

Potentialstudie

TECHNISCHE POTENTIALE AN ERNEUERBAREN GASEN UND FESTER BZW. FLÜSSIGER BIOMASSEN IN DER STEIERMARK

erstellt am

Lehrstuhl für Energieverbundtechnik

Lisa Kühberger

Christoph Sejkora

Thomas Kienberger

Leoben, November 2020

KURZFASSUNG

Aufgabe dieser Studie ist die Darlegung der technischen Potentiale an erneuerbaren Gasen und fester bzw. flüssiger Biomassen in der Steiermark. Die Potentiale werden, mit Ausnahme jener für Schwarzlaugen, orts aufgelöst auf Gemeindeebene ausgewiesen. Die Basis dafür liefern statistische Daten und Literaturwerte, aus denen mittels eines Top-Down-Ansatzes und Segmentierungsfaktoren die Potentiale berechnet wurden.

Die Datenquellen zur Ermittlung der Potentiale sind sehr vielfältig wobei ein beträchtlicher Teil der Daten der Agrarstrukturerhebung 2010 [1] entnommen wurde. Diese Quelle weist zahlreiche Segmentierungsfaktoren auf Gemeindeebene aus, wodurch eine hohe Detailtiefe erreicht wird.

Für die Steiermark konnte mit der verwendeten Methodik ein Gesamtpotential an erneuerbaren Gasen und fester bzw. flüssiger Biomassen von 14904 GWh/a ermittelt werden. Als besonders potentialreich erweist sich Schwarzlauge – ein Nebenprodukt der Papierherstellung. Der Waldreichtum der Bezirke Bruck-Mürzzuschlag und Liezen sowie die hohen Mengen halmgutartiger Biomassen, aus deren Resten Biomethan erzeugt werden kann, im Bezirk Südoststeiermark schlagen sich ebenfalls in hohen Potentialwerten nieder.

Die Qualität der vorliegenden Ergebnisse wird von unterschiedlichen Faktoren beeinflusst. Maßgeblich beeinflusst werden die Ergebnisse aufgrund der generalisierten Annahmen im methodischen Vorgehen des Top-Down Ansatzes, welcher keine individuellen Gegebenheiten berücksichtigt. Überdies hinaus sind vor allem die Datenverfügbarkeit und unterschiedliche Zeitstände der verwendeten Daten- und Potentialquellen Ursache einer Unschärfe der berechneten Potentiale. 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 verschiedenen Bezirke und Gemeinden in der Steiermark. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist wichtig, zu berücksichtigen, dass es sich hierbei um ein technisches und kein realisierbares Potential handelt. Entsprechend können die Ergebnisse von der in der Realität erzielbaren Potentiale abweichen.

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

INHALTSVERZEICHNIS

Abbildungsverzeichnis	I
Tabellenverzeichnis	II
1 Aufgabenstellung	1
2 Theoretischer Hintergrund	2
3 Ermittlung der Potentiale	5
3.1 Potentiale Biomethan	6
3.1.1 Reste halmgutartiger Biomasse zur Biomethanproduktion.....	6
3.1.2 Klärschlamm zur Biomethanproduktion	7
3.1.3 Wirtschaftsdünger der Nutztierhaltung zur Biomethanproduktion	7
3.1.4 Lebensmittel-, Küchen- und Speiseabfälle zur Biomethanproduktion	8
3.1.5 Biotonnenabfälle, Restmüll, Kompost, Grünabfälle & Grünschnitt zur Biomethanproduktion.....	11
3.1.6 Energiepflanzenanbau zur Biomethanproduktion.....	12
3.1.7 Vergasung Gärreste zur Bio- Synthetic Natural Gas Produktion.....	13
3.2 Sonstige Potentiale an festen und flüssigen Biomasse-Energieträgern.....	14
3.2.1 Holzartige Biomasse	14
3.2.2 Energiepflanzenanbau zur Biodiesel- und Bioethanolproduktion.....	15
3.2.3 Altspeiseöle zur Herstellung von Biodiesel	16
3.2.4 Schwarzlauge der Papierindustrie.....	16
4 Ergebnisse	17
5 Diskussion	20
6 Zusammenfassung	22
7 Literaturverzeichnis	24
Anhang A	29

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Potentialarten österreichischer Studien, eigene Abbildung in Anlehnung an [7–9].....	3
Abbildung 2: Top Down Ansatz zur Ermittlung der Potentiale auf Gemeindeebene; eigene Abbildung	5
Abbildung 3: Potentiale an Biomethan und weitere Biomassepotentiale auf Bezirksebene, eigene Erhebung und Darstellung	17
Abbildung 4: Technische Potentiale an erneuerbarem Biomethan, anderen Biomassen und Schwarzlauge der Steiermark nach Bezirk, eigene Erhebung und Darstellung	18

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Parameter zur Berechnung der Potentiale aus den Resten halmgutartiger Biomasse.....	6
Tabelle 2: Parameter zur Berechnung der Potentiale aus Klärschlamm.....	7
Tabelle 3: Parameter zur Berechnung der Potentiale aus Wirtschaftsdünger der Nutztierhaltung	7
Tabelle 4: Berechnung des Methanpotentials von Abfällen aus der pflanzlichen Nahrungs-, Genuss- und Futtermittelproduktion soweit möglich, Datenquellen: [22, 25, 26, 28]; Es wurden nur Mengenpotential größer 5000 t/a berücksichtigt.	9
Tabelle 5: Berechnung des Methanpotentials von Aufkommen tierischer Nebenprodukte im Jahr 2016. Datenquellen: [23, 25–27]. Mengenpotentiale kleiner 5000 t/a wurden nicht berücksichtigt. „Küchen- und Speiseabfälle, tierische Anteile enthaltend“, „Wirtschaftsdünger“ sowie „Speiseöl, -fette, Fettabscheiderinhalte mit tierischen Anteilen“ wurden nicht berücksichtigt da diese bereits als „Küchen- und Speiseabfälle“ bzw. „Wirtschaftsdünger“ berücksichtigt wurden.....	10
Tabelle 6: Parameter zur Berechnung der Potentiale aus Lebensmittel-, Küchen - und Speiseabfällen	11
Tabelle 7: Parameter zur Berechnung der Potentiale aus Biomüll, Restmüll, Kompost & Grünabfällen	11
Tabelle 8: Parameter zur Berechnung der Potentiale an Biomethan aus dem Energiepflanzenanbau	12
Tabelle 9: Parameter zur Berechnung der Potentiale aus holzartiger Biomasse	14
Tabelle 10: Parameter zur Berechnung der Potentiale von Biodiesel aus Frischölen und Bioethanol	15
Tabelle 11: Parameter zur Berechnung der Potentiale von Biodiesel aus Altspeiseölen.....	16
Tabelle 12: Parameter zur Berechnung der Potentiale aus Schwarzlauge	16

1 AUFGABENSTELLUNG

Der Erdgas-Bruttoinlandsverbrauch betrug im Jahr 2018 in Österreich 86 TWh [2]. Davon entfielen 14,4 TWh auf die Steiermark, was einem Anteil von 22,5 Prozent am gesamten steirischen Bruttoinlandsverbrauchs entspricht. Im Vergleich dazu betrug der Biomasse-Bruttoinlandsverbrauch in der Steiermark Jahr 12,2 TWh, was 19,1 Prozent des gesamten steirischen Bruttoinlandsverbrauchs entspricht. [3]

Aufgrund der nach wie vor beträchtlichen Verwendung fossiler Brennstoffe ist zur Erreichung unseres Klimazieles unumgänglich, diese gegen nachhaltige und erneuerbare Energieträger zu substituieren. Erst mit der genauen Kenntnis über Potentiale solch erneuerbarer Energien ist es möglich diese gezielt zu nutzen und somit die Energiewende in der Steiermark herbeizuführen, um eine wesentliche Verbesserung der CO₂-Bilanz zu erzielen und die Auswirkungen auf die Umwelt insbesondere das Klima zu reduzieren. Der Reichtum an Biomassen des „Grünen Herzens Österreichs“ kann maßgeblich zur Zielerreichung der Klima- und Energiestrategie 2030 des Landes Steiermark welches eine Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien auf 40 Prozent vorsieht beitragen.

Ziel dieser Studie ist daher die räumlich aufgelöste Ermittlung der technischen Potentiale an erneuerbaren Gasen und fester bzw. flüssiger Biomassen in der Steiermark.

Zur Ermittlung besagter Potentiale werden die nach eingehender Literaturrecherche ermittelten Daten mithilfe eines Top-Down Ansatzes räumlich segmentiert. Somit können die Potentiale für jede steirische Gemeinde separat ausgewiesen werden¹.

¹ Mit Ausnahme des Potentials an Schwarzlaube, welches nur auf Bezirksebene verfügbar ist.

2 THEORETISCHER HINTERGRUND

In diesem Abschnitt wird zuerst ein Einblick in die zwei grundlegenden methodischen Ansätze der räumlichen Energiemodellierung geboten. Anschließend werden unterschiedliche Potentialbegriffe erklärt und klar differenziert, was für die Interpretation der Ergebnisse von maßgeblicher Bedeutung ist.

