtet worden sind (insbesondere Stroh und Holz), diese jedoch alle keine hohen Wassergehalte aufweisen (im Gegensatz zu Gras, Gülle oder Klärschlamm, welches im Projektgebiet anfällt). (Hammond et al. 2011)

6.2.2.7 Ökonomische Bilanz der Pyrolyse

Ebenso wie die CO₂-Bilanzierung ist auch die ökonomische Bewertung der Pyrolyse im Projektgebiet nicht allgemeingültig realisierbar. Dabei sind die gleichen Faktoren die wesentlichen Hemmnisse für eine konkrete Betrachtung. Ökonomische Bewertungen der Pyrolyse für die o.g. Einsatzstoffe lassen sich zudem auch in der Literatur in keinem aussagekräftigen Umfang finden.

6.2.3 Holzvergasung

Bei der Holzvergasung handelt es sich um eine partielle Oxidation unter Zufuhr eines Vergasungsmittels. Grundsätzlich entstehen dabei die gleichen Umwandlungsprozesse wie bei einer Verbrennung, jedoch mit einer zeitlichen und räumlichen Trennung. Während bei der Pyrolyse der Prozess unter Sauerstoffmangel geführt wird, kommt bei der Vergasung ein Vergasungsmittel zum Einsatz. Dieses kann grundsätzlich Luft, Sauerstoff oder Wasserdampf sein und bestimmt mit seiner Menge die Oxidation der in der Biomasse vorhandenen Kohlenwasserstoffe. Wie auch die Pyrolyse ist die Vergasung zunächst eine schwach endotherme (bzw. autotherme) Reaktion (im Gegensatz zu der stark exothermen Verbrennung). Die tatsächlichen Übergänge zwischen Pyrolyse und Vergasung sind in der Praxis meist fließend. (Nussbaumer 1990; Wesselak et al. 2013) Die Temperaturbereiche der Vergasung liegen zwischen 800 °C und 1000 °C. Im Gegensatz zur Pyrolyse, bei welcher primär Pyrolysekoks- oder öl erzeugt werden soll, liegt das Augenmerk bei der Vergasung auf einem möglichst hohen Gasertrag. Das Produktgas enthält hauptsächlich CO, CO₂, H₂O, H₂ und CH sowie andere Kohlenwasserstoffe. Die Eigenschaften werden im Wesentlichen durch das Vergasungsmittel und die Reaktionsbedingungen beeinflusst. (Wesselak et al. 2013)

Die physikalisch-chemischen Prozesse, welche bei der Vergasung von Biomasse ablaufen hängen also von der Bauart des Reaktors, der Prozessführung und ggf. zusätzlich eingesetzten Katalysatoren ab. Die grundlegenden Phasen lassen sich folgendermaßen definieren, wobei je nach Bauart die einzelnen Phasen getrennt oder parallel ablaufen (Wesselak et al. 2013):

- Die **Aufheizung- und Trocknungsphase** läuft zwischen 100 °C und 200 °C ab. Die Biomasse wird dabei aufgeheizt und das enthaltene Wasser verdampft.
- Es folgt die **pyrolytische Zersetzung** der Makromoleküle der Biomasse. Sie findet unter Prozesstemperaturen zwischen 150 °C und 500 °C statt. Produkte sind gasförmige Kohlenwasserstoffverbindungen, Pyrolyseöl und Pyrolysekoks.
- In der **Oxidationsphase** werden Produkte der pyrolytischen Zersetzung durch weitere Wärmezufuhr zur Reaktion mit Sauerstoff gebracht, was wiederum zu einer Temperaturerhöhung auf über 500 °C führt. Die Kohlenwasserstoffverbindungen werden dabei, genauso wie ein Teil des Kokes in kleinere gasförmige Moleküle aufgetrennt. Zusätzlich findet eine partielle exotherme Reaktion von Kohlenstoff mit Sauerstoff statt. Die freiwerdende Energie kann für die erste Phase genutzt werden.
- In der **Reduktionsphase** findet die hauptsächliche Entstehung des Produktgases statt. Es werden die in der Oxidationsphase entstandenen Verbrennungsprodukte CO₂ und H₂O mit

festem Kohlenstoff zu Kohlenstoffmonoxid und Wasserstoff reduziert. Des Weiteren findet eine Umsetzung von Kohlenstoff und Wasserstoff zu Methan statt. Die Zusammensetzung und der Energiegehalt des Produktgases hängen dabei stark von den o.g. Faktoren sowie der Temperatur und dem Druck im Reaktor ab. (Wesselak et al. 2013)

Grundsätzlich lassen sich bei der Vergasung von Biomasse drei verschiedene Reaktortypen unterscheiden:

- Der Festbettvergaser kann im Gegenstromverfahren oder Gleichstromverfahren betrieben werden. Die Unterschiede liegen dabei im Wesentlichen in der Vergasungsmittel- und Produktgasführung. Das Produktgas weist bei der Gegenstromvergasung sehr hohe Teer- und Partikelkonzentrationen auf, welche eine weitere Behandlung vor dem Einsatz in einem Motor erfordern. Im Gleichstromverfahren werden deutlich höhere Temperaturen erreicht, wodurch das Produktgas deutlich geringere Teergehalte enthält.
- Im Wirbelschichtvergaser wird die zerkleinerte Biomasse mit einem heißen Bettmaterial wie z.B. Quarzsand unter Luftmangel verbrannt. Der Vorteil dabei liegt in einer gleichmäßigen Temperaturverteilung zwischen 800 °C und 950 °C. Auch beim Wirbelschichtvergaser können weitere Verfahren unterschieden werden. Dies sind im Wesentlichen die stationären und zirkulierenden Wirbelschichtverfahren.
- Im Flugstromvergaser liegt die Biomasse, stark zerkleinert vor, was eine intensive Vorbehandlung der Biomasse voraussetzt. Die Vergasung findet dabei unter sehr hohen Temperaturen von 1.200 °C bis 2.000 °C statt, wodurch ein teerfreies Synthesegas erzeugt werden kann.

Die bei der Pyrolyse aufgeführten Vor- und Nachteile treffen größtenteils auch bei der Holzvergasung zu. Findet keine direkte Verwertung des Produktgases statt, liegt die größte Herausforderung dabei in der Gasreinigung. Entscheidend ist dabei die Entfernung von Staub und Teeren aus dem Produktgas. In nachfolgender Tabelle 46 sind die Vor- und Nachteile der gängigen Verfahren aufgezeigt. Dafür ist ein Gasreinigungsprozess notwendig, der wiederum Abwässer und Abfälle verursacht. Auch der Einsatz in Motoren ist problematisch, da sehr hohe Emissionen der stabilen Gaskomponenten (CO, CH₄, Benzol) entstehen und diese im Motor nicht vollständig oxidiert werden. Zudem entstehen weitere Schadstoffe, wie z.B. Formaldehyd. (Quicker et al. 2017)

Tabelle 46: Vor- und Nachteile der gängigen Verfahren zur Holzvergasung

Verfahren	Festbettvergaser Gleichstrom	Festbettvergaser Gegenstrom	Wirbelschichtvergaser	Flugstromvergaser
Vorteile	+ Gute Gasqualität + Einfaches Konstruktionsprinzip + Geringer Teergehalt im Rohgas(100 – 1.000 mg/m ³) + Weniger	+ Verwendung von Brennstoff mit Feuchte bis zu 50 % möglich + Keine besonderen Ansprüche an Stückigkeit + Niedrige Temperatur des	+ unempfindlich gegenüber Qualitätsfluktuation des Brennstoffes + Nutzung von Kalkstein im Brennraum zur SO ₂ Abscheidung + Hohe Wärme-	+ hohe Effizienz + flexibel bzgl. Einsatzstoff + auch für große Anlagen geeignet + keine Teere im Abgas + Schwermetalle in

