

Studie

GRÜNES GAS STEIERMARK – BERECHNUNG VON BANDBREITEN ERSCHLIEßBARER POTENZIALE AN BIOMETHAN UND SYNTHETIC NATURAL GAS (SNG) AUS RESTSTOFFEN UNTER EINBINDUNG EINES STAKEHOLDERPROZESSES

erstellt am

Lehrstuhl für Energieverbundtechnik

Lisa Kühberger

Thomas Kienberger

Leoben, Februar 2022

KURZFASSUNG

Aufgabe dieser Studie ist die Darlegung der Bandbreiten der erschließbaren Potenziale der erneuerbaren Gase Biomethan aus (biogenen) Abfällen, landwirtschaftlichen Reststoffen sowie weiteren Reststoffen wie Wirtschaftsdünger der Nutztierhaltung und Bio-SNG aus holzartiger Biomasse im Bundesland Steiermark. Die Basis dafür stellt die Kombination von Daten aus der Literatur mit Erkenntnissen aus einem mehrstufigen Stakeholderprozess dar. Neben der Mengenverfügbarkeit diverser Einsatzstoffe wird zudem auch die Wirtschaftlichkeit dieser bewertet und in Form einer Merit Order dargestellt.

Für die Steiermark konnte mit der verwendeten Methodik ein durchschnittliches Gesamtpotential an erneuerbaren Gasen zwischen 1783 und 3473 GWh/a ermittelt werden. Davon entfallen etwa 621- 1311 GWh/a auf Biomethan, sowie weitere 1162-2162 GWh/a auf Bio-SNG. Das höchste Potenzial liefern Schleif- und Faserholz aus Fichte und Tanne, das kleinste Potenzial liegt Rapsstroh. Die Gestehungskosten der Erzeugung erneuerbarer Gase liegen dabei zwischen 0,81 (exkl. Substrataufbereitungskosten) und 15,09 ct/kWh.

Der Begriff der Erschließbarkeit wird in dieser Studie so interpretiert, als dass die grundsätzliche Erschließbarkeit anstatt der konkreten Realisierung die zentrale Fragestellung darstellt. Dies basiert darauf, dass konkrete Standortfragen nicht Teil der Betrachtungen sind und somit regionalspezifische Kriterien nicht in die Betrachtungen einfließen. Auch die Fragen nach der Sinnhaftigkeit der Realisierung sowie den Einsatzzwecken der erneuerbaren Gase spielen eine untergeordnete Rolle. Vielmehr soll ein Überblick über die Mengen- und Preisverhältnisse der unterschiedlichen Einsatzstoffe für die Erschließbarkeit ermöglicht werden. Wichtig zu erwähnen ist hierbei auch, dass alle präsentierten Ergebnisse nur unter den getroffenen Annahmen gültig sind.

Dank der verwendeten Methodik ist es möglich die Berechnungen bei Vorlage neuer bzw. aktuellerer Daten zu aktualisieren. Trotz einiger Einschränkung eignen sich die ermittelten Daten sehr gut, um Schwerpunkte für weitere Detailuntersuchungen zur Überführung der erschließbaren Potenziale in den Bestand, in diesem Sinne eine tatsächliche Realisierung der Potenziale, zu setzen. Denkbar sind hierbei beispielsweise konkrete Standortfragen.

INHALTSVERZEICHNIS

Abbildungsverzeichnis	I
Tabellenverzeichnis	II
1 Einführung	3
2 Theoretischer Hintergrund	5
2.1 Räumliche Energiemodellierung	5
2.2 Potenzialarten	5
2.3 Vorstudie – Technische Potenziale an erneuerbaren Gasen und fester bzw. flüssiger Biomasse in der Steiermark	7
2.3.1 Methodik zur Ermittlung der technischen Potenziale	7
2.3.2 Ergebnisse – Technische Potenziale	9
2.3.3 Methodische Einschränkungen	10
3 Untersuchte Einsatzstoffe zur Erzeugung grüner Gase	11
3.1 Einsatzstoffe Biomethan	11
3.1.1 Abfälle	11
3.1.2 Landwirtschaftliche Reststoffe	15
3.1.3 Weitere Reststoffe	16
3.2 Bio-SNG aus holzartiger Biomasse	17
3.2.1 Datenquellen	18
Zwischenauswertung der österreichischen Waldinventur 2016/18	18
Holzströme in Österreich	20
Holzeinschlagsmeldung Steiermark	22
3.2.2 Trends energetische Verwertung Holz	23
4 Methodik zur Ermittlung der Bandbreiten erschließbarer Potenziale	25
4.1 Biomethan	25
4.2 Bio-SNG	26
4.3 Darstellung der Wirtschaftlichkeit	28

Inhaltsverzeichnis

Merit Order	29
4.3.1 Biomethan	31
4.3.2 Bio-SNG.....	33
5 Ergebnisse	34
5.1 Bandbreiten erschließbarer Potenziale Biomethan	34
5.2 Bandbreiten erschließbarer Potenziale Bio-SNG	37
6 Diskussion.....	41
7 Zusammenfassung	43
Literaturverzeichnis	45

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Prozess zur Ermittlung der Bandbreiten erschließbarer Potenziale grünes Gas	4
Abbildung 2: Potenzialarten österreichischer Studien, eigene Abbildung in Anlehnung an [6–8]	6
Abbildung 3: Top Down Ansatz zur Ermittlung der Potenziale auf Gemeindeebene; eigene Abbildung	8
Abbildung 4: Potenziale an Biomethan und weitere Biomassepotenziale auf Bezirksebene, eigene Erhebung und Darstellung	9
Abbildung 5: Räumliche Verteilung des Gesamtpotenzials an Biomethan und Bio-SNG der Steiermark auf Gemeindeebene, eigene Darstellung	10
Abbildung 6: Aufkommen und Verwertung von Küchen- und Speiseabfällen 2016-2019 [16, 18–20]	13
Abbildung 7: Eigentümerstruktur Holzzuwachs Steiermark, eigene Darstellung nach [28]	19
Abbildung 8: Zuwachs und Nutzung nach Baumarten, eigene Darstellung nach [28]	19
Abbildung 9: Holzströme in Österreich 2019 [29]	21
Abbildung 10: Holzströme in Österreich – Energetische Verwertungspfade 2019 [29]	21
Abbildung 11: Energetische Verwendung Holz 2011-2019, eigene Darstellung nach [29]	22
Abbildung 12: Holzverwendung Steiermark 2011-2020 lt. Holzeinschlagsmeldungen [30]	23
Abbildung 13: Leistung neu installierter Biomassefeuerungen Steiermark 2011-2020 nach [31]	23
Abbildung 14: Zusammensetzung der Gestehungskosten, eigene Darstellung	28
Abbildung 15: Beispieldarstellung Merit Order der durchschnittlichen Gestehungskosten von grünem Gas, eigene Darstellung	29
Abbildung 16: Merit Order "Biomethan"	36
Abbildung 17: Merit Order "Bio-SNG aus holzartiger Biomasse"	39

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Berücksichtigte Einsatzstoffe zur Biomethanproduktion	11
Tabelle 2: Trends der energetischen Holzverwertung nach [31] und [29]	24
Tabelle 3: Rindenanteil und Heizwert je Baumart [32]	26
Tabelle 4: Übersicht zu den Kosten bzw. Entsorgungserlösen der Substrate zur Biomethanerzeugung	31
Tabelle 5: Gasausbeuten der Substrate [2]	32
Tabelle 6: Übersicht der Holzkosten [32, 37]	33
Tabelle 7: Bandbreiten erschließbarer Potenziale in GWh/a nach Substrat.....	34
Tabelle 8: Gestehungskosten in ct/kWh je Substrat zur Biomethanerzeugung.....	35
Tabelle 9: Bandbreiten erschließbarer Potenziale in GWh/a nach Baumart	38
Tabelle 10: Gestehungskosten in ct/kWh je Holzsortiment zur Bio-SNG-Erzeugung	38

1 EINFÜHRUNG

Zur Erreichung der Klimaneutralität bis 2040 in Österreich sind tiefgreifende Transformationen des gesamten Energiesystems notwendig. Dies setzt neben der Umstellung auf eine Stromversorgung aus erneuerbaren Quellen auch die Dekarbonisierung der mit anderen fossilen Energieformen, insbesondere Erdgas, versorgten Sektoren voraus.

Alleine in der Steiermark betrug der Erdgas-Bruttoinlandsverbrauch im Jahr 2019 ca. 14 TWh. Dies entspricht 22,1 % des gesamten steirischen Bruttoinlandsverbrauchs. Die gesamte Menge an Erdgas wurde zudem importiert [1]. Zur vollständigen Dekarbonisierung bis 2040 ist es daher nötig diese Menge an fossilem Gas durch Energie aus erneuerbaren Quellen zu ersetzen. Zur Substitution von fossilen Gasen eignen sich vor allem „grüne“ Gase wie Biomethan oder Synthetic Natural Gas (SNG), welche ins bestehende Erdgasnetz eingespeist werden können. Diese erneuerbaren Gase können durch den Einsatz unterschiedlicher Reststoffe, wie diversen biogenen Abfällen oder landwirtschaftlichen Reststoffen erzeugt werden. Auf diese Weise können Reststoffe nicht nur stofflich verwertet, sondern auch einer energetischen Nutzung zugeführt werden wodurch wiederum die Energiewende vorangetrieben wird. Da für die Erzeugung heimische Reststoffe verwendet werden können, kann zudem auch die regionale Wertschöpfung gesteigert, und die Abhängigkeit in der Energieversorgung durch den Import von beispielsweise Erdgas verringert werden.

Um die Transformation des Energiesystems durchführen zu können und fossile Gase zu substituieren, ist es notwendig die realisierbaren Potenziale erneuerbarer Energieträger zu quantifizieren. Im Zuge der Studie *Technische Potenziale an erneuerbaren Gasen und fester bzw. flüssiger Biomassen in der Steiermark* [2] wurden bereits die technischen Potenziale an erneuerbaren Gasen für eine Vielzahl an Reststoffen für alle steirischen Gemeinden ermittelt. Diese stellen die maximal mögliche Ausbeute unter den gegebenen Strukturen dar, liefern allerdings keine Auskunft über die tatsächlich realisierbaren Potenziale, bei deren Ermittlung deutlich mehr Faktoren berücksichtigt werden müssen. Um die realisierbaren Potenziale zu ermitteln, bedarf es daher weiterer umfangreicher Untersuchungen.

Im Zuge dieser Analysen ist es zum einen notwendig die bestehenden Nutzungspfade, Entsorgungswege u. sonstige relevante Aspekte der Reststoffnutzung zu analysieren. Zum anderen bedarf es aufgrund der Komplexität des Themas der Abstimmung mit ausgewählten Stakeholdern, welche sowohl Detailwissen zu den relevanten Prozessen aber auch zu wirtschaftlichen Aspekten mitbringen. In einem Kooperationsprozess unter Einbindung von Stakeholdern soll daher eine Studie erstellt werden, welche die Bandbreiten der erschließbaren Potenziale an erneuerbaren Gasen für vier Kategorien von Ausgangsstoffen

ausweist: Abfälle, Reste halmgutartiger Biomassen & weitere Ausgangsstoffe (Biomethan) sowie holzartige Biomasse (Bio-SNG).

In dieser Studie soll daher eingangs ein Überblick über die Nutzungs- und Verwertungspfade der zuvor genannten Kategorien geboten werden, da diese eine wesentliche Einflussgröße zur Beurteilung der Bandbreiten der erschließbaren Potenziale darstellen. Aufbauend auf die Ergebnisse der Studie zu den technischen Potenzialen [2], wurden unter Einbezug von Wirtschaftlichkeitskriterien die Bandbreiten der erschließbaren Potenziale quantifiziert. Aus methodischer Sicht kam ein mehrstufiger Prozess zur Datenakquise und Überarbeitung zum Einsatz, welcher durch kontinuierliche Verbesserungen zu äußerst „robusten“ Ergebnissen führt. Dieser Prozess ist in Abbildung 1 dargestellt.



Abbildung 1: Prozess zur Ermittlung der Bandbreiten erschließbarer Potenziale grünes Gas

Basierend auf einer umfangreichen Literaturstudie wurde ein Arbeitsgrundlagendokument (AGD) erstellt, welches im Zuge von Stakeholderinterviews mit einem breiten Feld an Expert*innen aus der Forschung, öffentlichen Hand sowie Privatwirtschaft validiert wurde. Etwaige Anmerkungen wurden im Anschluss in das AGD eingearbeitet. Die Bandbreiten wurden nachfolgend unter Einbezug sämtlicher Informationen berechnet und in einem abschließenden Stakeholder Workshop nochmals zur finalen Validierung präsentiert. Die in diesem Bericht dargelegten Inhalte inkludieren sämtliche Erkenntnisse aus den Stakeholderinterviews und -workshop.

Diese Studie soll dahingehend klären welche Substrate zur Realisierung verfügbar sind, ob Technologien zur Ernte/ Sammlung und Aufbereitung dieser Substrate sowie zur Herstellung der Produkte Biomethan und Bio-SNG vorhanden sind sowie parallel dazu die Wirtschaftlichkeit der Produktionsketten abbilden. Die Beantwortung konkreter Standortfragen sowie die tatsächliche Realisierung einzelner Anlagen ist nicht Teil der Betrachtungen.

2 THEORETISCHER HINTERGRUND

In diesem Abschnitt wird zuerst ein Einblick in die zwei grundlegenden methodischen Ansätze der räumlichen Energiemodellierung geboten. Anschließend werden unterschiedliche Potenzialbegriffe erklärt und klar differenziert, was für die Interpretation der Ergebnisse von maßgeblicher Bedeutung ist. Im Anschluss wird ein Einblick in die Vorstudie zu den technischen Potenzialen an erneuerbaren Gasen der Steiermark [2], welche die Berechnungsbasis der erschließbaren Potenziale darstellen, ermöglicht.

2.1 Räumliche Energiemodellierung

In der räumlichen Energiemodellierung werden grundsätzlich zwei Modellierungsansätze verfolgt: Top-Down und Bottom-Up. Je nach Datenlage werden auch hybride Ansätze verwendet. Bei Bottom-Up Verfahren werden disaggregierte Daten aggregiert und anschließend extrapoliert. Im Gegensatz dazu werden bei Top-Down Verfahren aggregierte Daten anhand diverser Kriterien aufgeteilt, um weitere Erkenntnisse zu gewinnen. Diese methodologischen Ansätze laufen daher in entgegengesetzter Richtung ab. Oftmals werden in der räumlichen Energiemodellierung auch hybride Ansätze die Top-Down und Bottom-Up Methoden kombinieren eingesetzt, da die Datenverfügbarkeit für die alleinige Verwendung eines Ansatzes oftmals nicht ausreicht. [3–5]

2.2 Potenzialarten

Zur Ermittlung und Diskussion der Potenziale ist es zunächst notwendig unterschiedliche Potenzialarten zu differenzieren. In österreichischen Potenzialstudien wird meistens zwischen dem theoretischen, technischen, wirtschaftlichen und erschließbaren Potenzial unterschieden. Dennoch werden auch diese Begriffe oftmals nicht einheitlich verwendet, weshalb eine Vergleichbarkeit verschiedener Studien trotz gleicher Begrifflichkeiten nicht uneingeschränkt möglich ist. Vor allem die Art und Anzahl der berücksichtigten Kriterien der unterschiedlichen Studien variiert dabei stark. Eine Übersicht häufig verwendeter Potenzialarten technischer Fragestellungen ist in Abbildung 2 dargestellt.

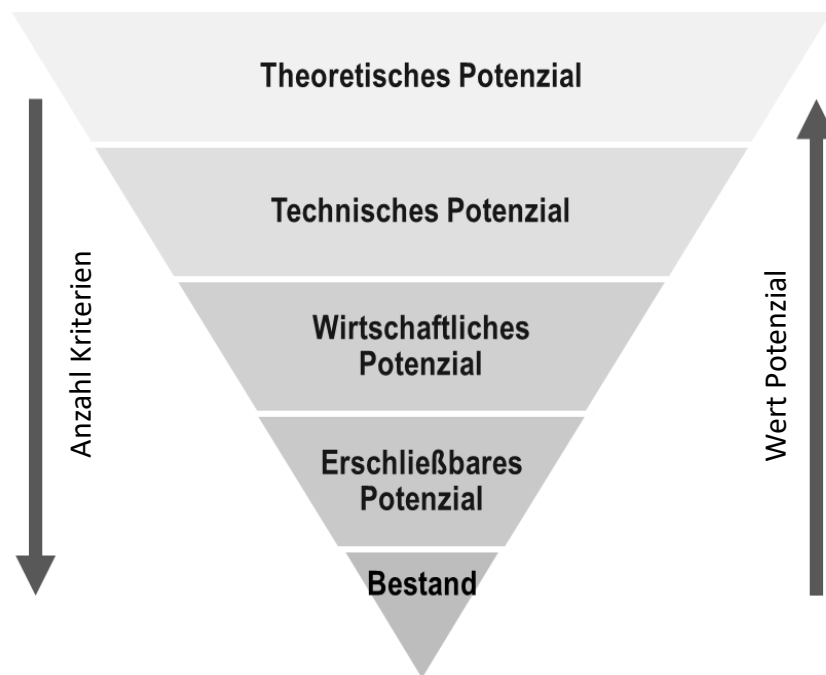


Abbildung 2: Potenzialarten österreichischer Studien, eigene Abbildung in Anlehnung an [6–8]

Wie in Abbildung 2 ersichtlich ist, weisen theoretische Potenziale die höchsten und erschließbare Potenziale die geringsten Werte auf. Bestände sind als bereits realisierte Potenziale zu betrachten, wobei diese ebenfalls Bestandteil des technischen Potenzials sind. Die berücksichtigten Kriterien zur Berechnung der Potenziale werden nachfolgend näher erläutert.