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. [4–6]

POTENTIALARTEN

Zur Ermittlung und Diskussion der Potentiale ist es zunächst notwendig unterschiedliche Potentialarten zu differenzieren. In österreichischen Potentialstudien wird meistens zwischen dem theoretischen, technischen, wirtschaftlichen und erschließbaren Potential 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 Potentialarten technischer Fragestellungen ist in Abbildung 1 dargestellt.

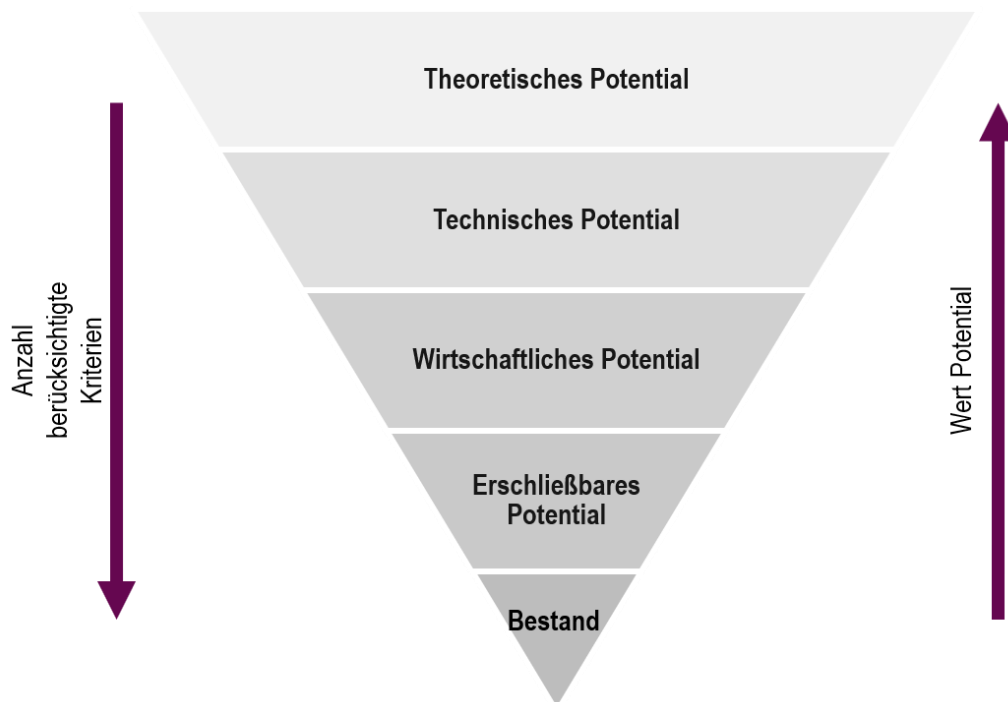


Abbildung 1: Potentialarten österreichischer Studien, eigene Abbildung in Anlehnung an [7–9]

Wie in Abbildung 1 ersichtlich ist, weisen theoretische Potentiale die höchsten und erschließbare Potentiale die geringsten Werte auf. Bestände sind als bereits realisierte Potentiale zu betrachten, wobei diese ebenfalls Bestandteil des technischen Potentials sind. Beispielsweise inkludiert das in 3.2.4. ausgewiesene technische Potential auch die bereits genutzten Potentiale aus Schwarzlaugen. Die berücksichtigten Kriterien zur Berechnung der Potentiale werden nachfolgend näher erläutert.

Das theoretische Potential 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 Potential 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. [8, 9]

Das technische Potential 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 (Potentialfläche Photovoltaik vs. Fläche zur Nahrungsmittelproduktion) werden bei der Ermittlung berücksichtigt hingegen die Produktionskonkurrenz (z.B. Photovoltaik vs. Solarthermie) zwischen Technologien meist unberücksichtigt bleibt. [7, 10]

Im Zuge dieser Studie wird unter dem technischen Potential das maximale Potential bei vorgegebenen Strukturen für den Anfall der Ausgangsstoffe verstanden. Dazu zählen beispielsweise die Menge und Zusammensetzung von biogenen Abfällen, die Art der Ackernutzung, die aktuelle Holznutzung sowie der aktuelle Bestand an Nutztieren. Des Weiteren basiert das technische Potential 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 Potential ein oberes Limit dar, welches Aussagen zum möglichen Output bei gegebenen Strukturen ermöglicht.

Das wirtschaftliche Potential beschreibt jenen Anteil des technischen Potentials, der unter den zugrundeliegenden Wirtschaftlichkeitskriterien genutzt werden kann. Hierbei kann zwischen dem wirtschaftlichen Potential aus volkswirtschaftlicher und betriebswirtschaftlicher Sicht unterschieden werden. Wirtschaftliche Potentiale unterliegen zudem im Allgemeinen starken zeitlichen Schwankungen und weisen teilweise erhebliche Veränderungen im Zeitverlauf auf. [8, 10]

Das erschließbare Potential stellt den zu erwartenden tatsächlichen Beitrag einer regenerativen Energie zur Energieversorgung dar. Es ist kleiner als das wirtschaftliche Potential, nähert ihm sich allerdings in einem sehr langen Zeitraum an. [8, 10]

In dieser Studie werden im Folgenden technische Potentiale ausgewiesen.

3 ERMITTLUNG DER POTENTIALE

Für die Ermittlung des technischen Potentials an Biomethan wurden halmgutartige Biomasse, 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 Biomassepotentiale holzartige Biomasse, der Energiepflanzenanbau für Biodiesel und Biomethan, Altspeiseöle zur Herstellung von Biodiesel und Schwarzlauge aus der Papierindustrie herangezogen.

Die örtliche Auflösung der technischen Potentiale erfolgte nach einem Top-Down Ansatz. Im Zuge dessen kommt es zur Dekomposition der Potentiale auf Landes- bzw. Bundeslandebene auf kleinere räumliche Einheiten – in diesem Fall Gemeinden. Die Vorgehensweise dieses Top-Down Ansatzes ist in Abbildung 2 visualisiert.

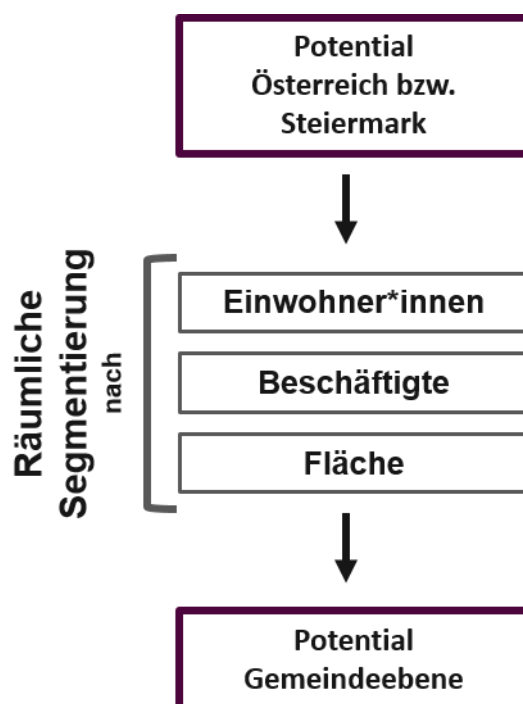


Abbildung 2: Top Down Ansatz zur Ermittlung der Potentiale auf Gemeindeebene; eigene Abbildung

Das jeweilige Gesamtpotential wurde, wie in Abbildung 2 zu sehen ist, nach bestimmten Faktoren auf die steirischen Gemeinden (Stand 2019) aufgeteilt. Je nach Potentialtyp wurde die räumliche Segmentierung nach den Faktoren Einwohner*innen, Beschäftigte bestimmter Industriesektoren oder Fläche durchgeführt.

Zur Berechnung der Holzabfälle wurde beispielsweise das Gesamtpotential von Holzabfällen auf Landesebene durch die Gesamtzahl aller Beschäftigten in der Holzverarbeitenden Industrie dividiert und im Anschluss mit der Anzahl der Beschäftigten dieses Industriezweiges

je Gemeinde multipliziert. Die verwendeten Daten beruhen auf Literaturwerten und statistischen Erhebungen, welche in den Abschnitten 3.1 und 3.2 für jedes Potential individuell erläutert werden.

3.1 Potentiale Biomethan

Im Abschnitt 3.1 werden sowohl die Methodik als auch die Datenbasis zur Ermittlung der unterschiedlichen Potentiale an Biomethan erläutert.

3.1.1 Reste halmgutartiger Biomasse zur Biomethanproduktion

Unter die in dieser Studie berücksichtigten halmgutartigen Biomassen fallen Getreidestroh, Maisstroh, Rapsstroh und Rübenblatt. Grundlage für den Anfall dieser halmgutartigen Biomassen sind die vorhandenen Anbauflächen, welche der Agrarstrukturerhebung 2010 Bodennutzung [11] entnommen und zudem für die räumliche Segmentierung herangezogen wurden.

Tabelle 1 beinhaltet wichtige Parameter, die zur Berechnung der Potentiale aus halmgutartiger Biomasse verwendet wurden.

