

Christa Dißauer

Barbara Rehling

Christoph Strasser

Machbarkeitsuntersuchung Methan aus Biomasse

Datum 25. März 2019

Nummer 902 TR C410580

Mitarbeit Christa Dißauer

christa.dissauer@bioenergy2020.eu

Barbara Rehling

barbara.rehling@bioenergy2020.eu

Christoph Strasser

christoph.strasser@bioenergy2020.eu

Firmenpartner Fachverband der Gas- und
Wärmeversorgungsunternehmen

Österreichischer Biomasseverband

Projektnummer C410580-preBioEcon

Projektlaufzeit 01.September 2018 – 31.März 2019

BIOENERGY 2020+ GmbH

Standort Wieselburg

Gewerbepark Haag 3
A 3250 Wieselburg-Land
T +43 (0) 7416 52238-10
F +43 (0) 7416 52238-99
office@bioenergy2020.eu
www.bioenergy2020.eu

Firmensitz Graz

Innfeldgasse 21b, A 8010 Graz
FN 232244k
Landesgericht für ZRS Graz
UID-Nr. ATU 56877044



Bericht

Inhalt

1	Einleitung	4
2	Synthese von BioSNG auf Basis von Biomassewirbelschichtvergasung	6
2.1	Vergasungssysteme	6
2.1.1	Dual fluidized bed (DFB) gasification	6
2.1.1.1	Stand der Technik	6
2.1.2	Gasreinigung	11
2.2	Synthese von BioSNG (Synthetic Natural Gas)	12
2.2.1	Grundlagen	12
2.2.2	Stand der Technik	12
2.2.3	Erdgas Qualität	16
2.3	Daten	17
2.3.1	Berechnungsinput Vergasung	17
2.4	Wirtschaftlichkeitsberechnung	17
2.4.1	Methoden der Wirtschaftlichkeitsberechnung	18
2.4.1.1	Gesamtkapitalrendite (ROI)	18
2.4.1.2	Kapitalwert	18
2.4.1.3	Amortisationszeit	19
2.4.2	Berechnungsinput	19
2.4.2.1	Kosten	19
2.4.2.2	Erlöse	21
2.4.3	Kapitalwerte, ROI, Amortisationszeit	22
2.4.3.1	Sensitivitätsanalyse	23
2.5	Zusammenfassung Synthesegaserzeugung aus Biomasse	24
3	Biomassepotentiale	26
3.1	Methodische Vorgehensweise	26
3.2	Forstliche Holzbiomasse	26
3.2.1	Der österreichische Holzmarkt	26
3.2.2	Holzpotalential aus dem Wald	32
3.3	Altholz	34
3.3.1	Begriffsbestimmung und Herkunft	34
3.3.2	Altholzpotalential	37
3.4	Kurzumtriebsholz	40
3.4.1	Landwirtschaftliche Aspekte	40
3.4.2	Biomassepotential Kurzumtriebsholz	41
3.5	Stroh	43

3.5.1	Landwirtschaftliche Aspekte	43
3.5.2	Strohpotential in Österreich	44
3.6	Ermittlung des Potentials von sonstigen agrarischen Roh- und Reststoffen	45
3.6.1	Miscanthus	46
3.6.1.1	Landwirtschaftliche Aspekte	46
3.6.1.2	Biomassepotential Miscanthus	46
3.6.2	Weinrebschnitt	48
3.6.2.1	Landwirtschaftliche Aspekte	48
3.6.2.2	Biomassepotential Weinrebschnitt	49
3.6.3	Maisspindel	50
3.6.3.1	Landwirtschaftliche Aspekte	50
3.6.3.2	Biomassepotential Maisspindel	50
3.6.4	Rübenblätter	51
3.7	Biogene Abfälle	52
3.8	Klärschlamm und Wirtschaftsdünger	54
3.9	Kunststoff	55
3.10	Zusammenfassung Biomassepotentiale	57
3.10.1	Biomassepotential in t Trockensubstanz	57
3.10.2	Potential Methanerträge	60
4	Verzeichnisse	63
4.1	Tabellenverzeichnis	63
4.2	Abbildungsverzeichnis	64

1 Einleitung

Im Rahmen dieser zusammenfassenden Machbarkeitsstudie werden Untersuchungen zum Biomassepotential in Österreich im Jahr 2050 sowie der Synthese von BioSNG¹ auf Basis der Biomassewirbelschichtvergasung durchgeführt. Dabei werden verschiedene Vergasungsverfahren, welche durch den Reaktortyp charakterisiert sind, dargestellt. Bedingt durch das homogene Temperaturprofil, welches in einem Wirbelschichtvergaser gegeben ist und die dadurch gegebene einfache Regelbarkeit des Prozesses, stellt sich die Wirbelschicht als vorteilhaft im Vergleich zu Flugstromvergasern dar, welche durch das hohe Temperaturniveau einen höheren technischen Aufwand mit sich bringen und daher für Anlagen mit großen Brennstoffwärmeleistungen zu bevorzugen sind. In weiterer Folge wird auf den DFB Prozess und dessen Weiterentwicklung, den G-Volution Vergaser eingegangen, welcher den Vorteil eines größeren einzusetzenden Brennstoffspektrums aufweist.

Für die Ermittlung des Biomassepotentials werden neben den klassischen zellulosehaltigen Roh- und Reststoffen, die für die thermische Vergasung verwendet werden, auch Roh- und Reststoffe betrachtet, welche typischer Weise in einer Biogasanlage zu Biomethan umgesetzt werden. Folgende Roh- und Reststofffraktionen werden für die Ermittlung des Biomassepotentials betrachtet:

- Altholz
- Sägenebenprodukte
- Kurzumtrieb
- Getreidestroh
- Mais- & Rapsstroh
- Rübenblätter
- Maisspindel
- Rebschnitt
- Biogene Abfälle
- Klärschlamm
- Wirtschaftsdünger
- Miscanthus

Wesentliche Voraussetzung zur tatsächlichen Mobilisierung der Biomassepotentiale ist die Durchführung folgender Maßnahmen:

- Sinnvolle und effiziente Kaskadennutzungen
- Nutzung von Reststoffen und Abfällen aus allen Bereichen (Biotonne, biogener Anteil Restmüll, Klärschlamm, Gülle, Schlachtabfälle, etc.)
- Aufrechterhaltung oder sogar Ausbau der Sägeindustrie in Österreich
- Verstärkter Holzbau
- Weitere Mobilisierung der Kleinwaldbesitzer

¹ BioSNG (Bio-Synthetic Natural Gas), ein Synthesegas, wird durch Vergasung von zellulosehaltigen Materialien (z. B. forst- und landwirtschaftliche Reststoffe, Energiepflanzen) erzeugt. BioSNG kann auf ähnliche Weise verwendet werden wie Biomethan (Biogas), das durch anaeroben Abbau gewonnen wird.

- Biomasseverwertung im Inland erhöht das Aufkommen der Reststoffe
- Renaturierung/Sanierung von brachliegenden Gewerbe und Industrieflächen
- Nutzung von Grünlandbrachflächen
- Reduzierung der Flächenversiegelung

2 Synthese von BioSNG auf Basis von Biomassewirbelschichtvergasung

2.1 Vergasungssysteme

Ein Unterscheidungsmerkmal für Vergaser stellt der Reaktortyp dar. Es kann zwischen Fixbettvergasern, Wirbelschichtvergasern sowie Flugstromvergasern unterschieden werden. Im Vergleich zu Wirbelschichtvergasern, findet in Fixbettvergasern keine Partikelbewegung statt. Die Vorteile der Wirbelschicht, welche durch den guten Feststoff-Partikelkontakt entstehen, sind ein homogenes Temperaturprofil (700-900°C) über den Reaktor und dadurch in weiterer Folge eine einfache Regelbarkeit des Prozesses. Daneben existieren noch Flugstromvergaser, in welche klein gemahlener oder pastöser biogener Brennstoff gemeinsam mit dem Vergasungsmittel bei Temperaturen von 1200°C bis max. 2000°C zugeführt wird. Innerhalb weniger Sekunden wird der zugeführte Brennstoff bedingt durch die hohen Temperaturen und die geringe Partikelgröße nahezu vollständig vergast, wodurch sich hohe Vergaserleistungen erzielen lassen. Der hohe technische Aufwand zum Handling der hohen Temperaturen bedingt jedoch, dass Flugstromvergaser nur für Anlagen mit großem Maßstab sinnvoll eingesetzt werden können.²

2.1.1 Dual fluidized bed (DFB) gasification

2.1.1.1 Stand der Technik

In Wirbelschichtvergasern befindet sich ein Bettmaterial, welches fluidisiert wird und somit als Wärmeüberträger und gegebenenfalls als Katalysator wirkt. Biomasse wird über ein Fördersystem in die Wirbelschicht gebracht, während das Vergasungsmittel über einen Düsenboden mit einer Geschwindigkeit eingeblasen wird, die größer als die Lockerungsgeschwindigkeit des Bettmaterials ist. Bedingt durch die gute Durchmischung und daraus folgend ausgezeichnete Wärmeübertragung auf den Brennstoff bilden sich keine lokalen Zonen der thermochemischen Umwandlung aus. Die Betriebstemperatur liegt üblicherweise zwischen 700–900 °C. Die atmosphärische Vergasung in stationärer Wirbelschicht kann als Stand der Technik angesehen werden. Im Fall, dass die Gasgeschwindigkeit die Schwebegeschwindigkeit der Partikel übersteigt, werden diese aus dem Vergaser ausgetragen, sodass eine Partikelrückführung notwendig ist und es baut sich eine zirkulierende Wirbelschicht auf. Der apparative Aufwand einer zirkulierenden Wirbelschicht ist etwas aufwendiger als bei einer stationären Wirbelschicht, jedoch können mit diesem Verfahren hohe Querschnittsbelastungen erreicht werden.

² Kaltschmitt M., Hofbauer H., Hartmann H. „Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren“ Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2001, 200

Im DFB (Dual Fluidised Bed) System, wie in Abbildung 1 dargestellt, existieren zwei Wirbelschichten - eine stationäre und eine zirkulierende Wirbelschicht. Das zwischen den Wirbelschichten umlaufende Bettmaterial kommt als Wärmeüberträger für die endotherme Vergasungsreaktion zum Einsatz. Während in der einen Wirbelschicht der Brennstoff allotherm vergast wird, wird in der transportierenden Wirbelschicht der Pyrolysekoks, welcher mit den Bettmaterialpartikeln in die Brennkammer transportiert wurde, mit Luft verbrannt. Das hierdurch aufgeheizte Bettmaterial stellt die für die Vergasung notwendige Energie bereit. Diese Verwertung des anfallenden Koks, liefert den Vorteil, dass eine Entsorgung nicht nötig ist. Mit diesem Verfahren kann ein nahezu stickstoffreies Produktgas erzeugt werden, welches einen hohen Heizwert aufweist und nebenbei auch für den Einsatz als Synthesegas interessant ist.³

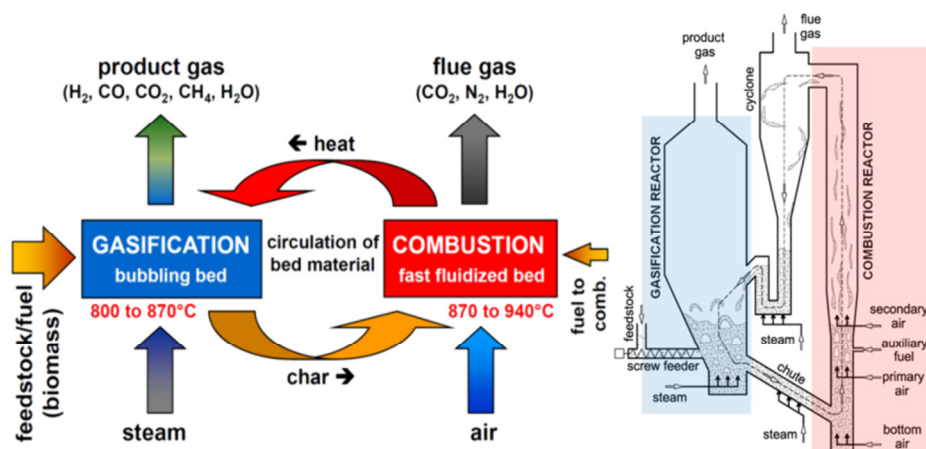


Abbildung 1: Funktionsprinzip der DFB-Vergasung⁴

Entwickelt wurde das DFB Verfahren an der TU Wien⁵. Abbildung 2 (links) zeigt den Versuchsvergaser mit einer Brennstoffwärmeleistung (BWL) von 100kW, welcher zum Vergasen von Festbrennstoffen (Biomasse, Kohle, biogene Reststoffe, u.a.) bzw. für die Variation der Prozessführung eingesetzt werden kann. Mittig der Abbildung 2 sind die Demonstrationsanlage Güssing mit einer BWL von 8MW, sowie Oberwart (BWL = 8,5MW) zu sehen⁶. Die Holzgasanlage Senden⁷ weist eine BWL von 14,5MW auf und ist in Abbildung 2 rechts dargestellt.

³ Hofbauer H., Veronik G., Fleck T., Rauch R. „The FICFB gasification process“ Bridgwater AV. Boocock D (eds) Developments in thermochemical biomass conversion, vol 2, Blackie Academic & Professional, Glasgow, UK, 1997

⁴ Schmid C., Pröll T., Diaz I., Hafner C., et. al. „G-VOLUTION Biomasse-Dampfergaser der zweiten Generation“ neue Energien 2020, publizierbarer Endbericht, (2011)

⁵ Hofbauer H., Veronik G., Fleck T., Rauch R. „The FICFB gasification process“ Bridgwater AV. Boocock D (eds) Developments in thermochemical biomass conversion, vol 2, Blackie Academic & Professional, Glasgow, UK, 1997

⁶ www.bioenergy2020.eu

⁷ www.repotec.at



Abbildung 2: Wirbelschichtvergasung TU Wien, Oberwart, Güssing, Senden

Abbildung 3 zeigt die historische Entwicklung des DFB Systems von der Laboranlage an der Technischen Universität Wien (A) bis hin zur kommerziell genutzten Anlage in Senden (D), wobei die die Größenunterschiede zwischen den oben dargestellten Kraftwerken repräsentiert werden.

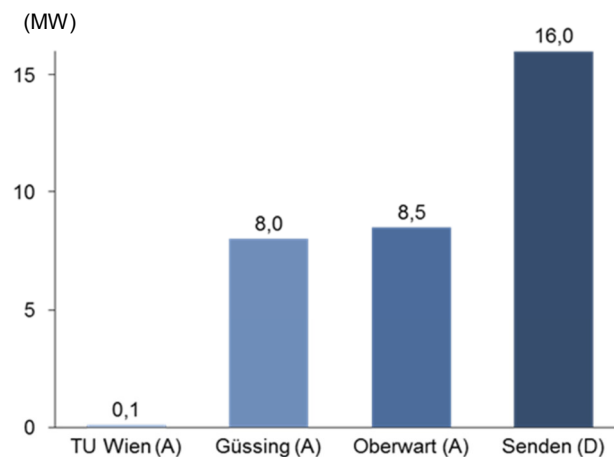


Abbildung 3: Entwicklung DFB System: von Labor- zu Demonstrations- und kommerziellen Anlagen

Eine Weiterentwicklung des DFB Vergasersystems stellt der G-Volution Vergaser (siehe Abbildung 4) dar. Ziel des neuen Reaktordesigns war neben einer Reduktion von Teerablagerungen im Produktgasweg, die Erweiterung des Anwendungsgebiets - der G-Volution Vergaser sollte für den Einsatz einer großen Brennstoffpalette geeignet sein.

Beim sogenannten „Güssing-Vergaser“ (DFB –System) ist der Gaserzeuger als blasenbildende, stationäre Wirbelschicht ausgeführt, wobei der Gas/Feststoffpartikelkontakt, der für den Teerabbau wesentlich ist, in der Wirbelschicht stattfindet. Im darüber liegenden Freiraum dagegen ist nur ein geringer Feststoffgehalt zu verzeichnen, wodurch es zu Problemen mit Teerablagerungen im Produktgasweg kommen kann, wenn feinkörnige Partikel in den Freiraum ausgetragen werden und unvollständig reagieren.

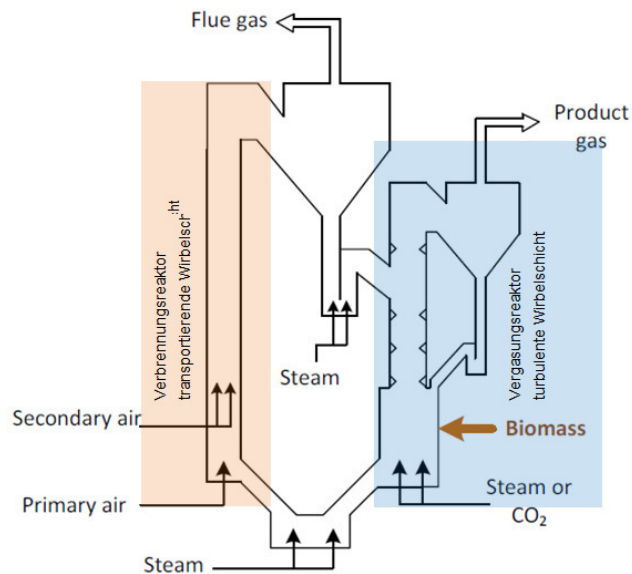


Abbildung 4: G-Volution Vergaser (in Anlehnung an⁸⁾)

Daher wurden Untersuchungen durchgeführt, wobei positive Auswirkungen einer Erhöhung der Fluidisierungsgeschwindigkeit in den Bereich der turbulenten bis schnellen Wirbelschicht festgestellt werden konnten. Dadurch verbessert sich der spezifische Gas/Feststoffkontakt wesentlich.

Dies bedingt einige Vorteile, zum Beispiel, dass durch das Verschwinden des Freiraums zugunsten einer mit Feststoff beaufschlagten Zone katalysierte Reaktionen ablaufen können, welche zur vollständigen Umsetzung feinkörniger Brennstoffanteile beitragen können. Dadurch wird eine Reduktion des Reaktionsvolumens des Gaserzeugers ermöglicht, was eine Maßstabsvergrößerung erleichtert.

Eine weitere Anforderung, welche an das neue System gestellt wurde, ist die Möglichkeit des Einsatzes verschiedener Brennstoffe, wie z.B.: biogene Reststoffe, kommunale Reststoffe und Reststoffe aus der Industrie.⁹

Dies kann durch die Entwicklung der Vergaserwirbelschicht mit mehreren Reaktionszonen, welche eine Gegenstromführung von Partikel und Gasen aufweisen, gewährleistet werden, da sich durch die multiplen Reaktionszonen der Partikelanteil und in weiterer Folge der katalytisch aktive Bettmaterialanteil erhöht. Des Weiteren können die Eintrittsquerschnitte der Reaktionszonen im laufenden Betrieb angepasst, sowie Brennstoffe ihren Eigenschaften entsprechend an verschiedenen Stellen in den Vergasungsreaktor gefördert werden. Die schonende Entfernung und Rezyklierung von Grobpartikeln mittels Kammerabscheidern ermöglicht den Einsatz von weichen Bettmaterialien wie Kalkstein/Kalzit. Die katalytisch hoch aktiven Feinpartikeln werden über im Produktgasweg eingesetzte Zyclone abgeschieden und im

⁸ Schmid C., Pröll T., Diaz I., Hafner C., et. al. „G-VOLUTION Biomasse-Dampfvergaser der zweiten Generation“ neue Energien 2020, publizierbarer Endbericht, (2011)

⁹ Schmid C., Müller S., Kolbitsch M., Tesch W., Hofbauer H., „G-VOLUTION II Zweibettwirbelschicht Biomasse-Dampfvergaser der zweiten Generation II“, neue Energien 2020, publizierbarer Endbericht, (2015)

Reaktor belassen. Die Ausbringung von Grob- sowie Feinasche ist im unteren Teil des Vergasers möglich.

Mittels des innovativen Vergasersystems kann durch den Einsatz von verschiedenen Festbrennstoffen aus regenerativen Energiequellen wie Biomasse und biogenen Reststoffen, aber auch aus Industrieabfällen ein heizwertreiches Gas hergestellt werden.