Das theoretische Potenzial wird ausschließlich über das physikalische Angebot in einer Bilanzregion beschrieben. Es stellt somit eine absolute Obergrenze dar und wird nur durch zwingende physikalische Nutzungsgrenzen bestimmt. Ökologische, ökonomische, soziale, strukturelle oder administrative Aspekte werden nicht berücksichtigt. So wird beispielsweise das theoretische Potenzial für Biomasse in Deutschland im Buch „Biogas from waste and renewable resources“ mithilfe des maximalen Pflanzenertrags pro Fläche sowie der gesamten Fläche von Deutschland ermittelt. [7, 8]

Das technische Potenzial ist eine abstrakte Größe, die die nach heutigem Stand der Technik maximal mögliche Nutzung einer Ressource durch eine Technologie beschreibt. Strukturelle Restriktionen (z.B. Infrastruktur) sowie Flächenkonkurrenz (Potenzialfläche Photovoltaik vs. Fläche zur Nahrungsmittelproduktion) werden bei der Ermittlung berücksichtigt hingegen die Produktionskonkurrenz (z.B. Photovoltaik vs. Solarthermie) zwischen Technologien meist unberücksichtigt bleibt. [6, 9]

Im Zuge dieser Studie wird unter dem technischen Potenzial das maximale Potenzial bei vorgegebenen Strukturen für den Anfall der Ausgangsstoffe verstanden. Dazu zählen

beispielsweise die Menge und Zusammensetzung von biogenen Abfällen, die Art der Ackernutzung, sowie der aktuelle Bestand an Nutztieren. Des Weiteren basiert das technische Potenzial auf dem Stand der Technik bezüglich möglicher Technologien für die Verwertung inkl. zugehöriger Wirkungsgrade. Nicht berücksichtigt werden alternative Verwertungspfade wie beispielsweise Düngen mit Ernterückständen oder Nutzung von Stroh als Einstreu in der Viehwirtschaft, die logistische Umsetzbarkeit (z.B. Sammlung und Sortierung der verschiedenen Abfallfraktionen), die Frage nach Sinnhaftigkeit (z.B. Abwägung des Aufwands gegenüber dem zu erwartenden Ertrag) sowie wirtschaftliche Aspekte. In diesem Sinne stellt das technische Potenzial ein oberes Limit dar, welches Aussagen zum möglichen Output bei gegebenen Strukturen ermöglicht.

Das wirtschaftliche Potenzial beschreibt jenen Anteil des technischen Potenzials, der unter den zugrundeliegenden Wirtschaftlichkeitskriterien genutzt werden kann. Hierbei kann zwischen dem wirtschaftlichen Potenzial aus volkswirtschaftlicher und betriebswirtschaftlicher Sicht unterschieden werden. Wirtschaftliche Potenziale unterliegen zudem im Allgemeinen starken zeitlichen Schwankungen und weisen teilweise erhebliche Veränderungen im Zeitverlauf auf. [7, 9]

Das erschließbare Potenzial stellt den zu erwartenden tatsächlichen Beitrag einer regenerativen Energie zur Energieversorgung dar. Es ist kleiner als das wirtschaftliche Potenzial, nähert ihm sich allerdings in einem sehr langen Zeitraum an. [7, 9]

2.3 Vorstudie – Technische Potenziale an erneuerbaren Gasen und fester bzw. flüssiger Biomasse in der Steiermark

Aufgabe der Vorstudie war die Darlegung der technischen Potenziale an erneuerbaren Gasen und fester bzw. flüssiger Biomassen in der Steiermark. Die Potenziale wurden dafür orts aufgelöst auf Gemeindeebene ausgewiesen. Die Basis dafür liefern statistische Daten und Literaturwerte, aus denen mittels eines Top-Down-Ansatzes und Segmentierungsfaktoren (z.B. Fläche) die Potenziale berechnet wurden.

2.3.1 Methodik zur Ermittlung der technischen Potenziale

Für die Ermittlung des technischen Potenzials an Biomethan wurden halmgutartige Biomassen, Klärschlamm, Wirtschaftsdünger der Nutztierhaltung, Lebensmittel-, Küchen- und Speiseabfälle, sonstige biogene Abfälle (Biotonne, Restmüll, Kompost, Grünabfälle & Grünschnitt), der Energiepflanzenanbau sowie die Vergasung von Gärresten betrachtet. Weiters wurden zur Ermittlung sonstiger technischer fester bzw. flüssiger Biomassepotenziale holzartige Biomasse, der Energiepflanzenanbau für Biodiesel und Biomethan und Altspeiseöle zur Herstellung von Biodiesel herangezogen.

Die örtliche Auflösung der technischen Potenziale erfolgte nach einem Top-Down Ansatz. Im Zuge dessen kommt es zur Dekomposition der Potenziale auf Landes- bzw. Bundeslandebene auf kleinere räumliche Einheiten – in diesem Fall Gemeinden. Die Vorgehensweise dieses Top-Down Ansatzes ist in Abbildung 3 visualisiert.

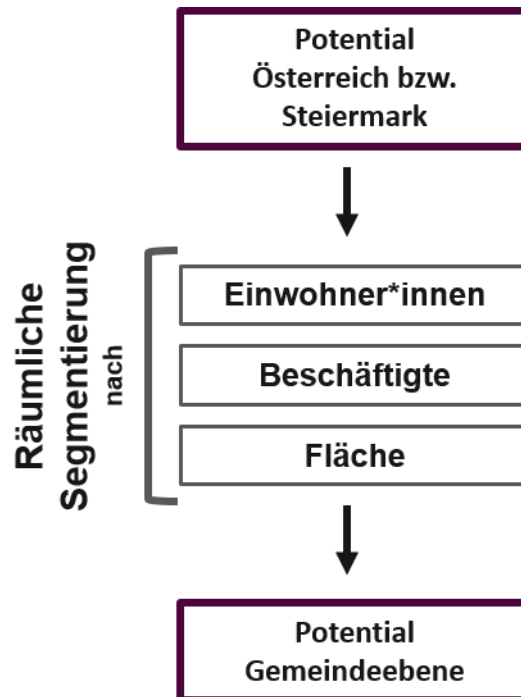


Abbildung 3: Top Down Ansatz zur Ermittlung der Potenziale auf Gemeindeebene; eigene Abbildung

Das jeweilige Gesamtpotenzial wurde, wie in Abbildung 3 zu sehen ist, nach bestimmten Faktoren auf die steirischen Gemeinden (Stand 2019) aufgeteilt. Je nach Potenzialtyp wurde die räumliche Segmentierung nach den Faktoren Einwohner*innen, Beschäftigte bestimmter Industriesektoren oder Fläche durchgeführt.

Zur Berechnung der Abfälle der Lebensmittelindustrie wurde beispielsweise das Gesamtpotenzial der zuvor genannten Abfälle durch die Gesamtzahl aller Beschäftigten in Betrieben der Lebensmittelverarbeitung dividiert und im Anschluss mit der Anzahl der Beschäftigten dieses Industriezweiges je Gemeinde multipliziert.

Die verwendeten Daten sind sehr vielfältig und beruhen im Wesentlichen auf Literaturwerten sowie statistischen Erhebungen. Ein beträchtlicher Teil der Daten wurde der Agrarstrukturerhebung 2010 [10] entnommen. Diese Quelle weist zahlreiche Segmentierungsfaktoren auf Gemeindeebene aus, wodurch eine hohe Detailtiefe erreicht wird.

2.3.2 Ergebnisse – Technische Potenziale

Für die Steiermark konnte mit der verwendeten Methodik ein Gesamtpotenzial an erneuerbaren Gasen und fester bzw. flüssiger Biomassen von 19941 GWh/a ermittelt werden, wovon ca. 14 % auf Biomethan- und ca. 85 % auf Bio-SNG Potenziale entfallen. Als besonders potenzialreich erweist sich holzartige Biomasse. Die Detailergebnisse der Erhebungen sind in Abbildung 4 und Abbildung 5 dargestellt.

	Biomethan-Potential [GWh/a]							Andere Biomassepotenziale [GWh/a]			Summe
	Halmgutartige Biomasse	Klärschlamm	Wirtschaftsdünger der Nutztierhaltung	Lebensmittel-, Küchen und Speiseabfälle	Biotonne, Organik im Restmüll, Einzel- und Mehrparteienkompost, Grünabfälle, Grünschnitt öffentlicher Flächen	Energiepflanzenanbau	Vergasung Gärrest	Holzartige Biomasse	Energiepflanzenanbau für Biodiesel und -ethanol	Altspeiseöle	
Bruck-Mürzzuschlag	2	9	39	17	44	1	24	3501	2	5	3645
Deutschlandsberg	41	6	51	15	19	7	29	946	12	3	1129
Graz (Stadt)	2	27	2	29	25	0	19	144	1	16	265
Graz-Umgebung	45	14	59	15	30	8	35	1193	14	8	1422
Hartberg-Fürstenfeld	145	9	124	26	28	24	72	948	43	5	1424
Leibnitz	138	8	70	23	19	15	56	439	27	5	798
Leoben	2	6	25	5	22	1	13	1366	1	3	1444
Liezen	0	8	78	23	62	1	37	2718	1	4	2931
Murau	4	3	57	3	25	2	20	1564	3	2	1683
Murtal	21	7	78	14	34	5	33	1858	8	4	2062
Südoststeiermark	233	8	133	31	24	26	93	503	46	5	1101
Voitsberg	7	5	34	8	15	2	15	730	3	3	822
Weiz	48	8	85	26	26	9	42	952	15	5	1215
Summe	689	117	835	234	373	100	488	16861	176	68	19941

Abbildung 4: Potenziale an Biomethan und weitere Biomassepotenziale auf Bezirksebene, eigene Erhebung und Darstellung

Vor allem der Waldreichtum der Bezirke Bruck-Mürzzuschlag und Liezen schlägt sich in hohen Potenzialen nieder. Ebenso liefern halmgutartige Biomassen, aus deren Resten Biomethan erzeugt werden kann, hohe Potenziale. Hier ist vor allem im Bezirk Südoststeiermark reichlich Potenzial vorhanden.

**Gesamtpotential an erneuerbaren Gasen und Biomassen der Steiermark
auf Gemeindeebene in GWh pro Jahr & km²**

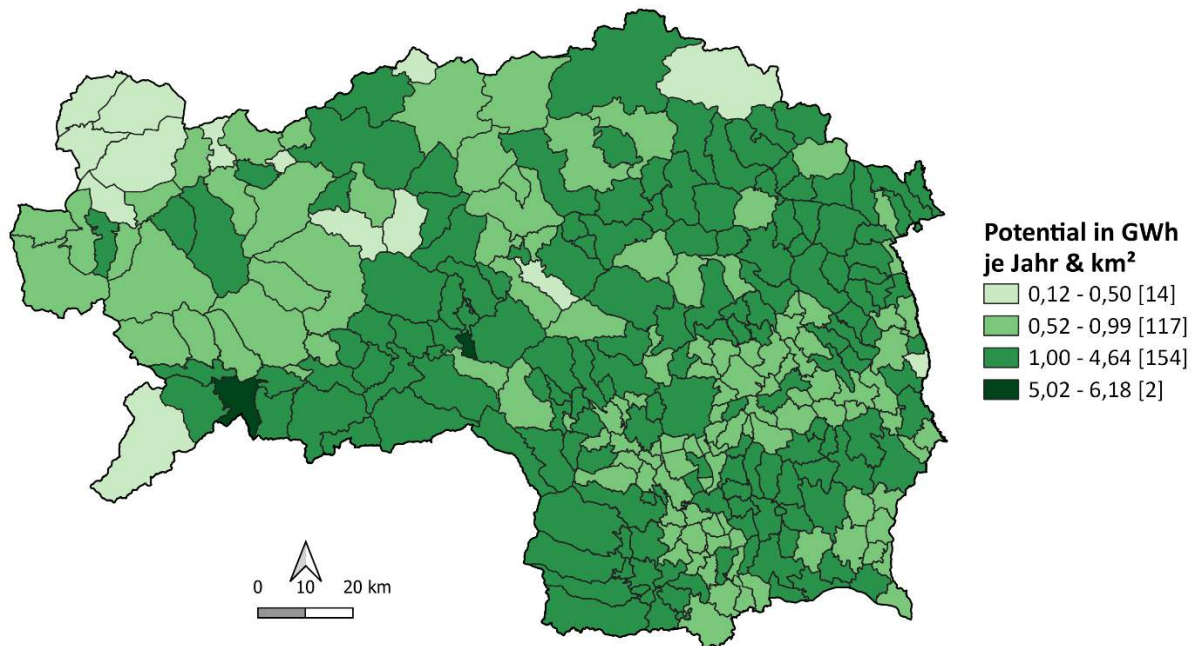


Abbildung 5: Räumliche Verteilung des Gesamtpotenzials an Biomethan und Bio-SNG der Steiermark auf Gemeindeebene, eigene Darstellung

2.3.3 Methodische Einschränkungen

Die Qualität der vorliegenden Ergebnisse wird von unterschiedlichen Faktoren beeinflusst. Maßgeblichen Einfluss auf die Ergebnisse hat vor allem das methodische Vorgehen mittels des Top-Down Ansatzes aufgrund der generalisierten Annahmen, welche keine individuellen Gegebenheiten berücksichtigen. Überdies hinaus sind vor allem die Datenverfügbarkeit und unterschiedliche Zeitstände der verwendeten Daten- und Potenzialquellen Ursache einer Unschärfe der berechneten Potenziale. Auch die Wahl des Segmentierungsfaktors stellt eine wichtige Einflussgröße dar, welche bei Anpassung zu Veränderungen der räumlich aufgelösten Ergebnisse führen kann.

Trotz dieser Einschränkung eignen sich die Daten für einen räumlich aufgelösten Vergleich der Bezirke und Gemeinden in der Steiermark. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist wichtig zu berücksichtigen, dass es sich hierbei nicht um realisierbare, sondern technische Potenziale handelt. Entsprechend können die Ergebnisse von den in der Realität erzielbaren Potenzialen abweichen.

Die entwickelte Methodik mit den zugehörigen Quellenangaben ermöglicht überdies hinaus die Anpassung und Aktualisierung der Potenzialberechnungen für zukünftige Zeitstände.

3 UNTERSUCHTE EINSATZSTOFFE ZUR ERZEUGUNG GRÜNER GASE

In diesem Kapitel werden die Verwertungs- und Nutzungspfade der betrachteten Ausgangsstoffe im Detail besprochen. Im Abschnitt 3.1 werden die Stoffe zur Biomethangewinnung erläutert, Abschnitt 3.2 widmet sich der holzartigen Biomasse als Einsatzstoff zur Bio-SNG-Erzeugung.

Die in diesem Kapitel präsentierten Informationen stellen eine Kombination aus Angaben unterschiedlicher Literatur sowie den Stakeholderinterviews und dem Workshop dar und können somit als Sammlung relevanter Informationen zur Ermittlung der Bandbreiten der Potenziale betrachtet werden.

3.1 Einsatzstoffe Biomethan

Die zur Biomethan-Produktion berücksichtigten Stoffe können grundlegend in drei Kategorien eingeteilt werden: Abfälle, landwirtschaftliche Reststoffe sowie weitere Reststoffe. Die Kategorien samt berücksichtigter Einsatzstoffe sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Berücksichtigte Einsatzstoffe zur Biomethanproduktion

Abfälle	Landwirtschaftliche Reststoffe	Weitere Reststoffe
Biotonnenabfälle	Getreidestroh	Wirtschaftsdünger der Nutztierhaltung
Küchen- und Speiseabfälle	Maisstroh	Energiepflanzen
Abfälle der Nahrungs- und Genussmittelproduktion	Rapsstroh	Klärschlamm
Organik im Restmüll	Zuckerrübenblatt	Gärrest
Einzel- und Mehrparteienkompost		
Grünabfälle und Grünschnitt öffentlicher Flächen		

3.1.1 Abfälle

Gemäß der Richtlinie 2008/98/EG sowie § 1 Abs. 2 AWG 2002 [11, 12] unterliegt die Verwertung von Abfällen der Abfallhierarchie. Dementsprechend steht die stoffliche Verwertung, sofern möglich, über der energetischen Verwertung. Eine Kombination von

stofflicher und energetischer Verwertung ist dennoch zulässig. Dieses Grundprinzip muss daher bei der Beurteilung der Erschließbarkeit zwingend berücksichtigt werden.

Die biogenen Abfälle, Schlüsselnummergruppe 92 gemäß Abfallverzeichnisverordnung [13], umfassen Reststoffe aus der getrennten Sammlung aus Haushalten, aus dem Grünflächenbereich, aus Gewerbe und Industrie (z.B. Gastronomie, Nahrungsmittelindustrie) und der Abwasserbehandlung (Klärschlämme). Je nach Beschaffenheit des biogenen Abfalls unterscheidet sich der bevorzugte Verwertungspfad. Die Verwertungspfade sollen in keiner Konkurrenz zueinanderstehen, sondern einander ergänzen. Dies kann beispielsweise durch eine vorgeschaltete anaerobe Vergärung mit nachfolgender aerober Kompostierung, deren Siebreste anschließend thermisch verwertet werden können, bewerkstelligt werden. Laut Bundesabfallwirtschaftsplan sollen feste, strukturreiche biogene Abfälle (z.B. biogene Siedlungsabfälle) der Kompostierung und flüssige sowie pastöse biogene Abfälle (z.B. Küchen- und Speiseabfälle) der Vergärung zugeführt werden. Zum tatsächlichen Einsatz biogener Abfälle in Biogasanlagen müssen jedenfalls die Qualitätsanforderungen an die Ausgangsmaterialien gemäß ÖNORM S 2201 zum Einsatz von Stoffen der Gruppe 92 in Vergärungsanlagen erfüllt werden. [14]

Viele Abfälle, wie beispielsweise Küchen- und Speiseabfälle, eignen sich prinzipiell sehr gut zur Herstellung von Biogas durch die Vergärung unter anaeroben Bedingungen in Biogasanlagen. Zu beachten ist, dass Ausgangsmaterialien, die tierische Nebenprodukte enthalten, einem Hygienisierungsschritt unterzogen werden müssen. Im Jahr 2016 konnten 715.100 t an biogenen Abfällen in 147 Biogasanlagen zu Biogas verarbeitet werden. Laut Erhebungen des Kompost-Biogas Verbandes werden in der Steiermark 43 % aller biogenen Abfälle in Biogasanlagen verwertet. [15–17] Besonders geeignet zur Vergärung sind vor allem feuchte Nahrungs- und Genussmittelabfälle hingegen sich ligninreiche Materialien wie Baum- und Strauchschnitt nur wenig zur Biogasherstellung eignen. [17]

Küchen- und Speiseabfälle

Die umfangreichsten Datengrundlagen dieser Abfallkategorie stellen die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich [16] sowie die Studie zu den Rückständen der Nahrungs- und Genussmittelproduktion [17] dar. Laut der Datenbasis der Vorstudie zur Berechnung der technischen Potenziale [2] betrug die Menge an angefallenen Küchen- und Speiseresten im Jahr 2016 ca. 113.400 t. Abbildung 6 zeigt die Entwicklung des Aufkommens an Küchen- und Speiseabfällen sowie die Verwertungspfade.