Tabelle 1: Parameter zur Berechnung der Potentiale aus den Resten halmgutartiger Biomasse

Typ	Anbaufläche in km ²	Durchschnitt- licher Fruchtertrag je km ² in t	Frucht-Stroh- Ratio	Strohmenge in t/a	Spezifische Gasausbeute in Nm ³ CH ₄ /t frische Masse
Getreidestroh	6122 [11]	450 [12]	0,917 [8]	2526326	153 [13]
Maisstroh	2026 [11]	1090 [12]	1 [8]	2208831	82 [13]
Rapsstroh	540 [11]	280 [12]	2,8 [8]	162959	97 [13]
Zuckerrübenblatt	448 [11]	7320 [12]	1,7 [8]	6713538	47 [13]

Basierend auf den Daten zur Feldfruchtproduktion ab 1970 [12] wurden die durchschnittlichen Erträge je km² der letzten fünf Jahre unter Berücksichtigung eines linearen Trends seit 1993 für alle vier halmgutartigen Biomassen berechnet. Durch anschließende Multiplikation mit dem Frucht-Stroh-Ratio sowie der Anbaufläche jedes Typs halmgutartiger Biomasse konnten die Stroh- bzw. Zuckerrübenblattmengen für ganz Österreich in t/a jedes Typs ermittelt werden. Über die spezifische Gasausbeute dieser Mengen, unter Berücksichtigung eines Heizwertes von Methan von 9,97 kWh/Nm³, errechnet sich das Methanpotential in GWh/a je Strohfraktion, welches nach den jeweiligen Anbauflächen der unterschiedlichen halmgutartigen Biomassen der Gemeinden [11] anteilmäßig aufgeteilt wurde.

3.1.2 Klärschlamm zur Biomethanproduktion

Der in Kläranlagen anfallende Klärschlamm kann in Faultürmen energetisch genutzt werden, was derzeit bereits in einem Großteil der österreichischen Kläranlagen der Fall ist. Dieser bereits genutzte Anteil bleibt in dieser Studie unberücksichtigt. Stattdessen wird das Potential des gesamten, anfallenden Klärschlammes betrachtet.

Tabelle 2: Parameter zur Berechnung der Potentiale aus Klärschlamm

Typ	Menge in EW ₆₀	Spezifische Gasausbeute in Nm ³ CH ₄ /(EW ₆₀ *t)	Räumliche Segmentierung
Klärschlamm	14209529 [14]	14,5 [15, 16]	Einwohner*innen [17]

In Tabelle 2 werden die zur Berechnung herangezogenen Parameter zusammengefasst. Der angegebene Einwohnerwert (EW) beschreibt hierbei die Schmutzmenge in den Abwässern. Dabei entspricht ein Einwohnerwert der durchschnittlich anfallenden Schmutzmenge einer Einzelperson pro Tag. Die Schmutzmenge wird über den zur Aufbereitung benötigten Sauerstoffbedarf definiert (EW₆₀ bedeutet 60 g biochemischer Sauerstoffbedarf pro Person und Tag). Da neben dem Abwasser der Bevölkerung auch industrielles Abwasser anfällt, ist die Summe der österreichischen Einwohnerwerte deutlich größer als die Bevölkerungsanzahl. [18]

Die herangezogene spezifische Gasausbeute berechnet sich in diesem Fall unter den Annahmen eines spezifischen Faulgasanfalls von 25l/EW₆₀ und Tag und einem unteren Heizwert von Faulgas von 6,4 kWh/Nm³. Durch Multiplikation mit der angefallenen Abwasserfracht kommunaler Kläranlagen im Jahr 2014 [14] errechnet sich für Österreich ein Potential aus Klärschlamm von 830 GWh/a. Dieses Potential wurde anhand der Einwohner*innen je Gemeinde segmentiert.

3.1.3 Wirtschaftsdünger der Nutztierhaltung zur Biomethanproduktion

Die Exkremate von Nutztieren (z.B. Rinder, Schweine) können mithilfe von Biogasanlagen ebenfalls zur Biogaserzeugung genutzt werden. Als Datenbasis der Berechnungen dient der Viehbestand lt. Agrarstrukturerhebung 2010 – Viehbestand [19]. Berücksichtigt wurden dabei Milchkühe, Schweine, Rinder und Hühner.

Tabelle 3: Parameter zur Berechnung der Potentiale aus Wirtschaftsdünger der Nutztierhaltung

Typ	Menge	Spezifische Gasausbeute in Nm ³ CH ₄ /(Tiere*a)	Räumliche Segmentierung
Milchkühe	540002 [19]	290 Nm ³ [20]	Anzahl Milchkühe
Schweine	3247180 [19]	21 Nm ³ [20]	Anzahl Schweine

Rinder	2023648 [19]	129 Nm ³ [20]	Anzahl Rinder
Hühner	13918813 [19]	1,4 Nm ³ [20, 21]	Anzahl Hühner

Das Methanpotential an Wirtschaftsdünger wurde anhand des Gasertrags pro Tier berechnet. Dieser Gasertrag wird unter Berücksichtigung der Exkrementmenge je Tier und Jahr, den jeweiligen Anteilen der Trockenmasse (TM) und organischen Trockensubstanz (oTS) der tierspezifischen Gülle sowie der spezifischen Gasausbeute der oTS und dem CH₄-Anteil an Biogas unter Annahme eines Heizwertes von Methan von 9,97 kWh/Nm³ errechnet. Durch Multiplikation der Gasausbeute mit den Viehbeständen der Gemeinden konnten somit die Potentiale jeder Gemeinde ermittelt werden. Die räumliche Segmentierung erfolgte demnach anhand der in Tabelle 3 angeführten Faktoren.

3.1.4 Lebensmittel-, Küchen- und Speiseabfälle zur Biomethanproduktion

Abfälle aus der Lebensmittelindustrie lassen sich in Biogasanlagen zu Biomethan verwerten. Um das verfügbare Potential zu bestimmen, wird auf die Mengenangaben der Studien „Rückstände aus der Nahrungs- und Genussmittelproduktion“ [22] sowie auf „Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich: Statusbericht 2018“ [23] zurückgegriffen. Es wurden jedoch einige Abfall- oder Reststofffraktionen aus den angegebenen Quellen entfernt, sofern diese einen geringeren Anfall als 5000 t/a aufweisen oder bei der Potentialberechnung aus Küchen- und Speiseresten berücksichtigt wurden. Die Methanerträge, welche bei der Vergärung der Reststoffe aus der Lebensmittelindustrie erzielt werden können, wurden aus dem „Leitfaden Biogas“ [24], dem Schlussbericht zum Forschungsvorhaben „Biogaserzeugung durch Trockenvergärung von organischen Rückständen, Nebenprodukten und Abfällen aus der Landwirtschaft“ [25, 26] sowie dem Bericht „Vergärung organischer Reststoffe in landwirtschaftlichen Biogasanlagen“ [27] entnommen und sind gemeinsam mit den Mengenangaben sowie den Ergebnissen in Tabelle 4 und Tabelle 5 dargestellt. Methanpotentiale von Abfällen oder Reststoffen, für die keine Methangaserträge ermittelt werden konnten, sind mit „k.A.“ gekennzeichnet. Basierend auf diesen Daten konnte ein Methangaspotential von 152 Mio. Nm³ CH₄/a ermittelt werden.

Es ist darauf hinzuweisen, dass aufgrund der Inhomogenität der Abfälle der Lebensmittelindustrie in Abhängigkeit der betrachteten Fraktionen große Unterschiede des spezifischen Methanertrags je nach Literaturquelle feststellbar sind. So haben Schlachtabfälle beispielsweise eine Bandbreite von 20 bis 81 Nm³ CH₄ je Tonne FM (Frischmasse) [26]².

² Berücksichtigung von „Schlachtabfälle Rind (abgepresst)“ sowie „Schlachtabfälle Schwein“ und Nutzung des Ertrags in m³/Mg FM sowie Berechnung des Ertrags in m³/Mg FM aus Ertrag in m³/Mg oTS.

Ermittlung der Potentiale

Tabelle 4: Berechnung des Methanpotentials von Abfällen aus der pflanzlichen Nahrungs-, Genuss- und Futtermittelproduktion soweit möglich, Datenquellen: [22, 25, 26, 28]; Es wurden nur Mengenpotential größer 5000 t/a berücksichtigt.

	Mengenpotential in t/a [22]	Methanertrag in Nm ³ /t CH ₄ [24]	Biogasertrag in Nm ³ /t [25, 26]	Methangehalt im Biogas in % [25, 26]	Methanpotential in Nm ³ CH ₄ /a
Abfälle aus der Nahrungsmittelproduktion					
Überlagerte Lebensmittel	65.200		230	52	7.803.853
Spelze sowie Spelzen- und Getreidestaub	196.000				k.A.
Melasse	125.000	229			28.625.000
Teig	21.000				k.A.
(Zucker-)Rübenschnitzen und -schwänze	156.000	49			7.644.000
Abfälle aus der Genussmittelproduktion					
Überlagerte Genussmittel	19.000		230 ³	52	2.272.400
Malztreber und -keime und -staub	151.400	70			10.598.000
Obst- und Getreide- und Kartoffelschlempe	8.400	16			134.400
Schlamm aus der Weinbereitung	10.100	16			161.600
Trester	102.500	176			18.040.000
Hefe oder hefeähnliche Rückstände	18.300				k.A.
Rückstände und Abfälle aus Fruchtsaftproduktion	34.300		215	68	5.014.660
Abfälle aus Futtermittelproduktion und Sonstigem					
Futtermittel	29.800				k.A.
Ölsaatenrückstände	161.200	317			51.100.400

³ Annahme: gleicher Biogasertrag wie überlagerte Lebensmittel

Ermittlung der Potentiale

Rückstände aus der Kartoffelstärkeproduktion	50.500	47	2.373.500
Rückstände aus der Maisstärkeproduktion	97.600		k.A.