Zudem kann die Vergasertechnologie dazu genutzt werden, CO_2 aus fossilen Festbrennstoffen (Kohle) für die Abscheidung vorzubereiten.

2.1.2 Gasreinigung

Dem Vergasungsteil nachgeschaltet befindet sich die Gasreinigung, in welcher das Synthesegas auf Bedingungen für den Einsatz im Synthesereaktor gebracht wird. Dazu müssen in Summe die Schwefelkomponenten auf <1ppm entfernt werden, da Schwefel ein Katalysatorgift darstellt. Des Weiteren werden Feststoffe entfernt und Teerkomponenten auskondensiert.

Zum Einsatz kommen ein Filter zur Staubabscheidung (siehe Abbildung 5), ein zweistufiger RME Wäscher, ein Aktivkohlebett, sowie ein Zinkoxidbett als Polzeifilter für H₂S. Diese Abfolge der Gasreinigung hat sich im Einsatz mit verschiedenen Synthesereaktionen, wie Methanierung und Fischer Tropsch bewährt, sodass auch eine zufriedenstellende Aufbereitung des Synthesegases für die Methanisierungssynthese zu erwarten ist.¹⁰

Als Filter zur Staubabscheidung kommen üblicherweise zwei Gewebefilter zum Einsatz, welche alternierend abgereinigt werden. Der RME Wäscher ist in Form einer Kolonne mit strukturierten Packungen der Firma Sulzer konzipiert. In einer ersten Stufe wird das mittels der Vergasung hergestellte Produktgas von unten in den Wäscher eingebracht. Im Gegenstrom dazu fließt RME bei einer Temperatur von ca. 40°C. In einer zweiten Stufe wird das Produktgas mit kühlerem RME, wiederum in einer bepackten Wäscher Kolonne im Gegenstrom gereinigt. Ein RME Stripper kommt zur Aufbereitung des RME zum Einsatz und hilft, den Strom des Frisch-RME klein zu halten. Mittels dieses RME-Wäscher Systems gelingt es, das Produktgas zu trocknen, Teere, sowie Schwefelkomponenten sowie andere für den Katalysator schädliche Komponenten abzuscheiden.

Ebenfalls im Gegenstrom betrieben wird ein Aktivkohlebett, welches zur Abscheidung von Schwefelkomponenten sowie den Aromaten Benzol, Toluol und Xylene (BTX) dient. Die Implementierung von 2 Aktivkohlebehältern, wobei die Aktivkohlebetten jeweils alternierend betrieben und regeneriert werden, erweist sich als wirtschaftlich sinnvoll.

Das Zinkoxidbett dient als Polzeifilter für Schwefelwasserstoffe, welche ein großes Schädigungspotential für den Katalysator aufweisen.

¹⁰ Fuchs M. "Polygeneration – Gas Cleaning and Gas Analytics for Syngas Applications" PhD Thesis, Vienna University of Technology, 2010

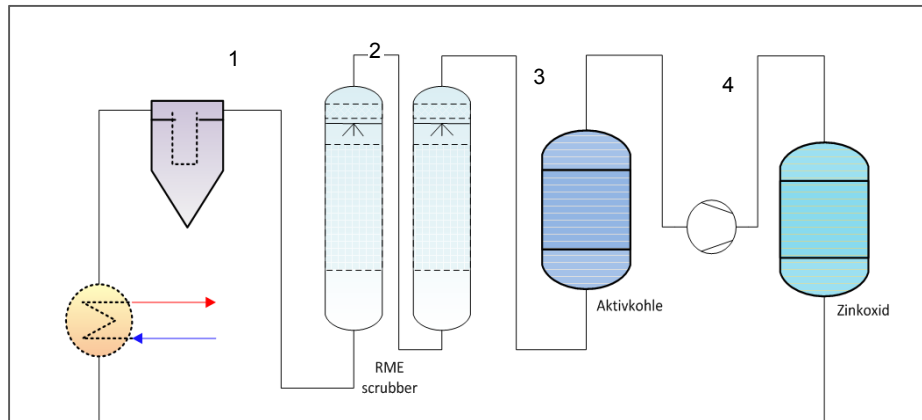


Abbildung 5: Prozesskette Gasreinigung: 1.Filter, 2.RME Wäscher, 3. Aktivkohle, 4. Zinkoxid

2.2 Synthese von BioSNG (Synthetic Natural Gas)

2.2.1 Grundlagen

Die Methanisierung beruht auf den von Sabatier und Senderens im Jahr 1902 nachgewiesenen Reaktionen:



Diese Reaktionen beschreiben die stark exotherm ablaufende Methanisierung von CO und CO₂, daneben läuft die Wasser-Gas-Shift Reaktion ab.



Üblicherweise kommen für die Methanisierung Nickelkatalysatoren zum Einsatz, da diese über eine hohe Selektivität bezüglich CH₄, eine hohe katalytische Aktivität sowie vergleichsweise niedrige Kosten aufweisen.¹¹

2.2.2 Stand der Technik

In Bezug auf die Methanisierung von Produktgas aus Vergasungsprozessen existieren 3 Systeme: Fixbettmethanisierung, Wirbelschichtmethanisierung und 3-Phasen-Methanisierung.

¹¹ Dace, E.; Rusanova, J.; Gusca, J.; Blumberga, D. "Selecting a Catalyst for Methanation Process: Technical and Economic Performance Based TOPSIS Analysis" In Proceedings of the 27th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems (ECOS 2014), Turku, Finland, 15–19 June 2014; Volume 1

Kommerziell wird hauptsächlich die Fixbettmethanisierung eingesetzt¹², wobei es mehrere Firmen gibt, die dieses System vertreiben.¹³ Des Weiteren stellt dieses System den Stand der Technik als Bestandteil der Gasreinigung für z.B. Ammoniakanlagen dar.¹⁴

Gobigas TREMP Prozess

Die Gobigas-Anlage basiert auf DFB Vergasung – einem Scale Up der Güssinger Biomassewasserdampfvergasung. Die Methanisierung wurde dem Stand der Technik nach dem Haldor-Topsoe Prinzip (TREMP) als Scale down designed. Als Einsatzstrom können Holzpellets, Holz hackschnitzel oder Waldrestholz herangezogen werden. Das mittels Vergasung produzierte Produktgas wird gekühlt und Partikel werden mittels eines Filters entfernt und in weiterer Folge einem Gaswäscher, welcher mit RME betrieben wird, zugeführt. Im Produktgas verbleibende BTX-Komponenten (Benzol, Toluol und Xylene) werden in einem mit Aktivkohle gefüllten Behälter abgeschieden. Weitere Aufreinigungsschritte sind nötig, um das Produktgas auf die Methanisierungsreaktion vorzubereiten. Mittels Kompressor wird ein Druck von 16 bar eingestellt. CO₂ wird aus dem Produktgas entfernt und kann an anderer Stelle genützt werden. In einem weiteren Absorberbett, gefüllt mit Zinkoxid, wird zum Schutz des Katalysators H₂S entfernt. Wasserdampf wird dem Produktgas zugesetzt, um die Wasser-Gas-Shift Reaktion zu unterstützen. Diese läuft in einem separaten Reaktor bei 300°C ab, wobei das H₂/CO Verhältnis von 1,7 auf >3 eingestellt wird. Anschließend wird ein Teil des CO und CO₂ in einem Pre-Methanisierungsreaktor zu Methan konvertiert. Bei dieser stark exothermen Reaktion steigt die Temperatur auf rund 680°C. In einem finalen Prozessschritt findet der TREMP-Prozess – eine 4-stufige Methanisierung mit Trocknung zwischen den einzelnen Reaktoren – statt. Dieser Prozess wurde für die Herstellung von Biomethan auf der Grundlage von Kohlevergasung entwickelt. Eine Reinheit von >96% Methan kann mittels TREMP Methanisierung und anschließender Trocknung erreicht werden.¹⁵

Methanisierung im Wirbelschichtreaktor PSI/CTU

Ein Wirbelschichtreaktor (COALA) wurde vom Schweizer Forschungsinstitut PSI im Jahr 2003 entwickelt und aufgrund von günstigen Charakteristika des Produktgases aus der DFB Vergasung in Güssing, welches ein für die Synthese vorteilhaftes H₂/CO Verhältnis, nebst eines niedrigen Stickstoffgehalts aufweist, in Güssing getestet.

¹² Lehner, M. "Power-to-Gas: Technology and Business Models"; Springer Briefs in Energy; Springer: Cham, Switzerland; Heidelberg, Germany, 2014

¹³ Rönsch, S.; Schneider, J.; Matthischke, S.; et.al "Review on methanation—From fundamentals to current projects" Fuel 2016, 166, 276–296, doi:10.1016/j.fuel.2015.10.111

¹⁴ Kopyscinski, J.; Schildhauer, T.J.; Biollaz, S.M.A. "Production of synthetic natural gas (SNG) from coal and dry biomass—A technology review from 1950 to 2009" Fuel 2010, 89, 1763–1783, doi:10.1016/j.fuel.2010.01.027

¹⁵ Alamia A. "Large scale production and use of biomethane" Chalmers University of Technology, Göteborg (S) 2016

Basierend auf den Ergebnissen, welche mit COALA erzielt wurden, wurde eine 10kW Laboranlage namens COSYMA entwickelt und im Jahr 2009 umgesetzt. In dieser Laboranlage wurden Tests zur Katalysatorstabilität durchgeführt und schlussendlich konnte ein Versuch über 1000 Stunden erfolgreich abgeschlossen werden.¹⁶ Aufgrund dieser ermutigenden Ergebnisse wurde die 1MW Pilot- und Demonstrationsanlage geplant und im Jahr 2009 in Güssing errichtet.



Abbildung 6: 1MW BioSNG Pilot- und Versuchsanlage

¹⁶ Biollaz S., Seemann M., Schildhauer T. J., Stucki S. „Methan-aus-Holz: Phase 1 - Erzeugung von synthetischem Erdgas aus Holz zur Nutzung als Biotreibstoff (CNG/CMG)“, Schlussbericht zu Projektnummer 100138, Vertrag Nr. 150171, (2005) Available at: www.bfe.admin.ch

Die BioSNG PDU konnte im Versuchsbetrieb einen chemischen Wirkungsgrad von 82% erreichen. Trotz eines an der BioSNG Tankstelle gemessenen Methangehaltes von 94,4% (Soll = 96%) konnte das Kriterium für die Einspeisung ins Erdgasnetz erfüllt werden, da das produzierte BioSNG einen Brennwert von 10,7kWh/m³ aufwies. Ein Versuch, bei welchem innerhalb des DFB Vergasungsprozesses zum Inertisieren Kohlendioxid, welches nach der Methanierung prozessbedingt anfällt und daher entfernt werden muss, an Stelle von Stickstoff verwendet wurde, führte zu einer Anhebung des Methangehalts im BioSNG um ca. 2% und damit zu einer Steigerung des Heizwertes.¹⁷

Abbildung 7 zeigt schematisch die Prozesskette der Biomassevergasung (mit dem innovativen G-Volution Reaktor) und Methanierung im Wirbelschichtreaktor mit den nötigen Gasreinigungsschritten, sowie der Aufbereitung des Roh-SNG.

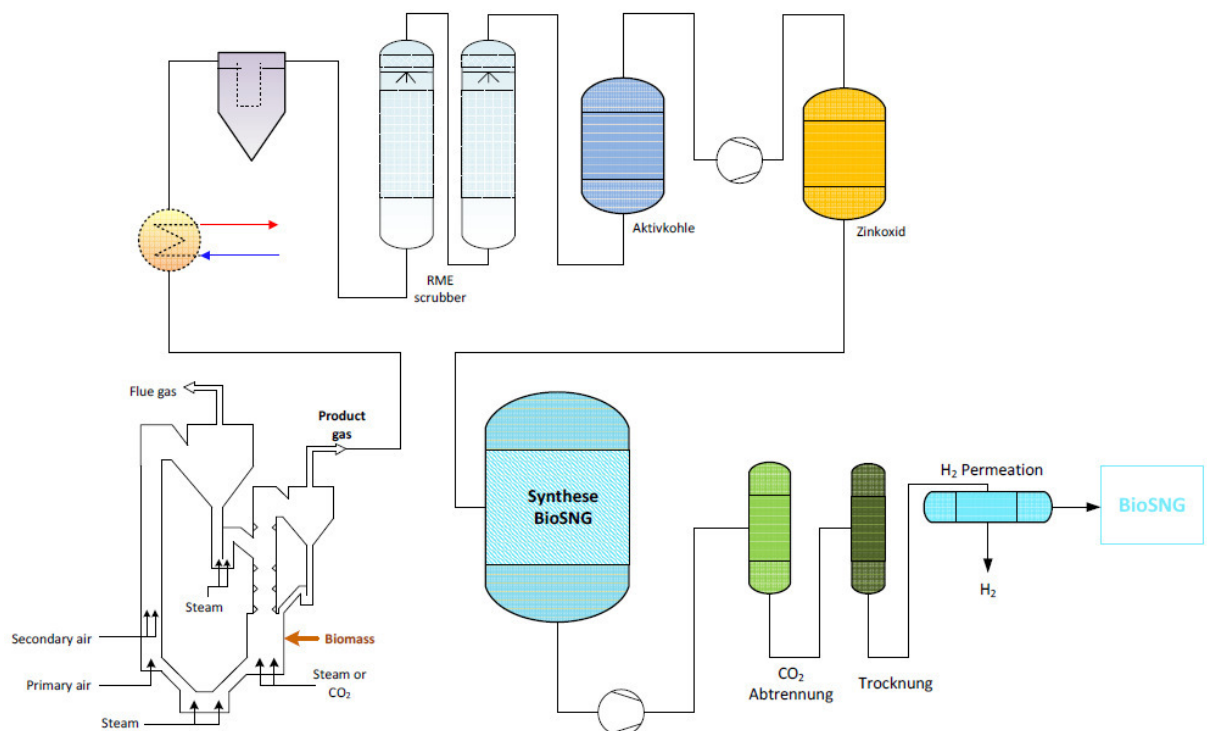


Abbildung 7: Prozesskette: Biomassevergasung & Methanierung

¹⁷ Rehling B. "Development of the 1MW Bio-SNG plant, evaluation on technological and economical aspects and upscaling considerations" Dissertation an der TU Wien, (2012)

2.2.3 Erdgas Qualität

Prinzipiell muss das Erdgas, welches ins österreichische Erdgasnetz eingespeist werden soll, Qualitätserfordernissen entsprechen, welche durch die ÖVGW-Richtlinie G31, Ausgabe Mai 2001, geregelt sind.¹⁸ Des Weiteren müssen die Erfordernisse der ÖVGW Richtlinie G 33 eingehalten werden.

Tabelle 1: Erfordernisse zu brenntechnischen Eigenschaften lt. ÖVGW G31

Brenntechnische Daten	
Wobbe-Index	13,3 – 15,7 kWh/m ³
Brennwert	10,7 – 12,8 kWh/m ³
Relative Dichte	0,55 – 0,65

Der Wobbe Index ergibt sich aus der Division vom Brennwert durch die Wurzel der relativen Dichte. Er gibt einen Anhaltspunkt zur Austauschbarkeit von Gasen ohne bauliche Veränderungen am Brenner.

Der Brennwert setzt sich aus der Verbrennungswärme sowie der Kondensationswärme der Verbrennungsprodukte (Abgase bzw. Wasserdampf; Bezugstemperatur =25°C) zusammen.

Die relative Dichte bezeichnet das Verhältnis der Dichte des getrockneten Gases zur Dichte von trockener Luft unter gleichen Zustandsbedingungen, woraus ersichtlich wird, um wie viel schwerer oder leichter das Gas im Vergleich zur Luft ist.

Des Weiteren in der ÖVGW 31 geregelt sind Gasbegleitstoffe. Dieses sind hauptsächlich Kohlenwasserstoffe. Diese müssen begrenzt werden, da durch Kondensation dieser Kohlenwasserstoffe Öle entstehen, welche zu Verrußung und Verstopfung im Gasbrenner führen können. Weitere Begleitstoffe, deren Grenzwerte reglementiert sind, sind Kohlendioxid, Wasser, Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff, Gesamtschwefel, Schwefelwasserstoff, Halogenverbindungen, Mercaptanschwefel, Kohlenstoffoxidsulfid. Von Ammoniak, Fest- und Flüssigbestandteilen muss das Gas technisch frei sein.

In der ÖVGW G33 wird die Messung des Methangehaltes, des Schwefelwasserstoffgehalts, sowie des Wassertaupunktes geregelt. Diese Werte müssen kontinuierlich gemessen werden. Weitere Werte, die gemessen werden müssen, bzw. der Druck, mit welchem das Gas eingespeist werden soll, müssen mit dem Netzbetreiber abgestimmt und in einer Netznutzungsvereinbarung festgelegt werden.

¹⁸ <http://www.biogas-netzeinspeisung.at/rechtliche-planung/einspeisung-in-das-oeffentliche-gasnetz/gaswirtschaftsgesetz.html>, abgerufen am 17.1.2019

2.3 Daten

2.3.1 Berechnungsinput Vergasung

Als Ausgangsprodukt für die Vergasung werden Biomassehackschnitzel mit einem Wassergehalt von 40% eingesetzt. Für diese Studie wurden einerseits eine Biomassevergasungsanlage mit einer Brennstoffwärmeleistung von 43,5MW und andererseits eine kleinere Biomassevergasungsanlage mit einer Brennstoffwärmeleistung von 10MW herangezogen. Dieser Einsatzstrom an Biomasse gelangt in die Wirbelschichtvergasung wo die Konversion zu Produktgas (mit der in Tabelle 2 angegebenen repräsentativen) Zusammensetzung stattfindet.

Tabelle 2: Produktgaszusammensetzung

PG-Komponente	Einheit	
C ₂ H ₄	vol%	2,47
C ₃ H ₈	vol%	0,99
CH ₄	vol%	10,59
CO	vol%	24,74
CO ₂	vol%	20,20
H ₂	vol%	37,84
H ₂ O	vol%	1,05
N ₂	vol%	1,98
NH ₃	vol%	0,1

Nach dem die Biomasse den Vergasungsprozess und das hierbei generierte Produktgas die Gasreinigung und danach den Methanierungsprozess (vgl. Abbildung 7) mit anschließender Gasaufbereitung durchlaufen hat, erhält man ein synthetisches Erdgas (BioSNG), welches die Erfordernisse der Richtlinien ÖVGW G31 und ÖVGW G33 erfüllt und somit ins öffentliche Erdgasnetz eingespeist werden kann.

2.4 Wirtschaftlichkeitsberechnung

Basierend auf Erfahrungswerten wurde eine Kostenschätzung für eine Wirbelschichtvergasung inklusive Gasreinigung und anschließender Methansynthese vollzogen.

Für die Biomassevergasung mit einer Brennstoffwärmeleistung von 43,5 MW mit nachfolgender Methanierung müssen, auf Erfahrungswerten von BIOENERGY2020+ basierend, 79,400,000 €, für die kleinere Anlage mit einer Brennstoffwärmeleistung von 10 MW 30,600,000 €, veranschlagt werden. Diese Summe beinhaltet die Biomasseförderung, die Planung, Errichtung

und Inbetriebnahme des Vergasers, sowie dazugehöriger Stahlbau, in weiterer Folge die Gasreinigung zur Aufbereitung des Produktgases und die Methansynthese inkl. Kompressoren, Synthesereaktor, und den entsprechenden Aggregaten zur Gasaufbereitung. Des Weiteren sind in den Investitionskosten die Kosten für Elektrotechnik, Mess-, Steuerungs und Regelungstechnik, Isolation und Verrohrung, das Wärmeverschiebesystem (Heiz- und Kühlkreisläufe) sowie die Kosten für die im Prozess nötigen Pumpen und Ventile enthalten.

Die Gasreinigung des Produktgases muss den Erfordernissen zum Einsatz eines Nickel-basierten Synthesekatalysators, welcher für die Herstellung von Methan zum Einsatz kommt, genügen. Um die Schädigung des Katalysators zu vermeiden, müssen Teer, Schwefelkomponenten und andere Komponenten aus dem Synthesegas entfernt werden.