Abbildung 6: Aufkommen und Verwertung von Küchen- und Speiseabfällen 2016-2019 [16, 18–20]

In Abbildung 6 ist zu erkennen, dass die Menge an Küchen- und Speiseabfällen seit 2016 zunimmt. Je nach Zusammensetzung der Abfälle unterscheidet sich die Eignung für die Vergärung bzw. Kompostierung. Die Grafik zeigt ebenfalls, dass der überwiegende Anteil der Küchen- und Speiseabfälle der Vergärung, in diesem Sinne der Biogaserzeugung, zugeführt wird, weitere 8-15 % werden kompostiert. Lediglich 3-13 % dieser Abfallkategorie werden weder vergärt noch kompostiert, sondern anderwärtig verwertet (z.B. thermisch, Export).

Abfälle der Nahrungs-, Genuss- und Futtermittelherstellung

Im Durchschnitt der Jahre 2008 u. 2009 wurden ca. 93 % der Nahrungs-, Genuss- und Futtermittelabfälle, was 7 % des in Biogasanlagen eingesetzten organischen Materials entspricht, in Biogasanlagen verwertet. Der Rest wurde kompostiert. Genauer betrachtet wurden 72,2 % der Nahrungsmittel, 8,9 % der Genussmittel und 72,5 % der Futtermittel zur Biogaserzeugung genutzt. Diese Daten basieren auf einer Umfrage, deren Rücklaufquoten überwiegend gering ausfielen, weshalb diese nur bedingt als repräsentativ angesehen werden können. [17]

Biotonnenabfälle, Organik im Restmüll, Einzel- und Mehrparteienkompost, Grünabfälle & Grünschnitt öffentlicher Flächen

Von den 530.700 t Bioabfällen im Jahr 2016 entfielen 37.000 t auf die Steiermark. Die Sammlung biogener Haushaltsabfälle erfolgt dabei großteils über Biotonnen-Holsysteme. Im Gegensatz dazu überwiegt ein Bringsystem zu Sammelstellen bzw. Kompostierungsanlagen

bei Grün- und Strauchschnitt im Hausgartenbereich. Verwertet werden diese Abfälle sowohl in Kompostierungs- als auch in Biogasanlagen. [16]

Im Landesabfallwirtschaftsplan der Steiermark fallen in die Kategorie der biogenen Siedlungsabfälle die Küchen- und Gartenabfälle der Haushalte (Biotonne), Garten- und Parkabfälle der Kommunen (hier Grünabfälle & Grünschnitt öffentlicher Flächen) sowie Friedhofsabfälle (Grab- u. Grünraumpflege). Der überwiegende Anteil in den Jahren 2016 u. 2017, ca. 56 %, sind dabei mittels Biotonne gesammelte Abfälle. Die kommunalen Abfälle werden in der Steiermark in erster Linie der Kompostierung zugeführt, da die Aufbereitung zur Vergärung wegen Störstoffen und holzigen Bestandteilen, die sehr schwer vergärbare sind, sehr hohen Aufwand mit sich bringt. Aufgrund der Abfallhierarchie ist von einer Abtrennung dieser holzartigen Bestandteile und nachfolgenden thermischen Verwertung abzusehen und eine stoffliche Verwertung, in diesem Sinne Kompostierung, durchzuführen. 2017 wurden daher lediglich 0,44 % der biogenen Abfälle in einer der steirischen Biogasanlagen verwertet, der Rest wurde kompostiert. [21] Angaben der in den Datenerhebungsprozess involvierten Stakeholder zufolge sind vor allem die Verwertungspfade der Grünabfälle und des Grünschnitts öffentlicher Flächen sehr intransparent, weshalb der Verbleib dieser Stoffe oftmals unklar ist. Teilweise werden die gesammelten Grünabfälle in Kompostieranlagen und Biomassenahwärmanlagen verwertet.

Der Anteil der Organik im Restmüll betrug laut Restmüllanalyse 2018/19 18,4 %. Weitere 12,1 % entfallen auf die Fraktion Organik-Lebensmittel. Die Menge organischer Bestandteile im Restmüll in der Steiermark ist demnach höher als im Österreich-Schnitt (vgl. [16] mit 17,81 %). Der Restmüll in der Steiermark wird zwar aufbereitet und sortiert allerdings vollständig der Verwertung, Deponierung sowie Verbrennung zugeführt, zudem kommt es zu zusätzlich zu Verlusten. [16, 21]

Laut Stakeholderbeteiligungsprozess stellt die Aufbereitung von biogenen Siedlungsabfällen einen sehr anspruchsvollen und kostenintensiven Prozess dar. Vor allem die für die Nassvergärung geeigneten Fraktionen erweisen sich wegen des hohen Störstoffanteils und der damit einhergehenden obligatorischen Vorsortierung als schwer erschließbar. Eine kaskadische Nutzung (Trockenvergärung oder Nachkompostierung des Gärrests) könnte eine Möglichkeit zur Nutzbarmachung für die Biogasproduktion dieser Abfälle darstellen. Die Stoffe selbst stellen jedenfalls vergärbare Substanzen dar, eine Konkurrenz zur Kompostierung liegt dabei vor. Hausgartenkompost kann grundsätzlich als verfügbares Potenzial zur Biogasherstellung bewertet werden, der Einsatz zu diesem Zweck wird allerdings aufgrund diverser Aspekte nicht empfohlen und als kontrovers eingestuft. Gegen einen Einsatz des Hausgartenkomposts zur Biogasproduktion sprechen sowohl die EU-Abfallrahmenrichtlinie 2018 [22], welche sich für eine Förderung der Eigenkompostierung ausspricht, als auch die

Tatsache, dass ein Einsatz des Hausgartenkomposts zur Biogasproduktion die Substitution mit mineralischen Düngern erforderlich macht. Ebenso bezweifelt wurde die Umsetzbarkeit zur verpflichtenden Abgabe der Stoffe des Hausgartenkomposts.

3.1.2 Landwirtschaftliche Reststoffe

In Österreich werden auf 1,33 Mio. ha Ackerland diverse Feldprodukte angebaut. Den Schwerpunkt dabei nimmt der Getreideanbau ein, wodurch eine erhebliche Menge an Resten dieser halmgutartigen Biomassen anfallen [23]. Diese eignen sich neben den in Abschnitt 3.1 beschriebenen Reststoffen ebenfalls zur Produktion von Biogas. In ganz Österreich stehen 2,5 Mio. t Getreidestroh, 2,2 Mio. t Maisstroh und 0,2 Mio. t Rapsstroh zur Verfügung. Einen weiteren grundsätzlich zur Vergärung geeigneten Reststoff stellt das Zuckerrübenblatt dar, welches in der Steiermark mit einer Anbaufläche von lediglich ca. 240 ha eine untergeordnete Rolle spielt. [2]

Getreidestroh

Hinsichtlich der Nutzungspfade wird Getreidestroh zu etwa 75 % als Einstreu verwendet. Die Ernterückstände, welche etwa 25 % betragen werden zur Erhaltung des Bodenumusgehalts in die Böden eingearbeitet und dienen in dieser Hinsicht zur Düngung. Die Schnitthöhe des Getreides ist laut Stakeholderauskunft zudem nur bedingt veränderbar. Ebenso wird Getreidestroh als Dämmmaterial eingesetzt, die Mengen dafür fallen mit ca. 300 t allerdings sehr gering aus. Schwierigkeit in der Realisierung liegen in den großen Volumina der Stoffe, welche wiederum den Transport sowie die Lagerung erschweren sowie der ligninhaltigen Schale, welche für den Vergärungsprozess erst aufgebrochen werden muss. Eine kaskadische Nutzung des Stroh, d.h. zuerst Nutzung als Einstreu, danach Einbringung in Biogasanlage und anschließende Düngung mit dem Gärrest/ der Biogasgülle, stellt eine Möglichkeit zur Realisierung der Potenziale dar. [24, 25]

Maisstroh

Bei Maisstroh (insb. Körnermaisernte) beträgt der Ernterückstand zwischen 50 und 80 %. Geeignete Erntetechnologien stehen ebenfalls nur bedingt zur Verfügung, erste Lösungsansätze dafür gibt es lt. Stakeholderauskunft im Nachbarbundesland Oberösterreich. Genaue Informationen hierzu sind derzeit nicht bekannt. Bei Maisstroh birgt wie auch bei Getreidestroh die Lagerung Probleme aufgrund der großen Volumina, außerdem besteht aufgrund der Feuchte des Materials die Gefahr der Schimmelbildung.

Zuckerrübenblatt & Rapsstroh

Zuckerrübenblatt wird aufgrund der guten Nährstoffeigenschaften zur Gänze in die Böden eingearbeitet. In Österreich gibt es derzeit noch keine geeigneten Erntetechnologien für

Zuckerrübenblatt. Aufgrund der geringen Anbauflächen von Raps spielt auch das Rapsstroh eine untergeordnete Rolle.

3.1.3 Weitere Reststoffe

Neben Abfällen und Resten halmgutartiger Biomassen stellen auch Klärschlamm, Energiepflanzen sowie Wirtschaftsdünger der Nutztierhaltung mögliche Einsatzstoffe zur Biogasherstellung dar. Eine Vergasung von Gärresten ist aus theoretischer Sicht eine weitere Möglichkeit zur Gewinnung grüner Gase, welche jedoch aufgrund derzeit noch nicht ausgereifter Technologien keine realistische Umsetzung ermöglicht.

Klärschlamm

Mit einem Mengenaufkommen von 22.400 t Trockenmasse TM im Jahr 2015 in der Steiermark stellt auch Klärschlamm einen interessanten Einsatzstoff zur Biogasproduktion dar. 17 % des Klärschlammes wurden als Düngemittel auf Feldern ausgebracht, 45 % wurden der thermischen Behandlung mit Abwärmenutzung zugeführt und weitere 38 % wurden einer mechanisch-biologischen Behandlung zugeführt, kompostiert oder vererdet. Es befindet sich somit der gesamte Klärschlammanfall in bestehenden Verwertungspfaden. In der Zukunft spielt Klärschlamm vor allem eine wichtige Rolle in der Phosphorrückgewinnung. Bis 2030 sollen lt. Agenda 2030 etwa 65-85 % des kommunalen Klärschlammes einer Phosphorrückgewinnung zugeführt werden. [14] Aus Stakeholdersicht ist die Produktion von grünem Gas aus Klärschlamm derzeit nur aus Überschüssen denkbar, da andernfalls eine vollständige Eigennutzung zur Strom- und Wärmeproduktion die aus betrieblicher Sicht präferierte Variante darstellt. Zudem ist zu beachten, dass eine anaerobe Behandlung nur in größeren Anlagen¹ als sinnvoll erachtet wird, da aus Kostengründen eine Umsetzung in kleineren Kläranlagen nicht bewerkstelligbar ist. Durch die Anlieferung geeigneter Co-Substrate (derzeit bereits teilweise in Anwendung) könnte es hier zu einer positiven Verschiebung kommen. Auch kleinere Kläranlagen könnten auf diese Weise eventuell im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit Biogas produzieren.

Energiepflanzenanbau

Aus Energiepflanzen werden dem Namen getreu unterschiedliche Arten von Energie gewonnen. Sie werden sowohl zur Kraftstoffgewinnung (Biodiesel) als auch zur Biogasproduktion sowie thermischen Verwertung eingesetzt. Informationen zum anteiligen Einsatz der Energiepflanzen liegen nicht vor. Dennoch wird davon ausgegangen, dass sich sämtliche Mengen in bestehenden Verwertungspfaden befinden.

¹ kommunale Kläranlagen mit einer Größenordnung ab ca. 20.000 Einwohnergleichwerten

Wirtschaftsdünger der Nutztierhaltung

Die Mengen an Wirtschaftsdünger der Nutztierhaltung wurden basierend auf den Tierbeständen berechnet. Untersuchungen zufolge wurden im Jahr 2011 ca. 1,3 % des Wirtschaftsdüngers der Nutztierhaltung der Biogasproduktion zugeführt. Der Haupteinsatz liegt vor allem im Einsatz als Düngemittel durch die Aufbringung auf Felder. [26] Gelagerter Wirtschaftsdünger birgt lt. Stakeholdern das Risiko hoher Methanemissionen, eine Vergärung würde daher sowohl ökologische als auch ökonomische Vorteile bringen. Dennoch muss bedacht werden, dass eine Substitution dieses natürlichen Düngemittels durch mineralische Dünger nicht erstrebenswert ist, ebenso wenig dürfen keine Probleme in der Flächenbindung² herbeigerufen werden. Eine kaskadische Nutzung zur Biogasherstellung und anschließender Ausbringung der Gärreste als Düngemittel könnte eine geeignete Variante zur Erschließung der Potenziale darstellen. Als Vorteile kann die geringere Geruchsbelastigung, die bessere Pflanzenverträglichkeit sowie der geringere Nährstoffverlust gewertet werden [26]. Ein Nachteil liegt in der geringen Energiedichte des Einsatzstoffes. Gülle-Monovergärungsanlagen sind aufgrund der hohen Durchsatzvolumina, welche aus der geringen Energiedichte resultieren, nur schwer realisierbar. Dementsprechend wären große Anlagengrößen notwendig, welche wiederum hohe Kosten mit sich bringen. Logistisch und wirtschaftlich gesehen macht der Einsatz von Gülle in Biogasanlagen daher nur im großen Maßstab in zentralen Anlagen in unmittelbarer Nähe zum Gasnetz Sinn. Stakeholderschätzungen zufolge sind 300 Großvieheinheiten³ (GVE) notwendig, damit sich eine derartige Anlage rechnet. Ebenso stellt die Sammlung und der Transport der Gülle zu derartigen zentralen Anlagen eine große Herausforderung dar, erst ab schätzungsweise 50 GVE ist dies wirtschaftlich rentabel. Unter der Annahme eines höheren Feststoffgehalts der Gülle durch mehr Einstreu (z.B. Stroh), steigt auch das Methanbildungspotenzial, was sich wiederum direkt auf die Wirtschaftlichkeitsbedingungen auswirkt. Erfahrungsberichten anderer Länder wie Dänemark zufolge, ist das Setzen auf einen kombinierten Substrateinsatz (z.B. NAWARO⁴ mit Gülle) eine Methode, die in Betracht gezogen werden kann, um Potenziale aus Wirtschaftsdünger der Nutztierhaltung unter wirtschaftlichen Bedingungen zu realisieren.

3.2 Bio-SNG aus holzartiger Biomasse

Nicht durch Zufall trägt die Steiermark den Beinamen „Grünes Herz Österreichs“, nein vielmehr wird dies durch den Waldreichtum, welcher ca. 62 % [27] der Landesfläche

²Flächenbindung bedeutet, dass ein landwirtschaftlicher Betrieb genug Flächen nachweisen muss, um seine Tiere von dieser zu ernähren und den Dung auszubringen.

³ Eine Großvieheinheit entspricht ca. 500 kg bzw. einem ausgewachsenen Rind (> 2 Jahre)

⁴ Nachwachsende Rohstoffe

ausmacht, gerechtfertigt. Laut Stakeholdern ist in der Steiermark bereits ein maximaler Waldvorrat erreicht. Dies bedeutet, dass ein weiterer Ausbau des Waldes zu Lasten der Stabilität und Vitalität des Waldes gehen würde. Ein Abbau des Vorrates könnte dahingehend auch Vorteile wie zweischichtige Bestände fördern. Entsprechend der Nachhaltigkeitsstrategie der Forstwirtschaft, welche vorsieht den Vorrat der Wälder nicht zu reduzieren, wird daher nur der Walddzuwachs als Potenzialquelle betrachtet.

Laut Vorstudie [2] weist holzartige Biomasse die höchsten technischen Potenziale zur Erzeugung grüner Gase auf. Um die Erschließbarkeit zu beurteilen, ist es folglich notwendig detaillierte Informationen zu den verfügbaren Holzmengen und -strömen einzuholen und überdies hinaus zu kombinieren.

3.2.1 Datenquellen

Die Annahmen dieser Studie beruhen zum überwiegenden Anteil auf drei Datenquellen:

- Zwischenauswertung der österreichischen Waldinventur 2016/18 (ÖWI) [28]
- Holzströme in Österreich 2011-2020 [29]
- Holzeinschlagsmeldungen (HEM) Steiermark [30]

Lediglich zwei der drei Quellen liefern spezifische Daten für die Steiermark (ÖWI und HEM), weshalb ein gewisses Maß der Generalisierung unumgänglich ist. Nachfolgend wird ein Einblick in die wichtigsten Aspekte dieser drei Datenquellen ermöglicht.

Zwischenauswertung der österreichischen Waldinventur 2016/18

Eine sehr wichtige Quelle hierfür stellt die Zwischenauswertung der österreichischen Waldinventur 2016/18 [28], durchgeführt vom Bundesforschungszentrum für Wald (BFW), dar, auf welcher bereits die Berechnungen der technischen Potenziale der Vorstudie beruhen. Diese liefert allerdhand Informationen zum jährlichen Holzzuwachs wie beispielsweise den Zuwachs nach Baumart oder Eigentumsart. Laut ÖWI beträgt der jährliche Holzzuwachs ca. 8,02 Mio. Vfm/a wovon 0,97 Mio. Vfm/a ungenutzt sind. Das Verhältnis von Zuwachs zu Nutzung beträgt dementsprechend 88 %. Weiters sind 96,9 % des Zuwachses Wirtschaftswald, 2,9 % sind Schutzwälder im Ertrag. Hinsichtlich der Waldflächen stellt ein geplantes EU-Papier, welche eine Außernutzungsstellung von Landes- und Wasserflächen (30 % unter Schutz, 10 % unter strengem Schutz), einen Aspekt dar, der ebenfalls in den Berechnungen der Bandbreiten berücksichtigt werden sollte.