Tabelle 5: Berechnung des Methanpotentials von Aufkommen tierischer Nebenprodukte im Jahr 2016. Datenquellen: [23, 25–27]. Mengentpotentiale kleiner 5000 t/a wurden nicht berücksichtigt. „Küchen- und Speiseabfälle, tierische Anteile enthaltend“, „Wirtschaftsdünger“ sowie „Speiseöl, -fette, Fettabscheiderinhalte mit tierischen Anteilen“ wurden nicht berücksichtigt da diese bereits als „Küchen- und Speiseabfälle“ bzw. „Wirtschaftsdünger“ berücksichtigt wurden.

	Mengenpotential in t/a [23]	Biogasertrag in Nm ³ /t [25–27]	Methangehalt im Biogas in % [25, 26]	Methanpotential in Nm ³ CH ₄ /a
Molke aus der Käse- und Topfenherstellung	270.500 ⁴	39	60 ⁵	6.332.135
TNP ⁶ aus der Schlachtung ⁷	291.300	40	61	7.107.720
TNP aus der Fleischverarbeitung ⁸	129.300	40	61	3.154.920
Falltiere-Tierkörper ⁹	29.100	40	61	710.040
ehem. Lebensmittel tierischen Ursprungs ¹⁰	43.000	40	61	1.049.200

⁴ ohne Molke für Molkenpulverproduktion

⁵ Annahme siehe z.B. [24].

⁶ TNP: Tierische Nebenprodukte

⁷ Annahme: Mittelwert Schlachtabfälle Rind (abgepresst)

⁸ Annahme: Biogasertrag und Methangehalt wie TNP aus der Schlachtung

⁹ Tiere, die nicht durch Schlachtung verstorben sind, Annahme: Biogasertrag und Methangehalt wie TNP aus der Schlachtung

¹⁰ Annahme: Biogasertrag und Methangehalt wie TNP aus der Schlachtung

Im Jahr 2016 fielen zudem 113400 t an Küchen- und Speiseresten an, welche ebenfalls zu Biomethan umgewandelt werden können [23]. Basierend auf Literaturwerten (siehe Tabelle 6) wurde für diese Stoffe die spezifische Gasausbeute ermittelt. Durch Multiplikation dieses Wertes mit der Menge ergibt sich ein Potential aus Küchen- und Speiseabfällen von 232 GWh/a unter Annahme eines Heizwertes für Methan von 9,97 kWh/Nm³ für Österreich.

Tabelle 6: Parameter zur Berechnung der Potentiale aus Lebensmittel-, Küchen- und Speiseabfällen

Typ	Menge in t/a	Spezifische Gasausbeute in Nm ³ CH ₄ /t FM	Räumliche Segmentierung
Küchen- und Speiseabfälle	113400 [23]	205 ¹¹ [13]	Einwohner*innen [17]
Abfälle der Lebensmittelindustrie	<i>siehe Tabelle 4 und Tabelle 5</i>	<i>siehe Tabelle 4 und Tabelle 5</i>	Beschäftigte der Lebensmittel- und Getränkeindustrie [29, 30]

Die ermittelten Potentiale wurden anschließend nach den in Tabelle 6 vermerkten Faktoren segmentiert.

3.1.5 Biotonnenabfälle, Restmüll, Kompost, Grünabfälle & Grünschnitt zur Biomethanproduktion

Im Bericht zur Bestandsaufnahme der österreichischen Abfallwirtschaft [23] werden die Mengen diverser Abfälle ausgewiesen. Die Mengen an Biomüll, Gartenabfällen und Organik im Restmüll werden im Gegenzug zum Grünschnitt und Kompost auf Bundeslandebene und nicht österreichweit ausgewiesen. Um die bestmögliche Genauigkeit zu erzielen, wurde, wo immer möglich, die Menge je Bundesland für die Kalkulationen verwendet.

Tabelle 7: Parameter zur Berechnung der Potentiale aus Biomüll, Restmüll, Kompost & Grünabfällen

Typ	Menge in t/a	Spezifische Gasausbeute in Nm ³ CH ₄ /t FM	Räumliche Segmentierung
Biomüll	530700 [23]	103 [31]	Einwohner*innen [17]
Gartenabfälle	482800 [23]	64 [32]	Fläche der Gemeinde [33]

¹¹ Durchschnittswert für Altbrot, Backabfälle, Käseabfall und Speisereste mit unterschiedlichen Fettanteilen

Ermittlung der Potentiale

Organik im Restmüll	1437000 ¹² [23]	103 [31]	Einwohner*innen [17]
Grünschnitt öffentlicher Flächen	472000 [23]	64 [32]	Fläche der Gemeinde
Einzel- und Mehrparteienkompost	1500000 [23]	64 [32]	Fläche der Gemeinde

Zur Berechnung der Potentiale wurden die jeweiligen Mengen mit der spezifischen Gasausbeute multipliziert und anhand der Faktoren in Tabelle 7 räumlich segmentiert.

3.1.6 Energiepflanzenanbau zur Biomethanproduktion

Zur Berechnung der Potentiale an Biomethan aus dem Energiepflanzenanbau wurden Daten zur Produktionsmenge von Biogas als Basis herangezogen [34]. Es wurden hierfür nur Potentiale aus österreichischer Biomasse berücksichtigt. Um eine Konkurrenz zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion zu vermeiden, wurde die aktuell genutzte Fläche für den Energiepflanzenanbau nicht erweitert.

Im Jahr 2017 wurden 565 GWh Strom (durchschnittlicher elektrischer Wirkungsgrad von 36,5 %¹³) in Biogasanlagen erzeugt und 149 GWh Gas ins öffentliche Gasnetz eingespeist [34]. Durch Berücksichtigung des Wirkungsgrades kann ein Potential von 1697 GWh/a ermittelt werden. Da nur 57 % dieser Menge auf landwirtschaftlichen Stoffen basieren [35], reduziert sich das Potential auf 967 GWh/a.

Tabelle 8: Parameter zur Berechnung der Potentiale an Biomethan aus dem Energiepflanzenanbau

Typ	Menge	Räumliche Segmentierung
Biogas	967 GWh/a [34]	Anbaufläche [11]

Wie in Tabelle 8 ersichtlich ist, wurde die Segmentierung anhand der Anbauflächen für Energiepflanzen vollzogen. Dabei wurden die Anbauflächen von Getreide insgesamt, Eiweißpflanzen, Hackfrüchten, Ölfrüchten, Handelsgewächsen, anderen Ackerkulturen und Feldfutterbau lt. der Agrarstrukturerhebung 2010 - Bodennutzung berücksichtigt [11].

Anzumerken ist, dass die Agrarstrukturerhebung 2010 zwar die tatsächlichen Anbauflächen für Energiepflanzen ausweist, dort allerdings darauf hingewiesen wird, dass die Daten aufgrund der Erhebungsmethode ungenau sein können. Aus diesem Grund wurde bei der

¹² 17,81 % der Restmüllmenge sind organisch [23].

¹³ Annahme auf Basis von [20].

Segmentierung von diesen Angaben Abstand genommen und die soeben erwähnten Flächen herangezogen.

3.1.7 Vergasung Gärreste zur Bio- Synthetic Natural Gas Produktion

Nach Abschluss des anaeroben Vergärungsprozesses in Biogasanlagen oder Faultürmen bleibt Gärrest zurück. Dieser beinhaltet noch unverwendete Energie. In diesem Abschnitt wird auf die energetische Verwertung dieses Gärrests eingegangen. Dabei wird nicht zwischen Gärrest aus Biogasanlagen oder von Kläranlagen mit Faultürmen differenziert, auch wenn Unterschiede nicht ausgeschlossen werden können.

Um den Gärrestanfall bestimmen zu können, wird die Materialflusserhebung 2005 der steiermärkischen Biogasanlagen [36] herangezogen. Bei dieser Erhebung wurden 36 Anlagen (weitere vier in Planung) untersucht. Laut dieser Materialflusserhebung fallen bei der Erzeugung von 36 Mio. m³/a Biogas ca. 239.000 t Gärrest an. Dabei lag in den betrachteten Anlagen ein Inputmix aus Silage, Gülle, Abfällen der Lebensmittelindustrie, landwirtschaftlichen Reststoffen, Speiseresten, Altfetten und Sonstiges vor. [36]

Der typische Trockensubstanzgehalt von Gärrest liegt zwischen 6,1 und 7,0 % FM [37] und ist damit sehr dünnflüssig. In dieser Studie wird der Trockensubstanzgehalt des Gärrests entsprechend des Mittelwerts mit 6,6 % FM angenommen. Durch den Einsatz einer mechanischen Fest/Flüssig Trennung kann der Trockensubstanzgehalt deutlich erhöht werden (z.B. mit einer Kammerfilterpresse auf bis zu 40 % [15]). Das restliche Wasser kann durch den Einsatz von thermischer Energie (ca. 1 bis 1,6 kWh pro Liter auszutragendem Wasser [38], in der Berechnung mit 1 kWh pro Liter angenommen¹⁴) entfernt werden. In dieser Studie wird von einer Fest/Flüssig Trennung ausgegangen, welche den Trockensubstanzgehalt des Gärrests auf 40 % erhöht. Durch die anschließende thermische Trocknung¹⁵ wird der Trockensubstanzgehalt auf 90 % erhöht. Bei diesem Trockensubstanzgehalt weist Gärrest einen Heizwert von etwa 15,0 MJ/kg auf (¹⁶).