2.4.1 Methoden der Wirtschaftlichkeitsberechnung

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurden die Methoden der Gesamtkapitalrendite (ROI) sowie der Kapitalwert herangezogen.

2.4.1.1 Gesamtkapitalrendite (ROI)

Die Gesamtkapitalrendite (ROI) stellt ein Instrument zur Bewertung von Investitionen dar. Mittels dieser Methode kann die Wirtschaftlichkeit von Anlagen verschiedener Größe miteinander verglichen werden. Die Kapitalrendite wird in Abhängigkeit von den Ausgaben, Einkünften und Investitionskosten bestimmt, wobei ebenso der Fremdkapitaleinsatz in Betracht gezogen wird. Die Kapitalrendite (ROI) berechnet sich als Quotient aus den jährlichen Rückflüssen (Periodenüberschuß) und den Gesamtinvestitionskosten.

$$ROI = \frac{\text{jährlicher Periodenüberschuß}}{\text{Gesamtinvestitionskosten}} * 100 \quad [\%]$$

Investitionen, welche eine positive Gesamtkapitalrendite aufweisen bzw. Investitionen, welche eine vergleichbar höhere Gesamtkapitalrendite als andere Investitionen aufweisen, sind zu bevorzugen.

2.4.1.2 Kapitalwert

Die Kapitalwertmethode zählt zu den dynamischen Wirtschaftlichkeitsberechnungen. Eine Vergleichbarkeit von unterschiedlichen Investitionen wird durch Abzinsung aller Ein- und Auszahlungen, die zu beliebigen Zeitpunkten anfallen, auf den Beginn der Investition erreicht.

Die Kapitalwerte (C_0) wurden über folgende Formel berechnet:¹⁹

$$C_0 = -A_0 + \sum_{t=1}^n \left(\frac{A_t - E_t}{(1+i)^t} \right)$$

¹⁹ <https://www.financescout24.de/wissen/ratgeber/kapitalwertmethode>, abgerufen am 18.1.2019

ü.... Überschüsse = A-E

E.... Einzahlungen im Jahr der Investition

A.... Auszahlungen im Jahr der Investition

A₀... Anschaffungswert

i..... Zinssatz

t..... Jahr der Berechnung

n.....Betrachtungsdauer (=15 Jahre)

Im Falle, dass der Kapitalwert Null ergibt, bedeutet dies, dass der Investor sein eingesetztes Kapital inkl. Verzinsung in der Höhe des für die Berechnung herangezogenen Zinssatzes zurückbekommt. Ergibt sich ein Kapitalwert größer Null, so erhält der Investor einen Betrag, welcher die Investition inklusive Verzinsung zum Kalkulationszinssatz übersteigt. Ein negativer Kapitalwert bedeutet, dass die Anlage des eingesetzten Kapitals zum Kalkulationszinsfuß als wirtschaftlich besser einzustufen ist. Investitionsprojekte mit negativem Kapitalwert sind daher nicht vorteilhaft, da sie die geforderte Mindestverzinsung nicht erreichen.

Als Zinssatz für die Berechnung wird der 12 Monats-Euribor (= Euro Interbank Offered Rate) erhöht um 1% herangezogen. Die Werte für die 5 Euribor-Zinssätze werden aufgrund von Marktzinsen bestimmt, die von einer großen Anzahl europäischer Banken festgesetzt werden. Externe Faktoren, welche die Höhe der Euribor-Zinssätze stark beeinflussen, sind wirtschaftliche Umstände wie etwa das Wirtschaftswachstum, die Höhe der Inflation, die Kreditwürdigkeit sowie das gegenseitige Vertrauen der Banken und der Verbraucher. Der 12 Monats Euribor, welcher für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung herangezogen wurde, lag im Jänner 2019 bei -0,109 %. Erhöht um 1% ergab sich somit ein Kalkulationszinssatz von 0,891 %.²⁰

2.4.1.3 Amortisationszeit

Bei gleichbleibenden Periodenüberschüssen, erhält man die Amortisationszeit als Verhältnis der Investitionskosten geteilt durch den Periodenüberschuß (=Kehrwert des ROI).²¹

$$\text{Amortisationszeit} = \frac{\text{Gesamtinvestitionskosten}}{\text{jährlicher Periodenüberschuß}} \quad [a]$$

2.4.2 Berechnungsinput

2.4.2.1 Kosten

Einen der wesentlichsten Faktoren auf die Wirtschaftlichkeit stellt der Biomassepreis dar. Die Waldfläche sowie die Holzvorräte Österreichs steigen, sodass es sich als positiv für die Umwelt

²⁰ <https://de.euribor-rates.eu/was-ist-der-euribor.asp>, abgerufen am 18.1.2019

²¹ Kraus O. „Managementwissen für Naturwissenschaftler und Ingenieure: Leitfaden für die Berufspraxis“, Springer, 2010

darstellt, diese Energieholzreserven zu nutzen und fossile Energielieferanten wie Erdöl und Erdgas zu substituieren.²² Aus Aufzeichnungen im Jahr 2016 geht hervor, dass Waldhackgut mit 3,62ct/kWh den günstigsten Energieträger, verglichen zu elektrischem Strom, Heizöl extraleicht, Erdgas, Scheitholz und Pellets darstellt. Laut Biomasseverband²³ war der Preis für Waldhackgut im Dezember 2018 bei 3,32ct/kWh. Da davon ausgegangen werden kann, dass bei einer großen Abnahmemenge ein entsprechender Einkaufserfolg verzeichnet werden kann, wurde die Wirtschaftlichkeitsberechnung mit einem Preis von 2ct/kWh durchgeführt. Des Weiteren ist eine sinkende Tendenz des Biomassepreises, gestützt durch die große Menge von Schadholz durch Umwelteinwirkungen (Windwurf) sowie Borkenkäferbefall gegeben. Eine Sensitivitätsanalyse berücksichtigt Biomassepreise zwischen 1,8ct/kWh und 3,5ct/kWh

Neben den Biomassekosten, stellen die Betriebsmittelkosten einen großen Posten, gefolgt von den Wartungskosten, für welche eine Summe von 1% der Investitionskosten veranschlagt wurde, dar. Daneben müssen Reststoffentsorgungskosten sowie Strombezugskosten (für den elektrischen Eigenbedarf) und Personalkosten berücksichtigt werden.

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung wurden die jährlichen Betriebsstunden für das Kraftwerk, sowie die BioSNG-Synthese aufgrund von Erfahrungswerten mit 7500 Stunden und eine Betrachtungsdauer von 15 Jahren angesetzt.

Die jährlichen Strombezugskosten wurden mit einem Strompreis von 9 ct/kWh berechnet und unterscheiden sich zwischen den betrachteten Referenzanlagen ca. um den Faktor 3, da es Anlagenbauteile gibt, die unabhängig vom Anlagenmaßstab Strom verbrauchen. Ein Beispiel dessen stellen die Apparate zur Elektro-, Mess- und Regelungstechnik dar. Des Weiteren sind eine bestimmte Anzahl von Pumpen, Kompressoren und Automatikventilen nötig, welche leistungsunabhängig zum Einsatz kommen müssen, um einen Anlagenbetrieb zu gewährleisten.

Tabelle 3 gibt eine Übersicht über die Kosten, welche für eine Biomassevergasung im Maßstab von 43,5 MW (BWL) bzw. 10 MW (BWL) mittels Wirbelschichtvergasung und nachfolgender BioSNG-Erzeugung Berücksichtigung finden müssen.

Tabelle 3: Kosten DFB Vergasung + BioSNG-Erzeugung (BWL=43,5MW)

Anlagenmaßstab	43.5MW (BWL)	10MW (BWL)
Investitionskosten (€)	79,400,000	30,600,000.0
Betriebskosten		
Biomasse (€/kWh)	0.02	0.02
Brennstoffkosten/Jahr (€/a)	6,645,000	1,526,550
Betriebsmittelkosten (€/a):	804,135	232,678
Reststoffentsorgungskosten (€/a):	166,501	46,951
Strombezugskosten/Jahr (€/a)	897,075	288,518

²² Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft „Preisentwicklung der Energieholzsortimente Marktinformation Teil 3“ Wien, (2017)

²³ <https://www.biomasseverband.at/de/service/energietraegervergleich/>, abgerufen am 31.1.2019

Wartungskosten (€/a):	794,000	306,000
Personalkosten (€/a):	360,000	300,000
Betriebskosten gesamt (€/a)	9,666,710	2,700,697

In Summe müssen für die Prozesskette von Biomasse zu BioSNG jährliche Betriebskosten von 9.666.710 € bzw. 2.700.697 € veranschlagt werden.

2.4.2.2 Erlöse

Erzeuger von biogenen Gasen haben laut Gaswirtschaftsgesetz das Recht auf Nutzung des österreichischen Gasnetzsystems gegen Abgabe eines Netzzutrittsentgeltes. Mittels Prozesskette von Biomasse zu BioSNG sind aus einer Brennstoffwärmeleistung von 43,5MW bzw. 10MW Outputs von 30MW bzw. 6,6MW BioSNG zu gewinnen.

Es sind keine Vorgaben für die Vergütung des einzuspeisenden Biogas vorhanden, weshalb allgemeine Systemnutzungstarife herangezogen werden müssen. Somit wurde für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit ein Preis von 9ct/kWh angenommen. Die Erlöse aus dem Erdgasverkauf sind in Tabelle 4 dargestellt. Eine Sensitivitätsanalyse (siehe Kapitel 2.4.3.1) berücksichtigt Variationen dieses Preises zwischen 6ct/kWh und 11 ct/kWh.

Tabelle 4: Erlöse aus dem Erdgasverkauf sowie jährliche Überschüsse

Anlagenmaßstab	43.5MW (BWL)	10MW (BWL)
BioSNG erzeugt (MW)	30	6,6
Erdgaspreis (€/kWh)	0.09	0.09
Erlöse aus BioSNG-Verkauf (€/a)	20,250,000	4,442,175
Überschüsse (€/a)	10,583,290	1,741,478

2.4.3 Kapitalwerte, ROI, Amortisationszeit

Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung. Während sich die größere Anlage nach bereits 7einhalb Jahren amortisiert und mit einem Kapitalwert von 68.490.858€ eine positiv zu bewertende Investition darstellt, weist die Anlage mit kleinerem Maßstab eine Amortisationszeit von mehr als 17 Jahren, sowie einen negativen Kapitalwert auf. Wie in Kapitel 2.4.1 erklärt, stellt somit die Anlage größeren Maßstabs eine wirtschaftlich sinnvolle Investition dar, während der Anlage kleineren Maßstabs über die Betrachtungsdauer nicht rentabel betrieben werden kann.

Tabelle 5: Kapitalwert, ROI, Amortisationszeit

Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung	43.5MW (BWL)	10MW (BWL)
Kapitalwert	68,490,858	-6,264,589
ROI (%)	13	6
Amortisationszeit	7.5	17.6

Die Referenzanlagen wurden auf die Maximierung des BioSNG Outputs hin konzipiert. Wirtschaftliche Vorteile ergeben sich durch Erlöse von aus Synthesegas mittels Gasmotor erzeugtem Strom beziehungsweise aus der Auskoppelung von Überschusswärme als Fernwärme, wenn geeignete Abnehmer zur Verfügung stehen. Dies bedingt jedoch auch eine Verringerung des BioSNG Outputs und bedarf somit einer gesonderten Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.

2.4.3.1 Sensitivitätsanalyse

Eine Sensitivitätsanalyse wurde hinsichtlich des Brennstoffpreises sowie hinsichtlich der Erlöse für das einzuspeisende Erdgas durchgeführt. Abbildung 8 zeigt die Sensitivität hinsichtlich der Brennstoffkosten. Es ist klar ersichtlich, dass die Variation des Brennstoffpreises über den betrachteten Bereich die Wirtschaftlichkeit für die Anlage mit kleinerem Maßstab nicht ausreichend positiv beeinflussen kann, sodass kein Investitionsvorteil gegeben ist. Für die Anlage mit größerem Maßstab zeigt die Linie einen steileren Anstieg, da sich z.B. Personalkosten verglichen mit den Brennstoffkosten weniger stark auf die Wirtschaftlichkeit auswirken, als bei der Anlage kleineren Maßstabs.

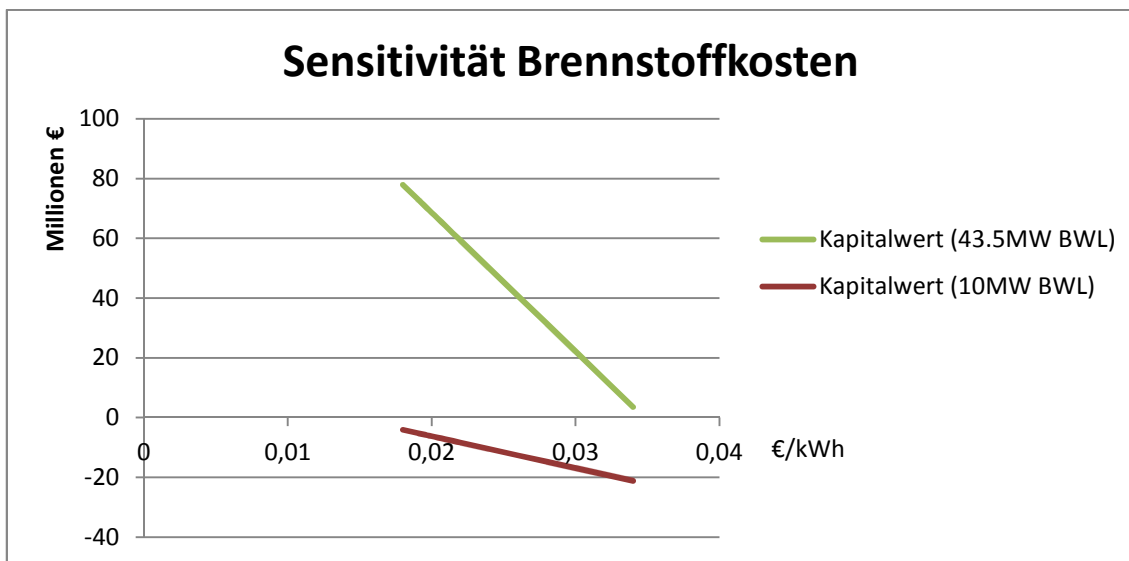


Abbildung 8: Sensitivitätsanalyse Brennstoffpreis

Abbildung 9 zeigt die Sensitivitätsanalyse hinsichtlich des Erdgaspreises. Es ist ersichtlich, dass eine positive Wirtschaftlichkeit für die Anlage kleineren Maßstabes erreicht werden kann, wenn für die kWh Erdgas 10Cent erreicht werden. Wiederum zeigt sich ein steilerer Anstieg der Sensitivität für die Anlage größeren Maßstabs, da die Erlöse einen größeren Posten, verglichen zu den Personalkosten, welche bei beiden Anlagenmaßstäben in ähnlicher Höhe angesetzt werden müssen, darstellen.

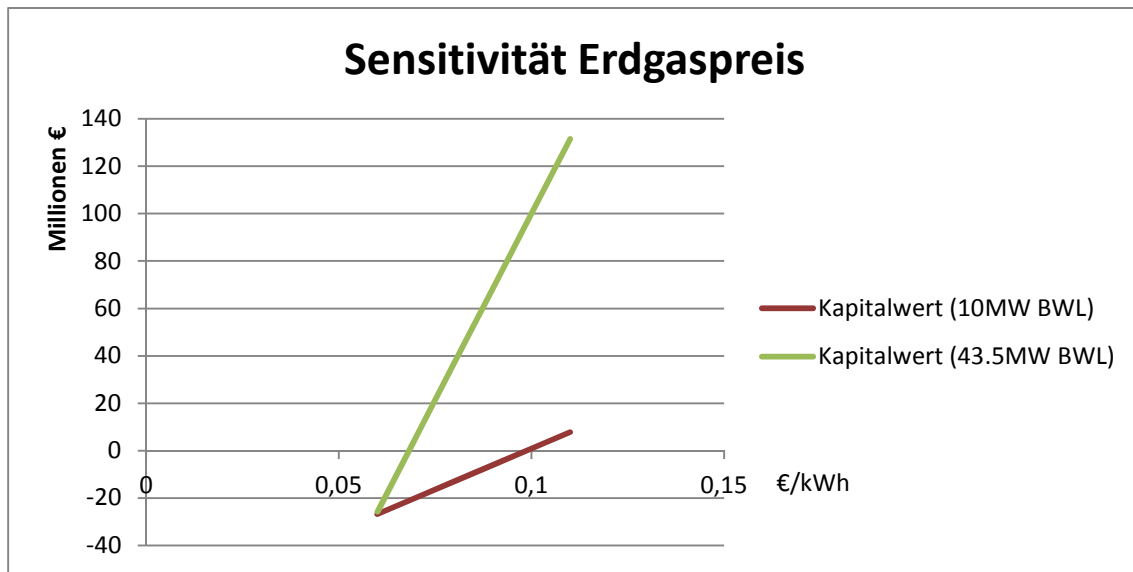


Abbildung 9: Sensitivitätsanalyse Erdgaspreis

Abbildung 10 zeigt die Sensitivitätsanalyse des Kalkulationszinssatzes. Die Kapitalwerte sinken durch Einsatz eines Kalkulationszinssatzes von 4,88% signifikant, die Anlage größeren Maßstabs weist jedoch weiterhin einen positiven Kapitalwert und damit eine positive Wirtschaftlichkeit auf.

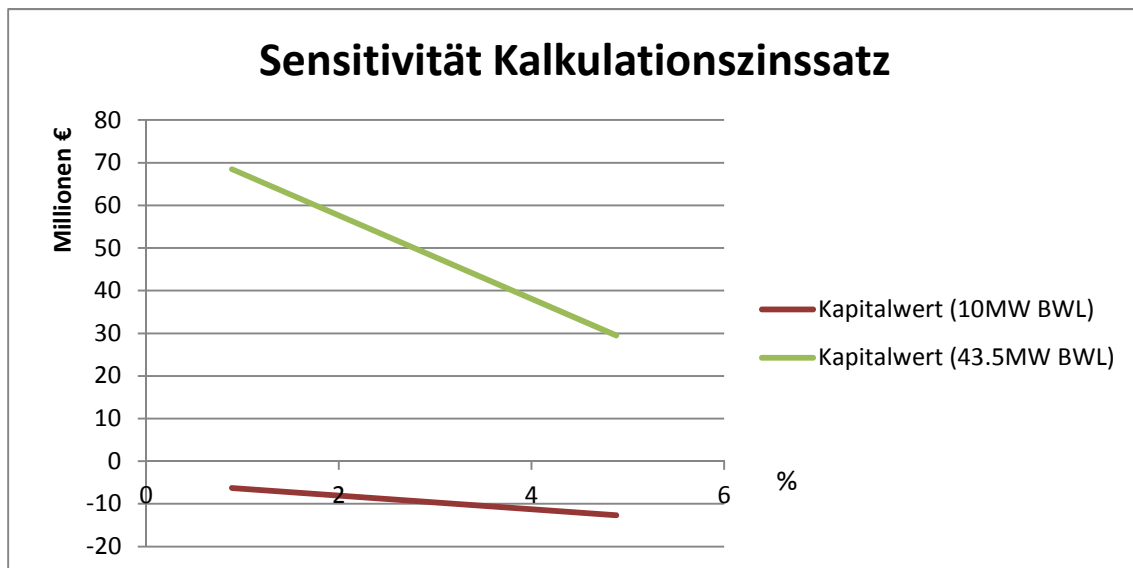


Abbildung 10: Sensitivitätsanalyse Kalkulationszinssatz

2.5 Zusammenfassung Synthesegaserzeugung aus Biomasse

Innerhalb dieses Berichts wurde die Möglichkeit der Biomassekonversion mittels Vergasungsprozess dargestellt. Dazu wurden verschiedene Vergasungsverfahren, welche

durch den Reaktortyp charakterisiert sind, dargestellt. Bedingt durch das homogene Temperaturprofil, welches in einem Wirbelschichtvergaser gegeben ist und die dadurch gegebene einfache Regelbarkeit des Prozesses, stellt sich die Wirbelschicht als vorteilhaft im Vergleich zu Flugstromvergasern dar, welche durch das hohe Temperaturniveau einen höheren technischen Aufwand mit sich bringen und daher für Anlagen mit großen Brennstoffwärmeleistungen (z.B.: 130MW) zu bevorzugen sind.