Wenn es um die Realisierbarkeit der Potenziale aus holzartiger Biomasse geht sind neben den Mengen auch Aspekte wie die Eigentümerstruktur von großer Bedeutung. Nachfolgend ist in Abbildung 7 die Eigentümerstruktur des steirischen Holzzuwachses dargestellt.

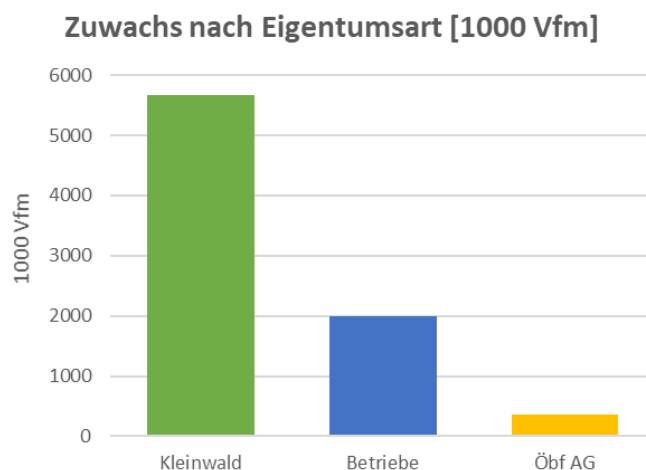


Abbildung 7: Eigentümerstruktur Holzzuwachs Steiermark, eigene Darstellung nach [28]

In Abbildung 7 ist gut zu erkennen, dass sich der überwiegende Anteil des Waldzuwachses mit 70,6 % in Hand von Kleinwaldbesitzern (< 200 ha) befindet. Während gewerblich agierende Betriebe den Wald nahezu vollständig nutzen, ist dies bei Kleinwaldbesitzern nicht immer der Fall. Eine Verletzung der Pflicht zur Waldpflege ist oftmals das Resultat teils prekärer Besitzverhältnisse (z.B. Wald wird vererbt und nicht gepflegt). Da insbesondere bei Kleinwaldbesitz das Holz oftmals zur Eigennutzung verwendet wird, liegen zudem keine genauen Daten über den Holzeinschlag vor. Die Möglichkeiten zur Einflussnahme auf die Holzernte sind daher gering.

Auch die Anteile der Baumarten am Zuwachs sowie der Nutzung stellen relevante Berechnungsaspekte dar, diese sind in Abbildung 8 dargestellt.

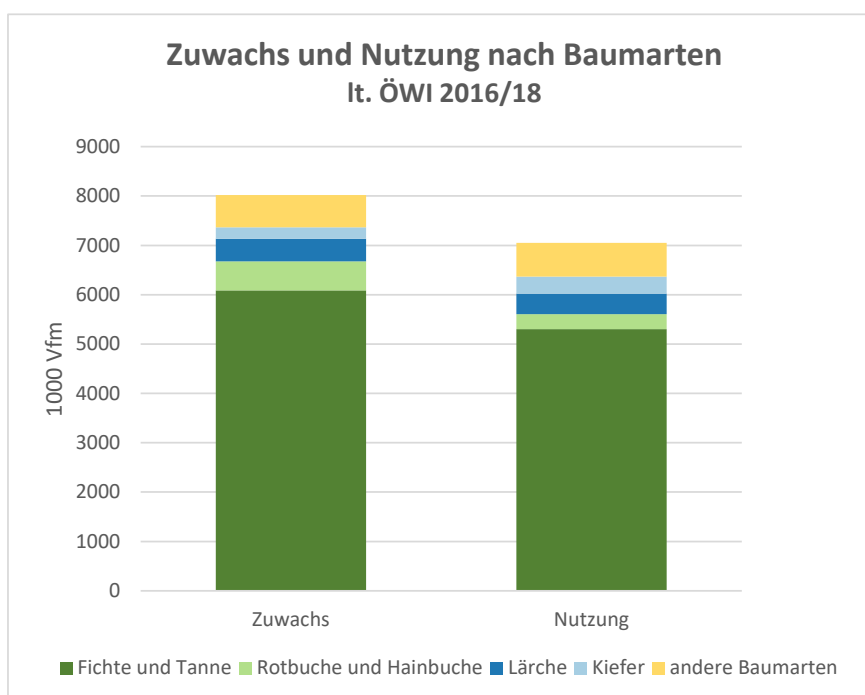


Abbildung 8: Zuwachs und Nutzung nach Baumarten, eigene Darstellung nach [28]

Wie zu sehen ist, sind Fichten und Tannen mit einem Anteil von jeweils etwa 75 % die vorherrschenden Baumarten sowohl beim Zuwachs als auch bei der Nutzung. Gesamt betrachtet bilden die Baumarten Fichte, Tanne, Buche, Lärche und Kiefer über 90 % des Zuwachses sowie der Nutzung ab.

Potenziale im Holzzuwachs liegen lt. Stakeholdern vor allem in der Aufarbeitung der Durchforstungsrückstände sowie in Pflegemaßnahmen. Eine genaue Quantifizierung ist hierbei allerdings nicht möglich.

Holzströme in Österreich

Weitere sehr wichtige Datenquellen, die detaillierte Aufschlüsse zu den Nutzungspfaden von Holz ermöglichen, sind die Holzstromdiagramme des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) [29]. Diese auf jährlicher Basis erscheinenden Diagramme stellen die Holzströme von der Aufbringung über Verarbeitungswege bis hin zur Verwendung auf Österreich-Ebene dar, bundesländerspezifische Diagramme sind nicht vorhanden. Bei der Verwendung des Holzes wird hierbei zwischen einem stofflichen Einsatz sowie einer energetischen Verwendung differenziert. In Abbildung 9 sind stellvertretend die Holzströme des Jahres 2019 zu sehen, Abbildung 10 zeigt die energetischen Nutzungspfade der verwendeten Holzsortimente desselben Jahres.

Wie in Abbildung 9 zu sehen ist, wird der heimische Anteil der Holzströme durch die Quelle *Holznutzung Wald auf Basis HEM* abgebildet. Ebenso sind einige Import- sowie Exportströme im Diagramm dargestellt. Laut Informationen involvierter Stakeholder stellen einige in den Diagrammen dargestellte Stoffströme berechnete Größen dar (z.B. Menge an Rinde). Der genaue Weg der Importe kann den Diagrammen allerdings nicht entnommen werden, wodurch es zu Unsicherheiten in den Berechnungen der Potenziale kommen kann. Prozentuell betrachtet stellt Sägerundholz mit 39,33 % den größten Strom der zuvor genannten Quelle *Holznutzung Wald auf Basis HEM* dar. Etwa 25,1 % der abgebildeten Mengen dieser Quelle stellen die Energieholzsortimente Hackgut und Brennholz dar. Absolut betrachtet werden insgesamt 24,8 Mio. Efm Holz der energetischen Verwertung zugeführt, dies ist mehr als der gesamte österreichische Holzeinschlag.

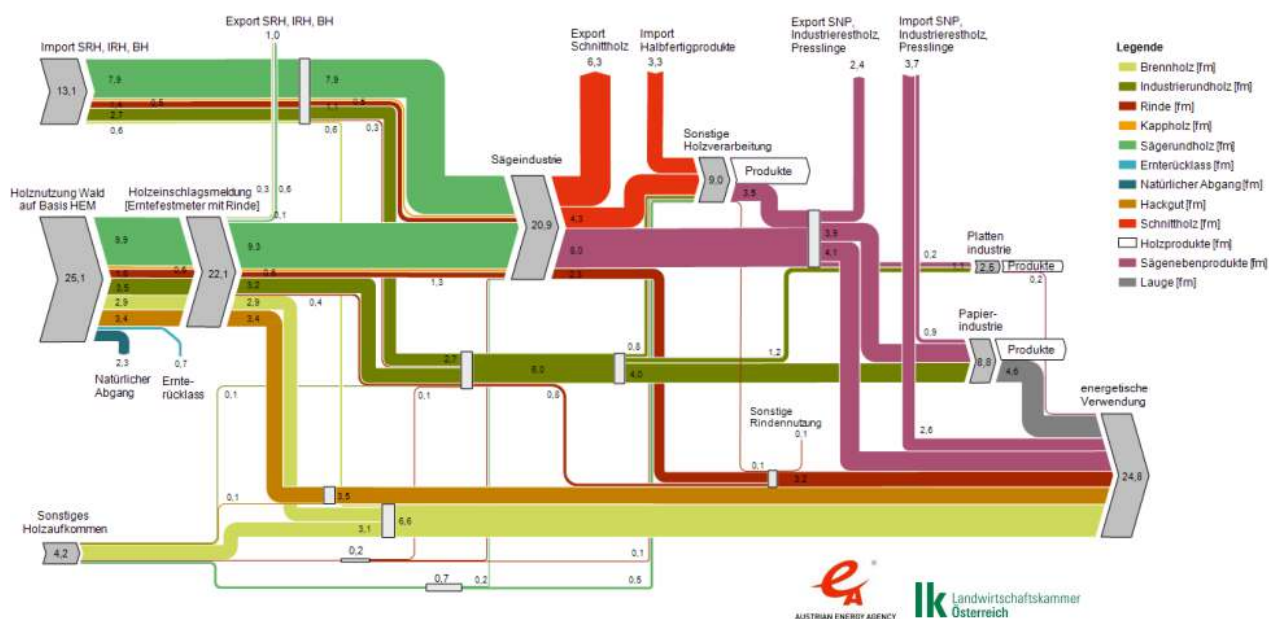


Abbildung 9: Holzströme in Österreich 2019 [29]

Wichtig ist vor allem auch die Tatsache, dass sich nahezu alle Holzströme in etablierten Verwertungspfaden befinden. Um keine künstliche Konkurrenzsituation herbeizuführen werden daher die Holzmengen, welche sich in stofflichen Verwertungspfaden befinden, nicht in die Untersuchungen zur Realisierbarkeit der Potenziale eingebunden. Betrachtet werden nur die Holzmengen, welche ohnehin den Zweck der energetischen Verwertung erfüllen.

Abbildung 10 kann entnommen werden, dass die fünf Inputströme (Lauge, Sägenebenprodukte, Rinde, Hackgut & Brennholz) auf vier Senken aufgeteilt werden: KWK-Anlagen und Prozessdampferzeugung, Heizanlagen größer sowie kleiner 1 MW und Brenn- und Scheitholzfeuerungsanlagen.

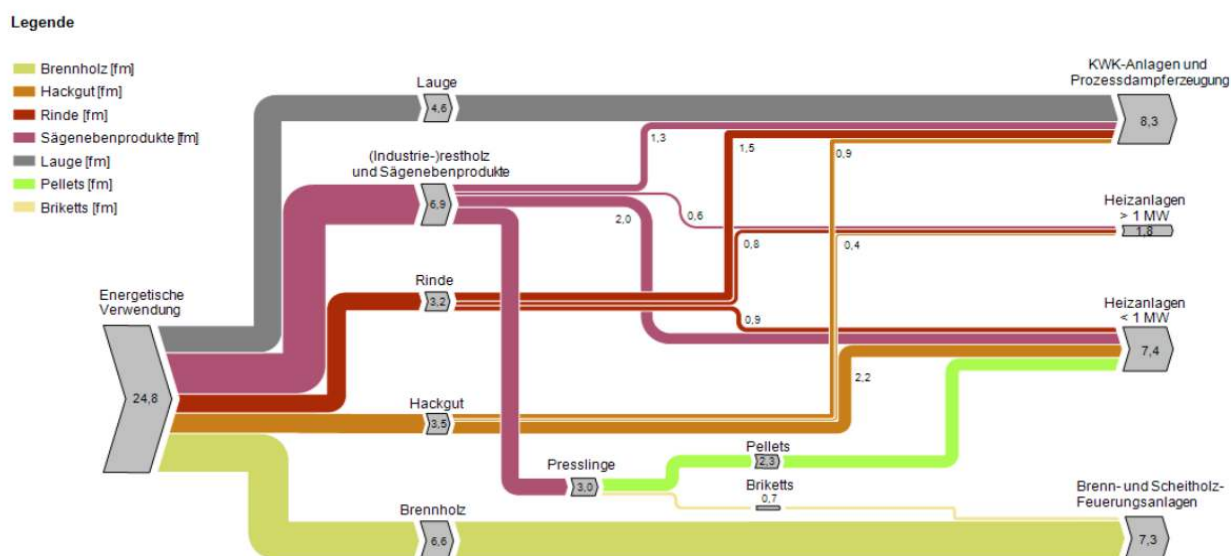


Abbildung 10: Holzströme in Österreich – Energetische Verwertungspfade 2019 [29]

Besonders bei Holz ist es wichtig eine breitere Datenbasis zu verwenden und die Berechnungen nicht auf ein Beispieljahr zu stützen. Klimatische Einflüsse sowie Wetterereignisse wirken sich unmittelbar auf die Waldwirtschaft aus. Der Einbezug von Daten seit 2011 steigert somit die Repräsentativität der Berechnungen. Nachfolgend sind daher in Abbildung 11 die Inputströme sowie deren Anwendung von 2011 bis 2019 entsprechend der Holzstromdiagramme im Zeitverlauf dargestellt.

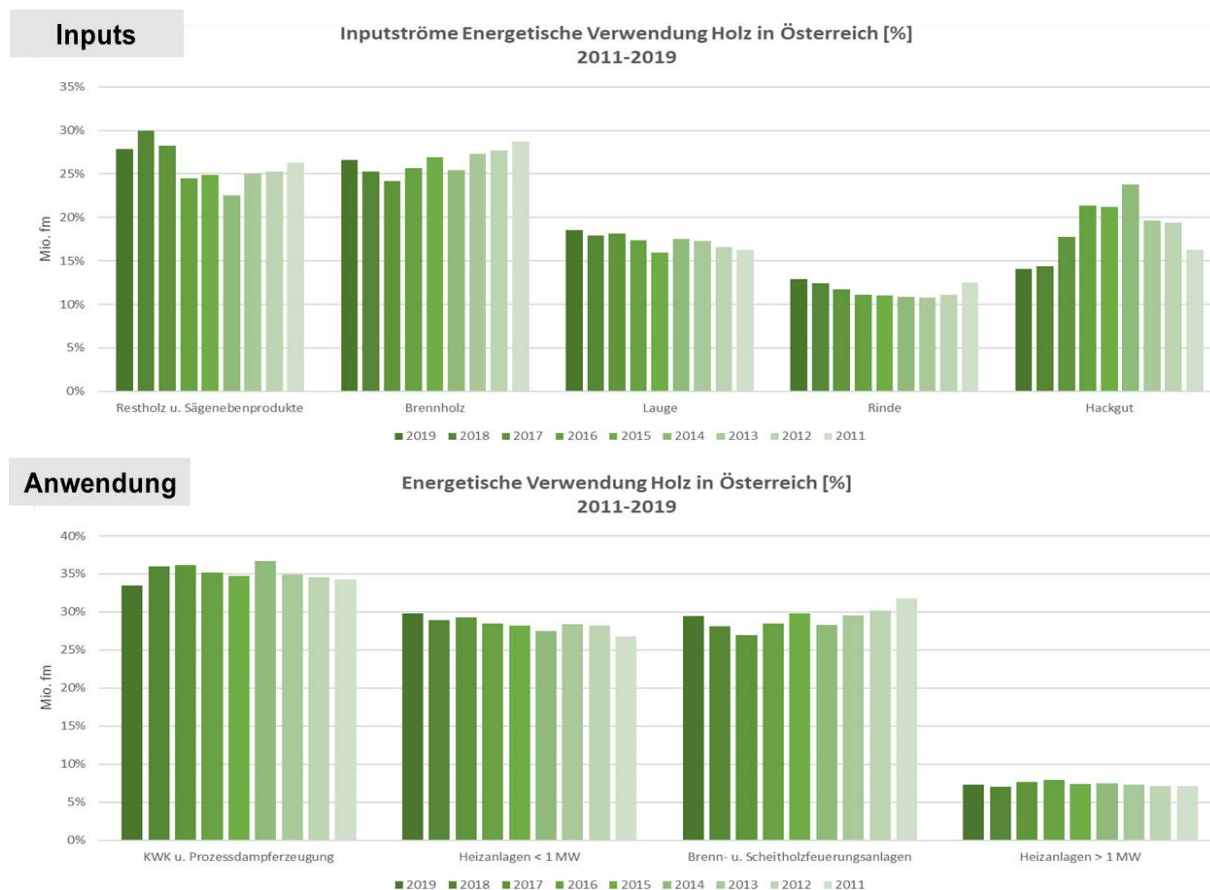


Abbildung 11: Energetische Verwendung Holz 2011-2019, eigene Darstellung nach [29]

Holzeinschlagsmeldung Steiermark

Für alle politischen Bezirke Österreichs wird jedes Jahr der Holzeinschlag erhoben. Diese Erhebungen bieten Einblick in die Höhe, Struktur sowie Entwicklung des Holzeinschlags. Im Jahr 2020 betrug der Holzeinschlag der Steiermark ca. 23 % des Gesamteinschlags in Österreich. Weitere Informationen aus den steirischen Holzeinschlagsmeldungen seit 2011 können Abbildung 12 entnommen werden.

In Abbildung 12 sind sowohl die Anteile der stofflichen und energetischen Nutzung als auch der Schadholzanteil in Prozent dargestellt. Weiters sind die Absolutmengen in Erntefestmetern ohne Rinde (Efm) des Holzeinschlags für die stoffliche als auch energetische Verwendung sowie des Gesamteinschlags dargestellt. Im zeitlichen Verlauf ist zu sehen, dass

der Gesamteinschlag seit 2011 kontinuierlich abnimmt. Das Verhältnis von stofflicher zu energetischer Nutzung schwankt nur wenig. Sehr volatil hingegen präsentiert sich der Kalamitätsholzanteil. Ein hoher Schadholzanteil spiegelt sich in geringeren Holzpreisen wieder.