Durch den Einsatz der Fest/Flüssig Trennung wird der Anteil der Trockensubstanz von 6,6 auf 40 % erhöht. Dabei reduziert sich die absolute Menge an minimalem Gärrest von 10 Mio. t/a bei 6,6 % TS auf 1,6 Mio. t/a bei 40 % TS. Somit müssen für eine Steigerung des Trockensubstanzgehalts auf 90 % noch 0,9 Mio. t Wasser ausgetragen werden, was bei einem Energieeinsatz von 1 kWh/kg auszutragendem Wasser einem thermischen Energiebedarf von

¹⁴ In dieser Studie wird die Dichte von Wasser mit 1000 kg/m³ angenähert.

¹⁵ Annahme Energiebedarf in der Höhe von einer kWh pro Liter auszutragendem Wasser, siehe [38].

¹⁶ z.B. 15,8 MJ/kg bei 9,2 % Wassergehalt [39], 15,0 MJ/kg bei 9,9 % Wassergehalt [39], 14,4 MJ/kg bei 6 % Wassergehalt [40], 17,59 MJ/kg bei 0 % Wassergehalt [41].

0,9 GWh entspricht. Nach der Trocknung reduziert sich die Menge an Gärrest auf 0,7 Mio. t bei 90 % TS. Dies entspricht einem thermischen Energieinhalt in der Höhe von ca. 3 GWh.

Werden ein Wirkungsgrad der Vergasung und Methanisierung von 64 % [42] sowie ein nutzbares Abwärmepotential von 30 % angenommen, so ergibt sich für den Gärrest einer GWh Biomethan ein zusätzliches Methangaspotential von 0,22 GWh CH₄.

Zur räumlichen Segmentierung wurde das gesamte Methangaspotential jeder Gemeinde, welches die jeweilige Summe der Potentiale der Abschnitte 3.1.1 bis 3.1.5 darstellt, mit den 0,22 GWh CH₄ multipliziert.

3.2 Sonstige Potentiale an festen und flüssigen Biomasse-Energieträgern

Im Abschnitt 3.2 werden sowohl die Methodik als auch die Datenbasis zur Ermittlung der unterschiedlichen Potentiale sonstiger fester und flüssiger Biomassen erläutert.

3.2.1 Holzartige Biomasse

Der Waldinventur-Onlinedatenbank zufolge beträgt der Waldzuwachs österreichweit jährlich etwa 30,4 Mio. Vorratsfestmeter (Vfm). Gleichzeitig werden im selben Zeitraum etwa 26,0 Mio. Vfm genutzt. Somit wächst der österreichische Wald um ca. 4,4 Mio. Vfm/a. Davon entfallen ein Waldzuwachs von etwa 0,8 Mio. Vfm auf die Steiermark Diese Holzmenge könnte daher beispielsweise energetisch genutzt werden, ohne dass der Waldbestand reduziert wird. [43, 44]. Hinsichtlich der Zusammensetzung des österreichischen Gesamtvorrates an Wald besteht dieser aus 80,2 % Nadelholz¹⁷, 17,0 % Hartlaub¹⁸ und 2,8 % Weichlaub¹⁹ [44].

Aufgrund der guten Datenverfügbarkeit wurden zur Ermittlung der Potentiale an holzartiger Biomasse spezifische Daten für die Steiermark verwendet, welche in Tabelle 9 abgebildet sind.

Tabelle 9: Parameter zur Berechnung der Potentiale aus holzartiger Biomasse

Typ	Menge	Räumliche Segmentierung
Holzartige Biomasse (ungenutzter Waldzuwachs) ²⁰	0,64 Millionen m ³ /a ²¹ [44]	Waldfläche [11]

¹⁷ Annahme Heizwert ca. 1904 kWh/Fm, repräsentiert durch Fichte bei 20 % Wassergehalt [45].

¹⁸ Annahme Heizwert ca. 2692 kWh/Fm, repräsentiert durch Buche bei 20 % Wassergehalt [45].

¹⁹ Annahme Heizwert ca. 1703 kWh/Fm, repräsentiert durch Pappel bei 20 % Wassergehalt [45].

²⁰ Differenz zwischen Waldzuwachs und Waldnutzung

²¹ Berechnet mit 20 % technisch bedingtem Ernteverlust (z.B. Wipfel, Rinde, siehe [46])

Ermittlung der Potentiale

Feuerholz und Pellets	3576 GWh/a ²² [47]	Waldfläche [11]
Holzabfälle	2997 GWh/a ²³ [47]	Beschäftigte der holzverarbeitenden Industrie [29, 30]

Zur Berechnung der Potentiale aus dem ungenutzten Waldzuwachs wurde ein mittlerer Heizwert von 2696 kWh/m³ verwendet, welcher die aktuellen Anteile je Baumart in Österreich [44] und deren oberen Heizwerten (Wasseranteil 0 %) sowie die spezifische Dichte jeder Holzart [8] berücksichtigt. Die Mengen an Feuerholz und Pellets sowie Holzabfällen wurden den Energiebilanzen der Bundesländer entnommen [47]. Die ermittelten Mengen wurden anhand der in Tabelle 9 angeführten Faktoren segmentiert.

3.2.2 Energiepflanzenanbau zur Biodiesel- und Bioethanolproduktion

Wie auch im Abschnitt 3.1.6 Energiepflanzenanbau, wurde für die Ermittlung der Potentiale an Biodiesel und Bioethanol aus dem Energiepflanzenanbau nur die Erzeugung aus österreichischen Biomassen berücksichtigt. Auch hier wurde, um eine Konkurrenz zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion zu vermeiden, die aktuell genutzte Fläche zur Treibstoffproduktion nicht erweitert.

Tabelle 10: Parameter zur Berechnung der Potentiale von Biodiesel aus Frischölen und Bioethanol

Typ	Menge	Räumliche Segmentierung
Biodiesel aus Frischölen	31604 t/a ²⁴ [34]	Anbaufläche [11]
Bioethanol	185669 t/a [34]	Anbaufläche [11]

Aus den in Tabelle 10 angeführten Mengen wurden unter Berücksichtigung der Heizwerte von 10,28 kWh/kg für Biodiesel und 7,43 kWh/kg für Bioethanol die Potentiale ermittelt und anhand der jeweiligen Anbauflächen (siehe 3.1.6) segmentiert.

²² Der hier ausgewiesene Wert stellt den Stand des Jahres 2017 dar und wurde dem Datensatz der Statistik Austria des Jahres 2017 entnommen. Aufgrund regelmäßiger Modellanpassungen seitens Statistik Austria kann dieser Wert in anderen Datensätzen von dem hier angegebenen abweichen.

²³ Der hier ausgewiesene Wert stellt den Stand des Jahres 2017 dar und wurde dem Datensatz der Statistik Austria des Jahres 2017 entnommen. Aufgrund regelmäßiger Modellanpassungen seitens Statistik Austria kann dieser Wert in anderen Datensätzen von dem hier angegebenen abweichen.

²⁴ 40 % der gesamten Biodieselproduktion Österreichs basiert auf Frischölen wovon jedoch nur 26,8 % des Biomasseinputs aus Österreich stammen

3.2.3 Altspeiseöle zur Herstellung von Biodiesel

Die Ermittlung der Potentiale erfolgte größtenteils analog zur im Abschnitt 3.2.2 beschriebenen Methodik. Lediglich die Segmentierung auf die Gemeinden erfolgte im Gegensatz zum Abschnitt 3.2.2 anhand der Einwohner*innen (siehe Tabelle 11).

Tabelle 11: Parameter zur Berechnung der Potentiale von Biodiesel aus Altspeiseölen

Typ	Menge	Räumliche Segmentierung
Altspeiseöle zur Herstellung von Biodiesel	47406 t/a ²⁵ [34]	Einwohner*innen [17]

3.2.4 Schwarzlauge der Papierindustrie

Vorab ist anzumerken, dass die Potentiale aus Schwarzlaugen der Papierindustrie im Gegensatz zu den zuvor besprochenen Potentialen nicht auf Gemeinde- sondern auf Bezirksebene ausgewiesen werden.

Schwarzlauge ist ein bei der Zelluloseherstellung anfallender, äußerst energiereicher Nebenstoff, welcher bereits vollständig zur innerbetrieblichen Deckung des Energiebedarfs der Papier- und Zellstoffindustrie genutzt wird. Die ausgewiesenen Potentiale stellen daher bereits genutzte Potentiale dar.