In weiterer Folge wurde auf den DFB Prozess und dessen Weiterentwicklung, den G-Volution Vergaser eingegangen, welcher den Vorteil eines größeren einzusetzenden Brennstoffspektrums aufweist.

Die Prozesskette von Biomasse zu BioSNG mittels Wirbelschichtvergasung wurde dargestellt, wobei die Notwendigkeit der Gasaufbereitungsschritte aufgezeigt und die einzelnen Reinigungsstufen erläutert wurden. Des Weiteren wurden auf das Recht zur Einspeisung von erzeugtem BioSNG ins Erdgasnetz und die damit verbundenen Qualitätserfordernisse, welche in den Richtlinien ÖVGW31 und ÖVGW33 geregelt sind, eingegangen. Für die Erzeugung von 1 m³ BioSNG benötigt man 4,5 kg Holz (mit einem Wassergehalt von 20 %). D.h. mit 1 Atro-Tonne Holz können ca. 278 m³ BioSNG erzeugt werden.

In Kapitel 2.4 wurden die für die Wirtschaftlichkeitsberechnung verwendeten Methoden erläutert sowie die Berechnungsinputs: Investitionskosten, Kosten und Erlöse über eine Betriebsdauer von 7500 Stunden pro Jahr dargestellt. Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung zeigen, dass die Referenzanlage mit einer BWL von 43,5MW und einem Output von 30MW BioSNG über den betrachteten Zeitraum von 15 Jahren wirtschaftlich betrieben werden kann, nicht jedoch die Referenzanlage mit einer kleinen BWL von 10MW und damit einem Output von 6,6MW BioSNG. Diese Technologie lässt sich grundsätzlich natürlich auch auf andere Dimensionen (z.B. BWL von 20 MW) skalieren. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von einem Waldhackgutpreis von 2 ct/kWh ausgegangen wird. Dies liegt rund 40 % unter dem aktuellen Waldhackgutpreis inkl. Steuer und Transportkosten. Eine Sensitivitätsanalyse zeigt den großen Einfluss des Biomassepreises und des Erlöses für BioSNG, sowie des Kalkulationszinssatzes auf die Wirtschaftlichkeit. Anhand der Ergebnissen der Sensitivitätsanalyse lässt sich für größer dimensionierte Anlagen auch ein wirtschaftlicher Betrieb bei aktuellen Hackgutpreisen (Stand März 2019) ableiten.

3 Biomassepotentiale

3.1 Methodische Vorgehensweise

Im Rahmen des Projekts werden Untersuchungen zum Biomassepotential in Österreich durchgeführt und das Potential zur Methanerzeugung evaluiert. Die methodische Vorgangsweise basiert auf Literaturrecherchen, Daten aus verfügbaren nationalen und internationalen Statistiken sowie eigene Berechnungen. Die Berechnung der Potentiale wird in den einzelnen Kapiteln näher erläutert. In einem ersten Schritt wird der Status quo ermittelt und dann das Potential für 2050 unter bestimmten Annahmen berechnet. Das Potential für 2050 stellt somit nur ein Szenario dar, das tatsächlich verfügbare Potential hängt von einer Vielzahl von unterschiedlichen politischen, wirtschaftlichen, technologischen und ökologischen Entwicklungen ab.

3.2 Forstliche Holzbiomasse

3.2.1 Der österreichische Holzmarkt

Die Österreichische Waldinventur (ÖWI)²⁴ wird seit den 1960er Jahren durchgeführt und erfasst Daten, die sowohl die Beurteilung des Waldzustandes als auch die Zustandsveränderungen erlauben. Laut der ÖWI 2007/09 beträgt die Waldfläche in Österreich 3,99 Mio. Hektar (ha) Wald, das entspricht 47,6 % der gesamten Staatsfläche (Abbildung 11). Die aktuellsten Zahlen der Waldinventur 2018 zeigen, dass der Anteil der Waldfläche im Jahr 2018 auf 47,9 % gestiegen ist.

²⁴ <http://bfw.ac.at/rz/wi.home>

Waldkarte Österreich

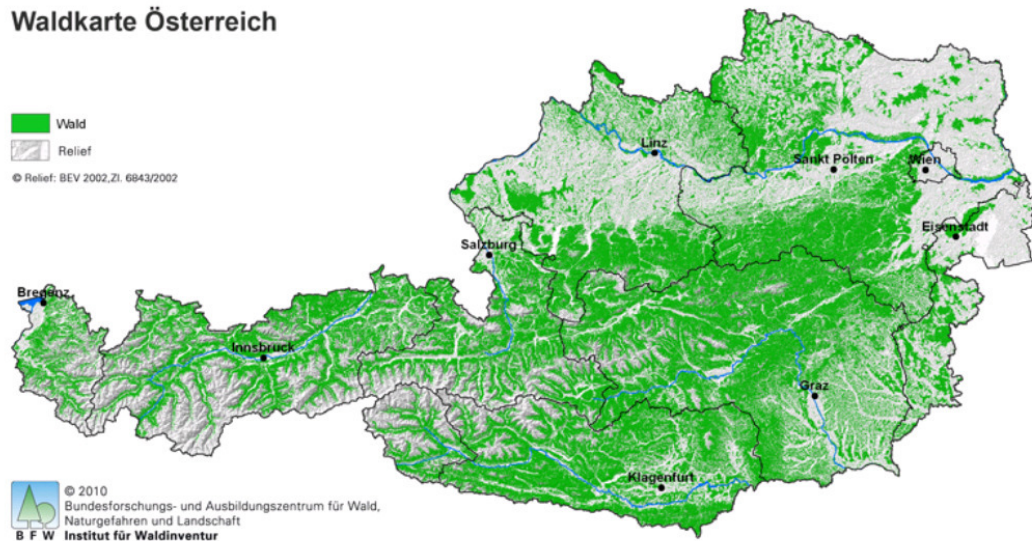


Abbildung 11: Waldkarte Österreich. Quelle: BFW 2010

Seit der ersten Österreichischen Waldinventur (ÖWI 1961) kann eine ständige Zunahme der Waldfläche in Österreich festgestellt werden. Im Vergleich zur ersten Inventurperiode 1961/70 hat die Waldfläche bis heute um rund 300.000 ha zugenommen. Allerdings nimmt die Geschwindigkeit der Zunahme langsam ab. So verlangsamte sich die Waldflächenzunahme seit 1992 von 7.700 ha (ÖWI 1992/96) auf 5.100 ha (ÖWI 2000/02) und mittlerweile auf 4.300 ha pro Jahr (Abbildung 12); die Waldinventur 2018 geht nur mehr von einem Zuwachs von 3.400 ha pro Jahr aus.

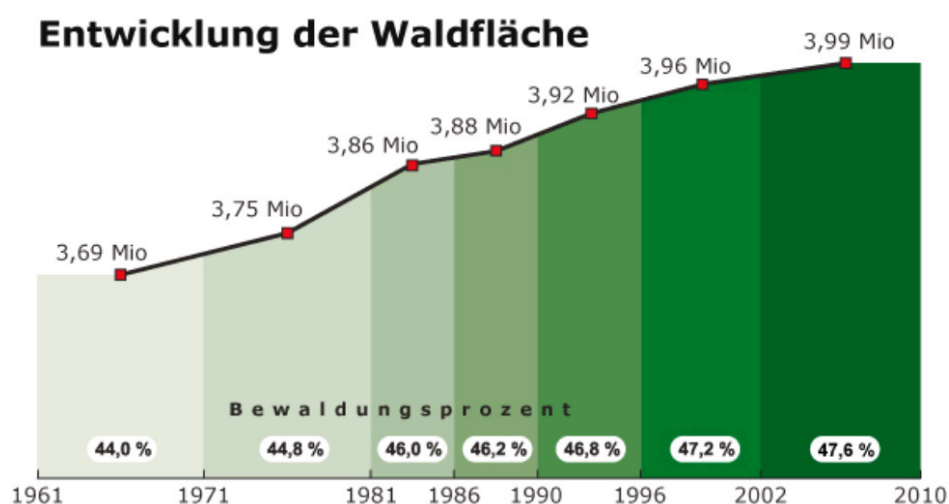


Abbildung 12: Entwicklung der Waldfläche in Österreich. Quelle: BFW 2010

Laut der österreichischen Waldinventur (ÖWI) 2007/09 hat der Holzvorrat in Österreichs Wäldern mit 1,14 Milliarden Vorratsfestmetern im Ertragswald einen neuen Rekord erreicht. Insgesamt ist der Gesamtvorrat ebenso wie die Waldfläche seit Beginn der Waldinventuren einem stetigen Aufwärtstrend unterworfen. Österreichweit und über alle Eigentumsarten hinweg hat der Vorrat in den letzten 40 Jahren um 13 Vorratsfestmeter (Vfm) pro Hektar zugenommen. Der durchschnittliche Hektarvorrat beträgt in Österreich 337 Vfm/ha. Da sich diese Veränderungen auch auf der Hektarbasis zeigen, ist die Vorratszunahme nicht nur durch die Flächenzunahme bedingt, sondern auch durch dichtere Bestände und einen deutlichen Anstieg im Starkholzbereich. Die höheren Stammzahlen führen zu instabileren Beständen sowie zu einem Anstieg der Mortalität. Daher gibt es seit Jahren Bemühungen der Holzmobilisierung vor allem im Kleinwald. Anhand der ÖWI 2007/09 lässt sich erkennen, dass dies in der letzten Periode geglückt ist. So wurde im Kleinwald um 20 Vfm/ha weniger Vorrat als in der Periode ÖWI 2000/02 gebildet und im Großwald (Betriebe) sowie bei der Österreichischen Bundesforste AG (ÖBf) kam es sogar zu einer Verringerung des Vorrats (−2,4 und −4,4 Vfm/ha). Abbildung 13 zeigt die Daten bzgl. Holznutzung, -zuwachs und -vorrat der letzten Waldinventuren. Die Waldinventur 2018 ist noch nicht integriert, da die genauen Zahlen erst voraussichtlich im Juni 2019 veröffentlicht werden.

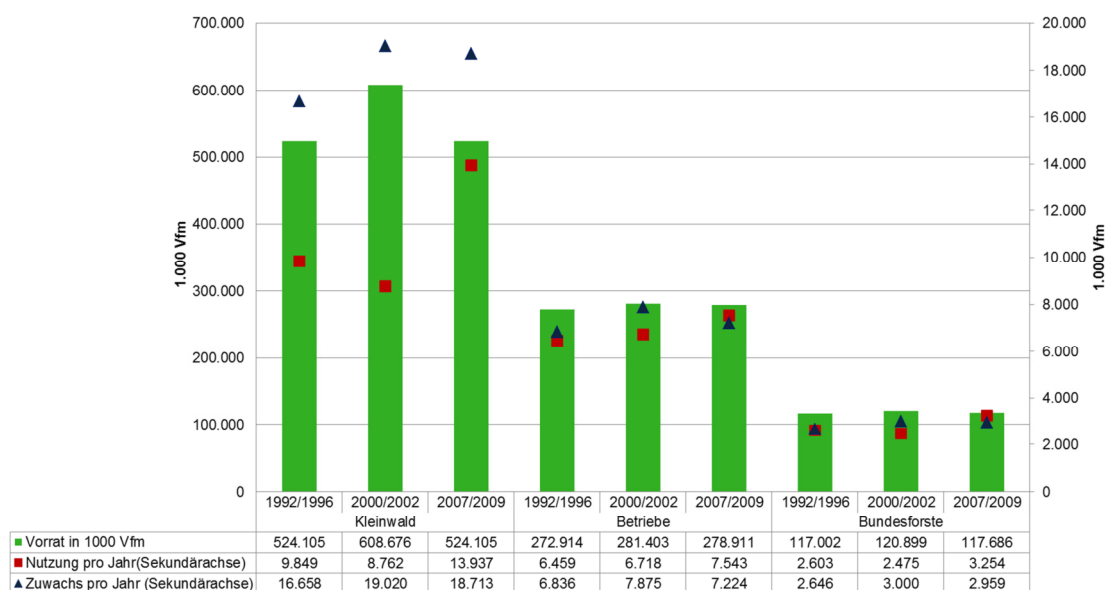


Abbildung 13: Holznutzung vs. Holzvorrat im Österreichischen Wald²⁵

Rundholz ist das ökonomisch wichtigste Produkt des Waldes. Dessen Produktion wird im Rahmen der Holzeinschlagsmeldung durch das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft (derzeit Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus) jährlich ermittelt. Im Jahr 2017 betrug der Holzeinschlag im österreichischen Wald 17,65 Millionen **Erntefestmeter ohne Rinde** (Mio. Efm o. R.). Der Holzeinschlag liegt damit um 5,27% über

²⁵ ÖWI 1992-2009: <http://bfw.ac.at/rz/wi.home>

dem Vorjahreswert (16,76 Mio. Efm), und um 1,69% unter dem zehnjährigen Durchschnitt (10-Ø; 2008-2017; 17,95 Mio. Efm).

Vom Gesamteinschlag im Jahr 2017 entfielen

- 8,40 Mio. Efm auf Sägeholz > 20cm (47,6%),
- 1,13 Mio. Efm auf Sägeschwachholz (6,4%),
- 3,20 Mio. Efm auf Industrieholz (18,2%) und
- 4,91 Mio. Efm auf Rohholz zur energetischen Nutzung (27,8%).

Der Nadelholzanteil am Gesamteinschlag betrug 82,7%, der Schadholzanteil insgesamt 36,7%. Die Kleinwaldbesitzer (Waldfläche unter 200 ha) schlugen mit 10,37 Mio. Efm um 7,58% mehr als im Jahr 2016 ein. Der Anteil des Kleinwaldes am Gesamteinschlag betrug 58,8%. Im Großwald (Waldfläche ab 200 ha, ohne Österreichische Bundesforste AG) erhöhte sich der Gesamteinschlag gegenüber dem Erhebungsjahr 2016 um 3,22% auf 5,70 Mio. Efm. Der Anteil am Gesamteinschlag lag bei 32,3%. Die Österreichische Bundesforste AG verringerte den Einschlag um 1,53% auf 1,58 Mio. Efm.

Anzumerken ist, dass eine beträchtliche Menge an Stückholz (Brennholz) aus dem Privatwald stammt und für die private bzw. Eigenversorgung verwendet wird. Dieses Holz wird nicht in der Holzeinschlagsmeldung erfasst. Zudem wird ein Teil des Inlandsverbrauchs sowohl durch Importe als auch durch die Nutzung von Abfall- und Altholz abgedeckt. Somit stellt der Holzeinschlag nur einen Teil des Holzaufkommens dar.

Die Waldbewirtschaftung in Österreich erfolgt im Gegensatz zu vielen anderen europäischen Staaten vorwiegend durch private Waldeigentümer und Waldeigentümerinnen. Dabei überwiegt die Kleinwaldbesitzstruktur mit Besitzgrößen unter 200 Hektar Waldfläche, die 50 % des österreichischen Waldes, zum größten Teil mit Familienarbeitskräften bewirtschaften. Die Mehrzahl dieser Kleinwaldbesitzer und -besitzerinnen bewirtschaften neben Wald auch landwirtschaftliche Flächen.

Die andere Hälfte des österreichischen Waldes wird von rund 1.500 Betrieben ab 200 Hektar Waldfläche bewirtschaftet. Neben diesen privaten Forstbetrieben, auf die rund 22% der Waldfläche entfallen, und den Gemeinschaftswäldern mit rund 10% nehmen die Österreichischen Bundesforste eine Sonderstellung ein. Sie bewirtschaften 14% des heimischen Waldes und sind damit der mit Abstand größte Forstbetrieb Österreichs.

Neben dem Bund besitzen noch einige Bundesländer und Gemeinden Wälder. Insgesamt beträgt der öffentliche Anteil am Waldbesitz 18%, deutlich weniger als in den meisten anderen europäischen Staaten. Tabelle 6 zeigt die Besitzverhältnisse nach Eigentumsarten.

Tabelle 6: Waldflächen und Besitzverhältnisse- Eigentumsarten nach Kataster²⁶

Erhebungsjahr: 2012 In Hektar	Ö	%
Insgesamt	3.646.382	100
Privatwald <200 ha	1.829.002	50
Privatwald ab 200 ha	797.693	22
Gemeinschaftswald	346.728	10
Gemeindewald	80.169	2
Landeswald	46.301	1
ÖBF und sonstiger im öffentlichen Eigentum stehender Wald	546.489	15

In Abbildung 14 werden die Holzströme im Österreich im Jahr 2016 dargestellt. Neben den Importen und dem Holzeinschlag laut Holzeinschlagsmeldung gibt es noch das „Sonstige Holzaufkommen“. Damit sind jene Holzmengen gemeint, die zusätzlich zum Import und zur „Holznutzung Wald auf Basis HEM“ am Holzmarkt verfügbar sind. Dies erfasst Holzmengen aus dem Kleinstwald, Nutzung von Flurgehölzen, recyceltes Altholz und Lagerstandsänderungen. Insgesamt betrug das gesamte Holzaufkommen im Jahr 2016 41,3 Mio. fm. Dies entspricht 17.222.100 t-atro.

²⁶ BMLFUW: Nachhaltige Waldwirtschaft in Österreich: Österreichischer Waldbericht, 2015

3.2.2 Holzpotential aus dem Wald

In Österreichs Wald besteht noch genügend Potential für eine verstärkte Holznutzung, insbesondere im Kleinwald. Denn laut ÖWI 2007/2009 beläuft sich der ungenutzte Zuwachs pro Jahr auf 1.735.554 t-atro²⁸. Um das Holzpotential im Jahr 2050 zu berechnen wurden der durchschnittliche jährliche Zuwachs (11.805.409 t-atro) und die durchschnittliche jährliche Nutzung (8.562.400 t-atro) seit 1992 berechnet (siehe auch Abbildung 15). Diese Zahlen liegen leicht unter dem Zuwachs bzw. der Nutzung von 2007/2009. Zu dem Potential werden noch Wurzel, Nadel- und Blattmasse mit insgesamt 27 % eines Vfm angenommen. Hierbei handelt es sich lediglich um Durchschnittswerte, da die konkrete Masse sehr stark von Baumart, Alter des Baumbestands, Pflanzdichte etc. abhängt. Somit würde das Gesamtpotential an zuwachsender Holzbiomasse aus dem Wald rund 15 Mio. t-atro im Jahr 2050 betragen. Der ungenutzte Zuwachs würde hingegen nur knapp 4 Mio. t-atro betragen. Beim Potential „ungenutzter Zuwachs 2050“ wurde angenommen, dass die anderen Nutzungen unverändert bleiben. Da die Nutzung auch bereits die letzten Jahrzehnte kontinuierlich unter dem Zuwachs liegt und somit auch der Holzvorrat im Wald bis 2050 steigt, wäre es auch möglich den Vorrat teilweise abzubauen. In Tabelle 7 wird das jährliche forstliche Holzbiomassepotential dargestellt.