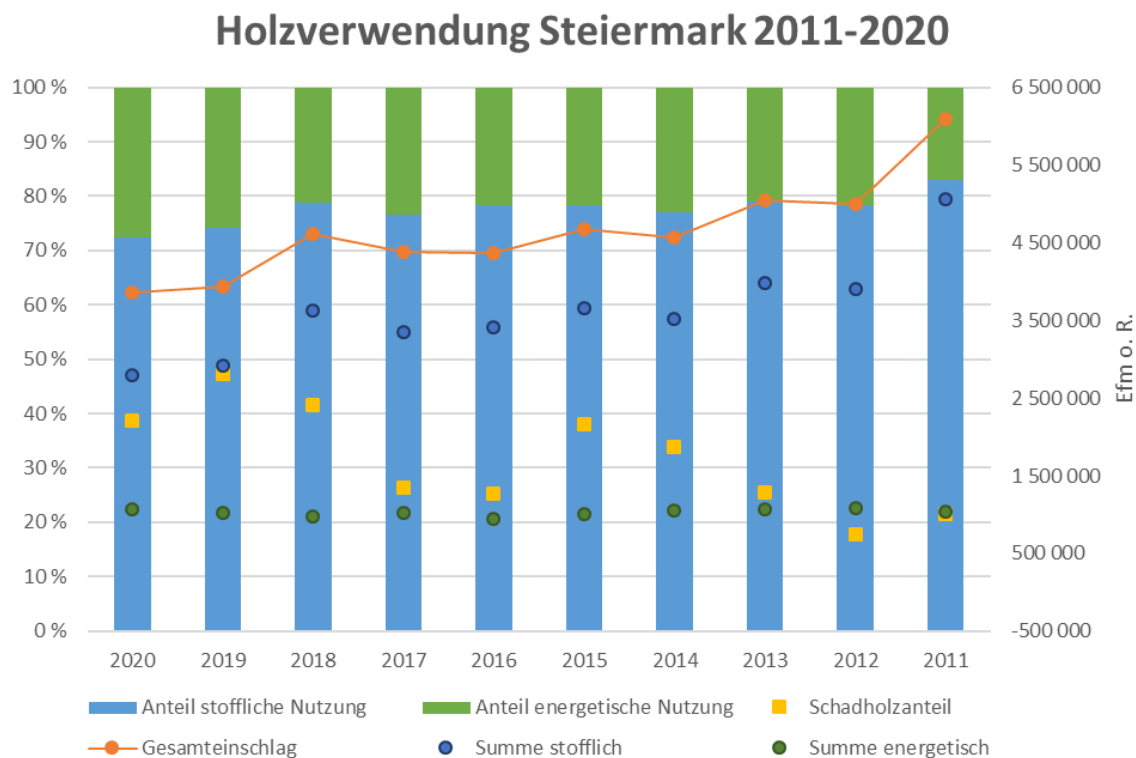


Abbildung 12: Holzverwendung Steiermark 2011-2020 lt. Holzeinschlagsmeldungen [30]

3.2.2 Trends energetische Verwertung Holz

Die nachfolgende Abbildung 13 zeigt die Leistung neu installierter Biomassefeuerungen in der Steiermark von 2011-2020, welche von der niederösterreichischen Landwirtschaftskammer für alle Bundesländer erhoben wurden.

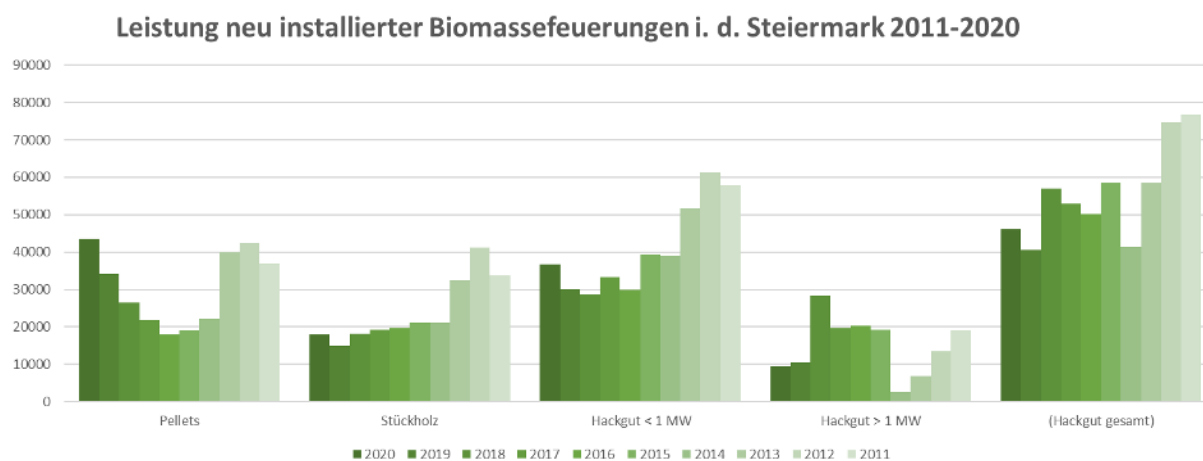


Abbildung 13: Leistung neu installierter Biomassefeuerungen Steiermark 2011-2020 nach [31]

Kombiniert man diese Daten mit Informationen aus den Holzstromdiagrammen [29] können einige Trends für die energetische Holzverwertung abgeleitet werden, welche nachfolgend in Tabelle 2 zusammengefasst sind. Unterschieden wird dabei zwischen Pellets, Stück- bzw. Brennholz sowie Hackgut, welche allesamt den Zweck der energetischen Verwertung dienen.

Tabelle 2: Trends der energetischen Holzverwertung nach [31] und [29]

Pellets			Stückholz/ Brennholz			Hackgut		
Installierte Leistung	steigt seit 2016	zw. 22 u. 29 % pro Jahr	Installierte Leistung	steigt v. 2019 auf 2020	v. ca. 20,6 %, davor seit 2015 Rücklauf (zw. 2 u. 18 %)	Installierte Leistung	steigt seit 2016 (Ausnahme 18/19 mit minus 29 %)	steigt zw. 5 u. 14 % pro Jahr
Pellets Menge	steigt seit 2014	jährlich zw. 4,5 u. 5,6 %	Stückholz Menge	steigt seit 2017	zw. 1 u. 8 %, davor Schwankungen	Hackgut Menge	sinkt seit 2014 (Ausnahme 15/16)	jährlich zw. 5 u. 19 %

Bei Pellets zeichnet sich klar ab, dass sowohl die installierten Leistungen als auch die absolut eingesetzten Mengen seit einigen Jahren steigen. Insbesondere bei den neu installierten Leistungen liegt der jährliche Anstieg seit 2016 zwischen 22 u. 29 %. Bei Stück- bzw. Brennholz verzeichnete sich lediglich von 2019 auf ein 2020 eine klare Zunahme von 20,6 % bei den neu installierten Leistungen. Von 2015 bis 2019 waren diese allerdings stets rückläufig. Hinsichtlich der Absolutmengen kann seit 2017 ein Anstieg in der Verwendung verzeichnet werden, dieser fällt allerdings aus prozentueller Sicht gering aus. Vor 2017 unterlag die eingesetzte Menge stets Schwankungen. Ein klarer Trend ist dementsprechend nicht erkennbar. Interessant ist die Datenlage vor allem auch bei Hackgut. Hier steht eine Zunahme der neu installierten Leistungen zwischen 5 und 14 % pro Jahr seit 2019 einer Abnahme der absoluten Einsatzmengen zwischen jährlich 5 bis 19 % gegenüber. Lediglich von 2018 auf 2019 kann ein Bruch im Trend der Zunahme installierter Leistungen von 29 % ermittelt werden. Kapazitäten werden diesen Daten zufolge nur bei Holz, das derzeit in Form von Hackgut eingesetzt wird frei. Bei Einbezug weiterer Informationen aus Abbildung 11 ist zudem zu erkennen, dass lt. den Holzstromdiagrammen die eingesetzte Menge an Energieholz in KWK-Anlagen sowie Prozessdampfanlagen seit 2017 leicht rückläufig ist. Der Wert aus dem Jahr 2019 stellt zudem den niedrigsten seit 2011 dar. Bei Heizanlagen < 1 MW ist seit einigen Jahren eine leichte Zunahme der eingesetzten Mengen zu erkennen. Bei Anlagen > 1 MW sind die Einsatzmengen in den letzten 10 Jahren weitgehend konstant.

4 METHODIK ZUR ERMITTLUNG DER BANDBREITEN ERSCHLIEßBARER POTENZIALE

Die Annahmen zur Berechnung der Bandbreiten erschließbarer Potenziale unterscheiden sich hingehend des zu erzeugenden Produktgases: Biomethan und Bio-SNG. Da in dieser Studie Standortfragen nicht einbezogen werden, ist es notwendig die Wirtschaftlichkeit entkoppelt darzustellen. In den Kapiteln 4.1 und 4.2 werden daher zuerst die jeweiligen Berechnungsspezifika für Biomethan und Bio-SNG im Detail beschrieben. Danach werden in Kapitel 4.3 die relevanten Aspekte zur Darstellung der Wirtschaftlichkeit für beide Gase erläutert.

4.1 Biomethan

Die Annahmen zur Berechnung der Bandbreiten erschließbarer Potenziale wurden von den Erkenntnissen der Literaturstudie sowie dem Stakeholderprozess abgeleitet und sind nachfolgend zusammengefasst.

Bei Biotonnenabfällen stellt der derzeitige Bestand (0,4 %), sprich der bereits erschlossene Anteil, den Minimalwert der Bandbreite dar. Den Maximalwert der Bandbreite bildet der vergärbare Anteil der Biotonne in Höhe von 50 %. Diese Annahmen liegen dem Einsatz geeigneter Aufbereitungstechnologien zugrunde. Bei den Abfällen der Lebensmittelindustrie stellt ebenfalls der Bestand (93 %) den unteren Wert der Bandbreite dar. Der obere Wert wird mit 100 % angenommen. Hinsichtlich der Lebensmittelabfälle im Restmüll wird von einer minimalen Erschließbarkeit von 0 % ausgegangen. Im Falle einer getrennten Sammlung dieser Abfälle wird von einem vergären Anteil von 100 % ausgegangen. Auch bei Küchen- und Speisresten bildet den unteren Wert der Bandbreite der Bestand (ca. 91 %). Der obere Wert der Bandbreite beträgt 99 %, da davon ausgegangen wird, dass 1 % dieser Abfälle aufgrund rechtlicher Aspekte nicht vergärt werden darf. Bei Grünschnitt wird keine Bandbreite ausgewiesen, es wird davon ausgegangen, dass 99 % (1 % Verlust durch Sammlung) vergär sind. Auch hier wird die Annahme einer korrekten Sammlung unterstellt. Stoffe der Hausgartenkompostierung werden als nicht erschließbar angenommen.

In der Vorstudie wurde das Potenzial halmgutartiger Biomassen für alle Strohsorten gesammelt ausgewiesen. Relational zum jeweiligen Beitrag einer Strohfraktion zum technischen Gesamtpotenzial halmgutartiger Biomassen (z.B. Anteil Potenzial Getreidestroh am Gesamtpotenzial) wurden diese aufgeteilt, um eine individuelle Berechnung der Erschließbarkeit jeder Strohsorte zu ermöglichen. Als untere Grenze der Bandbreite wurde für die Strohfraktionen (Getreide-, Mais- und Rapsstroh) eine Erschließbarkeit von 75 %

angenommen. Unter der Annahme einer um 50 % verringerten Stoppelhöhe (Getreideschnitthöhe wird reduziert auf 12,5 anstatt 25 %) ergibt sich die obere Grenze der Bandbreite. Zuckerrübenblatt wird derzeit als nicht erschließbar eingestuft.

Beim Wirtschaftsdünger der Nutztierhaltung werden die Stallquoten von Rindern und Hühnern (68 %) sowie Schweinen (100 %) sowie Lager- und Entnahmeverluste von 3 % berücksichtigt. Den unteren Wert der Bandbreite stellt der Bestand dar (1,3 %). Der obere Wert der Bandbreite beträgt 68 %. Die Vergasung von Klärschlamm wird aufgrund des derzeitigen Entwicklungsstadiums der Technologien als nicht erschließbares Potenzial eingestuft.

4.2 Bio-SNG

Bereits bei der Berechnung der technischen Potenziale aus holzartiger Biomasse wurde der gesamte Holzzuwachs laut ÖWI 2016/18 berücksichtigt. Zur Ermittlung der Bandbreiten der erschließbaren Potenziale müssen weitere Annahmen getroffen werden. Die Berechnungen werden zudem für die Nutzung sowie den ungenutzten Holzzuwachs (Gesamtwachstum = Nutzung + ungenutzter Zuwachs; beides lt. ÖWI) individuell durchgeführt.

Zuerst ist es notwendig die Daten der ÖWI zur HEM zu transformieren, da die Holzmengen in unterschiedlichen Einheiten ausgewiesen werden. In der ÖWI werden die Mengen in Vorratsfestmetern (Vfm) angegeben hingegen in der HEM die Einheit Erntefestmeter (Efm) verwendet wird. Zur Umrechnung der Daten wird die Rinde, der natürliche Abgang sowie der Ernterücklass von den Mengen der ÖWI in Abzug gebracht. Die Rindenanteile der Baumarten sind in Tabelle 3 zusammengefasst

Tabelle 3: Rindenanteil und Heizwert je Baumart [32]

Baumart	Rindenanteil [%]	Heizwert bei 20 % Wassergehalt [kWh/FM]
Fichte bzw. Tanne	12	1976
Buche	8	2898
Kiefer	13	2335
Lärche	13	2535
Andere Baumarten (Mittelwert) ⁵	12	2344

Basierend auf den Anteilen je Baumart (siehe Abbildung 8, exkl. andere Baumarten) wurde ein gewichteter Mittelwert von 10,81 % für den Zuwachs bzw. 10,77 % für die Nutzung ermittelt,

⁵ Die arithmetischen Mittelwerte wurden aus Fichte, Tanne, Buche, Kiefer und Lärche berechnet

der Wert für andere Baumarten ist das arithmetische Mittel aus Fichte bzw. Tanne, Buche, Kiefer und Lärche. Für den natürlichen Abgang wurden 9,16 % und für den Ernterücklass weitere 2,79 % abgezogen. Diese Prozentsätze wurden anhand des Holzstromdiagramms 2020 [29] berechnet.

Zudem wurde für den unteren Grenzwert der Bandbreite angenommen, dass 10 % des Waldes entsprechend des geplanten EU-Papieres zur Ausweitung der Schutzzonen für Wald und Wasser unter strengen Schutz gestellt werden und dementsprechend keinen Holzeinschlag zulassen.

Durch den Einbezug der Heizwerte entsprechend Tabelle 3 wurde der Energieinhalt des ungenutzten Zuwachses sowie der Nutzung in GWh/a ermittelt.

Basierend auf der Analyse der Holzeinschlagsmeldungen seit 2011 (siehe Abbildung 12) wurden die minimalen und maximalen energetischen Nutzungsanteile von 17,02 und 27,54 % ermittelt und die Berechnungen eingesetzt.

Durch die anschließende Kombination mit einem Wirkungsgrad für die Bio-SNG-Erzeugung von 65 % konnte die Bandbreite der erschließbaren Potenziale der Nutzung (lt. ÖWI) ermittelt werden. Dieser Wirkungsgrad bildet das Verhältnis von Nutzenergie zur zugeführten Energie zu einem Zeitpunkt ab und beschreibt somit die Effizienz des Systems. Bei einem Einsatz von 100 % Biomasse werden entsprechend der Annahme somit 65 % zu Bio-SNG umgesetzt. Der tatsächliche Nutzungsgrad fällt ohne Abwärmenutzung im Regelfall geringer aus, da eine längerfristige Betrachtung über den Betriebszyklus stattfindet. Durch die Nutzung der Abwärme kann der Gesamtnutzungsgrad erhöht werden. Unter Einbindung dieser Informationen wurde angenommen, dass 30 % der Bio-SNG-Produktion Wärmeerlöse von 40 €/MWh [33] generieren. Diese Annahme begründet sich zusätzlich auf zweierlei Annahmen. Einerseits besteht Wärmebedarf in Österreich in erster Linie im Winter, im Sommer fehlen somit die Abnehmer. Andererseits ist die Anzahl der Industriekunden, welche ganzjährig Wärme abnehmen, ebenso begrenzt.

Bis zu diesem Schritt erfolgt die Berechnung der Bandbreiten des ungenutzten Zuwachses analog. In einem Zusatzschritt wurde anschließend noch der lt. Stakeholdern erschließbare Anteil, welcher zwischen etwa einem Drittel und fünfzig Prozent liegt, für den ungenutzten Holzzuwachs berechnet.

Auf Anraten der Stakeholder wird die holzartige Biomasse aufgelöst nach unterschiedlichen Holzsortimenten (Industrieholz) dargestellt. Laut BMK [34] fällt Energieholz meist als Nebenprodukt der Waldpflege, Holzbringung und Verarbeitung der Sägeindustrie an und ist durch eine mögliche stoffliche Nutzung des Holzes beeinflusst. Durch die gewählte Variante wird damit Rücksicht auf Verschiebungen zwischen stofflicher und energetischer

Holzverwertung genommen. Es wurden Sortimenten gewählt, für die die Kosten bekannt sind (siehe Tabelle 6), da zu konkreten Einschlagsmengen der Holzsortimente je Baumart keine Daten aufliegen (in der HEM wird bei Industrierundholz lediglich zwischen Laub- und Nadelholz unterschieden). Weiters wurden jene Baumarten gewählt, die lt. ÖWI die größten Anteile an Nutzung und Zuwachs aufweisen. Für die Baumarten Fichte u. Tanne wurde überdies hinaus angenommen, dass sowohl der Schleif- als auch Faserholzanteil jeweils 50 % beträgt. Bei allen anderen betrachteten Baumarten wird unterstellt, dass diese 100 % Faserholz darstellen.