	Kondensat in der Gasreinigung	Produktgases	übertragungsraten an den Heizflächen + Niedrige Verbrennungstemperatur daher keine thermische NOx-Bildung	Schlacke eingebunden
Nachteile:	<ul style="list-style-type: none"> - Geringere Brennstoffvariabilität bezogen auf Wassergehalt und Stückigkeit - Hohe Temperatur des Produktgas 	- Ablagerung von Teer im Vergaser	<ul style="list-style-type: none"> - relativ hoher Verschleiß der Heizflächen durch erosives Bettmaterial - Hoher Energiebedarf für Wirbelluftgebläse - Gefahr der Ascheerweichung 	<ul style="list-style-type: none"> - aufwändige Vorbehandlung des Brennstoffs - Beherrschung hoher Temperaturen schwierig

6.2.4 CO₂-Bilanz Vergasung

Dong et al (2018) untersuchten die Ökobilanz der Vergasung von Abfällen im Vergleich zur Pyrolyse und Verbrennung. Grundlage waren die Daten von vier großen gewerblichen Abfallverwertungsanlagen mit unterschiedlichen Verfahren. Die betrachtete Vergasungsanlage wurde 2012 in Finnland in Betrieb genommen und verwertet jährlich ca. 250.000 t feste, energiehaltige Abfälle, welche nicht recycelt werden können. Der elektrische Wirkungsgrad der Anlage liegt bei 27 %, der thermische bei 61 %. Als Ergebnis konnte festgehalten werden, dass die Vergasung ökologisch in dem Vergleich grundsätzlich vorteilhafter als die Pyrolyse war, wobei die THG-Emissionen sich in einem sehr ähnlichen Rahmen bewegten. (Dong et al. 2018)

6.3 Klärschlammverwertung

Historisch betrachtet spielte die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung eine große Rolle. So wurde noch im Jahre 2000 ein Anteil von ca. 60 % bodenbezogen verwertet. Im Jahr 2015 waren dies nur noch ca. 36 %. Der Rest wurde thermisch behandelt und entweder deponiert oder aber im Straßen- oder Bergbau stofflich genutzt (Holm et al. 2018). Im Rahmen der Novellierung der Klärschlammverordnung (AbfKlärV), die am 3.10.2017 in Kraft getreten ist, wird das Ende der landwirtschaftlichen Verwertung und die Verpflichtung zur Phosphorrückgewinnung geregelt. So sind Klärschlämme aus Abwasserbehandlungsanlagen mit einer Ausbaugröße von > 100.000 EW (Einwohnerwerten) spätestens ab dem 1.1.2029 und ab einer Ausbaugröße von > 50.000 EW spätestens ab dem 1.1.2032 dem Phosphorrecycling zuzuführen. Gleichzeitig entfällt die Möglichkeit einer bodenbezogenen Verwertung der Klärschlämme für Anlagen der entsprechenden Größenordnung.

In den Landkreisen Pfaffenhofen und Neuburg-Schrobenhausen gibt es keine Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von >100.000 EW. Drei Anlagen (Pfaffenhofen/Ilm, Neuburg/Donau und Schrobenhausen) haben eine Ausbaugröße, die zwischen 50.000 und 100.000 EW liegt. Dies betrifft somit 46 % der Summe der Einwohnerwerte der beiden Landkreise. 27 % der Anlagen haben eine Ausbaugröße von 10.000 – 50.000 Einwohnerwerten. Für ebenfalls 27 % der Anlagen liegt die Ausbaugröße unterhalb von 10.000 EW. Von der Verpflichtung eine Rückgewinnung von Phosphor ab

dem Jahr 2032 sind somit drei Anlagen mit einer geschätzten Masse an Klärschlamm von ca. 2.800 Mg TR /a betroffen. Die Rückgewinnung von Phosphor kann entweder direkt aus dem Klärschlamm oder aus Verbrennungsaschen aus Monoverbrennungsanlagen oder aus Mitverbrennungsanlagen erfolgen.

Für Anlagen bis zu einer Ausbaugröße von unterhalb 50.000 EW soll die bodenbezogene Klärschlammverwertung zunächst unbefristet möglich bleiben, wenngleich die bodenbezogene Verwertung an deutlich strengere Auflagen gekoppelt ist. Das gleiche gilt für größere Anlagen, wenn der Gehalt an Phosphor nachweislich dauerhaft unter 20g/kg TR liegt. Die zu untersuchenden Parameter und die Frequenz der Analysen bei einer bodenbezogenen Verwertung des Klärschlammes sind in der AbfKlärV 2017 geregelt.

Der Vorteil einer Phosphorrückgewinnung und der anschließenden Ausbringung in der Landwirtschaft ist eine Reduzierung der ausgebrachten Schadstoffe. Allerdings ist die Belastung der Klärschlämme mit Schwermetallen, Dioxinen sowie Per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC) in den letzten 2 Jahrzehnten stark zurückgegangen. Heute wird im Zusammenhang mit dem Ausbringen von Klärschlämmen auf landwirtschaftliche Flächen eher dessen Belastung mit Arzneimittelrückständen und Rückständen von Kosmetika diskutiert. (Holm et al. 2018).

Für eine langfristige Sicherheit der Klärschlamm Entsorgung wird die bodenbezogene Nutzung vermutlich keine große Rolle mehr spielen, da die Flächen für die Ausbringung insbesondere in Regionen mit viel Viehhaltung stark limitiert sind. Der thermischen Vorbehandlung kommt damit eine große Bedeutung zu, wobei die Tendenz vermutlich in Richtung der Monoverbrennung gehen wird. Möglich ist auch nach wie vor die Mitverbrennung nach einer vorgeschalteten Phosphorrückgewinnung, wobei die Kapazitäten in Müllverbrennungsanlagen, Kohlekraftwerken und Zementwerken limitiert sind.

7 Handlungsempfehlungen

Entgegen der in der Ausgangslage formulierten Annahme, dass in den einzelnen Bereichen kommunaler Abfälle, erhebliche Mengen Abfälle biogener Herkunft in den beiden Landkreisen überwiegend nicht verwertet werden und das energetische Potenzial dieser Abfallströme nur eingeschränkt genutzt wird, bringt die Untersuchung der Teilprojekte ein anderes Ergebnis. Sowohl die von den Kommunen verwaltete Organik sowie auch die Mengen im Forstbereich können überwiegend als verwertet angesehen werden.

Eine Verdichtung des Sammelsystems „Biotonne“ z.B. würde Mengen, die heute in der Kompostierung oder als Hackschnitzel verwertet werden, hin zu Vergärungsanlagen verschieben. Dies hätte nur dann wirklich Sinn, wenn sich dadurch nennenswerte Mengenveränderungen und neue Skaleneffekte ergeben würden, die eine Bündelung der organischen Abfälle auch aus dem Gewerbe rentieren würden. Die Situation der Verwertung ist in beiden Landkreisen eindeutig durch den Entsorgungspreis getrieben. Da neue Anlagen – insbesondere, wenn sie von der öffentlichen Hand angestrengt werden – deutlich erweiterte Auflagen zu erwarten hätten als diejenigen Anlagen, die aktuell in der Region den Entsorgungspreis bestimmen, muss diese Richtung nicht weiter betrachtet werden. Dies wird nochmals deutlich, wenn man einbezieht, dass die in der Privatwirtschaft seit Jahren betriebenen Anlagen, größtenteils abgeschrieben sind und extrem wirtschaftlich arbeiten.

Die entsprechende qualitative und quantitative Datengrundlage zu vertiefen, war deswegen gerade im Forst vielversprechend. Es wurde dabei erkannt, dass etwa im Staatswald der Holzzuwachs bereits vollständig abgeschöpft wurde und auch Waldhackschnitzel aus Derbholz bereits genutzt und in Biomasseheiz(kraft)werken verwertet werden.

Nach einer differenzierten Betrachtung der Ergebnisse wird gerade hier aufgezeigt, dass neben kleinen regionalen Optimierungen, eine Bündelung von Mengen keinen Durchbruch im Sinne eines wesentlichen Beitrags zum Ausbau „Erneuerbarer Energien“ erwarten lässt.