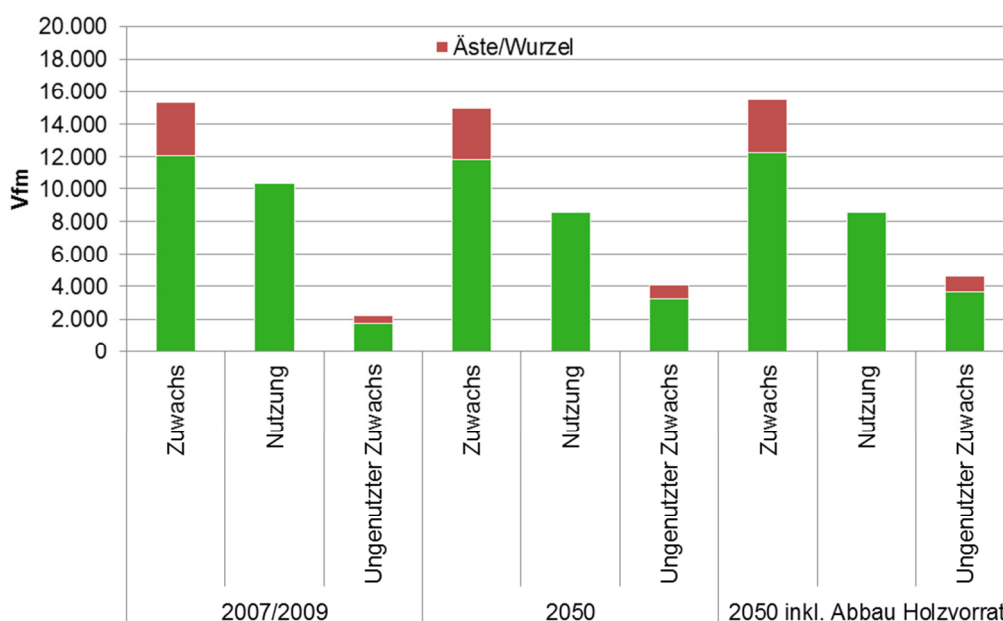


Abbildung 15: Zuwachs, Nutzung und Ungenutzter Zuwachs im Jahr 2050 in Vfm

²⁸ 1 Tonne absolut trocken (t-atro) ist die Maßeinheit für die Masse von einer Tonne absolut trockenem Holz

Tabelle 7: Jährliches forstliches Holzpotential in t-atro

Potential in t-atro	Zuwachs lt. ÖWI 2007/09	Potential ungenutzter Zuwachs lt. ÖWI 2007/09	Gesamtpotential exkl. Abbau Holzvorrat im Jahr 2050	Gesamtpotential inkl. Abbau Holzvorrat 2050	Potential ungenutzter Zuwachs 2050
Gesamtpotential inkl. Wurzel, Nadel und Blattmasse	15.303.000	2.204.154	14.992.869	15.523.160	3.995.063
Gesamtpotential exkl. Wurzel, Nadel und Blattmasse	12.050.00	1.735.554	11.805.409	12.222.961	3.243.009
50% Potential exkl. Wurzel, Nadel und Blattmasse			5.902.705	6.111.480	1.621.505

Damit dieses Potential tatsächlich zur Verfügung steht, müssen folgende Maßnahmen umgesetzt werden:

- Aufrechterhaltung oder sogar Ausbau der Sägeindustrie in Österreich
- Verstärkter Holzbau
- Weitere Mobilisierung der Kleinwaldbesitzer

Unsicherheiten bzgl. dem tatsächlichen Anfall von forstlicher Holzbiomasse ergeben sich aufgrund der nicht vorhersehbaren Entwicklung der Schadholzmengen bzw. deren Auswirkungen auf das zukünftige Nutzungspotential sowie, langfristig gesehen, aufgrund der Entwicklung der zukünftigen Baumartenzusammensetzung. Eine Reduktion des Holzvorrates aufgrund von massiven Schadereignissen oder aufgrund klimawandlungsbedingter Waldbaumaßnahmen mit vorübergehend hohen Holzanfall kann nicht ausgeschlossen werden. Die angefallenen Schadholzmengen der vergangenen Jahre werden in Abbildung 16 dargestellt.

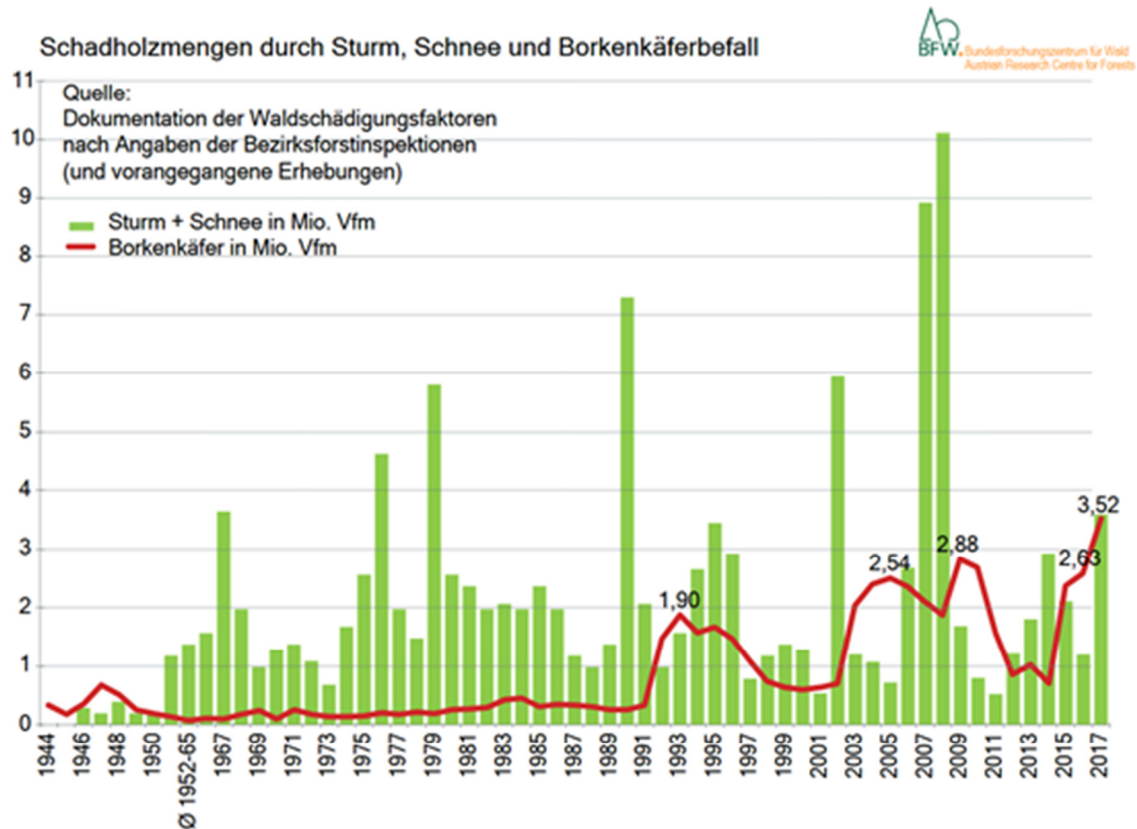


Abbildung 16: Anfall der Schadholzmengen²⁹

3.3 Altholz

3.3.1 Begriffsbestimmung und Herkunft

Die Recyclingholz-Verordnung (RecyclingholzV, 2012) definiert Altholz als Holz, das nach dem Abfallwirtschaftsgesetz (AWG, 2002) als Abfall gilt: Holz oder Holzprodukte deren Besitzer sich davon entledigen will, oder bereits entledigt hat, beziehungsweise Holz, das im öffentlichen Interesse gesammelt, gelagert, gefördert und behandelt werden muss.

Diese Definition von Altholz ist also sehr weit gefasst. Sie umfasst demnach jegliches holzartiges Produkt, das (nach einer Nutzungsphase) entsorgt wird. Der österreichische Bundesabfallwirtschaftsplan (2011)³⁰ nennt dabei folgende Sortimente: Schwarten, Spreißel, Sägemehl, Holzstäube und –schlämme, Bau- und Abbruchholz, alte Möbel, Holzwohle sowie schädlich verunreinigte Holzemballagen. In Abgrenzung dazu definiert das AWG 2002 Nebenprodukte, die unter gewissen Voraussetzungen nicht als Abfall gelten. Dies sind zum Beispiel Säge-, - oder Hobelspäne, die ein ungefährlicher, integraler Bestandteil eines

²⁹ https://bfw.ac.at/cms_stamm/050/PDF/schadholz_SturmSchnee_bis2017_oe.pdf

³⁰ <https://www.bmnt.gv.at/umwelt/abfall-ressourcen/bundes-abfallwirtschaftsplan.html>

Herstellungsprozesses (zum Beispiel für Bretter oder Balken) sind und die ohne weiteren Verarbeitungsschritt, der über die normalen industriellen Verfahren hinausgeht, eingesetzt werden können. Sägenebenprodukte gelten somit eigentlich nicht als Abfall und somit auch nicht als Altholz, sondern als Koppelprodukt bzw. als Rückstand.

Der unionsrechtlichen Abfallhierarchie folgend kommt dem Recycling in der Abfallbewirtschaftung eine große Rolle zu. Diese Prioritätenfolge hat den Rechtsvorschriften und politischen Maßnahmen im Bereich der Abfallvermeidung und Abfallbewirtschaftung zugrunde zu liegen. Dementsprechend ist Altholz vorrangig einem Recycling zuzuführen (lt. Bundesabfallwirtschaftsplan, 2017³¹).

Das Recycling von Altholz in der Holzwerkstoffindustrie wird in der RecyclingholzV (BGBl. II Nr. 160/2012) bzw. in der Novelle [BGBl. II Nr. 178/2018](#) geregelt. Dabei werden folgende Sortimente als Recyclingholz definiert:

Tabelle 8: Altholzkategorien nach der Recyclingholzverordnung

SN	Sp	Abfallbezeichnung	Spezifizierung	Hinweise und Anmerkungen
17101		Rinde aus der Be- und Verarbeitung		Schlüssel-Nummer ist nicht zu verwenden für Rinde zur biologischen Verwertung entsprechend den Qualitätsanforderungen gemäß Kompostverordnung, BGBl. II Nr. 292/2001, idgF
17102		Schwarten, Spreißel aus naturbelassenem, sauberem, unbeschichtetem Holz		
17103		Sägemehl und Sägespäne aus naturbelassenem, sauberem, unbeschichtetem Holz		
17104		Holzschleifstäube und -schlämme		
17104	01	Holzschleifstäube und -schlämme	(aus) behandeltes(m) Holz	z.B. aus lackiertem oder beschichtetem Holz
17104	02	Holzschleifstäube und -schlämme	(aus) nachweislich ausschließlich mechanisch behandeltes(m) Holz	
17104	03	Holzschleifstäube und -schlämme	(aus) behandeltes(m) Holz, schadstofffrei	z.B. aus mit schwermetallfreiem Leinöl behandeltem Holz
17115 17201		Spanplattenabfälle Holzemballagen und Holzabfälle, nicht verunreinigt		Abfälle aus der Produktion verunreinigte aber nicht gefährliche Abfälle sind den SN 17218, 17211 oder 17212 zuzuordnen

³¹ <https://www.bmnt.gv.at/umwelt/abfall-ressourcen/bundes-abfallwirtschaftsplan.html>

17201	01	Holzemballagen und Holzabfälle, nicht verunreinigt	(aus) behandeltes(m) Holz	z.B. lackiertes oder beschichtetes Holz
17201	02	Holzemballagen und Holzabfälle, nicht verunreinigt	(aus) nachweislich ausschließlich mechanisch behandeltes(m) Holz	
17201	03	Holzemballagen und Holzabfälle, nicht verunreinigt	(aus) behandeltes(m) Holz, schadstofffrei	z.B. mit schwermetallfreiem Leinöl behandelt
17202	01	Bau- und Abbruchholz	(aus) behandeltes(m) Holz	z.B. aus lackiertem oder beschichtetem Holz
17202	02	Bau- und Abbruchholz	(aus) nachweislich ausschließlich mechanisch behandeltes(m) Holz	
17202	03	Bau- und Abbruchholz	(aus) behandeltes(m) Holz, schadstofffrei	
17203		Holzwolle, nicht verunreinigt		Holzwolle aus organisch behandeltem oder verunreinigtem Holz ohne gefahrenrelevante Eigenschaften ist der SN 17218 zuzuordnen; Holzwolle aus anorganisch behandeltem oder verunreinigtem Holz ohne gefahrenrelevante Eigenschaften ist der SN 17212 zuzuordnen
17218		Holzabfälle, organisch behandelt (zB ausgehärtete Lacke, organische Beschichtungen)		z.B. nicht verunreinigte lackierte und organisch beschichtete Holzabfälle (zB Möbel)
17219		Recyclingholz, qualitätsgesichert		SN darf nur mit gültigem Beurteilungsnachweis verwendet werden

Gemein haben die erstgenannten Reststoffsortimente (SN 17101 bis SN 17104), dass sie allesamt „Abfälle“ aus industriellen Prozessen sind. Sie stellen sogenannte pre-consumer Abfälle dar³² und werden oft bereits werksintern oder durch weitere externe, oft unternehmerisch verbundene Verarbeiter entweder thermisch (hauptsächlich Rinde) oder stofflich (z.B. Säge- und Hobelspäne für Holzwerkstoff) genutzt.

³² Windsperger et al. (2010). Optimierung der Ressourceneffizienz der Holznutzung. Modellierung der Holzverarbeitungsprozesse zur Darstellung der Auswirkungen von Entwicklungen auf die Leistungscharakteristik. Bundesministerium für Verkehr Innovation und Technik, 2010.

Im Gegensatz dazu stellen die anderen Sortimente sogenannte post-consumer Holzabfälle dar³³. Diese Altholz-Fraktion wurde bereits über eine gewisse, je nach Produkt stark variable Zeitspanne, für einen bestimmten Zweck genutzt. Beispielfhaft sind hier gebrauchte Möbel und Küchen, aber auch Bau- und Abbruchholz zu nennen. Charakteristisch dafür ist ein hoher Anteil an häufig beschichteten – Holzwerkstoffprodukten, wie Span- und Faserplatten.

Altholz stellt einen äußerst heterogenen Abfallstrom in der österreichischen Abfallwirtschaft dar. Aufgrund des vielfältigen Einsatzes von Holz fällt es in quasi allen Sektoren der österreichischen Industrie sowie in Haushalten an. Holz ist ein wesentliches Element im Bauwesen und auch aus der Verpackungsindustrie nicht weg zu denken. In der Bauwirtschaft werden große Mengen sägerauer, beziehungsweise unbeschichteter Hölzer, wie auch beschichtete Holzprodukte als Hilfsstoff, aber auch als Baustoff verwendet. In diesem Zusammenhang ist auch das Bau und Abbruchholz zu erwähnen, das im Jahr 2016 mit ca. 390.925 Tonnen ca. 27% des gesamten Holzabfallaufkommens ausmachte.³⁴ In der Verpackungsindustrie ist die Sparte der Papier-, Karton- und Wellpappe - erzeugenden Unternehmen mengenmäßig hervorzuheben, da sie ein großer Abnehmer von Recyclingstoffen und Frischholz ist und somit auch den Altholzmarkt wesentlich beeinflusst.

3.3.2 Altholzpotalential

Bei den Fraktionen SN 17201 und 17202, welche als das klassische Altholz für das Recycling bzw. für eine Weiterverwendung angesehen werden können, ist ein starkes Wachstum zu verzeichnen.

Abbildung 17 zeigt den zeitlichen Verlauf der Mengen zwischen 2004 und 2016 auf Basis der Daten des Bundesabfallwirtschaftsplans. Die anfallende Menge erhöht sich in diesem Zeitraum um ca. 82 %. 2016 betrug die Summe dieser Sortimente 712.491 Tonnen Altholz. Bei diesen Altholzfraktionen kann von einem durchschnittlichen Wassergehalt von 10 % ausgegangen werden. Daher beläuft sich das **derzeitige Altholzaufkommen auf 641.242 t-atro. Diese Mengen werden allerdings zur Gänze in den verschiedenen Industrien bereits genutzt.** Im Jahr **2016** sind zudem 3.659.628 Tonnen (bzw. **2.378.758 t-atro** bei einem Wassergehalt von 35 %) **Sägenebenprodukten** (Rinden, Schwarten und Spreißel sowie Sägemehl und Sägespäne) angefallen. **Auch die Sägenebenprodukte werden bereits stofflich und energetisch verwertet.**

³³ Windsperger et al. (2010). *Optimierung der Ressourceneffizienz der Holznutzung. Modellierung der Holzverarbeitungsprozesse zur Darstellung der Auswirkungen von Entwicklungen auf die Leistungscharakteristik*. Bundesministerium für Verkehr Innovation und Technik, 2010.

³⁴ <https://www.bmnt.gv.at/umwelt/abfall-ressourcen/bundes-abfallwirtschaftsplan.html>

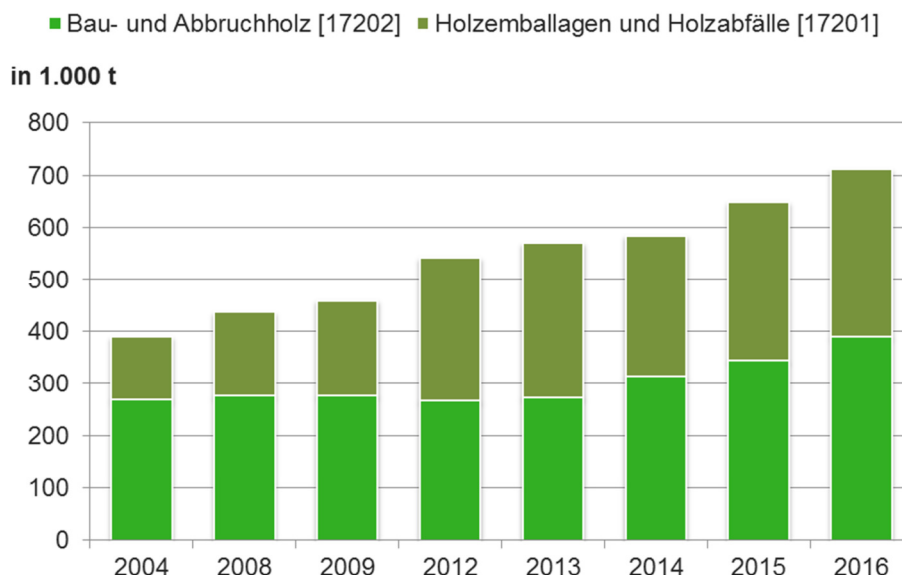


Abbildung 17: Mengen der Fraktionen „Bau- und Abbruchholz“ sowie „Holzemballagen und Holzabfälle“ von 2004 bis 2016³⁵

Derzeit kann daher davon ausgegangen werden, dass im Jahr 2030 in Österreich etwa 454.000 t-atro Altholz zusätzlich pro Jahr zur Verfügung stehen würden, wenn das Potential entsprechend mobilisiert werden kann.³⁶ Um das Altholzpotalential für 2050 zu berechnen wurde basierend auf das Jahr 2030 ein Wirtschaftswachstum von 1,8 % pro Jahr³⁷ angenommen. Es wird davon ausgegangen, dass mit zunehmender Wirtschaftsleistung auch das Altholzaufkommen steigen wird. Die gleiche Annahme wurde für Sägenebenprodukte getroffen, wobei als Ausgangswert der langjährige Durchschnitt von 2004 bis 2016 herangezogen wurde. Für die Berechnung des Potentials der zur Verfügung stehenden Sägenebenprodukte im Jahr 2050 wurde der Bedarf der anderen Industrien auf das Jahr 2016 konstant gehalten. Die Potentiale werden in Tabelle 9 dargestellt. Da aber auch andere Branchen, um die zusätzlich zur Verfügung stehenden Mengen konkurrieren werden, wurde eine Abstufung der Potentiale (80 %, 50 % und 20 %) vorgenommen.