4.3 Darstellung der Wirtschaftlichkeit

Entsprechend der Potenzialdefinition in Abschnitt 2.2 beeinflussen auch wirtschaftliche Aspekte die Bandbreiten erschließbarer Potenziale. Einerseits stellen die Kosten für die eingesetzten Substrate eine wichtige Größe dar, andererseits sind auch Kenntnisse über die Gestehungskosten der Biomethan- sowie Bio-SNG-Anlagen notwendig. Die Gestehungskosten beinhalten sowohl OPEX als auch CAPEX der Anlage sowie spezifische Kosten der Substrate. Die genaue Zusammensetzung der Gestehungskosten ist in Abbildung 14 dargestellt:

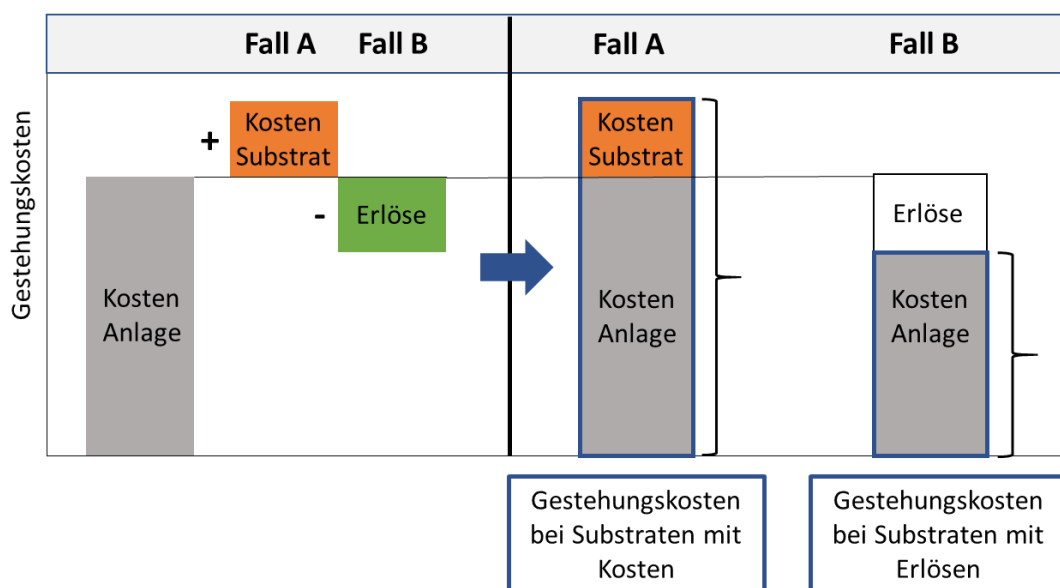


Abbildung 14: Zusammensetzung der Gestehungskosten, eigene Darstellung

Zur Gestehungskostenermittlung müssen vier Schritte durchgeführt werden.

1. Ermittlung Gestehungskosten Anlage (ct/kWh)
2. Ermittlung Kosten bzw. Entsorgungserlöse der Substrate (€/t FM bzw. €/FMO (Festmeter ohne Rinde))
3. Umrechnung der Kosten bzw. (Entsorgungs)erlöse der Substrate in Gestehungskosten (€/t FM bzw. €/FMO → ct/kWh)

4. Addition bzw. Subtraktion Gestehungskosten Substrat bzw. Erlöse mit Gestehungskosten Anlage (ct/kWh)

Wie in Abbildung 14 zu sehen ist, stellen die Basis der Gestehungskosten die Anlagenkosten dar, auf die anschließend spezifische Kosten bzw. Erlöse auf- oder abgeschlagen werden. In der Zusammensetzung der Gestehungskosten können zwei Fälle (A und B) auftreten. Bei Fall A fallen für den Kauf der Substrate Kosten an wobei bei Fall B beim Einsatz von anderen Substraten wie beispielsweise Abfällen wiederum Entsorgungserlöse erzielt werden. Auch durch die Nutzung der Abwärme bei der Bio-SNG-Gewinnung können Erlöse erzielt werden, was die Gesamtgestehungskosten reduziert.

Merit Order

Die verfügbaren Potenzialmengen jedes Substrates und die damit verbundenen Gestehungskosten werden kombiniert und mithilfe einer Merit Order abgebildet. Diese stellt die spezifischen Vollkosten des Energieinhalts der erneuerbaren Gase in aufsteigender Reihe nach den untersuchten Potentialen dar. In Abbildung 15 ist eine beispielhafte Merit Order dargestellt.

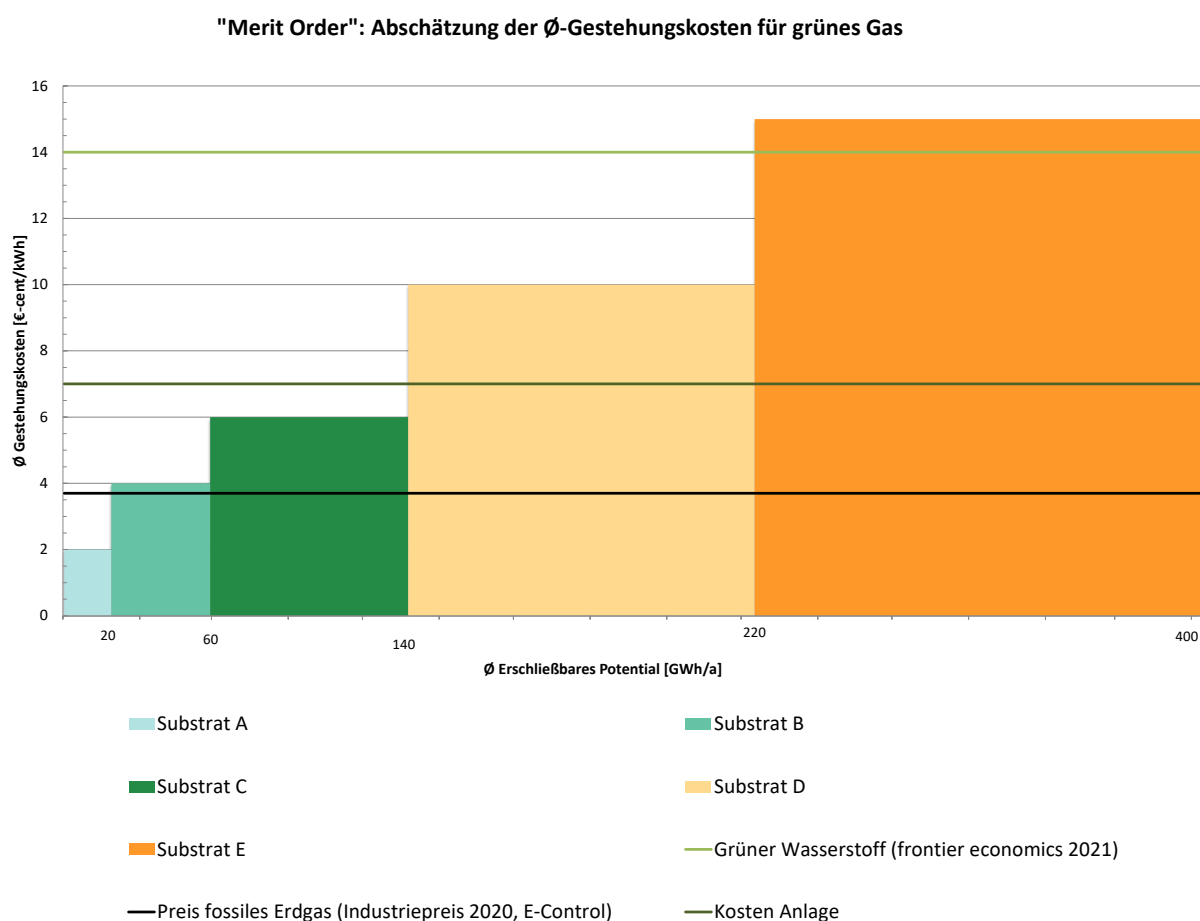


Abbildung 15: Beispieldarstellung Merit Order der durchschnittlichen Gestehungskosten von grünem Gas, eigene Darstellung

In Abbildung 15 ist eine Beispieldarstellung einer Merit Order für fünf Substrate (Substrat A- E) dargestellt. Auf der Abszisse sind die durchschnittlich verfügbaren Potenzialmengen (Mittelwert der Bandbreite jedes Substrats) in GWh/a aufgetragen, auf der Ordinate die durchschnittlichen Gestehungskosten (Mittelwert der Preisspanne) in €-ct/kWh. Die Substrate werden in einer Treppenform, nach aufsteigenden Gestehungskosten dargestellt.

Überdies hinaus sind drei Linien im Diagramm zu finden: Durchschnittspreis grüner Wasserstoff von 14 ct/kWh [35] (hellgrüne Linie), Jahresdurchschnittspreis fossiles Erdgas von 3,7 ct/kWh [36] (schwarze Linie) sowie die Basiskosten der Anlage zur Erzeugung der grünen Gase (dunkelgrüne Linie). Diese Form der Darstellung ermöglicht es rasch einen Überblick über die Preis- und Mengenrelationen der untersuchten Substrate zu bekommen.

Ebenso ist es auf einfache Weise möglich festzustellen, welche Förderungen notwendig wären, um die Erschließbarkeit auch aus wirtschaftlicher Sicht zu ermöglichen. Die Preislinien für grünen Wasserstoff sowie fossilem Erdgas dienen hierbei als Möglichkeit zum Kostenvergleich unterschiedlicher Gase. Betrachtet man beispielsweise Substrat D mit Kosten von 10 ct/kWh, so beträgt die Preisdifferenz zu fossilem Erdgas 6,1 ct/kWh. Würde nun beispielsweise eine Förderung für grünes Gas in derselben Höhe eingeführt, wäre Biomethan aus Substrat D in diesem Sinne konkurrenzfähig. Insgesamt könnten somit 220 GWh unter wirtschaftlichen Bedingungen erschlossen werden.

Wie zu erkennen ist, ist Substrat E jenes mit dem durchschnittlich höchsten erschließbaren Potential (180 GWh/a), im Gegenzug dazu mit durchschnittlichen Gestehungskosten von 15 ct/kWh aber auch das teuerste. Das Substrat A weist die geringsten durchschnittlichen Gestehungskosten auf, hat allerdings auch das kleine verfügbare durchschnittliche Mengenpotential. Ebenso kann der Grafik entnommen werden, dass die Kosten für die Anlage zur Grüngaserzeugung bei 7 ct/kWh liegen. Diese Kosten beschreiben im Falle von Biogas sowohl die Investitionskosten als auch die Kosten für Wartung und Betrieb der Anlage sowie die Aufbereitungskosten des Biogases zu netzeinspeisungsfähigem Biomethan. Netzanschlussgebühren sowie Steuern sind nicht dargestellt. Im Falle von Bio-SNG bildet die Linie die Investitions- sowie Wartungs- und Betriebskosten ab. Einige Substrate (A-C) weisen Gestehungskosten auf, die geringer sind als jene für den Betrieb der Anlage. Dies resultiert aus Entsorgungserlösen, die durch die Abnahme dieser Substrate durch die Anlagenbetreiber erzielt werden (z.B. Entsorgungserlöse für den Einsatz von Abfällen) sowie den unterschiedlichen Energiedichten der Substrate (z.B. eine Tonne Wirtschaftsdünger liefert weniger Biogas als eine Tonne Stroh).

Nicht in der Merit Order dargestellt sind die genauen Bandbreiten der Substrate. Zudem gilt die Darstellung nur unter den beschriebenen Annahmen zum Zeitpunkt der Analyse (Stand

Jänner 2022). Bei Änderungen der Anlagen- und/oder Substratkosten in der Realität kommt es dementsprechend zu Verschiebungen in der Merit Order. Die konkreten Annahmen zu den Substratkosten bzw. Entsorgungserlösen werden nachfolgend in 4.3.1 und 4.3.2 im Detail besprochen. Wichtig ist hier auch, dass nur Substrate dargestellt werden die als erschließbar eingestuft wurden und für die auch Informationen zu den Substratkosten bzw. Entsorgungserlöse vorliegen.

4.3.1 Biomethan

Die Kosten der Substrate wurden dankenderweise vom Energieinstitutes der Johannes Kepler Universität (JKU) zur Verfügung gestellt und stellen teils Literaturwerte aber auch erhobene Daten dar. Diese Kosten wurden zudem im Zuge des Stakeholderprozesses weiter verfeinert und validiert. Die für die Berechnung verwendeten Substratkosten sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Hierbei ist zu beachten, dass durch die Abnahme bestimmter Substrate wie Abfällen seitens der Biomethanproduzenten Entsorgungserlöse erzielt werden können. Beim Einsatz solcher Substrate stellen die Preise somit negative Kosten, sprich Erlöse, dar. Das bedeutet, dass sich die Gesamtkosten der Biomethanerzeugung durch den Einsatz dieser Substrate verringern. Zur Berechnung der Bandbreiten wurden mittlere spezifische Substratkosten eingesetzt.

Tabelle 4: Übersicht zu den Kosten bzw. Entsorgungserlösen der Substrate zur Biomethanerzeugung

Substrat	Minimale Substratkosten bzw. -erlöse [€/t FM]	Maximale Substratkosten bzw. -erlöse [€/t FM]
Getreidestroh	120	130
Maisstroh	40	
Rapsstroh	30	
Wirtschaftsdünger	6	10
Abfälle d. Lebensmittelindustrie	-50	
Restmüll (inkl. Organik)	-116	
Küchen- und Speisereste	-30	-40
Grünschnitt	-20	-51,5
Biotonnenmaterial	-60	-65
Hausgartenkompostierung	-60	-65
Klärschlamm	-50	-60

Diese Substratkosten bzw. -erlöse wurden entsprechend der jeweiligen Gasausbeuten der Substrate sowie des Heizwertes von CH₄ (9,97 kWh/Nm³) in Gestehungskosten umgerechnet (→ Transformation von €/t FM zu ct/kWh). Die hierfür verwendeten Gasausbeuten sind in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Gasausbeuten der Substrate [2]

Substrat	Gasausbeute Nm³/t
Getreidestroh	153
Maisstroh	82
Rapsstroh	97
Wirtschaftsdünger	44,09
Abfälle d. Lebensmittelindustrie	132,9
Restmüll (inkl. Organik)	103
Küchen- und Speisereste	205
Grünschnitt	64
Biotonnenmaterial	103
Hausgartenkompostierung	64
Klärschlamm	36

Zur Abbildung der Anlagengestehungskosten der Biomethanherzeugung wurden ebenfalls Daten des Energieinstituts der JKU verwendet. Das Energieinstitut weist Gestehungskosten für drei auf Vollkostenbasis berechnete Anlagenkonfigurationen (kleine Anlagen mit 50-200 Nm³/h, Hocheffizienz-Reaktoren mit 200-500 Nm³/h sowie integrierte Multi-Feedstock Anlagen mit 500 -1000 Nm³/h Durchsatz) aus. Basierend auf diesen Daten wurden für diese Studie mittlere Anlagengestehungskosten von 6,9 ct/kWh berechnet. Die Kosten für die Methanaufbereitung sind in den 6,9 ct/kWh bereits inkludiert. Bei Biotonnenmaterial ist zudem der Kostenanteil zur Aufbereitung des Substrats aufgrund fehlender Daten NICHT inkludiert, in der Realität sind die Gesamtgestehungskosten somit höher als die hier dargestellten. Bei den Lebensmittelabfällen im Restmüll wird zudem, basierend auf Informationen der Stakeholder, unterstellt, dass die Substrataufbereitungskosten in etwa jenen Aufbereitungskosten von Kompostieranlagen entsprechen.

Durch Addition der jeweiligen mittleren Gestehungskosten der Substrate mit den mittleren Anlagengestehungskosten können die substratspezifischen Gestehungskosten berechnet und somit die Wirtschaftlichkeit bewertet werden.

4.3.2 Bio-SNG

An dieser Stelle wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Kosten für die Aufbereitung (z.B. Verarbeitung zu Hackschnitzeln) des Holzes NICHT abgebildet werden. Die Begründung dafür liegt in der gewählten Darstellungsform als Industrieholzsortimente. Da nicht bekannt ist in welcher Form das Material in die Bio-SNG-Produktion eingebracht werden soll, wird dieser Kostenanteil exkludiert.

In Tabelle 6 sind die Holzkosten nach Holzsortimenten zusammengefasst. Mit Ausnahme der Kosten von Faserholz Lärche (Preis Jänner 2022 in Kärnten [37]), stellen die in €/FMO dargestellten Kosten österreichweite Jahresdurchschnittspreise aus dem Jahr 2020 dar [38]. Die Kosten in ct/kWh wurden unter der Annahme eines Wassergehalts von 20 % mithilfe des MHP-Rechners der Landwirtschaftskammer ermittelt [32].

Tabelle 6: Übersicht der Holzkosten [32, 37]

Holzsortiment	€/FMO (frei Straße)	ct/kWh FMM (frei Straße)
Faserholz Fi/Ta	26,86	1,2
Schleifholz Fi/Ta	37,44	1,67
Faserholz Buche	45,51	1,445
Faserholz Kiefer	29,7	1,11
Faserholz Lärche	25	0,86

Durch die Annahme eines Wärmeerlöses in Höhe von 40 €/MWh [33] reduzieren sich die Kosten im Falle einer Abwärmenutzung (Annahme : 30 % der erzeugten Gasmengen unter Abwärmenutzung) um 4 ct/kWh.

Die Anlagengestehungskosten zur Bio-SNG-Erzeugung beruhen wie auch jene für Biomethan auf Daten der JKU und bilden eine Biomassevergasungsreferenzanlage ab. Die Gestehungskosten, bestehend aus Investitionskosten sowie Betrieb, Wartung und Sonstigem, betragen hierbei etwa 6,4 ct/kWh.

Die spezifischen Gesamtgestehungskosten je Holzsortiment ergeben sich wie auch bei Biomethan durch Addition der durchschnittlichen Gestehungskosten des Holzsortiments und der Gestehungskosten der Anlage. Wärmeerlöse werden von diesen Gestehungskosten abschließend subtrahiert.

5 ERGEBNISSE

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Bandbreitenberechnungen sowie die Darstellung der Wirtschaftlichkeit präsentiert.

In Summe konnte eine Bandbreite erschließbarer Potenziale von grünen Gasen von 1783 bis 3473 GWh/a ermittelt werden. 621 bis 1311 GWh/a entfallen dabei auf Biomethan, die restlichen 1162-2162 GWh/a auf Bio-SNG. Demzufolge können insgesamt zwischen 8,9 und 17,4 % des technischen Potenzials lt. Vorstudie [2] erschlossen werden. Nachfolgend werden die Ergebnisse der Produktgase Biomethan sowie Bio-SNG genauer besprochen.