Bereits früh wurde mit dem Auftraggeber diskutiert, dass die Aufgabe dieser Studie weniger in den Details des vorhandenen Reststoffpotenzials liegt, sondern darin, neue insbesondere sektorenübergreifende Behandlungswege und Verwertungsverfahren aufzuzeigen.

Die Verfahrenstechnik der Vergasung und Verbrennung benötigt als Substrat vorzugsweise holzige Biomassen (Waldrestholz, Sägenebenprodukte, Industrierestholz, Gebrauchtholz und Landschaftspflegeholz), die in der erhobenen Potentialanalyse der TU München nur teilweise als verfügbar eingestuft wurden. Zusätzlich mobilisierbare Mengen bestehen in der vermehrten Nutzung von Waldrestholz aus dem Privatwald und der vermehrten Nutzung von Landschaftspflegematerial. Aufgrund der hohen Variabilität des Landschaftspflegematerials ist dieses nur für die Verbrennung in großen Anlagen mit entsprechender Technologie geeignet. Eine mögliche Verschiebung von Stoffströmen zwischen unterschiedlichen Landkreisen bedarf einer überregionalen Analyse, um die ökologischen und ökonomischen Vor- und Nachteile abzuwägen. Die Bewertung der Carbonisierungstechnologien erfolgt anhand der zur Verfügung gestellten Reststoffmengen der Landkreise, Literaturdaten und Erfahrungswerten. Daraus ergibt sich folgendes Bild:

- Die Hydrothermale Carbonisierung (HTC) von Klärschlamm kommt als zukunftsweise Behandlungsmethode in Frage, wenn die nötigen Rahmenbedingungen geklärt sind (Prozesswasseraufbereitung, Hydrokohleverwertung) und der Anlagenhersteller die nötige Entsorgungssicherheit garantiert.
- Das weitaus höhere CO₂-Einsparungs- bzw. Sequestrierungspotential besitzt die Pyrolyse von biogenen Reststoffen. In Hinblick auf eine lokale Nährstoffwirtschaft ist die Verkohlung von verschiedenen Reststoffen mit anschließender agrarischer Nutzung die nachhaltigste Form.

Unter Blick auf die im Jahr 2019 begonnen Untersuchungen des Zweckverbands Müllverwertungsanlage Ingolstadt, ob die Klärschammengen des Zweckverbandsgebiets am Standort des Abfallheizkraftwerkes in Ingolstadt gebündelt und dort thermisch verwertet werden können, ist eine zentrale Lösung ausgehend vom Zweckverband aktuell wohl auch für die beiden Landkreise Neuburg-Schrobenhausen und Pfaffenhofen a.d. Ilm am wahrscheinlichsten.

Eine Monoverbrennung von Klärschlamm an einem Standort, dessen Abfallheizkraftwerk bereits Einrichtungen zur Trocknung von Klärschlamm umgesetzt hat und dort umfassenden Einrichtungen zur thermischen Nutzung der überschüssigen Energie unterhält, bietet sich sicher bevorzugt auch als Standort für weitergehende Einrichtungen zur Optimierung der Energie aus organischen Reststoffen an.

Der Zweckverband Ingolstadt (MVA) gilt heute neben seinen Aufgaben der Entsorgung als einer der größten Energieversorger in der Region. Über Kraft-Wärme-Kopplung wird neben der Stromerzeugung in einer Turbine die Energie auch zur Erzeugung von Fernwärme genutzt. Rund 178.000 MWh Wärme und über 77.000.000 kWh Strom werden so jährlich in die öffentlichen Versorgungsnetze eingespeist und damit öffentliche Einrichtungen oder Unternehmen versorgt.

Mit Blick auf die Untersuchungsbreite dieses Gutachtens wäre anzumerken, dass auch kleinere Anlagen z.B. der Vergärung von Bioabfall und ähnlichen organischen Stoffen, ihre größte Effizienz erst erreichen, wenn sie eingebunden in bestehende, größere Netze zur Nutzung von Wärme sind. Vorteilhaft ist ein Standort auch wenn von dort wegen bereits vorhandener Leitungen der Transport von Energieträgern (wie etwa Biogas oder Biomethan) an die Stellen erfolgt, wo die Nutzung optimal erfolgen kann.

Zentrale und dezentrale Lösungen müssen sich ergänzen. Die Suche nach optimalen „energetischen und stofflichen Verwertungsmöglichkeiten biogener Reststoffe“ ist immer auch gekoppelt mit der Suche nach dem optimalen Umgriff der Lösungs idee.

Um langfristig zusätzliche Holz Mengen aus dem Privatwald zu mobilisieren, benötigt es neben wirtschaftlich und logistisch optimierter Aufbereitung, Lagerung und Verteilung eine koordinierte Kommunikation und Kooperation zwischen Abnehmern und Anbietern. Eine mögliche Umsetzung besteht beispielsweise in der Einführung eines runden Tisches für die zwei Landkreise. Grundsätzliches Ziel dabei ist es, auf der einen Seite die bestehende Nachfrage erstens zu erfassen sowie Bewusstsein, Interesse und Akzeptanz für Hackschnitzelanlagen zu fördern und auf der anderen Seite diesem Bedarf gleichzeitig ein vorhandenes und mobilisierbares Potenzial gegenüberzustellen. Auf einer solchen Basis ließen sich potenzielle neue Standorte identifizieren und neue Anlagen zur regionalen Wärme- und / oder Energieversorgung realisieren.

Die sinnvolle Nutzung von Klärschlamm muss einhergehen mit dem bereits gesetzlich geforderten Recycling von Phosphor. Phosphorrecycling ist als technisch komplexe Aufgabe zurzeit noch nicht abschließend gelöst. Es lässt erwarten, dass bezahlbare Lösungen einhergehen mit großen technischen Einheiten, die auf eine zentrale Lösung hindeuten.

Die Verwertung landwirtschaftlicher Reststoffe wird sich mit der Umsetzung der RED II Richtlinie erheblich verändern. Es wird sich eine Verschiebung erneuerbarer Gase in den Kraftstoffsektor und die stoffliche Nutzung von Biogas und Biomethan ergeben. Da die konkreten Instrumente auf nationaler Ebene noch nicht bekannt sind, ist eine Abschätzung z.B. der geeigneten Standorte oder Mindestmengen für eine Verwertung derzeit nicht möglich. Auch die CO₂-Bepreisung und die Regelungen des Klimaschutzpaketes haben einen erheblichen Einfluss auf die Standort- und Mengenfrage.

Wer darüber hinaus ressortübergreifendes Denken erlaubt, wird zusätzliche Lösungsmöglichkeiten finden und erkennen. Das Beispiel der Abfallverwertung Augsburg zeigt, dass sich stoffliches und energetisches Recycling optimal ergänzen können. Wer ressortübergreifend denkt, wird zu Fragen kommen, wieso kontinuierlich anfallendes Klärgas immer noch primär zur Erzeugung von Strom für die Kläranlage Verwendung findet, obwohl Klärgas besser lagerfähig ist, als Strom und sich mit Blick auf die Energiewende längst komplementäre Lösungen zu Photovoltaik und Windkraft gefordert sind.

Für die regionalen Energievereine ergeben sich aus der Studie dennoch interessante Lösungen, die einen wichtigen Beitrag zur Energiewende bringen können. So sagt die Studie etwa aus, dass im Privatwald Waldhackschnitzel sowohl aus Derbholz als auch als Waldrestholz zwar überwiegend bereits genutzt werden, jedoch noch ein Restpotential von über 30% zur Verwertung verbleibt. Gerade im Privatwald lassen sich durch intensiven Kontakt mit den Beteiligten Kooperationen zwischen den Waldbesitzern und den Interessenten für regionale Energie aus Biomasseheiz(kraft)werken schmieden. Der im Staatsforst längst organisierte Umbau des Forstes von früheren Monokulturen zu dem Klimawandel verträglicheren Mischbeständen ist im Privatwald nicht geregelt. Über eine Organisation eines langfristig auf die Nutzung in bestimmten Biomasseheiz(kraft)werken angelegten Umbaus könnten alle Beteiligten profitieren.