Tabelle 12: Parameter zur Berechnung der Potentiale aus Schwarzlauge

Typ	Menge	Räumliche Segmentierung
Schwarzlauge	9073 GWh/a [47]	Beschäftigte der Papierindustrie [29, 30]

Wie in Tabelle 12 zu sehen ist, wurden zur Berechnung der Potentiale die für die auf Bundesländerebene verfügbaren Daten zur Ablauge (Schwarzlauge) anhand der Anzahl an Beschäftigten in Betrieben zur Herstellung von Holz- und Zellstoff sowie von Papier, Karton und Pappe mit zumindest 25 Mitarbeiter*innen segmentiert.

²⁵ 60 % des gesamten Biodieselproduktion Österreichs basiert auf Altspeiseölen und anderen Fetten wovon jedoch nur 26,8 % des Biomasseinputs aus Österreich stammen.

4 ERGEBNISSE

Nachfolgend werden die ermittelten Potentiale an Biomethan sowie die Potentiale weiterer fester bzw. flüssiger Biomassen präsentiert und besprochen. Dies erfolgt der Übersichtlichkeit halber auf Bezirksebene. Die Potentiale auf Gemeindeebene sind im Dokument „*Technische Potentiale an erneuerbaren Gasen und Biomassen der Steiermark auf Gemeindeebene*“ im Anhang A zu finden und werden in elektronischer Form übermittelt.

Abbildung 3 zeigt die ermittelten Potentiale auf Bezirksebene in tabellarischer Form.

	Biomethan-Potential [GWh/a]							Andere Biomassepotentiale [GWh/a]				
	Reste 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	Schwarzlauge der Papierindustrie	
Bruck-Mürzzuschlag	2	9	39	17	44	1	24	1495	2	5	567	2206
Deutschlandsberg	41	6	51	15	19	7	29	644	12	3	-	827
Graz (Stadt)	2	27	2	29	25	0	19	105	1	16	-	226
Graz-Umgebung	45	14	59	15	30	8	35	635	14	8	2113	2977
Hartberg-Fürstenfeld	145	9	124	26	28	24	72	778	43	5	-	1254
Leibnitz	138	8	70	23	19	15	56	182	27	5	-	541
Leoben	2	6	25	5	22	1	13	586	1	3	271	936
Liezen	0	8	78	23	62	1	37	1240	1	4	-	1453
Murau	4	3	57	3	25	2	20	628	3	2	-	746
Murtal	21	7	78	14	34	5	33	852	8	4	575	1631
Südoststeiermark	233	8	133	31	24	26	93	340	46	5	-	939
Voitsberg	7	5	34	8	15	2	15	277	3	3	-	369
Weiz	48	8	85	26	26	9	42	537	15	5	-	799
Summe	689	117	835	234	373	100	488	8298	176	68	3526	14904

Abbildung 3: Potentiale an Biomethan und weitere Biomassepotentiale auf Bezirksebene, eigene Erhebung und Darstellung

Wie in Abbildung 3 zu sehen ist, beträgt das Gesamtpotential an Biomethan bzw. das Potential an anderen festen und flüssigen Biomassen 14904 GWh/a. Davon entfallen 2835 GWh/a auf Biomethan-Potential (Abschnitt 3.1) und 12068 GWh/a auf andere Biomassepotentiale (Abschnitt 3.2).

Die höchsten Potentiale zur Biomethanerzeugung je Kategorie liefern dabei die Reste halmgutartiger Biomassen mit 689 GWh/a sowie holzartige Biomassen mit 8298 GWh/a. Die geringsten Potentiale weisen der Energiepflanzenanbau mit 100 GWh/a sowie Altspeiseöle mit 68 GWh/a auf.

Werden die ermittelten Potentiale auf Bezirksebene betrachtet, wie in Abbildung 4 dargestellt, so weist der Bezirk Graz-Umgebung mit 2977 GWh/a das höchste Potential auf. Das geringste Bezirkspotential liegt in Graz (Stadt) mit lediglich 226 GWh/a vor.

Hervorstechend sind vor allem die hohen Potentiale aus holzartiger Biomasse sowie Schwarzlaugen. Vor allem die Bezirke Bruck-Mürzzuschlag (1495 GWh/a) und Liezen (1240 GWh/a) liefern hohe Potentiale aus holzartiger Biomasse, was sich durch die sehr hohen Waldanteile bzw. den dort produzierenden Papierfabriken dieser Bezirke erklären lässt. Wie in Abbildung 3 zu sehen ist, ist auch das Potential aus Schwarzlaugen mit 3526 GWh/a auffällig hoch.

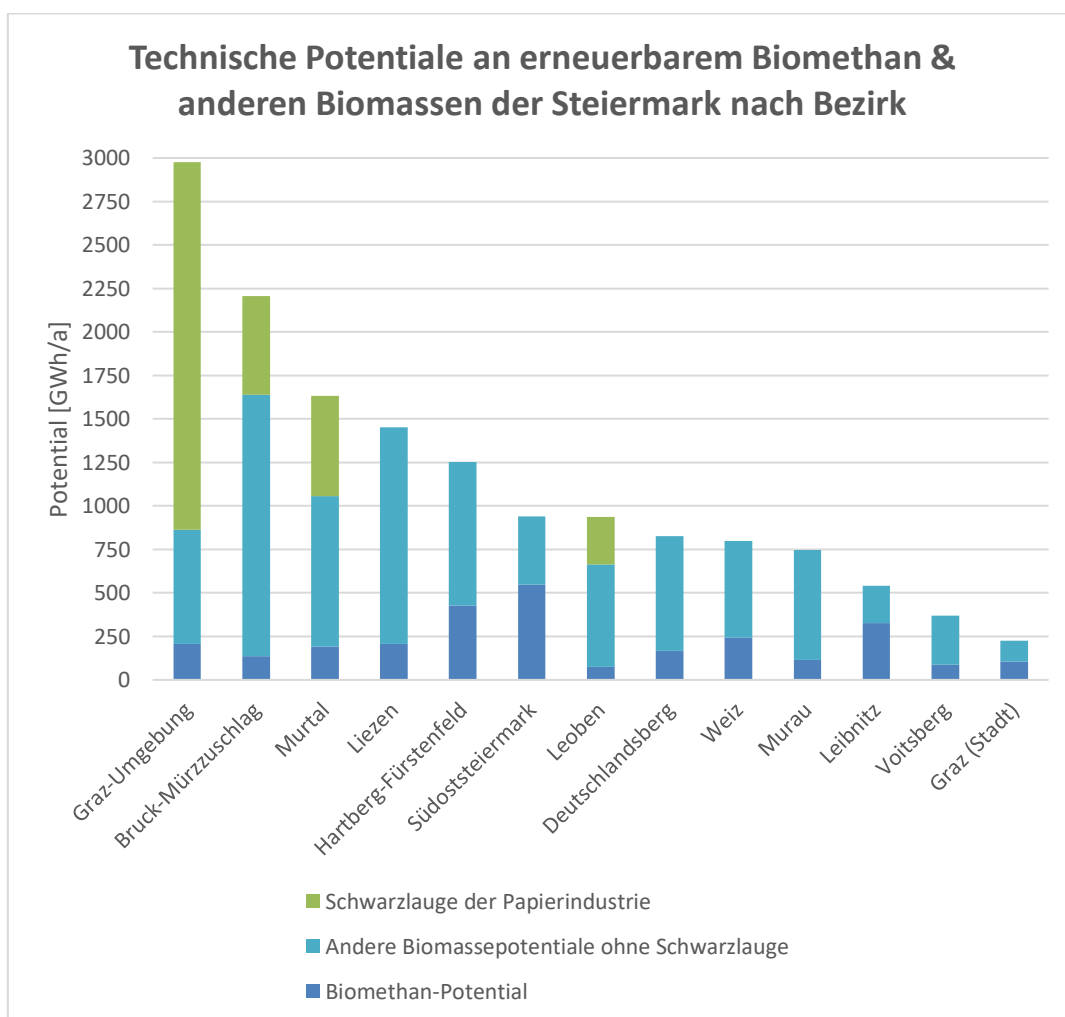


Abbildung 4: Technische Potentiale an erneuerbarem Biomethan, anderen Biomassen und Schwarzlauge der Steiermark nach Bezirk, eigene Erhebung und Darstellung

Abbildung 4 zeigt die technischen Potentiale jedes Bezirkes, wobei die Potentiale aus Schwarzlaugen als eigene Kategorie dargestellt sind. In Abbildung 3 ist zu sehen, dass im potentialreichsten Bezirk Graz-Umgebung der Anteil aus Schwarzlaugen 2113 GWh/a – was einem Anteil von 71 Prozent des Bezirkspotentials entspricht – beträgt. In den anderen drei Bezirken, die ebenfalls Potentiale aus Schwarzlaugen vorweisen können, fällt dieser Anteil mit 26-35 % deutlich geringer aus. Dies begründet sich durch die Tatsache, dass zur Zelluloseherstellung ein sehr hoher Anteil von Importholz verwendet wird, wodurch auch das Potential in Relation zu anderen einen sehr hohen Wert aufweist. Werden die Schwarzlaugenpotentiale aufgrund dieser Problematik nicht miteinbezogen, so liegt das höchste Potential mit 1639 GWh/a im Bezirk Bruck-Mürzzuschlag vor.