5.1 Bandbreiten erschließbarer Potenziale Biomethan

Insgesamt konnten für die drei Kategorien Abfälle, landwirtschaftliche Reststoffe sowie weitere Reststoffe erschließbare Potenziale an Biomethan zwischen 621 und 1311 GWh/a berechnet werden. Dies entspricht einer Realisierbarkeit zwischen 22 und 46 % der technischen Potenziale lt. Vorstudie [2].

In Tabelle 7 sind sowohl die Bandbreiten als auch die Mittelwerte der erschließbaren Potenziale zusammengefasst, in Tabelle 8 befinden sich die dazugehörigen Gestehungskosten.

Tabelle 7: Bandbreiten erschließbarer Potenziale in GWh/a nach Substrat

Substrat	erschließbares Potenzial _{Min} [GWh/a]	erschließbares Potenzial _{Max} [GWh/a]	Ø erschließbares Potenzial [GWh/a]
Abfälle d. Lebensmittelindustrie	187	201	194
Biotonnenmaterial	0	39	20
Getreidestroh	223	260	241
Grünschnitt	58	58	58
Küchen- und Speisereste	29	32	31
Lebensmittelabfälle im Restmüll	0	21	11
Maisstroh	104	121	113
Rapsstroh	9	11	10
Wirtschaftsdünger	11	568	289
Summe	621	1311	967

Tabelle 8: Gestehungskosten in ct/kWh je Substrat zur Biomethanerzeugung

Substrat	Gestehungskosten_{Min} [ct/kWh]	Gestehungskosten_{Max} [ct/kWh]	Ø-Gestehungskosten [ct/kWh]
Abfälle d. Lebensmittelindustrie	1,82	8,20	5,01
Biotonnenmaterial	-0,74	2,36	0,81
Getreidestroh	13,46	16,72	15,09
Grünschnitt	-2,48	5,07	1,29
Küchen- und Speisereste	3,63	6,73	5,18
Lebensmittelabfälle im Restmüll	-5,71	8,20	1,25
Maisstroh	10,48	8,20	9,34
Rapsstroh	8,69	8,20	8,45
Wirtschaftsdünger	8,52	13,09	10,80

Zur übersichtlicheren Darstellung der Ergebnisse werden die durchschnittlich erschließbaren Potenziale (siehe Tabelle 7) dieser Substrate zu den jeweils durchschnittlichen Gestehungskosten (siehe Tabelle 8) in Form der nachfolgenden Merit Order (Abbildung 16) dargestellt.

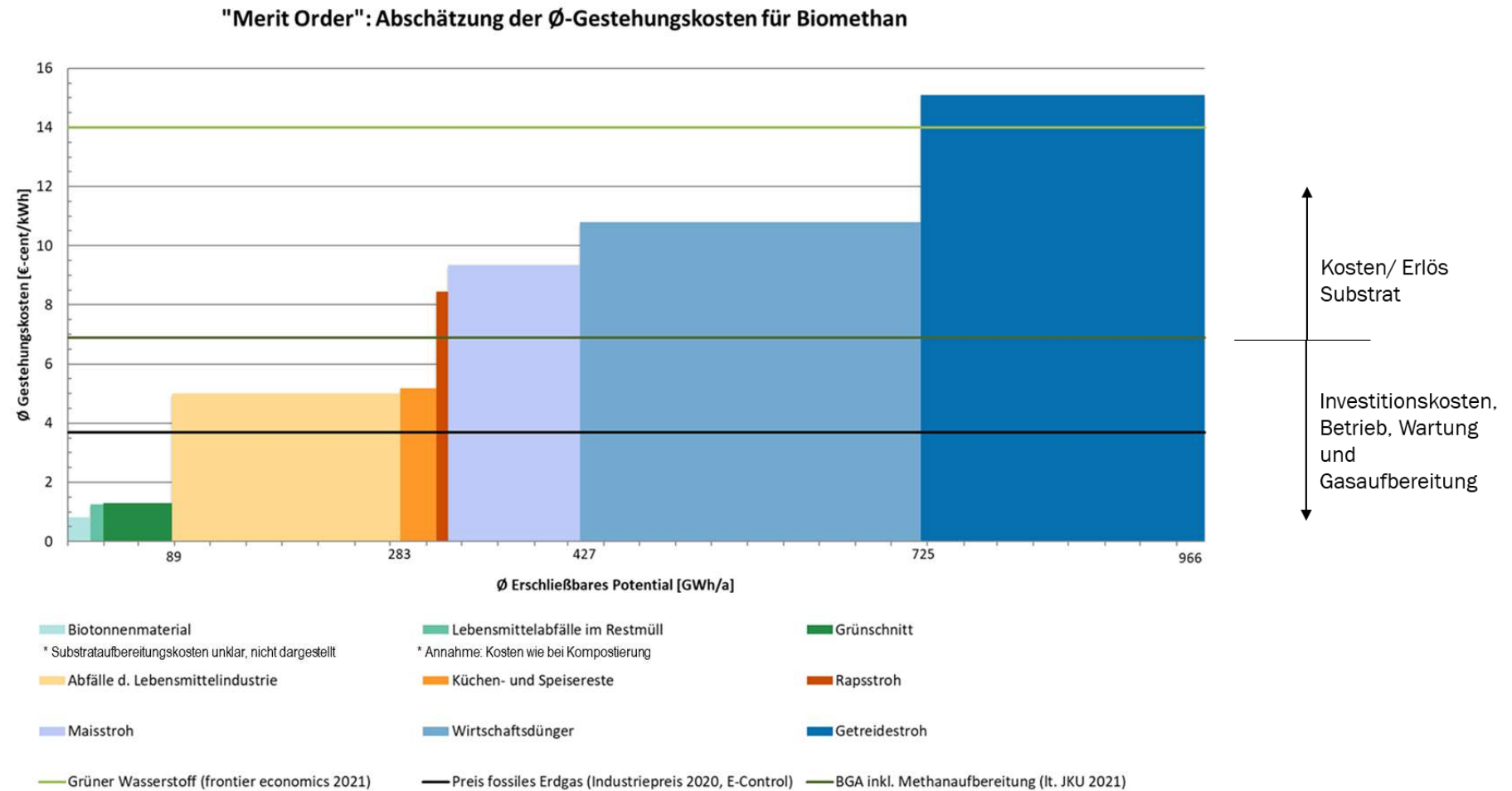


Abbildung 16: Merit Order "Biomethan"

Wie in Abbildung 16 zu sehen ist, liefert das geringste im Durchschnitt verfügbare erschließbare Potenzial Rapsstroh. Das höchste Potenzial liegt hierbei mit 289 GWh/a im Wirtschaftsdünger der Nutztierhaltung. Trotz sehr geringer Substratkosten sind die durchschnittlichen Gestehungskosten am zweithöchsten aller dargestellten Substrate. Dies liegt am geringen Energieinhalt des Wirtschaftsdüngers. Es ist zu erkennen, dass die durchschnittlichen Gestehungskosten der Kategorie Abfälle am geringsten ausfallen. Dies resultiert im Wesentlichen aus den erzielten Entsorgungserlösen dieser Substrate, welche die Gesamtgestehungskosten minimieren. Die geringsten durchschnittlichen Gestehungskosten liefert Biotonnenmaterial (Substrataufbereitungskosten wie in Abschnitt 4.3.1 beschrieben NICHT inkludiert), allerdings ist die verfügbare Potenzialmenge eher gering. Über eine gute durchschnittliche Potenzialerschließbarkeit von 241 GWh/a verfügt Getreidestroh, wobei dieses Substrat gleichzeitig die höchsten Kosten verursacht, was den hohen Substratpreisen geschuldet ist. Die zwei Substrate Wirtschaftsdünger und Getreidestroh weisen zusammen mehr erschließbares Durchschnittspotenzial auf als alle anderen Substrate gemeinsam. Nur bei drei Substraten liegen die durchschnittlichen Gestehungskosten unter dem Industriekunden-Jahresdurchschnittspreis von fossilem Erdöl (Stand 2020) von 3,7 ct/kWh [36]. Lediglich das Substrat Getreidestroh weist höhere durchschnittliche Gestehungskosten auf, als für die Wasserstoffproduktion im Durchschnitt erforderlich sind.

Würde man nun beispielsweise eine Förderung von 7,1 ct/kWh für die Erzeugung von Biomethan einführen, könnten im Durchschnitt alle Substrate außer Getreidestroh hinsichtlich der Gestehungskosten mit dem Preis für fossiles Erdgas konkurrieren.

5.2 Bandbreiten erschließbarer Potenziale Bio-SNG

Die Bandbreite der holartigen Biomasse zur energetischen Verwertung beträgt 1162 bis 2162 GWh/a. Dementsprechend könnten 7 bis 13 % der technischen Potenziale lt. Vorstudie [2] zu diesem Zweck realisiert werden.

In Tabelle 9 sind sowohl die Bandbreiten als auch die Mittelwerte der erschließbaren Potenziale, aufgeteilt nach Nutzung und ungenutzter Holzzuwachs, aller Holzarten zusammengefasst. Hierbei entfallen zwischen 93 und 95 % auf den Zuwachs in Nutzung, der Rest entfällt auf Potenziale aus dem ungenutzten Holzzuwachs. Die durchschnittlichen Gestehungskosten der entsprechenden Holzsortimente, unterteilt nach Kosten ohne bzw. mit Abwärmeerlösen, sind in Tabelle 10 zu finden.

Tabelle 9: Bandbreiten erschließbarer Potenziale in GWh/a nach Baumart

	Baumart	erschließbares Potenzial _{Min} [GWh/a]	erschließbares Potenzial _{Max} [GWh/a]	Ø erschließbares Potenzial [GWh/a]
Nutzung	Fichte/ Tanne	794	1427	1110
	Rotbuche & Hainbuche	69	125	97
	Lärche	79	143	111
	Kiefer	60	107	83
	andere Baumarten (Mittelwert)	108	220	164
	Summe	1109	2021	1565
Ugenutzter Zuwachs	Fichte/ Tanne	37	99	68
	Rotbuche & Hainbuche	6	15	10
	Lärche	3	9	6
	Kiefer	2	4	3
	andere Baumarten (Mittelwert)	5	13	9
	Summe	52	141	96
Gesamtsumme		1162	2162	1662

Tabelle 10: Gestehungskosten in ct/kWh je Holzsortiment zur Bio-SNG-Erzeugung

Holzsortiment	Ø Gestehungskosten ohne Wärmeerlöse [ct/kWh]	Ø Gestehungskosten mit Wärmeerlösen [ct/kWh]
Faserholz Lärche	7,26	5,41
Faserholz Kiefer	7,51	5,66
Faserholz Fi/Ta	7,60	5,75
andere Baumarten (Mittelwert)	7,66	5,81
Faserholz Buche	7,85	6,00
Schleifholz Fi/Ta	8,07	6,22

Zur übersichtlicheren Darstellung der Ergebnisse werden die durchschnittlich erschließbaren Potenziale (siehe Tabelle 9) dieser Substrate zu den jeweils durchschnittlichen Gestehungskosten (siehe Tabelle 10; Anmerkung: exkl. Aufbereitungskosten) in Form der nachfolgenden Merit Order in Abbildung 17 dargestellt.

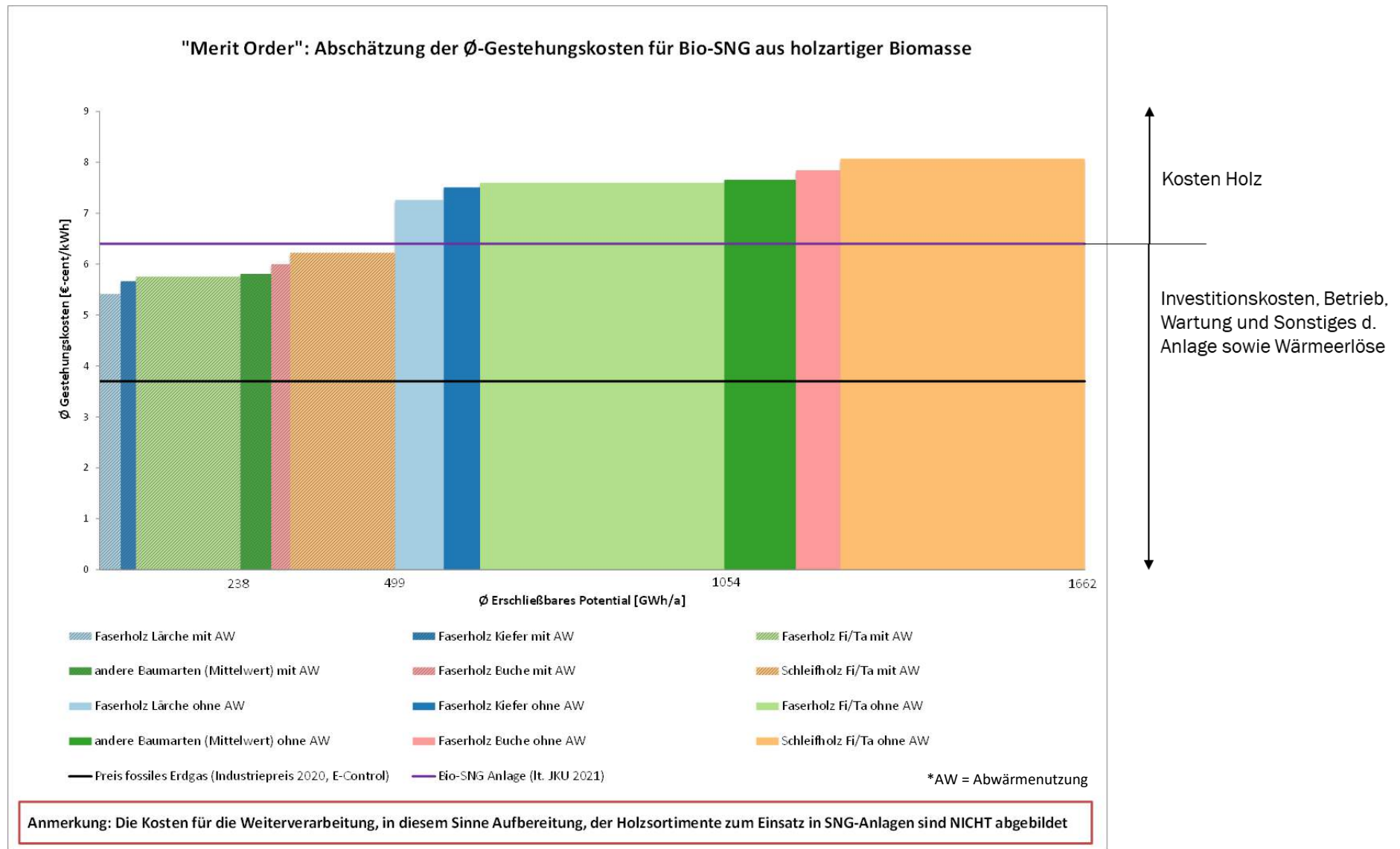


Abbildung 17: Merit Order "Bio-SNG aus holzartiger Biomasse"

Laut Abbildung 17 liegt das geringste im Durchschnitt erschließbare Potenzial im Faserholz Kiefer mit Wärmeerlösen. Die höchsten Potenziale liefern mit jeweils 412 GWh/a die Holzsortimente Faser- und Schleifholz Fi/Ta. Preislich liegen diese zwei Holzsortimente im Mittelfeld. Generell sind die Gestehungskosten aller Holzsortimente unter Nutzung der Abwärme geringer als jene ohne Abwärmenutzung. Die geringsten Gestehungskosten für Bio-SNG mit 5,41 ct/kWh entstehen bei der Erzeugung aus Faserholz Lärche mit Abwärmenutzung, die höchsten mit 8,07 ct/kWh bei Schleifholz Fi/Ta ohne Wärmeerlöse. Entsprechend der Annahme zum Anteil der Abwärmenutzung von 30 % sind die durchschnittlichen Potenziale unter Berücksichtigung der Abwärmenutzung in Summe geringer als jene ohne.

Im Gegensatz zu den Biomethanpreisen (siehe 5.1), liegen die Gestehungskosten aller Holzsortimente über der Vergleichslinie für fossiles Erdgas (durch schwarze Linie dargestellt). Dadurch die Aufbereitungskosten des Holzes zum Einsatz in der SNG-Anlage nicht in der Betrachtung inkludiert sind, fallen die durchschnittlichen Gestehungskosten geringer aus als bei Biomethan. Laut proPellets Austria [39] lag der durchschnittliche Preis für Pellets im Jahr 2021 bei ca. 4,7 ct/kWh, bei 3,1 ct/kWh für Hackgut und bei 4,5 ct/kWh für Brennholz. Die Preisdifferenz zu den Industrieholzsortimenten beträgt somit etwa zwischen 1,4 und 3,8 ct/kWh. Betrachtet man diese Preisdifferenz als Kosten für die Aufbereitung des Industrieholzes zum Einsatz in Bio-SNG-Anlagen, würden die Gestehungskosten zwischen 6,48 und 11,91 ct/kWh liegen. Hier sei jedoch darauf hingewiesen, dass die realen Kosten von den hier dargestellten abweichen können.

6 DISKUSSION

Die Genauigkeit der Potenzialanalysen beruht aus qualitativer Sicht auf mehreren Aspekten. Diese umfassen u.a. die Datenbasis sowie das methodologische Vorgehen. Wie auch bei der Vorstudie zu den technischen Potenzialen, sind die Bezugsjahre der verwendeten Datenquellen vielfältig. Manche Daten liegen außerdem nur auf Bundesebene (z.B. Holzströme in Österreich) vor, andere hingegen (z.B. Holzeinschlagsmeldung) sogar auf Bezirksebene. Zur Ergebnisermittlung ist daher eine generalisierte Vorgehensweise notwendig, welche nicht nach individuellen Gegebenheiten differenziert. Durch die Kombination von Daten unterschiedlicher Zeitstände sowie den generalistischen Annahmen, sind die ermittelten Potenziale mit Unsicherheiten behaftet. Aufgrund dessen ergibt sich hier ein methodischer Fehler, der bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden muss.