Das tatsächlich nutzbare Altholzpotalential hängt neben der Wirtschaftsentwicklung der einzelnen Branchen (z.B. Bauindustrie, Papier- und Plattenindustrie) auch von den Auswirkungen der Novelle 2018 der Recyclingholzverordnung ab. Mit der Novelle 2018 soll durch eine verbesserte

³⁵ Bundesabfallwirtschaftsplan und Statusberichte: <https://www.bmnt.gv.at/umwelt/abfall-ressourcen/bundes-abfallwirtschaftsplan.html>

³⁶ Berechnungen des BOKU FOHOW-Modells und eigene Berechnungen im Rahmen des BIOENERGY2020+ Projektes „Up2ndUse“

³⁷ BIP Wachstum: 1,8% pro Jahr bis 2050; Quelle: Finanzministerium, Langfristige Budgetprognose Bericht gem. § 15 (2) BHG 2013

getrennte Erfassung am Anfallsort (Quellensortierung) und durch die Einführung eines Recyclinggebots die Qualität der für das Recycling vorgesehenen Altholzfraktionen erhöht werden. Zudem verpflichtet sie, zu einem „Recycling“ von Altholz - eine energetische Verwertung ist nur mehr in Ausnahmefällen möglich.³⁸

Tabelle 9: Jährliches Altholzpotalential im Jahr 2050

Potential in t-atro im Jahr 2050	Verfügbares Potential Bau- und Abbruchholz; Holzemballagen und Holzabfälle	Verfügbares Potential Sägenebenprodukte	Gesamt
100%	648.651	2.051.506	2.700.157
80%	518.921	1.641.205	2.160.126
50%	324.326	1.025.753	1.350.079
20%	129.730	410.301	540.031

³⁸

<https://www.bmnt.gv.at/umwelt/abfall-ressourcen/abfall-altlastenrecht/awg-verordnungen/recyclingholzvo.html>

3.4 Kurzumtriebsholz

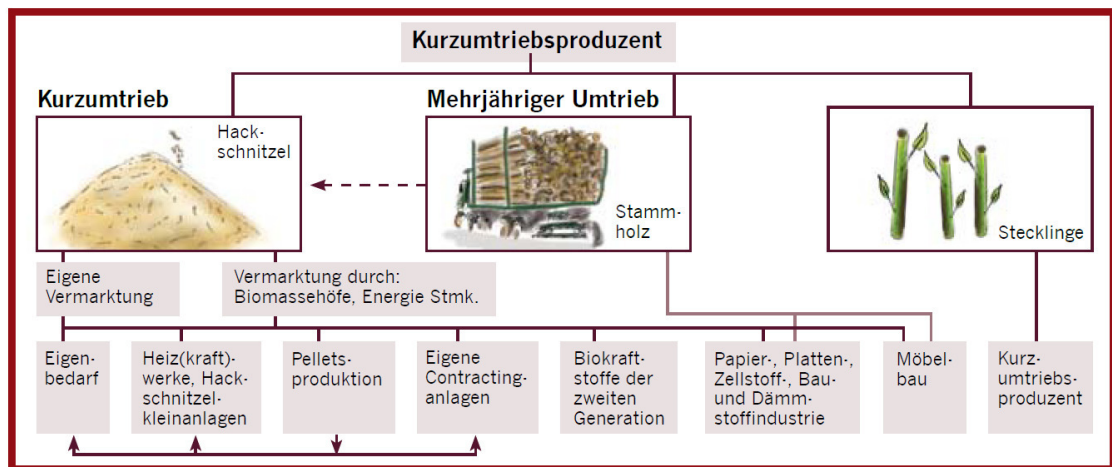
3.4.1 Landwirtschaftliche Aspekte

Die Bewirtschaftung von Kurzumtriebshölzern auf Ackerflächen stellt, aufgrund des geringen Dünge- und Pflanzenschutzmitteleinsatzes im Vergleich zu anderen Kulturarten, eine extensive Form der Landnutzung dar. Schnellwachsende Hölzer können in mehrjährigen Erntezyklen als Energiepflanzen genutzt werden. Die Umtriebszeit (Abstand der Erntezyklen) richtet sich nach dem Pflanzverband, der Nutzungsintensität, dem Verwendungszweck des Rohstoffes und den gegebenen Standortbedingungen. Nach dem derzeitigen technischen Stand ist eine vollmechanische Ernte von Beständen mit Umtriebszeiten zwischen 2 - 8 Jahren möglich.

Die Bestandesbegründung erfolgt durch Pflugfurche im Herbst, sowie Saatbettbereitung und Pflanzung im Frühjahr (ab März bis Ende Mai). Die Anpflanzung geschieht durch Auslegen von Stecklingen im Einzelreihen- oder Doppelreihenverband. Saatzuchtfirmen vertreiben das zertifizierte Saatgut und stellen die notwendigen Pflanzgeräte bereit. Der Düngerbedarf richtet sich generell immer nach den Standortbedingungen. In den meisten Fällen ist eine Düngung nicht notwendig. Bei energetischer Nutzung des Erntegutes kann, durch eine Rückführung der anfallenden Asche, der Nährstoffkreislauf geschlossen werden.

Die Ernte erfolgt vorzugsweise in den Wintermonaten bei gefrorenem Boden um Verdichtungsschäden durch die Erntemaschinen zu vermeiden. Zu diesem Zeitpunkt sind die Bäume laublos und weisen einen Wassergehalt von etwa 50 % auf.

Abhängig von der Baumart, den pflanzenbaulichen Maßnahmen, dem Standort und dem Klima kann mit einem durchschnittlichen Biomasseertrag von 10 - 15 t Trockenmasse pro Hektar und Jahr gerechnet werden. Die Beseitigung der Plantagen wird nach einer Umtriebszeit von 20 Jahren mit einer Forstfräse durchgeführt. Eine Weiterführung der Fläche ist sowohl mit einer nächsten Generation Kurzumtriebsholz als auch mit gewöhnlichen Ackerkulturen möglich. Kurzumtriebsholz kann sowohl als Brennstoff als auch in der Industrie stofflich genutzt werden (Abbildung 18).



www.biomassradecentres.eu

Abbildung 18: Wertschöpfungskette Kurzumtrieb³⁹

3.4.2 Biomassepotential Kurzumtriebsholz

2017 wurden in Österreich 2.421 ha Kurzumtriebsholz angebaut (derzeit ausschließlich Pappeln und Weiden). Bei einem durchschnittlichen Ertrag von 11 t Trockenmasse pro Hektar ergibt sich ein **derzeit nutzbares Potential von rund 26.631 t –atro.**

Es besteht ein allerdings ein hohes Ausbaupotential hinsichtlich Kurzumtriebsflächen auf derzeitigen Grünlandbrachflächen. Laut Statistik der Landwirtschaft⁴⁰ werden im Jahr 2017 119.133 ha an landwirtschaftlicher Fläche bzw. Grünfläche nicht genutzt. Diese Fläche könnte bis 2050 allerdings für Kurzumtriebsholz nutzbar gemacht werden. In Österreich gibt es lt. Umweltbundesamt 13.000 ha Industriebrachen. Inklusiv Gewerbeflächen und leerstehender Häuser schätzt man die verbaute ungenutzte Fläche auf 40.000 ha.⁴¹ Die Renaturierung dieser Flächen ist aber in Abhängigkeit von der vorherigen Nutzung mit erheblichen Aufwand verbunden. Daher wird ab dem Jahr 2050 angenommen, dass durch Renaturierungsmaßnahmen rund 200 ha pro Jahr der Industriebrachfläche für den Anbau von Kurzumtriebsholz nutzbar gemacht werden. Zudem wird angenommen, dass die Flächenversiegelung deutlich reduziert wird. Dies hätte viele weitere positive Aspekte, zum Beispiel im Hinblick auf den Hochwasser- und Hitzeschutz sowie auch die biologische Artenvielfalt. Des Weiteren könnte sich der Anbau von Kurzumtriebsholz auf Grenzertragsstandorten bei Preissteigerungen von Energieholzsortimenten aufgrund des geringeren Betriebsmitteleinsatzes als wirtschaftlich attraktiv erweisen.

³⁹ www.biomassradecentres.eu

⁴⁰ STATISTIK AUSTRIA „Statistik der Landwirtschaft 2017“, 2018

⁴¹ http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/raumordnung/rp_flaecheninanspruchnahme/

Für die Potentialabschätzung wird eine Fläche von über 120.000 ha angenommen. Bei einem durchschnittlichen Ertrag von 11 t-atro pro Hektar hat ergibt sich für das Jahr 2050 ein Potential von 1.339.173 t-atro. Zudem wird eine Abstufung der Potentiale zu 80 %, 50 % und 20 % vorgenommen.

Tabelle 10: Jährliches Potential Kurzumtriebsholz in t-atro

Potential in t-atro im Jahr 2050	Kurzumtriebsholz
Gesamt	1.339.173
80%	1.071.338
50%	669.587
20%	267.835

3.5 Stroh

3.5.1 Landwirtschaftliche Aspekte

Stroh – als Nebenprodukt der Getreideproduktion – ist ein möglicher Rohstoff für die energetische Nutzung. Einerseits fällt Stroh bei der Getreideernte bereits als lagerfähiger Brennstoff an und andererseits sind ausgereifte Erntetechnologien mit geringen Ernteverlusten zur Strohbergung vorhanden und verfügbar.

Aus pflanzenbaulicher Sicht sollte jedoch das Stroh, sofern ausreichender Niederschlag für die Strohrotte gegeben ist, am Feld als Dünger eingearbeitet werden oder im Sinne der Kreislaufwirtschaft über Einstreu dem Boden als Stallmist zurückgeführt werden. Den die Strohabfuhr entzieht Nährstoffe: als Faustzahlen gelten 5 kg Stickstoff, 3 kg Phosphat, 17 kg Kaliumoxid und 2,8 kg Magnesiumoxid pro Tonne Stroh. Somit ergeben sich bei 5,4 t Stroh pro Hektar 27 kg Stickstoff, 16 kg Phosphat, 92 kg Kaliumoxid und 15 kg Magnesiumoxid, die über Dünger ausgeglichen werden müssen.⁴² Der Düngewert von Stroh je Tonne Frischmasse – abgeleitet aus dem Nährstoffentzug von Stroh und dem Marktpreis der jeweiligen Reinnährstoffe – beträgt derzeit etwa 30 €/t. Die Einarbeitung von Stroh oder anderen Ernterückständen in die oberste Krumenschicht bietet, neben der Nährstoffrücklieferung und Humusbildung, folgende weitere pflanzenbauliche Vorteile:

- Schutz des Bodens vor Wasser- und Winderosion
- Erhöhung des luftführenden Porenvolumens und der Krümelstabilität
- Erhöhung der Wasserspeicherkapazität und der „Regenverdaulichkeit“ (Infiltrationsrate)
- Verbesserung der Durchwurzelbarkeit und des Boden-Stickstoffhaushaltes

Allerdings, wenn auf das Getreide Raps folgt, bringt die Strohabfuhr Vorteile, weil weniger Pflanzenmaterial vorhanden ist und verrotten muss. Somit muss für jeden Einzelfall entschieden werden, ob eine Strohnutzung sinnvoll ist. Zudem könnte durch Nährstoffrückführung (Ascherückführung) oder durch Düngung mit Holzasche, falls dies in Zukunft rechtlich zulässig ist, die Nährstoffbilanz verbessert werden. In Tabelle 11 wird beispielhaft der Nährstoffgehalt von Strohasche aus Abbrandversuchen aus dem Jahr 1995 dargestellt. Allerdings liegt der Ascheanfall nur bei ca. 4 - 6 % der eingesetzten Strohmenge.

⁴² Sontheimer, A. „Stroh abfahren oder einarbeiten?“ Agrar News vom 08.09.2014

Tabelle 11: Nährstoffgehalt von Strohasche in Gew.% der TM⁴³

Nährstoff	Grobasche	Zyklonflugasche	Feinstflugasche
CaO	7,8	5,9	1,2
MgO	4,3	3,4	0,7
K ₂ O	14,3	11,6	48,0
P ₂ O ₅	2,2	1,9	1,1
Na ₂ O	0,4	0,3	0,5

3.5.2 Strohpotential in Österreich

Die Getreideanbauflächen sind rückläufig: 1980 wurden noch 875.000 ha Getreide angebaut, 2017 waren es nur mehr 776.177 ha.⁴⁴ Im Jahr 2017 Für die Berechnung des Potentials 2050 wurde zudem angenommen, dass der Fleischkonsum in Österreich zurück geht. Aufgrund des sinkenden Fleischkonsum, sinken auch die Anbauflächen für Getreide und Mais, da weniger Flächen für die Futtermittelproduktion benötigt werden. Dies hat keine Auswirkungen auf die Flächen für die Lebensmittelproduktion. Zudem wird von Ertragssteigerungen im Ausmaß von 10 % ausgegangen. Die freiwerdenden Flächen werden dann mit Miscanthuspflanzen, die einen höheren Biomasseertrag als Getreidepflanzen aufweisen, bewirtschaftet. Dieses Potential wird in Kapitel 3.6.1 dargestellt. Im Gegensatz zu den Getreideanbauflächen wurde der Anbau von Ölfrüchten, wie zum Beispiel Raps, kontinuierlich ausgeweitet. Daher wird für die Berechnung des Rapsstroh-Potentials im Jahr 2050 ebenfalls von einer Flächenerweiterung und einer Ertragssteigerung von 10 % ausgegangen. Es wird zudem von einem durchschnittlichen Korn:Stroh Verhältnis von 1,1 und einem Wassergehalt des Strohs von 15 % ausgegangen. Das Strohpotential wird in Tabelle 12 dargestellt. Das tatsächliche jährliche Strohaufkommen ist auch stark von Wetter- und Klimaentwicklungen abhängig, die in dieser Berechnung nicht berücksichtigt wurden.

⁴³ Obernberger, I.; Widmann, W.; Wurst, F.; Wörgetter, M. „Beurteilung der Umweltverträglichkeit des Einsatzes von Einjahresganzpflanzen und Stroh zur Fernwärmeerzeugung, Jahresbericht zum gleichnamigen Forschungsprojekt, Institut für Verfahrenstechnik (Hrsg.), Technische Universität Graz, Österreich, 1995

⁴⁴ STATISTIK AUSTRIA „Statistik der Landwirtschaft 2017“, 2018

Tabelle 12: Jährliches Strohpotential 2017 und 2050 in Abhängigkeit vom reduzierten Fleischkonsum

in t TS	Getreidestroh	Maisstroh	Rapsstroh	Gesamtpotential
Energetische Nutzung* im Jahr 2017	60.000	-	-	-
Potential im Jahr 2017 ⁴⁵	1.482.727	2.293.961	168.827	3.945.515
Potential im Jahr 2050				
Fleischkonsum -40%	1.050.405	1.669.338	243.380	2.963.123
Fleischkonsum -20%	1.330.905	2.033.988	243.380	3.608.273
Fleischkonsum -10%	1.471.155	2.216.313	243.380	3.930.848

TS ..Trockensubstanz

*Zahlen zur stofflichen Nutzung (Dünger, Tiereinstreu, Dämmmaterial) sind nicht bekannt

Um diese Potentiale auch tatsächlich ausschöpfen zu können, müssten die folgenden Maßnahmen gesetzt werden:

- Förderung der österreichischen Landwirtschaft
- Ertragssteigerung in der Landwirtschaft
- Aufbau regionaler Supply Chains
- Nährstoffrückführung

3.6 Ermittlung des Potentials von sonstigen agrarischen Roh- und Reststoffen

Die Aktivitäten im Bereich des Anbaues von Energiepflanzen auf landwirtschaftlichen Flächen konzentrieren sich gegenwärtig auf den Anbau von Miscanthus. Neben Energiepflanzen gewinnen Nebenprodukte agrarischer Herkunft wie Maisspindel, Rebschnitt oder Rübenblätter als Rohstoffe für die energetische Nutzung zunehmend an Bedeutung.

⁴⁵ STATISTIK AUSTRIA „Statistik der Landwirtschaft 2017“, 2018; Korn:Stroh Verhältnis=1,1; Wassergehalt=15 %

3.6.1 Miscanthus

3.6.1.1 Landwirtschaftliche Aspekte

Von den mehrjährigen Energiegräsern rückt vor allem Miscanthus in den letzten Jahren verstärkt in den Vordergrund. Miscanthus kam als Zierpflanze aus dem asiatischen Raum nach Europa. Für die Nutzung als Energieträger wird die Sorte Miscanthus Sinensis Giganteus, auch als Elefantengras bekannt, angebaut. Sie ist eine ausdauernde Pflanze mit geringem Düngerbedarf.

Die Anpflanzung von Miscanthus erfolgt über das Auslegen von Rhizomen mit einer Dichte von 10.000 Stk./ha. Die Bestandesbegründung im ersten Jahr erfolgt durch Pflugfurche im Herbst. Die Saatbeetbereitung (Eggenkombination) und die Pflanzung der Rhizome erfolgt im darauf folgenden Frühjahr. Volle Bestandeserträge sind erst ab dem 3. Jahr zu erwarten. In den ersten beiden Jahren ist - aufgrund des fehlenden Bestandesschlusses - eine Unkrautbekämpfung notwendig. Diese erfolgt entweder chemisch mit dafür zugelassenen Herbiziden oder mechanisch mit Hacke und Striegel. Ab dem dritten Jahr erreicht Miscanthus die volle Wuchshöhe und eine praktisch vollständige Bodenbedeckung, sodass Unkräuter entsprechend unterdrückt werden.

Der Düngbedarf bei Miscanthus ist ertragsbezogen relativ gering, da ab Mitte September ein Großteil der aufgenommen Nährstoffe in das unterirdische Wurzel-Rhizomsystem rückverlagert wird. In der Praxis werden Bestände auf leistungsfähigen Böden oft ohne Düngung sehr erfolgreich geführt. Versuche durch die Universität für Bodenkultur Wien (Prof. Liebhard) ergaben, dass bei 50 kg Reinstickstoff ein Mehrertrag von ca. 16 % möglich ist.

Die Ernte erfolgt im Frühjahr in den Monaten April oder Mai, wenn die oberirdische Pflanzenmasse weitgehend abgestorben ist. Zu diesem Zeitpunkt sind die Blätter weitgehend abgefallen. Eine Woche Sonnenschein vor der Ernte wäre optimal um den Wassergehalt möglichst gering zu halten. Bei idealem Erntezeitpunkt, Standort und Witterung wird ein lagerfähiges Gut (Wassergehalt 10-15 %) geerntet. Ein Wassergehalt über 20 % ist als kritisch zu beurteilen, da ab hier mit Erhitzung und Schimmelbildung im Häckselgut zu rechnen ist. An guten österreichischen Standorten sind TM-Erträge bis zu 20 t/ha und Jahr möglich, Durchschnittserträge liegen bei 15 t TM/ha und Jahr.

Die Bestandesauflösung kann nach Ende der Hauptnutzungsphase (ca. 15 Vegetationsperioden) erfolgen. Unmittelbar nach der letzten Ernte werden die Rhizome mit einem Tiefengrubber gelockert und anschließend gefräst. Der Großteil der Rhizome stirbt anschließend durch Austrocknung ab. Austreibende Rhizomstücke werden zu einem späteren Zeitpunkt mit einem Totalherbizid abgespritzt.

3.6.1.2 Biomassepotential Miscanthus

Mit Ausnahme von wenigen Versuchsflächen wird Miscanthus in Österreich erst seit 2005 in nennenswertem Umfang angebaut. Vor allem durch Aktivitäten von Herstellern von

Kleinf Feuerungsanlagen in Oberösterreich rückte diese Pflanze als Brennstoff in das Blickfeld landwirtschaftlicher Betriebe. Derzeit konzentriert sich der Miscanthusanbau auf die mit Ackerflächen gut ausgestatteten Bundesländer Oberösterreich und Niederösterreich. Die Anbaufläche von Miscanthus betrug 2015 rund 1.149 ha. Unterstellt man, dass sich alle Miscanthusbestände im Vollertrag befinden (ab dem dritten Jahr), so kann bei einem Durchschnittsertrag von 15 t TM/ha derzeit eine **Gesamterntemenge von etwa 17.235 t TM** erwartet werden. Gegenwärtig wird das Erntegut praktisch zur Gänze in Verbrennungsanlagen eingesetzt.

Wenn man nun Fokus auf Qualitätsfleischkonsum mit entsprechender Optimierung des Flächenbedarfs legen würde, könnte man die Getreideflächen, die dadurch nicht mehr für den Futtermittelanbau benötigt werden, im Jahr 2050 mit Miscanthus bewirtschaften. Der Fleischkonsum ist bereits in den letzten Jahren sinkend (Abbildung 19). Würde der Fleischkonsum um 40 % gesenkt werden, würde sich eine freie Fläche von 178.500 ha ergeben, bei einer Reduktion um 20 % bzw. 10 % eine frei werdende Fläche von 89.250 ha bzw. 44.625 ha. Für das Miscanthus-Potential im Jahr 2050 (Tabelle 13) wurde wieder ein Durchschnittsertrag von 15 t TM/ha angenommen.