5 DISKUSSION

Die Genauigkeit der Potentialanalysen beruht aus qualitativer Sicht auf mehreren Aspekten. Diese umfassen u.a. die Datenbasis sowie das methodologische Vorgehen. Zu beachten ist, dass die Potentiale für alle Gemeinden analog berechnet wurden und lokale Gegebenheiten nicht berücksichtigt wurden.

Die Datengrundlage zur Potentialberechnung setzt sich aus Daten unterschiedlicher Bezugsjahre zusammen. Dies ist notwendig, da viele der verwendeten Daten nicht regelmäßig erhoben werden (z.B. Agrarstrukturerhebung) aber dennoch für die Berechnungen notwendig sind. Durch die Kombination von Daten unterschiedlicher Zeitstände sind die ermittelten Potentiale mit Unsicherheiten behaftet. Manche Datenquellen, wie beispielsweise jene der Agrarstrukturerhebung 2010 oder die als Segmentierungsfaktor verwendete Anzahl von Beschäftigten diverser Branchen, sind zudem bereits mehrere Jahre alt, weshalb diese aktuellen Gegebenheiten nicht berücksichtigen. Aufgrund dessen ergibt sich hier ein methodischer Fehler, der bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden muss. Eine möglichst umfangreiche Datenbasis erlaubt trotz älterer Datensätze ein besseres Verständnis des Gesamtsystems. Überdies hinaus wurden bei den Berechnungen Unterschiede in den Verwertungspfaden nicht berücksichtigt.

Ein weiterer Aspekt ist das methodologische Vorgehen, welches auf einem Top-Down Ansatz beruht. Manche Daten liegen nur auf Bundesebene vor, andere hingegen (z.B. Viehbestand) auf Gemeindeebene. Zur Ergebnisermittlung ist daher eine generalisierte Vorgehensweise notwendig, welche nicht nach individuellen Gegebenheiten differenziert. Bei der Segmentierung anhand Einwohner*innen wird aufgrund der Generalisierung unterstellt, dass für alle Personen dieselben Annahmen gelten (z.B. Menge an verursachten Lebensmittelabfällen), wodurch eine Abweichung von der Realität entsteht. Auch demographische Aspekte bleiben teilweise unberücksichtigt.

Bei der räumlichen Segmentierung der Daten ist vor allem relevant, anhand welcher Faktoren die Aufteilung der Potentiale ausgeführt wird. Je nach Wahl des Faktors ergeben sich daher ebenfalls Unsicherheiten in den Ergebnissen. Insbesondere im städtischen Raum fallen Potentiale wegen des Segmentierungsfaktors hoch aus, weshalb beispielsweise die Stadt Graz aufgrund der hohen Bevölkerungszahl das höchste Klärschlammpotential aufweist.

Abschließend ist auch die Genauigkeit der Datenbasis zu berücksichtigen. So muss erwähnt werden, dass bei manchen Datenquellen die zugrundeliegenden Berechnungsmodelle, wie beispielsweise die Energiebilanzstatistik der Steiermark, regelmäßigen Adaptionen durch die Verfasser*innen (in diesem Beispiel die Statistik Austria) unterliegen, weshalb die

Verwendung anderer Bezugsjahre zu abweichenden Ergebnissen führen kann. Die ausgewiesenen technischen Potentiale sind daher nur unter den in der Methodik beschriebenen Annahmen gültig. Weiters veröffentlichen verschiedene Literaturquellen im Bereich der spezifischen Methangasausbeuten teilweise sehr unterschiedliche Wert. Dies ist u.a. mit der Heterogenität verschiedener Reststoffströme zu begründen. So repräsentiert eine spezifische Gasausbeute nur die genommene Stichprobe – abweichende Stichproben führen entsprechend zu unterschiedlichen Ergebnissen.

Hinsichtlich der berechneten Potentialquellen ist vor allem ein korrektes Verständnis des technischen Potentials relevant. Beispielsweise wird das Potential von Biodiesel und -ethanol über Ackerflächen aufgeteilt. Im Sinne des Begriffs des technischen Potentials bedeutet dies keineswegs, dass ein gewisser Anteil jeder Ackerfläche zur Produktion besagter Stoffe verwendet wird oder werden soll. Vielmehr sind diese Flächen nur als Potentialquellen zur Gewinnung zu betrachten. Abschließend muss noch darauf hingewiesen werden, dass es sich hier um technische Potentiale handelt, welche sich deutlich von einer möglichen Realisierung unterscheiden können, da nur gewissen Aspekte berücksichtigt werden (siehe Abschnitt „Technischer Hintergrund - Potentialarten“).

6 ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Studie wurden die technischen Potentiale an Biomethan und anderen Biomassen ermittelt und untersucht. Weiters wurde die Methodik zur Ermittlung besagter Potentiale samt der verwendeten Datenquellen umfassend beschrieben. Eine differenzierte Betrachtung und Diskussion der Methodik, Daten- und Potentialquellen ermöglicht zudem die Berücksichtigung bestimmter Aspekte bei der Qualitätsbeurteilung der vorliegenden Ergebnisse.

Zur Ermittlung der Potentiale wurde ein Top-Down Ansatz verwendet, welcher aggregierte Daten anhand unterschiedlicher Faktoren segmentiert. Diese Faktoren unterscheiden sich je nach Potentialtyp. Mit der verwendeten Methodik konnten für die Steiermark somit technische Potentiale in Höhe von 14904 GWh/a ermittelt werden. Etwa 19 % der Potentiale entfallen dabei auf die Kategorie „Potentiale Biomethan“, der überwiegende Anteil mit ca. 81 % entfällt hingegen auf „Sonstige Biomassen“. Dieser Wertunterschied ist einerseits den Kategorien als solchen und andererseits im Bereich der sonstigen Biomassen dem hohen Anteil an Potential aus Schwarzlauge geschuldet.

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. Der Top-Down Ansatz basiert auf generalisierten Annahmen, wodurch es zu Abweichungen in der Realität kommt. Essenziell dabei ist auch die Wahl geeigneter Segmentierungsfaktoren, da diese großen Einfluss auf die Ergebnisse haben. Dies ist bei der Interpretation der Ergebnisse besonders zu berücksichtigen.

Sofern möglich, wurden bei den Berechnungen nur Potentiale aus österreichischen Biomassen ermittelt, um ein möglichst neutrales Bild der technischen Potentiale vermitteln zu können. Bei der Ermittlung der Potentiale aus Schwarzlaugen wurde die gesamte Produktion inkl. Importholz betrachtet, was sich in den sehr hohen Potentialen niederschlägt.

Der verwendete Top-Down Ansatz baut hinsichtlich der Segmentierung vor allem auf eine Datenverfügbarkeit auf Gemeindeebene auf. Dahingehend wurden zur Ermittlung von bestimmten Potentialen, wie beispielsweise halmgutartiger Biomasse, Daten aus dem Jahr 2010 zur Segmentierung verwendet, da keine aktuelleren Datensätze den Anspruch dieses hohen Detailgrads erfüllen. Der Vorteil der verwendeten Methodik liegt darin, dass die Datenquellen sowie auch die Segmentierungsfaktoren sehr leicht aktualisiert bzw. geändert

werden können. Dies ermöglicht eine einfache Neuberechnung der Potentiale aktuellerer Zeitstände.

Die ermittelten technischen Potentiale dienen als Grundlage zur Einschätzung der Potentialverteilung innerhalb der Steiermark. Im Sinne des Begriffs des technischen Potentials stellen die ausgewiesenen Werte die maximal mögliche Ressourcennutzung einer räumlichen Einheit unter gegebenen strukturellen Voraussetzungen dar. Dies bedeutet auch, dass die Daten auf Gemeindeebene aufgrund der sich ergebenden Unsicherheiten nur bedingt als Grundlage für großmaßstäbliche Planungen eingesetzt werden können.

7 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] 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
- [2] STATISTIK AUSTRIA: *Energiestatistik: Energiebilanzen Österreich 1970 bis 2017*. URL http://statistik.gv.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html
- [3] AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (Hrsg.): *Energiebericht 2019 : Zahlen, Daten und Fakten zu Energieaufbringung, -verwendung und Erneuerbaren in der Steiermark*. 2020
- [4] 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
- [5] HAAS, Reinhard ; BIERMAYER, Peter ; KRANZL, Lukas: *Technologien zur Nutzung Erneuerbarer Energieträger - wirtschaftliche Bedeutung für Österreich*. Wien, 2006
- [6] FENGLING, Liu: *Decomposition Analysis Applied to Energy: Some Methodological Issues*. Singapore, National University of Singapore, Department of Industrial and Systems Engineering. Dissertation. 2004
- [7] 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
- [8] KALTSCHMITT, Martin ; HARTMANN, Hans ; HOFBAUER, Hermann: *Energie aus Biomasse*. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2016
- [9] DEUBLEIN, Dieter ; STEINHAUSER, Angelika: *Biogas from waste and renewable resources : An introduction*. [Elektronische Ressource]. Weinheim : Wiley-VCH, 2008
- [10] 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