Ein weiterer sehr wichtiger Aspekt ist die Tatsache, dass nahezu alle Einsatzstoffe bereits in etablierten Verwertungspfaden gebunden sind. Eine Umleitung dieser Stoffströme in Richtung Gasgewinnung resultiert in der Notwendigkeit geeignete Substitutionsmöglichkeiten zu schaffen oder in der Umstellung der Prozesse. Bei der Biomethangewinnung herrscht in gewisser Weise eine Konkurrenzsituation zwischen Kompostierung und Vergärung, da viele der Einsatzstoffe für beide Prozesse geeignet sind. Kompost hat in dieser Hinsicht vor allem die Aufgabe die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten. Ein Abzug von Stoffströmen aus der Kompostierung zu Lasten der Humusbildung ist dienlich zu vermeiden. Genauere Untersuchungen zur Humusbilanz erscheinen zur besseren Beurteilbarkeit dieser Konkurrenzsituation sinnvoll. Einsatzstoffe mit höheren Anteilen von mittel- bis schwer abbaubaren Stoffen sowie geringem Wassergehalt aber auch ligninhaltige Stoffe eignen sich prinzipiell besser für die Kompostierung als die Vergärung. Im Gegenzug dazu können für die Vergärung beispielsweise auch stark wasserhaltige Stoffe eingesetzt werden, welche sich für die Kompostierung nicht eignen. [40, 41]

Hinsichtlich der berechneten erschließbaren Potenziale ist vor allem wichtig, wie der in dieser Studie verwendete Begriff der Erschließbarkeit zu verstehen ist. Die Erschließbarkeit beschreibt hier die grundsätzliche Möglichkeit aus einem Einsatzstoff erneuerbares Gas zu gewinnen, da einerseits die dafür notwendigen Einsatzstoffe & Technologien vorhanden sind und andererseits die Wirtschaftlichkeit abgebildet werden kann. Die Frage, ob es sinnvoll ist aus gewissen Einsatzstoffen grünes Gas herzustellen bzw. wo diese Gase eingesetzt werden könnten spielt hierbei nur eine untergeordnete Rolle. Aus manchen Blickwinkeln mag die Erzeugung von grünem Gas aus bestimmten Stoffen im ersten Moment nicht sinnvoll erscheinen. Berücksichtigt man allerdings die Tatsache, dass sich diese Gase für

Hochtemperaturanwendungen eignen, wodurch eine Substitution von fossilen Gasen in exergieintensiven Industrieprozessen ermöglicht wird, findet sich dennoch schnell ein Grund zur Legitimation dieser Vorgehensweise.

In dieser Studie werden auch konkrete Standortfragen außer Acht gelassen, wodurch auch spezifische Anlagenkonfigurationen nur als Mittelwert dargestellt werden. Vielmehr stellt die grundsätzliche Möglichkeit zur Erschließung der Potenziale und nicht die tatsächliche Realisierung die zentrale Fragestellung dar. Eine klare Trennung hierbei ist dennoch nicht immer möglich. Der Einsatz von Wirtschaftsdünger der Nutztierhaltung ist hierfür ein gutes Beispiel. Dieser Einsatzstoff ist sehr potenzialreich, die Verarbeitung zu Biomethan bringt allerdings auch logistische sowie raumplanerische Herausforderungen mit sich. Um die Wirtschaftlichkeit bzw. Realisierbarkeit im konkreten Anlassfall beurteilen zu können sind weitere tiefgreifende Untersuchungen notwendig. Die Analyse von geeigneten Standorten unter Berücksichtigung der Großvieheinheiten je räumlicher Einheit, Transportwege sowie der Verfügbarkeit von geeigneten Co-Substraten würde einen genaueren Einblick in die Realisierbarkeit ermöglichen. Gemeindescharfe Daten zu den verfügbaren Mengen der Einsatzstoffe können hierfür nicht nur bei Wirtschaftsdünger, sondern auch bei allen anderen Einsatzstoffen wie Abfällen hilfreich sein. Die Akquise von gemeindescharfen Daten erscheint in diesem Sinne sinnvoll und zweckdienlich.

Wie in Kapitel 2.2 erläutert wird, nähert sich das erschließbare Potenzial im Zeitverlauf dem wirtschaftlichen Potenzial an. Wirtschaftliche Rahmenbedingungen müssen demzufolge als variabel angesehen werden. Da nahezu alle Einsatzstoffe am Markt gehandelt werden, unterliegt die Preisbildung ebenso dem Markt. Eine Veränderung des Marktes resultiert selbstverständlich auch in einer Änderung der Wirtschaftlichkeit der Grüngasproduktion. Es muss also berücksichtigt werden, dass die in dieser Studie präsentierte Wirtschaftlichkeit nur für die getroffenen Annahmen gültig ist. Zudem konnten nicht alle Aspekte, wie die Kosten der Holzaufbereitung, aufgrund fehlender Daten vollständig abgebildet werden. Eine Aktualisierung der Daten bei Änderungen der Substratpreise ist dennoch einfach zu bewerkstelligen. An dieser Stelle sei nochmals erwähnt, dass durch Markteingriffe wie Subventionen oder Steuern ebenso Einfluss auf die wirtschaftliche Rentabilität genommen werden kann.

Zur Überführung der realisierbaren Potenziale in Richtung Bestand sind, wie bereits erwähnt, weitere Untersuchungen nötig. Auch hierfür empfiehlt sich die Einbindung eines breiten Feldes an Stakeholdern. Der Einbezug von Umweltkosten in die Betrachtungen könnte ebenso dafür wichtige Erkenntnisse liefern.

7 ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Studie wurden die Bandbreiten erschließbarer Potenziale an Biomethan und Bio-SNG aus holzartiger Biomasse für das Bundesland Steiermark ermittelt und untersucht. Zu Beginn wurde ein Einblick in die Vorstudie zu den technischen Potenzialen, die die Datenbasis dieser Studie darstellt, geboten. Im Anschluss wurden die zusammengefassten Erkenntnisse aus Literaturrecherche und Stakeholderprozess zu den Einsatzstoffen genau erläutert. Weiters wurde ein umfassender Einblick in die Methodik zur Ermittlung besagter Potenziale ermöglicht. Geschlossen wird die Studie mit der Diskussion relevanter Aspekte zur Datenquelle, dem verwendeten Potenzialbegriff, den Einsatzstoffen, zum Thema Wirtschaftlichkeit, der Methodik sowie einem Ausblick in weitere Forschungsfelder.

Zur Ermittlung der Potenziale wurde ein mehrstufiger Prozess unter Einbindung von Stakeholdern durchgeführt. Basierend auf Literaturdaten und Erkenntnissen dieses Prozesses wurden die Potenziale sowie die Wirtschaftlichkeit der grünen Gase Biomethan sowie Bio-SNG aus holzartiger Biomasse berechnet. Zur Biomethanerzeugung wurden drei Kategorien von Einsatzstoffen berücksichtigt: (biogene) Abfälle, landwirtschaftliche Reststoffe sowie weitere Reststoffe wie Wirtschaftsdünger der Nutztierhaltung. Auf diese Weise konnte eine Bandbreite erschließbarer Potenziale von 1783 bis 3473 GWh/a ermittelt werden, wovon zwischen 621 und 1311 GWh/a auf Biomethan sowie 1162-2162 GWh/a auf Bio-SNG entfallen. Preislich bewegen sich die Gestehungskosten zwischen 0,81 (exkl. Substrataufbereitungskosten) und 15,09 ct/kWh. Das größte Biomethanpotential mit durchschnittlich 289 GWh/a liegt in Wirtschaftsdünger der Nutztierhaltung, das höchste durchschnittliche Bio-SNG-Potenzial liefern mit je 419 GWh/a Faser- sowie Schleifholz von Fichte und Tanne. Die geringsten durchschnittlichen Gestehungskosten fallen insgesamt bei Biomüll an, hingegen die Biomethangewinnung aus Getreidestroh am teuersten ist.

Dargestellt wurden die Ergebnisse in Form einer Merit Order, welche sowohl Aufschlüsse zu den Preis- als auch Mengenrelationen der einzelnen Substrate zueinander ermöglicht. Durch die Darstellung der verfügbaren Potenzialmengen nach aufsteigenden Gestehungskosten ist es zudem rasch möglich, festzustellen welche Fördermittel notwendig sind, um bestimmte Potenzialmengen tatsächlich unter wirtschaftlichen Bedingungen erschließbar zu machen.

Maßgeblich beeinflusst werden die Ergebnisse von der Vielzahl an Datenquellen und deren unterschiedlichen Zeitständen. Nicht immer sind alle benötigten Daten für denselben Zeitstand bzw. auf derselben Ebene (z.B. Bundesebene, Landesebene, Gemeindeebene) vorhanden, weshalb eine Kombination verschiedener Datensätze nötig ist. Die Methodik basiert daher auf generalisierten Annahmen, wodurch es zu Abweichungen in der Realität

bzw. Einzelfallfrage kommen kann. Dies ist bei der Interpretation der Ergebnisse besonders zu berücksichtigen.

Die ermittelten Potenziale ermöglichen die Einschätzung der Erschließbarkeit innerhalb der Steiermark im Hinblick auf verfügbare Mengen sowie die damit in Zusammenhang stehenden Gesteungskosten. Im Sinne des Begriffs des erschließbaren Potenzials sind die präsentierten Ergebnisse nur unter den getroffenen Annahmen gültig, eine Aktualisierung der Daten ist aufgrund der standardisierten Methodik jederzeit möglich. Um konkrete Realisierungsprojekte anzustoßen, bedarf es allerdings detaillierter Einzelfallprüfungen, welche weitere tiefgreifende Untersuchungen erfordern.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Amt der Steiermärkischen Landesregierung (Hrsg.): Energiebericht 2020 : Zahlen, Daten und Fakten zu Energieaufbringung, -verwendung und erneuerbaren Energien in der Steiermark. 2021
- [2] KÜHBERGER, Lisa ; SEJKORA, Christoph ; KIENBERGER, Thomas.: *Technische Potentiale an erneuerbaren Gasen und Biomassen in der Steiermark*. Leoben, Austria, 2021
- [3] SWAN, Lukas G. ; UGURSAL, V. Ismet: *Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques*. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (2009), Nr. 8, S. 1819–1835
- [4] HAAS, Reinhard ; BIERMAYER, Peter ; KRANZL, Lukas: *Technologien zur Nutzung Erneuerbarer Energieträger - wirtschaftliche Bedeutung für Österreich*. Wien, 2006
- [5] FENGLING, Liu: *Decomposition Analysis Applied to Energy: Some Methodological Issues*. Singapore, National University of Singapore, Department of Industrial and Systems Engineering. Dissertation. 2004
- [6] STANZER, Gregori ; NOVAK, Stephanie ; DUMKE, Hartmut ; PLHA, Stefan ; SCHAFFER, Hannes ; BREINESBERGER, Josef ; KIRTZ, Manfred ; BIERMAYER, Peter ; SPANRING, Christian: *REGIO Energy : Regionale Szenarien erneuerbarer Energiepotenziale in den Jahren 2012/2020*. Wien, St. Pölten, Dezember 2010
- [7] KALTSCHMITT, Martin ; HARTMANN, Hans ; HOFBAUER, Hermann: *Energie aus Biomasse*. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2016
- [8] DEUBLEIN, Dieter ; STEINHAUSER, Angelika: *Biogas from waste and renewable resources : An introduction*. [Elektronische Ressource]. Weinheim : Wiley-VCH, 2008
- [9] STREICHER, Wolfgang ; SCHNITZER, Hans ; TITZ, Michaela ; TATZBER, Florian ; HEIMRATH, Richard ; WETZ, Ina ; HAUSBERGER, Stefan ; HAAS, Reinhard ; KALT, Gerald ; DAMM, Andrea ; STEINIGER, Karl ; OBLASSER, Stephan: *Energieautarkie für Österreich 2050 : Feasibility Study. Endbericht*. Dezember 2010
- [10] STATCUBE - STATISTISCHE DATENBANK VON STATISTIK AUSTRIA: *Agrarstruktur, Flächen, Erträge*. URL
https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrarstruktur_flaechen_ertraege/index.html – Überprüfungsdatum 2020-11-27

- [11] EUROPÄISCHES PARLAMENT UND RAT: *Richtlinie 2008/98/EG* (in Kraft getr. am 19. 11. 2008) (2008-11-19). URL <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex:02008L0098-20150601> – Überprüfungsdatum 2022-01-25
- [12] ÖSTERREICHISCHES PARLAMENT: *Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft (Abfallwirtschaftsgesetz 2002 - AWG 2002)* (idF v. 25. 1. 2022) (2002). URL <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20002086> – Überprüfungsdatum 2022-01-25
- [13] ÖSTERREICHISCHES PARLAMENT: *Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über ein Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnisverordnung)* (idF v. 30. 9. 2020) (2020), BGBl. II Nr. 570/2003. URL <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20003077&FassungVom=2020-09-30> – Überprüfungsdatum 2022-01-25
- [14] BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS (Hrsg.): *Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2017 : Teil 1*. Wien, 2017
- [15] KOMPOST-BIOGAS VERBAND: *Abfallbehandlungsanlagen*. URL <https://www.kompost-biogas.info/biogas/die-einsatzstoffe/abfallbehandlungsanlagen/> – Überprüfungsdatum 2021-09-01
- [16] BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS (Hrsg.): *Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich : Statusbericht 2018*. Wien, 2018
- [17] REISINGER, Hubert ; DOMENING, Manfred ; THALER, Peter ; LAMPERT, Christoph: *Rückstände aus der Nahrungs- und Genussmittelproduktion : Materialien zur Abfallwirtschaft*. Wien, 2012
- [18] BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS (Hrsg.): *Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich : Statusbericht 2019*. Wien, 2019
- [19] BUNDESMINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, ENERGIE, MOBILITÄT, INNOVATION UND TECHNOLOGIE (Hrsg.): *Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich - Statusbericht 2021 : Statusbericht 2021 (Referenzjahr 2019)*. Wien, 2021
- [20] BUNDESMINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, ENERGIE, MOBILITÄT, INNOVATION UND TECHNOLOGIE (Hrsg.): *Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich : Statusbericht 2020 (Referenzjahr 2018)*. Wien, 2020
- [21] AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (Hrsg.): *L-AWP 2019 : Landes-Abfallwirtschaftsplan Steiermark 2019*. Planungsperiode 2019 bis 2024. Graz, 2019

- [22] EUROPÄISCHES PARLAMENT UND RAT: *Richtlinie (EU) 2018/851 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 zur Änderung der Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle (Text von Bedeutung für den EWR)* (in Kraft getr. am 2018) (2018). URL <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?qid=1530028986315&uri=CELEX:32018L0851> – Überprüfungsdatum 2022-01-25
- [23] BUNDESMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, REGIONEN UND TOURISMUS: *Getreideanbau und Getreidearten in Österreich*. URL <https://info.bmlrt.gv.at/themen/landwirtschaft/landwirtschaft-in-oesterreich/pflanzliche-produktion/getreide/Getreide.html> – Überprüfungsdatum 2022-01-25
- [24] REINHOLD, G.: *Standpunkt zur Vergärung von Stroh in landwirtschaftlichen Biogasanlagen*. Jena, 2014
- [25] STRIMITZER, Lorenz ; HÖHER, Martin ; KALT, Gerald ; BRUCKNER, Andrea ; SCHMIDL, Johannes: *Aktionsplan zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe : Auf dem weg zur ressourcenschonenden und biobasierten Wirtschaft*. Wien, 2015
- [26] ZETHNER, Gerhard ; SÜßENBACHER, Elisabeth: *Vergärung von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen : Evaluierung hinsichtlich Klimaschutzrelevanz*. Wien : Umweltbundesamt, 2012 (Reports REP-0377)
- [27] HÖHER, Martin: *Die österreichische Waldinventur : Datengrundlage 2016/18*. Wien, 2019
- [28] BUNDESFORSCHUNGSZENTRUM FÜR WALD: *Zwischenauswertung der ÖWI 2016/18 - Steiermark*. 2019
- [29] STRIMITZER, Lorenz ; NEMESTOTHY, Kasimir: *Holzströme in Österreich*. Wien, 2021 (Holzströme in Österreich)
- [30] AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (Hrsg.): *Holzeinschlagsmeldung*. Graz, 2021
- [31] HANEDER, Herbert: *Biomasse - Heizungserhebung 2020*. St. Pölten, 2021
- [32] LANDWIRTSCHAFTSKAMMER ÖSTERREICH (Hrsg.): *Holzverkauf: MHP-Rechner (Excel)*. 2020
- [33] BILLIG, Eric: *Bewertung technischer und wirtschaftlicher Entwicklungspotenziale künftiger und bestehender Biomasse-zu-Methan-Konversionsprozesse*. Dissertationsschrift. Leipzig, 2016 (DBFZ Report 26)
- [34] STRIMITZER, Lorenz: *Preisentwicklung der Holzsortimente : Energieholz Marktinformationen 2020 - Teil 3*. Wien, 2021

- [35] FRONTIER ECONOMICS: *Grundlage für die Positionierung zu Wasserstoff : Bericht für OesterreichsEnergie*. 2021
- [36] E-CONTROL: *Gaspreisentwicklung*. URL <https://www.e-control.at/documents/1785851/1811627/MStErdGas-2021.xlsx/1817386e-7839-a322-f4b8-cecefbf8d76d?t=1632735929061> – Überprüfungsdatum 2022-02-01
- [37] LANDWIRTSCHAFTSKAMMER ÖSTERREICH: *Preistabelle Jänner 2022*. URL <https://www.lko.at/media.php?filename=download%3D%2F2022.01.17%2F1642414260763795.xlsx&rn=Preistabelle%20J%C3%A4nner%202022.xlsx>. – Aktualisierungsdatum: 2022-01-17 – Überprüfungsdatum 2022-01-28
- [38] STATISTIK AUSTRIA STATCUBE: *Land- und forstwirt. Erzeugerpreise für Österreich ab 1998*. URL <http://statcube.at/statcube/opendatabase?id=delufpreis>. – Aktualisierungsdatum: 2022-01-10 – Überprüfungsdatum 2022-01-28
- [39] PROPELLETS AUSTRIA: *Jahresdurchschnittspreise von Energieträgern*. URL <https://www.propellets.at/aktuelle-pelletpreise> – Überprüfungsdatum 2022-02-02
- [40] HUPE, K. ; HEYER, K.-U. ; STEGMANN, R.: *Biologische Bioabfallverwertung: Kompostierung kontra Vergärung*. Hamburg, 1998
- [41] AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (Hrsg.): *Dezentrale Kompostierung in der Steiermark*. Leitlinie. 6. Auflage. Graz, 2016