München, Freising, Hannover

31.03.2020

8 Literatur 1

- AEE (2013): Potenzialatlas Bioenergie in den Bundesländern. AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN (AEE) E.V., HRSG., 121 S., Download unter <https://mediathek.fnr.de/broschuren/bioenergie/bioenergie-potenzialatlas.html>. (12.09.2018).
- AELF PFAFFENHOFEN A. D. ILM (2018): Wald und Forstwirtschaft – Unser Wald. AMT FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN PFAFFENHOFEN A.D. ILM, HRSG., DOWNLOAD UNTER <http://www.alf-ph.bayern.de/forstwirtschaft/wald/index.php>. (18.09.2018).
- BAYSF (2017): Pressemitteilung Forstbetrieb Kaisheim – Vorstandsvorsitzender Martin Neumeyer informiert sich zum Stand der Käferholzaufarbeitung am Forstbetrieb Kaisheim. 24. August 2017. BAYERISCHE STAATSFORSTEN AÖR (BaySF), Hrsg., Download unter <https://www.baysf.de/de/medienraum/pressemitteilungen/nachricht/detail/vorstandsvorsitzender-martin-neumeyer-informiert-sich-zum-stand-der-kaeferholzaufarbeitung-am-forstb.html>. (15.03.2019).
- BAYSF (2018a): Bayerische Staatsforsten reduzieren Einschlag deutlich – 200.000 Festmeter Holz werden weniger eingeschlagen. Vorsorge vor Überangebot an Borkenkäfer- und Sturmholz – Klimawandel in Bayerns Wäldern deutlich zu spüren, Regensburg.
- BAYSF (2018b): Bayerische Staatsforsten Statistikband 2017. BAYERISCHE STAATSFORSTEN AÖR, HRSG., Regensburg, 30 S. (14.03.2019).
- Bauer (2015): Ökonomische Aspekte der Bioabfallsammlung und -verwertung, Bioabfallforum Baden-Württemberg 2015, ISBN 978-3-8356-726-3
- Bifa Umweltinstitut (2018): Studie zur Abschätzung der Klimaeffekte der kommunalen Abfallwirtschaft, AWM ... im Download: <https://www.awm-muenchen.de/fileadmin/PDF-Dokumente/awm/AWM-Klimaschutz-Broschuere.pdf>
- Bifa Umweltinstitut (2015): bifa-Text Nr. 61 „Ökoeffizienzpotenziale bei der Behandlung von Bioabfällen in Bayern“
- Bifa Umweltinstitut (2013): Ökoeffizienzpotenziale bei der Behandlung von Bioabfällen in Bayern, Download unter: https://www.bifa.de/news/detailseite/news/oekoeffizienzpotenziale-bei-der-behandlung-von-bioabfaellen-in-bayern?tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=58cadc75c6eede2c8e1c1692339c0c83
- BINDERHOLZ GMBH (2018): Ressourceneffizienz – 100% Verwertung des Rohstoffes Holz | No-Waste-Prinzip. BINDERHOLZ GMBH, HRSG., DOWNLOAD UNTER <https://www.binderholz.com/unternehmen/binderholz/ressourceneffizienz/>. (22.02.2019).
- (2012): Biomasseverordnung vom 21. Juni 2001 (BGBl. I S. 1234), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 10 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist – BiomasseV, 7 S.
- BORCHERT, H., RENNER, F. (2018): Holzaufkommen und Waldumbau: ein Szenario für Bayern. AFZ-DerWald 73, (1), 37–39.
- BROSOWSKI, A., ADLER, P., ERDMANN, G., STINNER, W., THRÄN, D., MANTAU, U. (2015): Biomassepotenziale von Rest- und Abfallstoffen – Status Quo in Deutschland. Schlussbericht. FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E. V. (FNR), Hrsg., DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH, Gülzow-Prüzen, 05 S. (15.03.2019).

- BRUNDKE, F., HAHN, A. (2018): WBV-Rundschreiben 3/2018. WALDBESITZERVEREINIGUNG PFAFFENHOFEN W.V., HRSG., Pfaffenhofen, 4 S., Download unter <https://www.wbv-pfaffenhofen.de/images/stories/download/Rundschreiben-2018.3.pdf>. (14.02.2019).
- BRUNDKE, F., MERGLER, F., HAHN, A. (2018): WBV-Rundschreiben 2/2018. WALDBESITZERVEREINIGUNG PFAFFENHOFEN W.V., HRSG., Pfaffenhofen, 4 S., Download unter <https://www.wbv-pfaffenhofen.de/images/stories/download/Rundschreiben-2018.2.pdf>. (14.02.2019).
- DANPOWER GMBH (2018): Biomasseheizkraftwerk Pfaffenhofen. DANPOWER GMBH, HRSG., DOWNLOAD UNTER <https://www.danpower.de/de/kompetenz-und-service/standorte/pfaffenhofen>. (12.11.2018).
- DRESSLER, D., ENGELMANN, K., BOSCH, F., BÖSWIRTH, T., BRYZINSKI, T., EFFENBERGER, M., HAAS, R., HIJAZI, O., HÜLSBERGEN, K.-J., JORISSEN, T., KLEIN, D., MAZE, M., RICHTER, K., RÖDER, H., SCHULZ, C., SERDJUK, M., STRIMITZER, L., WIDMANN, B., TIEMANN, A., WEBER-BLASCHKE, G., WOLF, C., ZERLE, P., REMMELE, E. (2016a): ExpResBio – Ergebnisse – Analyse und Bewertung ausgewählter ökologischer und ökonomischer Wirkungen von Produktsystemen aus land- und forstwirtschaftlichen Rohstoffen. Abschlussbericht – Langfassung. TECHNOLOGIE- UND FÖRDERZENTRUM IM KOMPETENZZENTRUM FÜR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (TFZ), Hrsg., 722 S. (28.01.2019).
- DRESSLER, D., ENGELMANN, K., BOSCH, F., BÖSWIRTH, T., BRYZINSKI, T., EFFENBERGER, M., HAAS, R., HIJAZI, O., HÜLSBERGEN, K.-J., JORISSEN, T., KLEIN, D., MAZE, M., RICHTER, K., RÖDER, H., SCHULZ, C., SERDJUK, M., STRIMITZER, L., WIDMANN, B., TIEMANN, A., WEBER-BLASCHKE, G., WOLF, C., ZERLE, P., REMMELE, E. (2016b): Kosteneffiziente Treibhausgas-Minderung verschiedener Bioenergien. TFZWissen 4. TECHNOLOGIE- UND FÖRDERZENTRUM (TFZ), Hrsg., Straubing, 40 S.
- FNR (2014): Leitfaden feste Biobrennstoffe – Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen im mittleren und großen Leistungsbereich, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V (FNR), Gülzow-Prüzen. 4. Aufl., 208 S.
- FUCHS, A. (2019): Waldrestholzaufkommen - und verwertung im Staatswald im Landkreis Pfaffenhofen a. d. IIm. persönliche Mitteilung von Dr. Alfred Fuchs, Forstbetriebsleiter Freising, 24. März 2019.
- GÄNGER, A. (2018): Abfallbericht für 2017. ABFALLWIRTSCHAFTSBETRIEB DES LANDKREISES PFAFFENHOFEN A.D.ILM (AWP), Hrsg., 41 S., Download unter <https://www.awp-paf.de/Buergerservice/Abfallberichte.aspx>. (25.09.2018).
- GÖßWEIN, S., HIENDLMAIER, S., BORCHERT, H. (2018): Energieholzmarkt Bayern 2016 – Untersuchung des Energieholzmarktes in Bayern hinsichtlich Aufkommen und Verbrauch. Abschlussbericht 05/2018. BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (LWF), Hrsg., Freising, 131 S., Download unter https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/energieholzmarkt_bayern_2016_bf.pdf. (13.09.2018).
- HAHN, A. (2019): Waldrestholzaufkommen und -verwertung im Privatwald in den Landkreisen Neuburg-Schrobenhausen und Pfaffenhofen a.d. IIm. persönliche Mitteilung von Andreas Hahn, AELF Pfaffenhofen, 13. März 2019.
- HAHN, A., ZITZELBERGER, G. (2017): WBV-Rundschreiben 3/2017. WALDBESITZERVEREINIGUNG PFAFFENHOFEN W.V., HRSG., Pfaffenhofen, 4 S., Download unter <https://www.wbv-pfaffenhofen.de/images/stories/download/Rundschreiben-2017.3.pdf>. (14.02.2019).
- HASTREITER, H. (2013): Der Holzeinschlag 2011 in Bayern. LWF aktuell 96, 29–31.