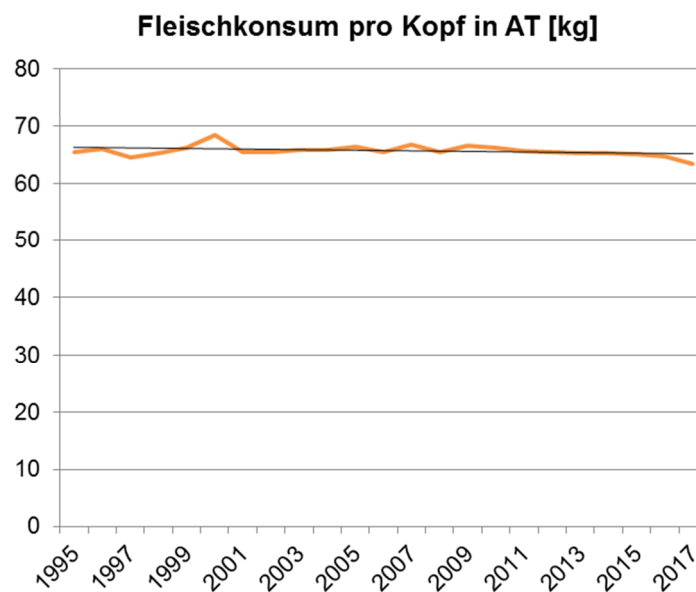


Abbildung 19: Fleischkonsum in kg/Kopf in Österreich⁴⁶

⁴⁶ AMA Marketing und Statistik Austria:
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwi0o8_y6e3gAhULPF_AKHcVrDLYQFjABegQIBBAB&url=https%3A%2F%2Famainfo.at%2Fueber-uns%2Fmarktinformationen%2F%3Ftx_kwamadownload_kwamadl%255Bdownloaduid%255D%3D2175%26cHash%3Dcb89cb6305494f6049ac15ae70e24cd2&usg=AOvVaw3DnbAOIZ_SW0aLmykeBYyB

Tabelle 13: Miscanthus Potential in Abhängigkeit von der Reduktion des Fleischkonsums

Potential in t TS im Jahr 2050	Miscanthus
Fleischkonsum -40%	2.677.500
Fleischkonsum -20%	1.338.750
Fleischkonsum -10%	669.375

TS .. Trockensubstanz

3.6.2 Weinrebschnitt

3.6.2.1 Landwirtschaftliche Aspekte

Der Rebschnitt, im Erwerbsweinbau eine jährliche Notwendigkeit um die Trieb-, Laub- und Traubenentwicklung des Weinstockes zu steuern, wird in der Vegetationsruhe (Winterschnitt) durchgeführt. Hierbei werden die einjährigen Ruten sowie altes, schadhaftes Holz vom Weinstock abgeschnitten und in den Fahrgassen zwischen den Reihen belassen. Die Schnittrückstände werden entweder im Frühjahr mit Mulchgeräten zerkleinert und in den Boden als Strukturmaterial für den Humusaufbau eingearbeitet oder aus dem Weinberg abtransportiert und verbrannt.

Der flächenhafte Abbrand von Rebschnitt (biogene Materialien) ist ohne Ausnahmegenehmigung seit dem Inkrafttreten des BGBL. 405/1993 (Verbrennungsverbot) verboten. Der Abtransport und das Verbrennen von Schnittrückständen ist bei Vorhandensein von holzerstörenden Pilzen wie Eutypa oder Esca eine erforderlich phytosanitäre Maßnahme um dem Ausbreiten der Pilze im Weinberg entgegenzuwirken. Wird befallenes Holz feucht, werden bis zu fünf Jahre nach dem Schnitt Sporen in großer Menge abgegeben.

Bedenken hinsichtlich der Entnahme von organischer Substanz (Rebholz) aus der Rebanlage und ein damit verbundener Humusabbau sind bei professionellem Bodenmanagement und der Einsaat von Begrünungen nicht angebracht. Abbildung 20 zeigt eine vereinfachte Humusbilanz einer Rebanlage.

Jährlicher Humusbedarf (organische Substanz) und Bedarfsdeckung einer Rebanlage

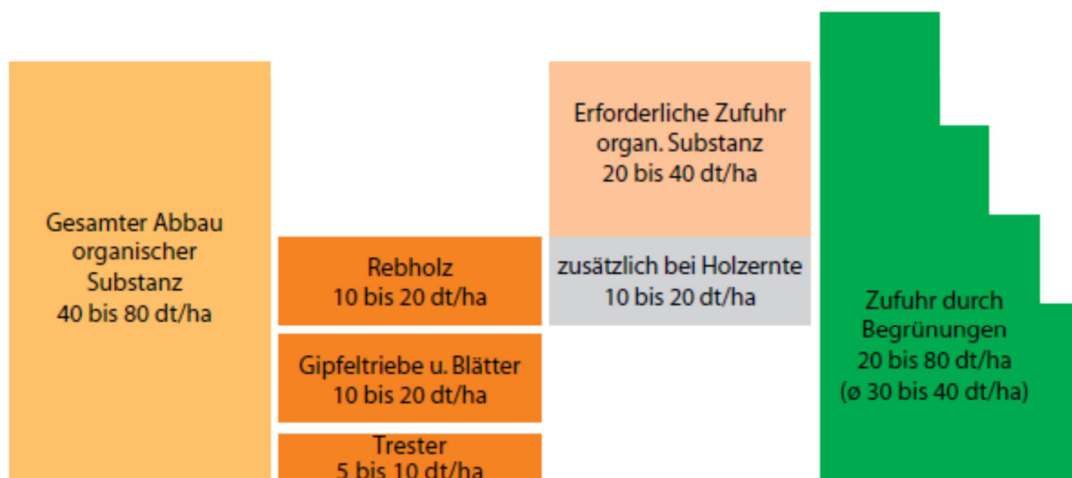


Abbildung 20: vereinfachte Humusbilanz für eine Rebanlage⁴⁷

Der gesamte Abbau an organischer Substanz beträgt zwischen 40 und 80 dt/ha jährlich. Rund die Hälfte davon wird zu etwa gleichen Teilen durch das Rebholz sowie durch Gipfeltriebe und Blattmasse nachgeliefert. Auch Trester und Geläger ergänzen die organische Substanz. Die erforderliche Zufuhr an organischer Substanz, die nicht durch die Rebe selbst gedeckt wird, beträgt somit 20 bis 40 dt/ha und Jahr. Wird auch das Rebholz entfernt, so erhöht sich die erforderliche Zufuhr um 10 bis 20 dt/ha.

Begrünungen bieten eine hervorragende Möglichkeit zum Humusaufbau, da sie neben der Produktion von organischer Substanz auch positive Effekte auf Bodenlebewesen und Bodenstruktur ausüben. Durch Begrünungen können zwischen 20 und 80 dt/ha organische Substanz gebildet werden. Durchschnittswerte für Herbst/Winterbegrünungen liegen bei etwa 30 bis 40 dt/ha. Aus Sicht der Humusbilanz stellt die Entfernung des Rebholzes aus der Anlage bei entsprechendem Bodenmanagement und der Einsatz von Gründüngungen daher kein Problem dar.⁴⁸

3.6.2.2 Biomassepotential Weinrebschnitt

Beim Rebschnitt fallen je Hektar Ertragsreblfläche 1.500 kg frisches Rebholz an. Die Menge an anfallendem Rebholz ist im Wesentlichen abhängig von der Stockzahl/ha (Reihenabstand), von der Rebsorte und vom Alter der Rebstöcke (Wüchsigkeit). Bei vorgeschnittenen Weingärten muss berücksichtigt werden, dass rund ein Drittel des Holzes nicht vom Rebholzsammelgerät erfasst werden kann. Der Wassergehalt von frischem Rebholz liegt bei rund 45 %, weshalb eine Lagerung ohne Trocknung nicht möglich ist. Wird das Rebholz allerdings erst im März oder April

⁴⁷ Peyerl, H. „Hackschnitzelheizung mit Rebholz“ In: Weinbaumagazin „Der Winzer“, Österreichischer Agrarverlag (Hrsg.), Ausgabe 11/2007, Seite 24 - 27

⁴⁸ Peyerl, H. „Hackschnitzelheizung mit Rebholz“ In: Weinbaumagazin „Der Winzer“, Österreichischer Agrarverlag (Hrsg.), Ausgabe 11/2007, Seite 24 - 27

aufgesammelt, so hat es bereits einen lagerfähigen Zustand erreicht. Im lufttrockenen Zustand liegt der Wassergehalt lediglich bei ca. 20 %.⁴⁹ Derzeit beträgt die Weinanbaufläche rund 45.200 ha⁵⁰. Für das Potential im Jahr 2050 sind keine wesentlichen Änderungen zu erwarten. Um dieses Potential jedoch voll nutzen zu können, müssen die Ernteverfahren optimiert werden. Da zudem nicht auf allen Flächen die Entnahme des Rebschnitts aufgrund von geographischen und geologischen Gegebenheiten möglich ist, werden Abstufungen (80 %, 50 %, 20 %) des Potentials vorgenommen. Die Potentiale sind Tabelle 14 dargestellt.

Tabelle 14: Potential Weinrebschnitt im Jahr 2050

Potential in t TS im Jahr 2050	Rebschnitt
Gesamt	54.000
80%	43.200
50%	27.000
20%	10.800

TS ... Trockensubstanz

3.6.3 Maisspindel

3.6.3.1 Landwirtschaftliche Aspekte

Maisspindeln fallen als Nebenprodukt bei der Körnermais- und Saatmaisproduktion an. Bis zum Aufkommen der ersten selbstfahrenden Körnermaiserntemaschinen um 1960 wurden die Maiskolben großteils händisch gepflückt, in sogenannten Reischen getrocknet und im Winter manuell oder maschinell „gerebelt“, um die Körner von den Spindeln zu trennen. Die anfallenden Spindeln wurden für Heizzwecke verwendet. Bei der heutigen Körnermaiserntetechnik verbleiben die Maisspindeln zur Gänze am Feld, mit Ausnahme der Saatmaisproduktion.

3.6.3.2 Biomassepotential Maisspindel

Pro Hektar Maisanbaufläche fallen ca. 1,5 Tonnen an Maisspindel mit einem Wassergehalt von 10 % an.⁵¹ Die Körnermaisbaufläche schwankt um die 200.000 ha. Im Jahr 2017 betrug die

⁴⁹ Schwarz, H.-P. „Weinbau und Energie“, Forschungsanstalt Geisenheim, Fachgebiet Technik, Geisenheim, 2008 & Peyerl, H. „Hackschnitzelheizung mit Rebholz“ In: Weinbaumagazin „Der Winzer“, Österreichischer Agrarverlag (Hrsg.), Ausgabe 11/2007, Seite 24 - 27

⁵⁰ STATISTIK AUSTRIA „Statistik der Landwirtschaft 2017“, 2018

⁵¹ <https://stmk.lko.at/maisspindel-ein-rohstoff-mit-zukunft+2500+2647538>

Körnermaisbaufläche 209.476 ha. **Damit würde sich im Jahr 2050 ein Potential von etwa 282.792 t TS an Maisspindel ergeben, falls die Anbaufläche konstant bleibt** (Tabelle 15). Um dieses Potential zu nutzen, müssten allerdings optimierte Ernteverfahren etabliert werden. Der geänderte Fleischkonsum und somit der Rückgang der Futtermittelanbauflächen hat auf dieses Potential kaum Einfluss, da der Flächenrückgang vor allem den Silo- und Grünmaisbau betreffen würde. Die Silo- und Grünmaisbauflächen sind für das Maisspindelpotential aber nicht berücksichtigt worden.

Tabelle 15: Potential Maisspindel im Jahr 2050

Potential in t TS im Jahr 2050	Maisspindel
Gesamt	282.792
80%	226.234
50%	141.396
20%	56.558

TS ...Trockensubstanz

3.6.4 Rübenblätter

Rübenblätter der Zuckerrüben stellen landwirtschaftliche Reststoffe dar, die allerdings zur Zeit bereits als Futtermittel oder als Substrat in Biogasanlagen eingesetzt werden. Im Jahr 2017 sind auf 42.815 ha Rübenblätter angefallen.⁵² Es kann davon ausgegangen werden, dass pro Hektar ca. 40 Tonnen Rübenblätter geerntet werden können.⁵³ Daher kann auf dieser Fläche ca. 1,7 Millionen Tonnen Rübenblätter geerntet werden. Allerdings weisen Rübenblätter einen hohen Wassergehalt von 85 % auf. Damit beläuft sich das **aktuelle Potential auf nur 256.890 Tonnen Trockensubstanz**. Für das Jahr 2050 wird angenommen, dass die durchschnittliche Anbaufläche der letzten Jahre gleich bleibt und eine Ertragssteigerung von 10 % zu erwarten ist. Somit steigt das Potential auf 285.269 Tonnen TS an (Tabelle 16).

⁵² STATISTIK AUSTRIA „Statistik der Landwirtschaft 2017“, 2018

⁵³ Rüben als Biogassubstrat–Überblick über Verfahrenswege zu Transport, Aufbereitung und Lagerung

Tabelle 16: Potential Rübenblätter im Jahr 2050

Potential in t TS im Jahr 2050	Rübenblätter
Gesamt	285.269
80%	228.215
50%	142.634
20%	57.054

TS ...Trockensubstanz

3.7 Biogene Abfälle

Das derzeitige Aufkommen an biogenen Abfällen kann dem Statusbericht 2018 des Bundesabfallwirtschaftsplans entnommen werden.⁵⁴ Die zudem erfolgt eine Umrechnung in t TS. Der Wassergehalt von den Biogenen Abfällen ist großen Schwankungen unterworfen. Da sich durch die Sammlung längere Zwischenlagerzeiten ergeben, wird für die Potentialberechnung ein durchschnittlicher Wassergehalt von rund 30 % unterstellt. Zudem nimmt die Menge an biogenen Abfällen, ausgenommen der biogene Abfall von Grünflächen, im Ausmaß des Bevölkerungswachstum von 10 % zu. Für den Abfall von Grünflächen wird angenommen, dass optimierte Sammelsysteme mehr Grünflächenabfälle erfasst werden (5 %).

⁵⁴ Bundesabfallwirtschaftsplan, Statusbericht 2018: <https://www.bmnt.gv.at/umwelt/abfall-ressourcen/bundes-abfallwirtschaftsplan/BAWP2017-Final.html>

	Biotonne	Grünfläche	Küchen- und Speisereste	Biogener Anteil Restmüll	Summe
Aufkommen im Jahr 2016 in t FS	530.700	482.800	113.400	255.876	1.382.776
Aufkommen im Jahr 2016 in t TS	371.490	337.960	79.380	179.113	967.943
Potential im Jahr 2050 in t TS					
100%	408.639	354.858	87.318	197.025	1.047.840
80%	326.911	283.886	69.854	157.620	838.272
50%	204.320	177.429	43.659	98.512	523.920
20%	81.728	70.972	17.464	39.405	209.568

FS ... Feuchtsubstanz wie angefallen; TS ... Trockensubstanz

3.8 Klärschlamm und Wirtschaftsdünger

Von den kommunalen Abwasser-Reinigungsanlagen mit einer Kapazität ab 2.000 EW⁶⁰¹ wurden **2016 insgesamt rd. 238.000 t TS Klärschlamm** erzeugt.⁵⁵ Laut Prognose der Statistik Austria ist bis 2050 mit einem Bevölkerungswachstum von 10 % zu rechnen. Somit würde sich die anfallende Klärschlammmenge im Jahr 2050 auf 261.800 t TS erhöhen.

Die derzeit anfallende Menge an Wirtschaftsdünger wird in Tabelle 17 dargestellt. Der Wirtschaftsdünger bleibt eigentlich in der landwirtschaftlichen Kreislaufwirtschaft, d.h. das Potential ist schwer zu mobilisieren. Für die Berechnung des Potentials im Jahr 2050 wurde angenommen, dass der Bestand an Rindern, Schweinen, Geflügel, Schafen und Ziegen jeweils um 40 %, 20 % und 10 % zurückgeht. Der Bestand an Pferden wird konstant gehalten. Das Klärschlamm und Wirtschaftsdüngerpotential wird in Tabelle 17 dargestellt.

Tabelle 17: Wirtschaftsdüngeraufkommen im Jahr 2017⁵⁶

Wirtschaftsdünger in t TS im Jahr 2017	
Pferde	71.109
Rinder	5.710.950
Schweine	2.425.222
Schafe	105.947
Ziegen	1.085
Geflügel	162.174
Gesamt	8.476.488

TS ...Trockensubstanz

⁵⁵ Bundesabfallwirtschaftsplan, Statusbericht 2018: <https://www.bmnt.gv.at/umwelt/abfall-ressourcen/bundes-abfallwirtschaftsplan/BAWP2017-Final.html>

⁵⁶ BMNT, „Grüner Bericht 2018 gemäß §9 des Landwirtschaftsgesetzes- Bericht über die Situation der Österreichischen Land- und Forstwirtschaft im Jahr 2017“, 59. Auflage, Wien 2018 & Auskunft BIOS-Biokontrollservice Österreich

Tabelle 18: Aufkommen und Potential Klärschlamm und Wirtschaftsdünger

in t TS	Aufkommen im Jahr 2016 bzw. 2017	Potential im Jahr 2050 Fleischkonsum -40%	Potential im Jahr 2050 Fleischkonsum -20%	Potential im Jahr 2050 Fleischkonsum -10%
Wirtschaftsdünger	8.476.488	5.179.640	6.795.412	7.635.950
Klärschlamm	238.000	261.800	261.800	261.800
Gesamt	8.714.488	5.441.440	7.057.212	7.897.750

TS ... Trockensubstanz

3.9 Kunststoff

Das Aufkommen an Kunststoffabfällen (sortenrein sowie Kunststoffanteile in sonstigen Abfällen) wurden in den letzten Jahren mit rund 0,9 Mio. Tonnen ermittelt. Nur etwa 21 % der Kunststoffmenge entfallen auf „reine“ Kunststoffabfälle (KS-Abfall). Davon am wichtigsten sind Kunststofffolien (SN 57119), Kunststoffemballagen und –behälter (SN 57118), sonstige ausgehärtete Kunststoffabfälle (SN 57129), Polyolefinabfälle (SN 57218) und Gummi (SN 57501). Rund 77 % der Kunststoffmenge stammen aus gemischten Abfällen mit unterschiedlich hohen Kunststoffanteilen, wobei die wichtigsten Abfallarten gemischte Siedlungsabfälle und ähnliche Gewerbeabfälle (SN 91101, „Restmüll“), Leichtfraktion aus der Verpackungssammlung (SN 91207) und Sperrmüll (SN 91401) sind. Der Rest (Kunststoffe in Farben & Lacken, Farben & Lacken ausgehärtet, Kunststoffschlämme und Weichmacher) trägt nur mit rund 2 % zur Kunststoffmenge in Abfällen bei.⁵⁷ Der Recyclinganteil von Kunststoff beträgt ca. 30%, der Rest wird vorwiegend thermisch entsorgt.⁵⁸ **Das zur Verfügung stehende Potential im Jahr 2016 beträgt somit rund 620.000 Tonnen Kunststoff.** Der historische Verlauf der Kunststoffabfälle in Österreich (exkl. Kunststoffe in Farben & Lacken, Farben & Lacken ausgehärtet, Kunststoffschlämme und Weichmacher) ist in Abbildung 21 dargestellt. Schätzungen des Umweltbundesamtes gehen davon aus, dass bereits bis zum Jahr 2021 das Aufkommen an Kunststoffabfällen auf rund eine Million Tonnen anwachsen wird.⁵⁹ Das entspricht einer Steigerung von rund 10 %. Auch die Bedeutung von Biokunststoffen, von denen in Österreich jährlich 50.000 Tonnen in Verkehr gesetzt werden, und Verbundkunststoffen wird weiter steigen. Wächst das Kunststoffaufkommen mit der gleichen Wachstumsrate weiter, wird 2050

⁵⁷ Stoifl, B.; Bernhardt, A.; Karigl, B.; Lampert, C.; Neubauer, M.; Thaler, P. "Kunststoffabfälle in Österreich Aufkommen & Behandlung-Materialien zum Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2017", Umweltbundesamt, 2017

⁵⁸ Bundesabfallwirtschaftsplan, Statusbericht 2018: <https://www.bmnt.gv.at/umwelt/abfall-ressourcen/bundes-abfallwirtschaftsplan.html>

⁵⁹ http://www.umweltbundesamt.at/news_180514

ein Kunststoffabfallaufkommen von rund 2 Millionen Tonnen erwartet. Allerdings gibt es Bestrebungen, die Nutzung von Kunststoff durch entsprechende politische Maßnahmen in eine entsprechende Kreislaufwirtschaft einzubetten bzw. sogar zu reduzieren. So zielt die EU-Plastikstrategie die Umwelt zu schützen und die Grundlagen für eine kreislaforientierte Kunststoffwirtschaft zu schaffen, in der Wiederverwendung, Reparatur und Recycling bereits im Design- und Herstellungsprozess berücksichtigt werden.⁶⁰ So wird angenommen, dass die Recyclingquote bis 2050 auf zumindest 50 % ansteigen wird. Daher ergibt sich für 2050 ein Potential von ca. 950.000 Tonnen. Gelingt es zudem die Verwendung von Kunststoff zu reduzieren, sinkt das zur Verfügung stehende Potential dementsprechend (Tabelle 19).