- [11] STATCUBE - STATISTISCHE DATENBANK VON STATISTIK AUSTRIA: *Agrarstrukturhebung 2010 - Bodennutzung*. URL <https://statcube.at/statistik.at/ext/statcube/jsf/tableView/tableView.xhtml> – Überprüfungsdatum 2020-10-19
- [12] STATCUBE - STATISTISCHE DATENBANK VON STATISTIK AUSTRIA: *Feldfruchtproduktion ab 1970*. URL <http://statcube.at/statcube/opendatabase?id=depflfeld> – Überprüfungsdatum 2020-10-20
- [13] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT ; LFL AGRARÖKONOMIE: *Biogasausbeuten verschiedener Substrate*. URL <http://www.lfl.bayern.de/iba/energie/049711/> – Überprüfungsdatum August 8th, 2019
- [14] BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.): *Kommunales Abwasser : Österreichischer Bericht 2016*. Wien, 2016
- [15] DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E.V.: *DWA-Regelwerk : Arbeitsblatt DWA-A 216*. Energiecheck und Energieanalyse - Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen. Hennef : 2013
- [16] BISCHOFBERGER, Wolfgang (Hrsg.): *Anaerobtechnik*. 2., vollst. überarb. Aufl. Berlin : Springer, 2005
- [17] STATCUBE - STATISTISCHE DATENBANK VON STATISTIK AUSTRIA: *Bevölkerung zu Jahresbeginn ab 1982*. URL <https://statcube.at/statistik.at/ext/statcube/jsf/tableView/tableView.xhtml>. – Aktualisierungsdatum: 2020-07-06 – Überprüfungsdatum 2020-10-20
- [18] BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT: *Abwasserkennzahlen*. URL <https://www.bmlfuw.gv.at/wasser/wasserqualitaet/abwasserreinigung/masseinheiten.html> – Überprüfungsdatum 2017-10-20
- [19] STATCUBE - STATISTISCHE DATENBANK VON STATISTIK AUSTRIA: *Agrarstrukturhebung 2010 - Viehbestand*. URL <https://statcube.at/statistik.at/ext/statcube/jsf/tableView/tableView.xhtml>. – Aktualisierungsdatum: 2015-12-04 – Überprüfungsdatum 2020-10-27
- [20] *Faustzahlen für die Landwirtschaft*. 15. Auflage. Darmstadt : Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), 2018
- [21] KTBL-/LAV-VORTRAGSTAGUNG; ACHILLES, Werner (Mitarb.): *Betriebsplanung Landwirtschaft 2018/19 : Daten für die Betriebsplanung in der Landwirtschaft*. 26. Auflage. Darmstadt :

- Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), 2018 (KTBL-Datensammlung)
- [22] REISINGER, Hubert ; DOMENING, Manfred ; THALER, Peter ; LAMPERT, Christoph: *Rückstände aus der Nahrungs- und Genussmittelproduktion : Materialien zur Abfallwirtschaft*. Wien, 2012
- [23] BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS (Hrsg.): *Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich : Statusbericht 2018*. Wien, 2018
- [24] FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E. V. (FNR): *Leitfaden Biogas : Von der Gewinnung zur Nutzung*. 7., überarb. Aufl. Gülzow : FNR, 2016
- [25] UNIVERSITÄT ROSTOCK LEHRSTUHL FÜR VERFAHRENSTECHNIK/BIOTECHNOLOGIE ; INSTITUT FÜR ENERGETIK UND UMWELT GÖMBH ; BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT: *Biogaserzeugung durch Trockenvergärung von organischen Rückständen, Nebenprodukten und Abfällen aus der Landwirtschaft : Abschnitt 1: Grundlagen der Trockenfermentation und Darstellung des Standes der Technik*. Gülzow, Januar 2007
- [26] UNIVERSITÄT ROSTOCK LEHRSTUHL FÜR VERFAHRENSTECHNIK/BIOTECHNOLOGIE ; INSTITUT FÜR ENERGETIK UND UMWELT GÖMBH ; BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT: *Biogaserzeugung durch Trockenvergärung von organischen Rückständen, Nebenprodukten und Abfällen aus der Landwirtschaft : Abschnitt 2: Erhebung der mit Trockenfermentationsverfahren erschließbaren energetischen Potenziale in Deutschland Vergleichende ökonomische und ökologische Analyse landwirtschaftlicher Trockenfermentationsanlagen*. Gülzow, Januar 2007
- [27] BASERGA, Urs: *Vergärung organischer Reststoffe in landwirtschaftlichen Biogasanlagen : Stoffdaten, Gärtechnik und gesetzliche Grundlagen*. Tänikon, 2000 (FAT Berichte 546)
- [28] FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V.: *Faustzahlen*. URL <https://biogas.fnr.de/daten-und-fakten/faustzahlen/> – Überprüfungsdatum 2018-07-09
- [29] STATISTIK AUSTRIA STATCUBE (Hrsg.): *Registerzählung 2011 - AZ: Beschäftigte der Arbeitsstätte (Q SW)*. 2011
- [30] STATISTIK AUSTRIA STATCUBE (Hrsg.): *ÖNACE 2008 der Arbeitsstätte (Ebene +1) nach Standort der Arbeitsstätte (Ebene +1)*. 2008
- [31] AMON ; THOMAS ; BISCHOFF, Manfred ; CLEMENS, Joachim ; HEUWINKEL, Hauke ; KEYMER, Ulrich ; MEISBAUER, Gabriele ; OECHSNER, Hans ; PATERSON, Mark ; REINHOLD, Gerd ; ROTH, URSULA, SCHELLER, HANNELORE ; WEILAND, Peter ; WELSCH, Winfried ; WULF, Sebastian ; ZERR,

- Walter: *Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen*. 3. Ausgabe. Darmstadt : Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, 2015 (KTBL-Heft 107)
- [32] DÖHLER, Helmut (Hrsg.): *Faustzahlen Biogas*. 3. Ausg. Darmstadt : KTBL, 2013
- [33] STATISTIK AUSTRIA: *Gliederung Österreichs in Gemeinden, historisiert seit 2011*
- [34] BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS (Hrsg.): *Biokraftstoffe im Verkehrssektor 2018*. Wien, 2018
- [35] GABAUER, Wolfgang: *Landwirtschaftliche Biogasanlagen*. URL <https://www.zukunftsraumland.at/download/1633?v=1513003775> – Überprüfungsdatum 2020-11-24
- [36] HIMMEL, Wilhelm: *Projekt Biogasanlagenmonitoring Steiermark : Biogas-ExpertInnen-Stammtisch*. Schloss Seggau b. Leibnitz, 2007
- [37] LANDWIRTSCHAFTLICHES TECHNOLOGIEZENTRUM AUGUSTENBERG (LTZ) (Hrsg.): *Inhaltsstoffe von Gärprodukten und Möglichkeiten zu ihrer geordneten pflanzenbaulichen Verwertung : Projektbericht 2008*. 2008
- [38] RAUSSEN, Thomas ; KERN, Michael: *Optimale Aufbereitung von Gärresten aus der Bioabfallbehandlung : Ein Leitfaden*. Stuttgart, 2016
- [39] STARCEVIC, Nikica ; MARTINOV, Milan ; KRATZEISEN, Martin ; MAURER, Claudia ; MÜLLER, Joachim: *Emissionen bei der Verbrennung von Gärresten aus Biogasanlagen*. In: *Landtechnik 64* (2009), Nr. 2, S. 92–94
- [40] DENGEL, Andreas ; GROß, Bodo ; AUßENDORF, Yasmin: *Thermische Nutzung von getrocknetem Gärrest*. 2016
- [41] ZENG, Thomas ; BÜCHNER, Daniel ; BISCHOFF, Jens ; SCHNEIDER, Andreas: *Beurteilung der thermischen Nutzung von Biomassepellets aus Gärresten*. Leipzig, 2012
- [42] BIOLLAZ, Serge M. (Hrsg.); SCHILDHAUER, Tilman J. (Hrsg.): *Synthetic natural gas from coal, dry biomass, and power-to-gas applications*. Hoboken, New Jersey : John Wiley & Sons Inc, 2016
- [43] BUNDESFORSCHUNGS- UND AUSBILDUNGSZENTRUM FÜR WALD, NATURGEFAHREN UND LANDSCHAFT (Hrsg.): *BFW Praxis Information : Waldinventur 2007/09*. Wien, 2011 (24)
- [44] BUNDESFORSCHUNGS- UND AUSBILDUNGSZENTRUM FÜR WALD, NATURGEFAHREN UND LANDSCHAFT: *Österreichische Waldinventur*. URL <http://bfw.ac.at/rz/wi.auswahl?cros=2> – Überprüfungsdatum 2017-10-19

- [45] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (Hrsg.): *LWF-Merkblatt 12 : Der Energieinhalt von Holz*. 2014 (12)
- [46] FORSTLICHE AUSBILDUNGSSTÄTTE OSSIACH (Hrsg.): *Planung der Waldbewirtschaftung : "Waldbewirtschaftung für Einsteiger" Modul 1*. Zeitgemäße Waldwirtschaft Seite 145
- [47] STATISTICS AUSTRIA: *Energy balances*. URL
https://www.statistik.at/web_en/statistics/EnergyEnvironmentInnovationMobility/energy_environment/energy/energy_balances/index.html. – Aktualisierungsdatum: May 25th, 2018 – Überprüfungsdatum November 6th, 2018

ANHANG A

Microsoft Excel-Dokument „*Technische Potentiale an erneuerbaren Gasen und Biomassen der Steiermark auf Gemeindeebene*“

Dieses Dokument wird elektronisch übermittelt.