- HELM, S. (2011): Analyse der regionalen Energieholzverfügbarkeit im Landkreis Bad Tölz-Wolfratshausen – Im Auftrag der Bürgerstiftung „Energiewende Oberland“. Projektarbeit, Technische Universität München, Freising.
- HERCHENBACH, A. (2018): Der Dampfmacher – Grüne Fernwärme aus den Wäldern: Biomasse-Heizkraftwerk ist auf Expansionskurs. Online Artikel erstellt am 30.03.2018. DONAUKURIER GMBH, HRSG., DOWNLOAD UNTER <https://www.donaukurier.de/lokales/pfaffenhofen/Pfaffenhofen-Firmen-im-Portraet-Der-Dampfmacher;art600,3729011>. (12.02.2019).
- HOFMANN, N., MENDEL, T., KUPTZ, D., SCHULMEYER, F., BORCHERT, H., HARTMANN, H. (2017): Lagerung von Holzhackschnitzeln – Trockenmasseverluste, Änderungen der Brennstoffqualität und Kosten. Berichte aus dem TFZ 55. TECHNOLOGIE- UND FÖRDERZENTRUM IM KOMPETENZZENTRUM FÜR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (TFZ), Hrsg., Straubing, Freising-Weihenstephan, 172 S. (02.04.2019).
- HÖGLMEIER, K. (2015): Holznutzung in Kaskaden: Ansätze zur Potentialanalyse und zur Weiterentwicklung der ökobilanziellen Bewertung. Dissertation, Technische Universität München, München.
- HÖGLMEIER, K., STEUBING, B., WEBER-BLASCHKE, G., RICHTER, K. (2015): LCA-based optimization of wood utilization under special consideration of a cascading use of wood. *Journal of environmental management* 152, 158–170.
- HÖGLMEIER, K., WEBER-BLASCHKE, G., RICHTER, K. (2014): Utilization of recovered wood in cascades versus utilization of primary wood—a comparison with life cycle assessment using system expansion. *Int J Life Cycle Assess* 19, (10), 1755–1766.
- HÖGLMEIER, K., WEBER-BLASCHKE, G., RICHTER, K. (2016): Kaskadennutzung von Altholz in Bayern. – Mengenpotenziale aus dem Gebäudebestand und ökologische Bewertung. *LWF aktuell* 109, (2/2016), 8–11.
- HWK MÜNCHEN (2019): Statistik: Betriebe, Auszubildende, Prüfungen: Betriebe 2018 Berufe-Landkreise – Betriebsbestand zum 31.12.2018. HANDWERKSKAMMER FÜR MÜNCHEN UND OBERBAYERN, HRSG., 4 S., Download unter <https://www.hwk-muenchen.de/artikel/statistik-betriebe-auszubildende-pruefungen-74,0,7352.html>. (12.03.2019).
- IMMITZER, M., ATZBERGER, C., EINZMANN, K., BÖCK, S., MATTIUZZI, M., WALLNER, A., SEITZ, R., PINNEL, N., MÜLLER, A. (2015): Fichten- und Kiefernkarte für Bayern. *LWF aktuell* 106, 30–34.
- JOHST, D., CONRADY, D., KATHKE, S. (2014): Energieholz und Biodiversität – Die Nutzung von Energieholz als Ansatz zur Erhaltung und Entwicklung national bedeutsamer Lebensräume. Abschlussbericht, Erfurt, 331 S.
- KALTSCHMITT, M., HARTMANN, H., HOFBAUER, H., Hrsg. (2009): *Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren*, Springer, Berlin.
- KALTSCHMITT, M., HARTMANN, H., HOFBAUER, H., Hrsg. (2016): *Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren*, Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg.
- KNAUF, M., KÖHL, M., MUES, V., OLSCHOFSKY, K., FRÜHWALD, A. (2015): Modeling the CO₂-effects of forest management and wood usage on a regional basis. *Carbon balance and management* 10, 13.
- KÖHL, M., PLUGGE, D. (2016): Forstwirtschaftlich produzierte Biomasse. In: KALTSCHMITT, M. et al., Hrsg., *Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren*, Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 125–166.

- KOLB, E., GÖTTLEIN, A. (2012): Nährstoffnachhaltige Nutzung von Waldlandschaften – Regionale Bewertung erntebedingter Nährstoffentzüge. AFZ-DerWald, (15), 4–7.
- KOLLMANN, F. (1982): Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe, Springer, Berlin. 2. Aufl., 1050 S.
- KRAUS, M. (2016): Danpower dementiert Hackschnitzel-Aus – Laut Betreiber ist kein Brennstoffwechsel im Pfaffenhofener Biomasseheizkraftwerk geplant. Online Artikel erstellt am 02.11.2016. DONAUKURIER GMBH, HRSG., DOWNLOAD UNTER <https://www.donaukurier.de/lokales/pfaffenhofen/Pfaffenhofen-Energie-Pfaffenhofen-Energie-Danpower-dementiert-Hackschnitzel-Aus;art600,3285538>. (13.03.2019).
- KUPTZ, D., SCHULMEYER, F., HÜTTL, K., DIETZ, E., TUROWSKI, P., ZORMAIER, F., BORCHERT, H., HARTMANN, H. (2015): Optimale Bereitstellungsverfahren für Holzhackschnitzel – Berichte aus dem TFZ 40. TECHNOLOGIE- UND FÖRDERZENTRUM IM KOMPETENZZENTRUM FÜR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (TFZ), Hrsg., Straubing, 324 S., Download unter http://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/service/dateien/tfz_bericht_40_optimale_bereitstellungsverfahren_fuer_holzhackschnitzel.pdf. (28.01.2019).
- LANDKREISBETRIEBE NEUBURG-SCHROBENHAUSEN (2017): Unsere Werstoffe - Was kommt wo hin?, 3 S., Download unter <https://www.landkreisbetriebe.de/files/Landkreisbetriebe/Dokumente/Merkblaetter/Verwerterliste2017.pdf>. (26.09.2018).
- LANDKREISBETRIEBE NEUBURG-SCHROBENHAUSEN (2018a): Eingesammelte Siedlungsabfälle im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen, 7 S., Download unter [https://www.landkreisbetriebe.de/files/Landkreisbetriebe/Bilder/News-Bilder/Eingesammelte Siedlungsabfaelle im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen.pdf](https://www.landkreisbetriebe.de/files/Landkreisbetriebe/Bilder/News-Bilder/Eingesammelte_Siedlungsabfaelle_im_Landkreis_Neuburg-Schrobenhausen.pdf). (26.09.2018).
- LANDKREISBETRIEBE NEUBURG-SCHROBENHAUSEN (2018b): Eingesammelte Siedlungsabfälle im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen – 2012 - 2017. LANDKREISBETRIEBE NEUBURG-SCHROBENHAUSEN, HRSG., 7 S., Download unter <https://www.landkreisbetriebe.de/abfallbilanzen>. (12.09.2018).
- LFU (2003): Erfassung und Entsorgung von Altholz – Sonderauswertung zur Abfallbilanz 2002. BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (LfU), Hrsg., 9 S., Download unter <https://www.abfallratgeber.bayern.de/publikationen/abfallverwertung/doc/altholz.pdf>. (18.03.2019).
- LFU (2018): Hausmüll in Bayern - Bilanzen 2017. BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (LfU), Hrsg., Augsburg, 93 S., Download unter <https://www.lfu.bayern.de/abfall/index.htm>. (18.03.2019).
- LWF (2014): LWF Spezial 04 – Nachhaltig und naturnah. Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur. BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (LWF), Hrsg., 18 S., Download unter http://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/lwfspezial_240914_lay.pdf. (18.09.2018).
- LWF (2018): Die Bundeswaldinventur 2012 für Bayern. BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (LWF), Hrsg., Download unter <http://www.lwf.bayern.de/bwi/index.php>. (13.12.2018).
- MELLERT, H., KOLB, E., WELLBROCK, N., GÖTTLEIN, A. (2017): Ernährungszustand der Wälder in Deutschland. AFZ-DerWald 2017, (19), 41–44.
- N., N. (2019): Waldrestholzaufkommen - und verwertung im Staatswald im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen. persönliche Mitteilung eines Staatswald Experten im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen, 13. März 2019.