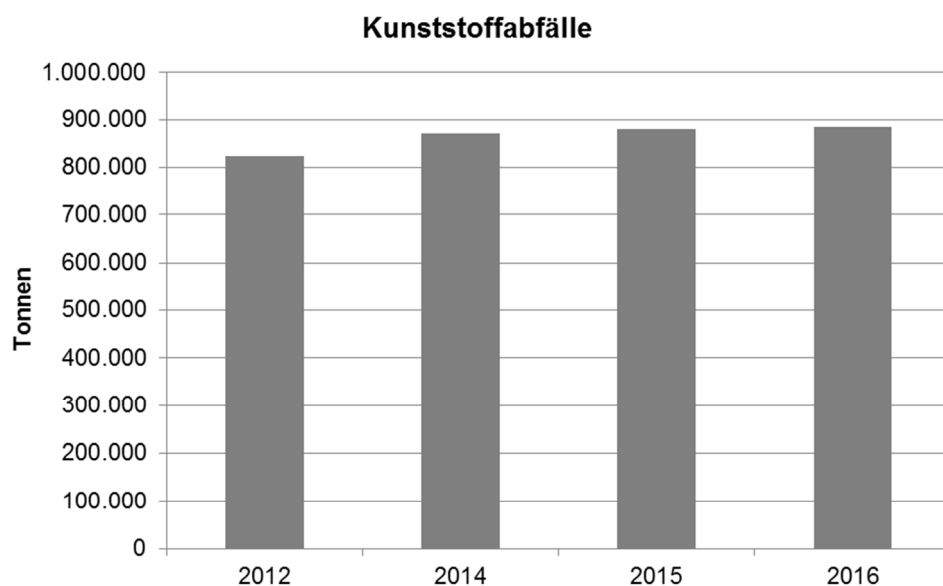


Abbildung 21: Entwicklung der Kunststoffabfälle in Österreich⁶¹

Tabelle 19: Kunststoffpotential im Jahr 2050

Potential in t im Jahr 2050	Kunststoff
Gesamt	950.000
80%	760.000
50%	475.000
20%	190.000

⁶⁰ https://ec.europa.eu/germany/news/20180116-plastikstrategie_de

⁶¹ <https://www.bmnt.gv.at/umwelt/abfall-ressourcen/bundes-abfallwirtschaftsplan.html>

3.10 Zusammenfassung Biomassepotentiale

3.10.1 Biomassepotential in t Trockensubstanz

Das berechnete maximale Biomassepotential sowie die derzeitige Nutzung dieser Potentiale werden in Abbildung 22 abgebildet. Folgende Roh- und Reststofffraktionen werden für die Ermittlung des Biomassepotentials betrachtet:

- | | |
|---------------------|---------------------|
| ➤ Altholz | ➤ Maisspindel |
| ➤ Sägenebenprodukte | ➤ Rebschnitt |
| ➤ Kurzumtrieb | ➤ Biogene Abfälle |
| ➤ Getreidestroh | ➤ Klärschlamm |
| ➤ Mais- & Rapsstroh | ➤ Wirtschaftsdünger |
| ➤ Rübenblätter | ➤ Miscanthus |

Insbesondere bei der Holzbiomasse (forstliche Holzbiomasse sowie Altholz und Sägenebenprodukte) ist aber zu beachten, dass die Bereitstellung der zukünftigen Potentiale nur in Verbindung mit dem Wachstum der dazugehörigen Branchen der Holzverarbeitenden Industrie einhergeht. Daher ist das realistisch verfügbare Potential im Jahr 2050 deutlich geringer als das Gesamtpotential (siehe Tabelle 20). Bei der Nutzung des Wirtschaftsdüngers wurden keine Konkurrenznutzungen berücksichtigt, wobei auch hier unsicher ist, wie viel tatsächlich aus der landwirtschaftlichen Kreislaufwirtschaft entnommen werden kann. Klimaentwicklungen, die maßgeblich Einfluss auf die Biomasseerträge und Sortenzusammensetzung haben, wurden in dieser Studie nicht berücksichtigt.

Die tatsächliche Mobilisierung dieser Biomassepotentiale hängt zudem von der Umsetzung einer Reihe an Maßnahmen ab:

- Sinnvolle und effiziente Kaskadennutzungen
- Nutzung von Reststoffen und Abfällen aus allen Bereichen (Biotonne, biogener Anteil Restmüll, Klärschlamm, Gülle, Schlachtabfälle, ...)
- Aufrechterhaltung oder sogar Ausbau der Sägeindustrie in Österreich
- Verstärkter Holzbau
- Weitere Mobilisierung der Kleinwaldbesitzer
- Biomasseverwertung im Inland erhöht das Aufkommen der Reststoffe
- Renaturierung/Sanierung von brachliegenden Gewerbe und Industrieflächen
- Nutzung von Grünlandbrachflächen
- Reduzierung der Flächenversiegelung

- Fokus auf Qualitätsfleischkonsum mit entsprechender Optimierung des Flächenbedarfs

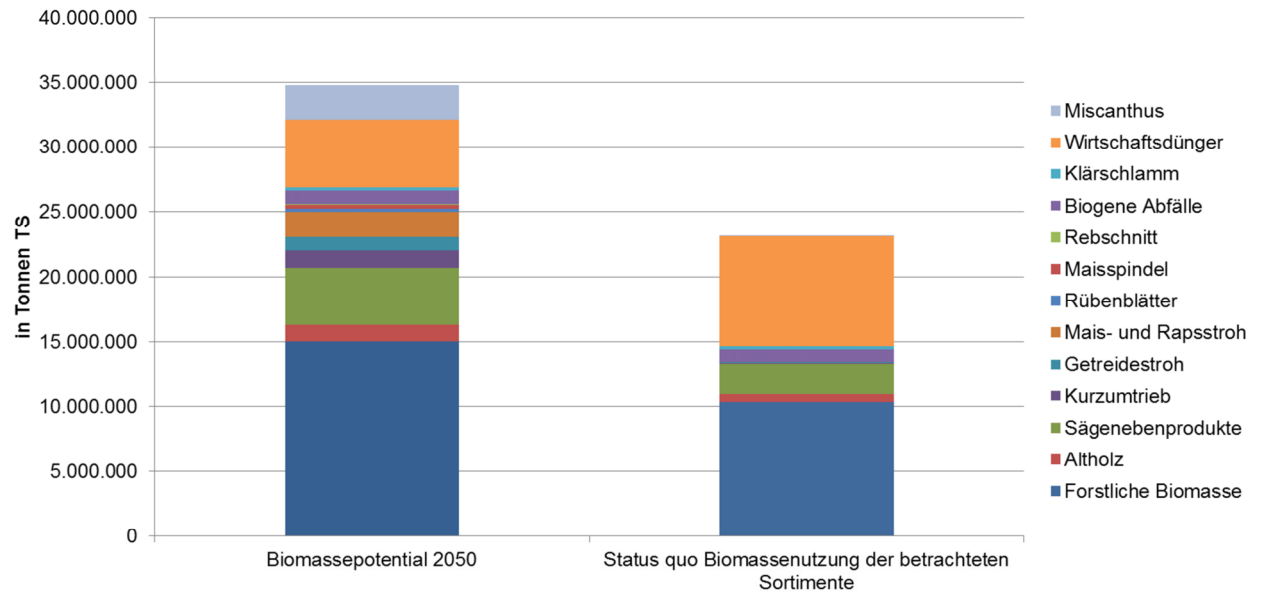


Abbildung 22: Gesamtes Biomassepotential 2050 bei einer Reduzierung des Fleischkonsums von 40 % und konstantem Import sowie derzeitige Biomassenutzung in t TS

Tabelle 20: Vergleich Biomassepotential im Jahr 2050 mit dem realistisch energetisch nutzbaren (unter Berücksichtigung der Kaskadennutzung) Biomassepotential 2050

in t-TS bzw. t-atro	Status quo Biomassenutzung	Biomassepotential 2050	Nutzungsgrad im 2050	Realistisches Biomassepotential in 2050
Forstliche Biomasse	10.314.078	14.992.869	50 % des ungenutzten Zuwachs	1.621.505
Altholz	641.242	1.289.893	50 %	324.326
Sägenebenenprodukte	2.378.758	4.394.265	50 %	1.025.753
Kurzumtrieb	26.631	1.339.173	80 %	1.071.388
Getreidestroh	60.000	1.050.405	Fleischkonsum -20 %	1.330.905
Mais- und Rapsstroh	0*	1.912.718	Fleischkonsum -20 %	2.277.368
Rübenblätter	0*	285.269	50 %	142.634
Maisspindel	16.000	282.793	80 %	226.234
Rebschnitt	0*	54.000	50 %	27.000
Biogene Abfälle	967.943	1.047.840	50 %	523.920
Klärschlamm	238.000	261.800	100 %	261.800
Wirtschaftsdünger	8.476.488	5.179.640	Fleischkonsum -20 %	6.795.412
Miscanthus	16.000	2.677.500	Fleischkonsum -20 %	1.338.750
Summe	23.135.140	34.768.165		16.966.995

*tatsächliche aktuell genutzte Menge als Tierfutter, Einstreu oder Düngemittel ist unbekannt

3.10.2 Potential Methanerträge

Die Berechnung der Methanerträge erfolgt in Anlehnung an die Studie der Montanuniversität Leoben.⁶² Für den Methanisierungsprozess wird ein Gesamtwirkungsgrad von 64 % angenommen. Zusätzlich ist für die Bestimmung des Methangaspotentials der Heizwert bezogen auf die Trockenmasse entscheidend. Die angenommenen Heizwerte sind in Tabelle 21 aufgelistet. Die sich daraus ergebenden Methanerträge sind in Abbildung 23 und Tabelle 22 dargestellt. Die in der Praxis tatsächlich erreichbaren Methanerträge hängen maßgeblich von der eingesetzten Technologie ab.

Tabelle 21: Heizwerte der betrachteten Roh- und Reststoffsortimente⁶³

Rohstoff	Heizwert in MJ/kg TS	Heizwert in kWh/kg TS
Forstliche Biomasse	18,85	5,24
Altholz	16,00	4,44
Sägenebenprodukte	18,85	5,24
Kurzumtrieb	17,64	4,90
Getreidestroh	17,28	4,80
Mais- & Rapsstroh	17,28	4,80
Rübenblätter	16,40	4,56
Maisspindel	17,28	4,80
Rebschnitt	18,36	5,10
Biogene Abfälle	12,50	3,47
Klärschlamm	12,00	3,33
Wirtschaftsdünger	10,00	2,78
Miscanthus	15,84	4,40

TS ...Trockensubstanz

⁶² Sejkora, C.; Mobarakeh, M.R.; Hafner, S.; Kienberger, T. "Technisches Potential an Synthetischem Methan aus Biogenen Ressourcen", Leoben, Oktober 2018

⁶³ klima:aktiv: Umrechnungsfaktoren für Energieholzsortimente; Agrar Plus: Biomasse-Heizwerte/-äquivalente; Land Steiermark: Thermische Abfallbehandlung-Brennwert / Heizwert

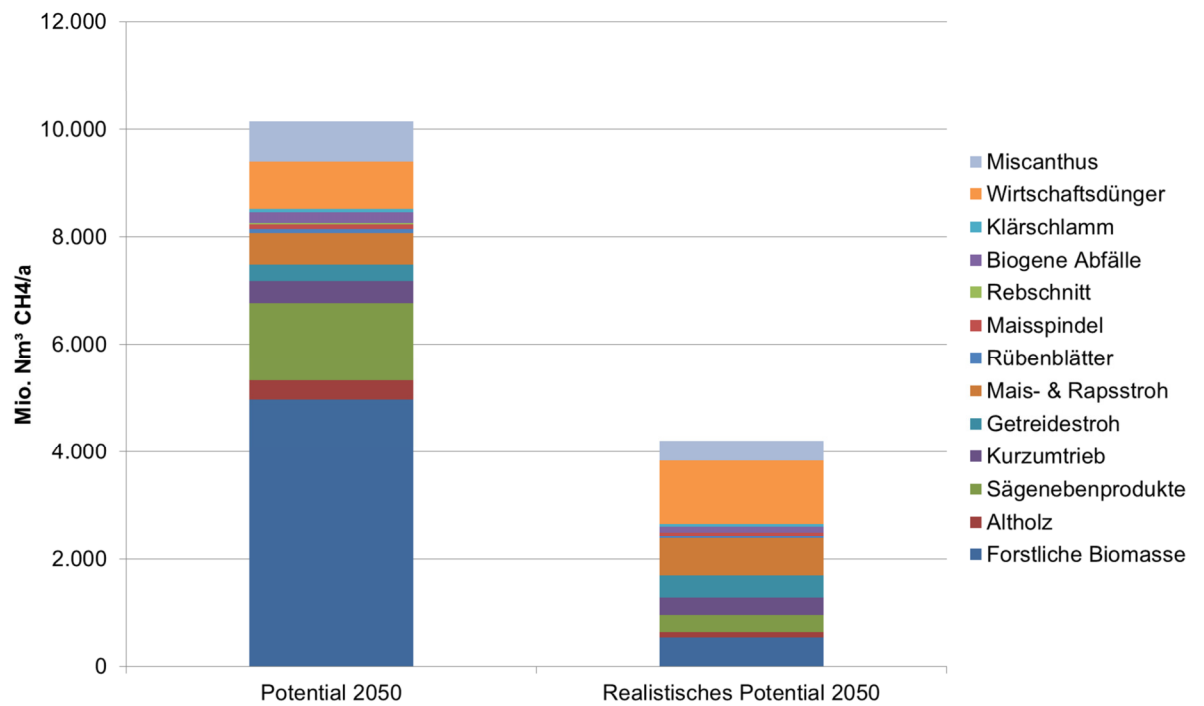


Abbildung 23: Methanpotential im Jahr 2050 basierend auf den geschätzten Biomassepotentialen

Tabelle 22: Potential Methanerträge im Jahr 2050 basierend auf den geschätzten Biomassepotentialen

Mio.Nm³ CH ₄ /a	Gesamtpotential 2050	Realistisches Potential 2050
Forstliche Biomasse	4.964	537
Altholz	363	91
Sägenebenprodukte	1.432	334
Kurzumtrieb	409	327
Getreidestroh	319	404
Mais- und Rapsstroh	581	691
Rübenblätter	82	41
Maisspindel	86	69
Rebschnitt	17	9
Biogene Abfälle	204	102
Klärschlamm	54	54
Wirtschaftsdünger	896	1.175
Miscanthus	734	367
Summe	10.141	4.202

4 Verzeichnisse

4.1 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Erfordernisse zu brenntechnischen Eigenschaften lt. ÖVGW G31	16
Tabelle 2: Produktgaszusammensetzung	17
Tabelle 3: Kosten DFB Vergasung + BioSNG-Erzeugung (BWL=43,5MW)	20
Tabelle 4: Erlöse aus dem Erdgasverkauf sowie jährliche Überschüsse	21
Tabelle 5: Kapitalwert, ROI, Amortisationszeit	22
Tabelle 6: Waldflächen und Besitzverhältnisse- Eigentumsarten nach Kataster	30
Tabelle 7: Jährliches forstliches Holzpotential in t-atro	33
Tabelle 8: Altholzkategorien nach der Recyclingholzverordnung	35
Tabelle 9: Jährliches Altholzpotential im Jahr 2050	39
Tabelle 10: Jährliches Potential Kurzumtriebsholz in t-atro	42
Tabelle 11: Nährstoffgehalt von Strohasche in Gew.% der TM	44
Tabelle 12: Jährliches Strohpotential 2017 und 2050 in Abhängigkeit vom reduzierten Fleischkonsum	45
Tabelle 13: Miscanthus Potential in Abhängigkeit von der Reduktion des Fleischkonsums	48
Tabelle 14: Potential Weinrebschnitt im Jahr 2050	50
Tabelle 15: Potential Maisspindel im Jahr 2050	51
Tabelle 16: Potential Rübenblätter im Jahr 2050	52
Tabelle 17: Wirtschaftsdüngeraufkommen im Jahr 2017	54
Tabelle 18: Aufkommen und Potential Klärschlamm und Wirtschaftsdünger	55
Tabelle 19: Kunststoffpotential im Jahr 2050	56
Tabelle 20: Vergleich Biomassepotential im Jahr 2050 mit dem realistisch energetisch nutzbaren (unter Berücksichtigung der Kaskadennutzung) Biomassepotential 2050	59
Tabelle 21: Heizwerte der betrachteten Roh- und Reststoffsortimente	60
Tabelle 22: Potential Methanerträge im Jahr 2050 basierend auf den geschätzten Biomassepotentialen	62

4.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Funktionsprinzip der DFB-Vergasung	7
Abbildung 2: Wirbelschichtvergasung TU Wien, Oberwart, Güssing, Senden	8
Abbildung 3: Entwicklung DFB System: von Labor- zu Demonstrations- und kommerziellen Anlagen	8
Abbildung 4: G-Volution Vergaser (in Anlehnung an)	9
Abbildung 5: Prozesskette Gasreinigung: 1.Filter, 2.RME Wäscher, 3. Aktivkohle, 4. Zinkoxid. 12	
Abbildung 6: 1MW BioSNG Pilot- und Versuchsanlage	14
Abbildung 7: Prozesskette: Biomassevergasung & Methanierung	15
Abbildung 8: Sensitivitätsanalyse Brennstoffpreis	23
Abbildung 9: Sensitivitätsanalyse Erdgaspreis	24
Abbildung 10: Sensitivitätsanalyse Kalkulationszinssatz	24
Abbildung 11: Waldkarte Österreich. Quelle: BFW 2010	27
Abbildung 12: Entwicklung der Waldfläche in Österreich. Quelle: BWF 2010	27
Abbildung 13: Holznutzung vs. Holzvorrat im Österreichischen Wald	28
Abbildung 14: Holzflussdiagramm, Datenbasis, alle Werte in Mio. Festmeter: 2016	31
Abbildung 15: Zuwachs, Nutzung und Ungenutzter Zuwachs im Jahr 2050 in Vfm	32
Abbildung 16: Anfall der Schadholz mengen	34
Abbildung 17: Mengen der Fraktionen „Bau- und Abbruchholz“ sowie „Holzemballagen und Holzabfälle“ von 2004 bis 2016	38
Abbildung 18: Wertschöpfungskette Kurzumtrieb	41
Abbildung 19: Fleischkonsum in kg/Kopf in Österreich	47
Abbildung 20: vereinfachte Humusbilanz für eine Rebanlage	49
Abbildung 21: Entwicklung der Kunststoffabfälle in Österreich.....	56
Abbildung 22: Gesamtes Biomassepotential 2050 bei einer Reduzierung des Fleischkonsums von 40 % und konstantem Import sowie derzeitige Biomassenutzung in t TS	58
Abbildung 23: Methanpotential im Jahr 2050 basierend auf den geschätzten Biomassepotentialen	61