- NÖSTLER, M. (2018): Deutsche Sägewerke laufen voll. ÖSTERREICHISCHEN AGRARVERLAG, H.c., Hrsg., Download unter <https://www.holzkurier.com/schnittholz/2018/03/saegewerke-de-einschnitt-2017.html>. (22.02.2019).
- OELKERS, M. (2011): Darstellung und Beurteilung von Varianten zur Mobilisierung von Landschaftspflegeholz, unter besonderer Berücksichtigung der gezielten Aufarbeitung und Sortierung für die energetische Nutzung. Masterarbeit, Technische Universität München, München.
- PFEIFER GROUP (2017): Standort Unterbernbach, Download unter <https://karriere.pfeifergroup.com/standort-unterbernbach/>. (17.12.2018).
- RENNER, F., unter Mitarbeit von HELM, S. (2019): Berechnungsgrundlagen Energieholzpotenziale aus Waldderbholz. Email, Telefonat.
- RISSE, M., WEBER-BLASCHKE, G., RICHTER, K. (2017): Resource efficiency of multifunctional wood cascade chains using LCA and exergy analysis, exemplified by a case study for Germany. Resources, Conservation and Recycling 126, 141–152.
- RÜTER, S. (2011): Welchen Beitrag leisten Holzprodukte zur CO₂-Bilanz. AFZ - Der Wald 15, 15–18.
- SCHREINERINNUNG INGOLSTADT-PFAFFENHOFEN (2019): Unsere Schreiner – Schreinerliste, Download unter <http://www.schreiner-in-paf.de/category/schreiner/>. (12.03.2019).
- SCHREINERINNUNG NEUBURG-SCHROBENHAUSEN (2019): Schreiner vor Ort – Schreiner Neuburg-Schrobenhausen, Download unter <http://www.schreinerinnung-nd-sob.de/nc/home/schreiner-vor-ort/schreiner-neuburg-schrobenhausen/>. (12.03.2019).
- SÖRGEL, C., MANTAU, U., WEIMAR, H. (2006): Standorte der Holzwirtschaft – Aufkommen von Sägenebenprodukten und Hobelspänen. Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft. Arbeitsbereich Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft, Hamburg, 34 S. (14.01.2019).
- STETTER, U., ZORMAIER, F. (2010): Verwertung und Beseitigung von Holzaschen – Neues LfU-Merkblatt grteilt altes Thema auf. LWF aktuell, (74), 28–30.
- STMWi (2018): Energie-Atlas Bayern – Energiepotenziale aus Waldderbholz. Verantwortlich für die Daten: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF). BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, LANDESENTWICKLUNG UND ENERGIE, HRSG., DOWNLOAD UNTER <https://www.energieatlas.bayern.de/>. (19.09.2018).
- TFZ (2018): Vom TFZ im Rahmen von Einzelfallentscheidungen geförderte Biomasseheizwerke. TECHNOLOGIE- UND FÖRDERZENTRUM IM KOMPETENZZENTRUM FÜR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE, HRSG., 41 S., Download unter http://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/foerderung/dateien/150601liste_bmh_tfz.pdf. (19.09.2018).
- WEIDNER, U., HIENDLMAIER, S., ZENKER, M., BORCHERT, H., FRIEDRICH, S., SCHULMEYER, F., LEUCHTWEIS, C. (2016): Energieholzmarkt Bayern 2014. BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (LWF), Hrsg., Freising, 127 S. (18.03.2019).
- WEIS, W., GÖTTLEIN, A. (2012): Nährstoffnachhaltige Biomassenutzung – Bei der Nutzung von Biomasse ist Vorsicht geboten: Nicht jeder Waldstandort verträgt den erhöhten Nährstoffentzug. LWF aktuell 90, 44–47.
- WOLF, C., KLEIN, D., WEBER-BLASCHKE, G., SCHULZ, C. (2015): Treibhausgasvermeidung durch Wärme aus Holz. LWF Merkblatt Nr. 34. BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (LWF), Hrsg., 3 S.

ZIMMERER-INNUNG INGOLSTADT (2019): Betriebe der Zimmerer-Innung Ingolstadt, Download unter <http://www.zimmerer-ingolstadt.de/betriebe.html>. (12.03.2019).

ZIMMERER-INNUNG NEUBURG-SCHROBENHAUSEN (2019): Betriebe der Zimmerer-Innung Neuburg-Schrobenhausen, Download unter <http://www.zimmerer-neuburg-schrobenhausen.de/betriebe.html>. (12.03.2019).

9 Literatur 2

BayLfU (2013). Bayrisches Landesamt für Umwelt. Abfallbilanzen Online verfügbar unter www.lfu.bayern.de.

Bergius, Friedrich (1913): Die Anwendung hoher Drucke bei chemischen Vorgängen und eine Nachbildung des Entstehungsprozesses der Steinkohle. Halle a. S.: Knapp.

Büchler, Bernd (2012): HTC-Verfahren - die Vor- und Nachteile. Klärschlamm Entsorgung mittels hydrothermaler Karbonisierung. In: *Umwelt Perspektiven* 2012 (1).

Dong, Jun; Tang, Yuanjun; Nzihou, Ange; Chi, Yong; Weiss-Hortale, Elsa; Ni, Minjiang (2018): Life cycle assessment of pyrolysis, gasification and incineration waste-to-energy technologies: Theoretical analysis and case study of commercial plants. In: *Science of the Total Environment* (626), S. 744–753.

DWA (2015): Nr. 1; Abwasser und Klärschlamm in Deutschland – statistische Betrachtungen, Teil 2: Klärschlamm, Klärgas, Rechen- und Sandfanggut*). In: *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall* 2015 (62).

Floris, Julien; Hartmann, Frank; Kühni, Martin; Gerner, Gabriel; Hölzl, Britta; Krebs, Rolf et al. (2013): Weiterentwicklung der hydrothermalen Karbonisierung zur CO₂-sparenden und kosteneffizienten Trocknung von Klärschlamm im industriellen Massstab sowie der Rückgewinnung von Phosphor. Hg. v. ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften.

Hammond, Jim; Shackley, Simon; Sohi, Saran; Brownsort, Peter (2011): Prospective life cycle carbon abatement for pyrolysis biochar systems in the UK. In: *Energy Policy* (39), S. 2646–2655.

Lübbert, Daniel (2007): CO₂-Bilanzen verschiedener Energieträger im Vergleich. Zur Klimafreundlichkeit von fossilen Energien, Kernenergie und erneuerbaren Energien. Hg. v. Deutscher Bundestag.

Masurat, Philipp (2015): Hydrothermale Karbonisierung und die Behandlung von Gärresten aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung und Bioabfallbehandlung.

Nussbaumer, Thomas (1990): Grundlagen der Holzvergasung. In: *Heizung Klima* (7), S. 52–60.

Obersteiner, Gudrun; Sitter, Marko; Pertl, Andreas; Huber-Humer, Marion (2015): Umweltauswirkungen der pyrolytischen Verkohlung. In: *Österr Wasser- und Abfallw* 67 (9-10), S. 369–376. DOI: 10.1007/s00506-015-0263-6.

Quicker, Peter; Neuerburg, Florian; Yves Noel, Adrianna Huras (2017): Sachstand zu den alternativen Verfahren für die thermische Entsorgung von Abfällen. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau.

Reza, M. Toufiq; Andert, Janet; Wirth, Benjamin; Busch, Daniela; Pielert, Judith; Lynam, Joan G.; Mumme, Jan (2014): Hydrothermal Carbonization of Biomass for Energy and Crop Production. In: *Applied Bioenergy* 1 (1). DOI: 10.2478/apbi-2014-0001.

Teichmann, Isabel (2014): Klimaschutz durch Biokohle in der deutschen Landwirtschaft: Potentiale und Kosten 2014 1+2 (1+2).

Wesselak, Viktor; Schabbach, Thomas; Link, Thomas; Fischer, Joachim (2013): Regenerative Energietechnik. 2., erw. u. vollst. neu bearb. Aufl. 2013. Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-24165-9>.

10 Anhang

Im folgenden Anhang befinden sich die für die Umfrage genutzten sechs Fragebögen. Für jede der fünf Reststoffarten ein Fragebogen, plus einem Fragebogen für Heiz(kraft)werke. Die Fragen wurden entweder telefonisch gestellt, oder der Fragebogen per Email als ausfüllbare Word-Datei verschickt.

Studie zum Potenzial von Sägenebenprodukten

Im Auftrag der Vereine Energie Effizient Einsetzen (EEE) und Energie- und Solarverein Pfaffenhofen führt die Holzforchung München, Technische Universität München eine Potenzialanalyse zur optimalen energetischen und stofflichen Verwertung holzartiger Reststoffe in den Landkreisen Pfaffenhofen und Neuburg-Schrobenhausen durch.

Bitte nehmen Sie sich einen Augenblick Zeit, um den Fragebogen auszufüllen. Sie fördern damit gemeinnützige Initiativen für den Klimaschutz und den Ausbau der erneuerbaren Energien in Ihrer Region. Bitte ergänzen Sie bei Mengenangaben immer eine Einheit.

1. Fragen zum Holzeinschnitt

- Wie hoch war der Holzeinschnitt im Jahr 2017? [_____ fm]
- Wie hoch war der Anteil an Nadelholz? [_____ fm/%]
- Wie hoch war die durchschnittliche Schnittholzausbeute [_____ %]
- Wie hat sich der Jahreseinschnitt in den letzten 5 Jahren verändert (z. B. +10%)? [_____ %/fm]
- Wie schätzen Sie die Entwicklung in den nächsten 5 Jahren ein?
 höherer Einschnitt gleichbleibend geringerer Einschnitt

2. Fragen zur Herkunft des Holzes 2017

- Welche Menge des Rohholzes kam aus dem Landkreis Pfaffenhofen? [_____ fm/%]
- Welche Menge des Rohholzes kam aus dem Landkreis Neuburg-Schrobenhausen? [_____ fm/%]
- Welche Menge kam aus anderen Landkreisen/Bundesländern? [_____ fm/%]
- Welche Menge wurde importiert? [_____ fm/%]

3. Fragen zur Produktion und Verwertung von Sägenebenprodukten (SNP) 2017

- Wurden SNP im eigenen Betrieb verwertet? Ja nein
 falls ja
 - Welche Menge ging in die thermische Eigenverwertung? [_____ sm/fm/%]
 - Welche Menge ging in die stoffliche Eigenverwertung? [_____ sm/fm/%]
 zu ii. Welche Produkte wurden daraus hergestellt (z.B. Holzwerkstoffe, Rindenmulch, Pellets): [_____ sm/fm/%/t]
- Wurden SNP direkt verkauft/verschenkt? Ja nein
 falls ja
 - Welche SNP wurden an wen gegeben? Bitte Tabelle ausfüllen:

SNP (z.B. Sägemehl, Hackschnitzel, Rinde, etc.)	Menge [sm/fm/%]	Preis [zB €/m3]	Käufer (zB Papier-/Zellstoffindustrie, Holzwerkstoffindustrie, Heiz(kraft)werk, Holzhandel, Landwirtschaft)	Firmensitz des Käufers (zutreffendes ankreuzen)			
				Lkr. Pfaff.	Lkr. Neuburg-Sch.	Andere Lkr.	Ausland
[_____]	[_____]	[_____]	[_____]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
[_____]	[_____]	[_____]	[_____]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
[_____]	[_____]	[_____]	[_____]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Vielen Dank für Ihre Unterstützung!



Studie zum Potenzial von Industrierestholz

Im Auftrag der Vereine Energie Effizient Einsetzen (EEE) und Energie- und Solarverein Pfaffenhofen führt die Holzforchung München, Technische Universität München eine Potenzialanalyse zur optimalen energetischen und stofflichen Verwertung holzartiger Reststoffe in den Landkreisen Pfaffenhofen und Neuburg-Schrobenhausen durch.

Bitte nehmen Sie sich einen Augenblick Zeit, um den Fragebogen auszufüllen. Sie fördern damit gemeinnützige Initiativen für den Klimaschutz und den Ausbau der erneuerbaren Energien in Ihrer Region. Bitte ergänzen Sie bei Mengenangaben immer eine Einheit.

1. Fragen zum Aufkommen von Industrierestholz (IRH) 2017

- a. Wie hoch war das Aufkommen an IRH im Jahr 2017? [_____ fm/t/srm]
- c. Wie hat sich das IRH Aufkommen in den letzten 5 Jahren verändert (z.B: +10%)? [_____ %/fm]
Aufkommen
- e. Wie schätzen Sie die Mengenentwicklung von IRH in den nächsten 5 Jahren ein?
 höheres Aufkommen gleichbleibend geringeres Aufkommen

2. Fragen zur Herkunft des Ausgangsmaterials (Schnittholz) 2017

- a. Welche Menge kam aus dem Landkreis Pfaffenhofen? [_____ fm/t/%]
- b. Welche Menge kam aus dem Landkreis Neuburg-Schrobenhausen? [_____ fm/t/%]
- c. Welche Menge kam aus anderen Landkreisen/Bundesländern? [_____ fm/t/%]
- d. Welche Menge wurde importiert? [_____ fm/t/%]

3. Fragen zur Produktion und Verwertung von Industrierestholz 2017

- a. Wurde IRH im eigenen Betrieb verwertet? Ja nein
 falls ja i. Welche Menge ging in die thermische Eigenverwertung? [_____ srm/fm/%]
 ii. Welche Menge ging in die stoffliche Eigenverwertung? [_____ srm/fm/%]
 zu ii. Welche Produkte wurden daraus hergestellt (z.B. Holzwerkstoffe, Einstreu):
 [_____ srm/fm/%/t]

- b. Wurde IRH direkt verkauft/verschenkt? Ja nein
 falls ja i. Welche Sortimente IFH wurden an wen gegeben? bitte Tabelle ausfüllen:

IRH (z.B. Sägemehl, Hackschnitzel)	Menge [srm/fm/%]	Preis [zB €/m ³ , srm]	Käufer (zB Papier-/Zellstoffindustrie, Holzwerkstoffindustrie, Heiz(kraft)werk, Holzhandel)	Firmensitz des Käufers (zutreffendes ankreuzen)			
				Lkr. Pfaff.	Lkr. Neub-Sch.	Andere Lkr.	Ausland
[_____]	[_____]	[_____]	[_____]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
[_____]	[_____]	[_____]	[_____]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
[_____]	[_____]	[_____]	[_____]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Vielen Dank für Ihre Unterstützung!



Studie zur Verwertung von Gebrauchtholz

Im Auftrag der Vereine Energie Effizient Einsetzen (EEE) und Energie- und Solarverein Pfaffenhofen führt die Holzforschung München, Technische Universität München eine Potenzialanalyse zur optimalen energetischen und stofflichen Verwertung biogener Reststoffe in den Landkreisen Pfaffenhofen und Neuburg-Schrobenhausen durch.

Bitte nehmen Sie sich einen Augenblick Zeit um den Fragebogen auszufüllen. Sie fördern damit gemeinnützige Initiativen für den Klimaschutz und den Ausbau der erneuerbaren Energien in Ihrer Region. Bitte ergänzen Sie bei Mengenangaben immer eine Einheit.

1. Fragen zum Aufkommen 2017

- a. Wie hoch war das gesamte Aufkommen an Gebrauchtholz (GH) im Jahr 2017? [_____] fm/t
 b. Wie hat sich das GH Aufkommen in den letzten 5 Jahren verändert (z.B: +10%)? [_____] %/fm]
 Aufkommen
 c. Wie schätzen Sie die Mengenentwicklung in den nächsten 5 Jahren ein?
 höheres Aufkommen gleichbleibend geringeres Aufkommen

2. Fragen zur Herkunft des Gebrauchtholzes 2017

- a. Welche Menge kam aus dem Landkreis Pfaffenhofen? [_____] fm/t/%
 b. Welche Menge kam aus dem Landkreis Neuburg-Schrobenhausen? [_____] fm/t/%
 c. Welche Menge kam aus anderen Landkreisen/Bundesländern? [_____] fm/t/%

3. Fragen zur Verwertung / Verkauf / Weitergabe von Gebrauchtholz 2017

- a. Wurde GH im eigenen Betrieb verwertet? Ja nein
 falls ja i. Welche Menge ging in die thermische Eigenverwertung? [_____] sm/fm/%
 ii. Welche Menge ging in die stoffliche Wiederverwertung? [_____] sm/fm/%
 zu ii. Welche Produkte wurden daraus hergestellt (z.B. Holzwerkstoffe, Bauholz):
 [_____] sm/fm/%/t
 b. Wurde GH direkt verkauft/entsorgt? Ja nein
 falls ja i. Welche Sortimente GH wurden an wen gegeben?
 Bitte Tabelle ausfüllen:

GH (zB.Kategorie I, II, III, IV)	Menge (zB fm/t/%)	Preis (zB €/m ³)	Käufer/Entsorger (z.B. Heiz(kraft)werk, Holzwerkstoffindustrie, Holzhandel)	Firmensitz des Käufers (zutreffendes ankreuzen)			
				Lkr. Neub- Sch.	Lkr. Pfaff	Andere Lkr.	Ausland
[_____]	[_____]	[_____]	[_____]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
[_____]	[_____]	[_____]	[_____]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
[_____]	[_____]	[_____]	[_____]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Vielen Dank für Ihre Unterstützung!



Studie zum Potenzial von Landschaftspflegeholz

Im Auftrag der Vereine Energie Effizient Einsetzen (EEE) und Energie- und Solarverein Pfaffenhofen führt die Holzforchung München, Technische Universität München eine Potenzialanalyse zur optimalen energetischen und stofflichen Verwertung holzartiger Reststoffe in den Landkreisen Pfaffenhofen und Neuburg-Schrobenhausen durch.

Bitte nehmen Sie sich einen Augenblick, Zeit um den Fragebogen auszufüllen. Sie fördern damit gemeinnützige Initiativen für den Klimaschutz und den Ausbau der erneuerbaren Energien in Ihrer Region. Bitte ergänzen Sie bei Mengenangaben immer eine Einheit.

1. Fragen zum Aufkommen 2017

- a. Wie hoch war das Aufkommen an Landschaftspflegeholz / holzigem Grünschnitt im Jahr 2017?
 [_____] fm/t_{grün}/t Frischmasse
- b. Wie hat sich das Aufkommen in den letzten 5 Jahren verändert (z.B: +10%)? [_____] %/fm |
 Aufkommen
- c. Wie schätzen Sie die Mengenentwicklung in den nächsten 5 Jahren ein?
 höheres Aufkommen gleichbleibend geringeres Aufkommen

2. Fragen zur Herkunft des Holzes 2017

- a. Welche Menge kam aus dem Landkreis Pfaffenhofen? [_____] fm/t/%
- b. Welche Menge kam aus dem Landkreis Neuburg-Schrobenhausen? [_____] fm/t/%
- c. Welche Menge kam aus anderen Landkreisen/Bundesländern? [_____] fm/t/%

3. Fragen zur Verwertung / zum Verkauf des Holzes 2017

- a. Wurde Landschaftspflegeholz im eigenen Betrieb verwertet? Ja nein
 falls ja i. Welche Menge ging in die thermische Eigenverwertung? [_____] sm/fm/%
 ii. Welche Menge ging in die stoffliche Weiterverarbeitung? [_____] sm/fm/%
 zu ii. Welche Produkte wurden daraus hergestellt (z.B. Kompost, Rindenmulch):
 [_____] sm/fm/%/t
- b. Wurde Landschaftspflegeholz / Baumschnitt verkauft? Ja nein
 falls ja i. Wie viel Holz wurde an wen verkauft? Bitte Tabelle ausfüllen:

Holzmenge	Einheit (z.B. fm/t _{grün} /%)	Preis (zB €/m ³)	Käufer (z.B. Heiz(kraft)werk oder Kompostieranlage)	Firmensitz des Käufers (zutreffendes ankreuzen)			
				Lkr. Pfaff.	Lkr. Neub- Sch.	Andere Lkr.	Ausland
[_____]	[_____]	[_____]	[_____]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
[_____]	[_____]	[_____]	[_____]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
[_____]	[_____]	[_____]	[_____]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Vielen Dank für Ihre Unterstützung!



Studie zur Verwertung von holzigen Reststoffen

Im Auftrag der Vereine Energie Effizient Einsetzen (EEE) und Energie- und Solarverein Pfaffenhofen führt die Holzforschung München, Technische Universität München eine Potenzialanalyse zur optimalen energetischen und stofflichen Verwertung holzartiger Reststoffe in den Landkreisen Pfaffenhofen und Neuburg-Schrobenhausen durch.

Bitte nehmen Sie sich einen Augenblick Zeit, um den Fragebogen auszufüllen. Sie fördern damit gemeinnützige Initiativen für den Klimaschutz und den Ausbau der erneuerbaren Energien in Ihrer Region. Bitte ergänzen Sie bei Mengenangaben immer eine Einheit.

1. Fragen zum Substrateinsatz 2017

- a. Wie hoch war der Substrateinsatz im Jahr 2017? [_____ t/fm/srm]
 b. Welche Substrate wurden eingesetzt und woher stammten diese?

Bitte Tabelle ausfüllen:

Substrat (z.B. Waldholz, Landschaftspflegeholz, Industrierestholz, Sägenebenenprodukte)	Menge [srm/fm/t, Wassergehalt angeben]	Einkaufspreis [zB €/m3]	Firmensitz des Käufers (zutreffendes ankreuzen, bei mehr Treffern bitte Anteil an der Menge mit angeben)		
			Lkr. Pfaff	Lkr. Neub-Sch.	Andere Lkr.
_____	_____	_____	<input type="checkbox"/> _____ %	<input type="checkbox"/> _____ %	<input type="checkbox"/> _____ %
_____	_____	_____	<input type="checkbox"/> _____ %	<input type="checkbox"/> _____ %	<input type="checkbox"/> _____ %
_____	_____	_____	<input type="checkbox"/> _____ %	<input type="checkbox"/> _____ %	<input type="checkbox"/> _____ %

- c. Wie war die Versorgungssituation mit Waldholz für Ihr Unternehmen im Jahr 2017?

gut angespannt schlecht

- d. Wie hat sich der Substrateinsatz in den letzten 5 Jahren verändert (z. B: +10%)? [_____ %/fm/srm]

- e. Wie schätzen Sie die Entwicklung in 2018 ein?

höherer Input gleichbleibend geringerer Input

- f. Wie schätzen Sie die Entwicklung in den nächsten 5 Jahren ein?

höherer Input gleichbleibend geringerer Input

- g. Planen Sie in den nächsten 5 Jahren Investitionen zur Betriebserweiterung/Einsatz neuer Substrate?

Ja Nein keine Angabe

falls ja, bitte Art der Betriebserweiterung angeben: [_____]

2. Fragen zur Verwertung 2017

- a. Wie viel Strom wurde produziert? [_____ kWh]

- b. Wie viel Wärme wurde produziert? [_____ kWh]

Vielen Dank für Ihre Unterstützung!

