

Wirtschaftlichkeits- und CO₂-Bewertung ausgewählter biomassebasierter Energieträger für Österreich

Beitrag zur Dekarbonisierung 2040 (BIOWERT)

R. Haas, N. Gürer, F. Radosits,
A. Ajanovic, M. Sayer

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

29/2024

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:

Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien

Leiter: DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM

Autorinnen und Autoren: Prof. Dr. Reinhard Haas, Nadine Gürer, MSc., Dipl. Ing. Frank Radosits,
Prof. Dr. Amela Ajanovic, Dr. Marlene Sayer (Energy Economics Group - EEG, TU Wien)

Dieser Bericht gibt Einblick in die Ergebnisse eines Forschungsprojekts, das vom BMK gefördert wurde. Die inhaltliche Verantwortung für Vollständigkeit und Richtigkeit liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Wien, 2024

Wirtschaftlichkeits- und CO₂-Bewertung ausgewählter biomassebasierter Energieträger für Österreich

Beitrag zur Dekarbonisierung 2040 (BIOWERT)

Prof. Dr. Reinhard Haas, Nadine Gürer, MSc., Dipl. Ing. Frank Radosits, Prof. Dr. Amela Ajanovic,
Dr. Marlene Sayer
Energy Economics Group (EEG), TU Wien

Wien, Oktober 2024

Im Auftrag des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Inhaltsverzeichnis

1. Kurzfassung	6
2. Abstract	8
3. Einleitung	10
3.1 Motivation und zentrale Forschungsfragen.....	10
3.2 Inhalte und spezifische Zielsetzungen	11
3.3 Der gesellschaftliche Wert der energetischen Nutzung von Biomasse	11
3.4 Methodische Vorgehensweise.....	12
3.5 Erwartete Ergebnisse	14
3.6 Wichtigste Literatur	15
3.7 Aufbau der Arbeit	16
4. Beschreibung der wichtigsten Literatur	17
5. Historische Meilensteine der Biomassenutzung und Preise in Österreich	21
5.1 Entwicklung der Bioenergieversorgung & der energetischen Biomassenutzung in Österreich 21	
5.2 Historische Entwicklung und aktueller Stand von Preisen ausgewählter Energieträger	27
6. Energetische Potenziale der Biomassenutzung und Definitionen von Umwandlungsketten der Nutzung	30
6.1 Mögliche biogene Primärressourcen für die energetische Nutzung und deren Potenziale ..	30
6.2 Diskussion von (verfügbaren) Potenzialen primärseitig	31
6.2.1 Entwicklung des Waldbestandes, Waldholzvorrat, Waldzuwachs und Holzeinschlags	32
6.3 Überblick Potenziale	34
6.4 Zusammenfassung Potenziale der energetischen Nutzung.....	37
6.5 Auswahl von/ Definition möglicher Umwandlungsketten für die energetische Nutzung biogene Primärressourcen	39
7. CO₂-Analyse ausgewählter Biomasseumwandlungsketten	41
7.1 Beschreibung der Methodik zur Ermittlung der Life-cycle - CO ₂ -Bilanzen der einzelnen Umwandlungsketten.....	41
7.2 Ergebnisse der Analyse der CO ₂ -Faktoren verschiedener ausgewählter Umwandlungsketten 43	
8. Aktuelle Wirtschaftlichkeitsanalyse der betrachteten Umwandlungsketten	48
8.1 Beschreibung der ökonomischen Methodik.....	48
8.2 Ergebnisse der (statischen) ökonomischen Analyse ausgewählter Ketten für verschiedene Anwendungen/Produkte	49
8.3 Technologisches Lernen (TL).....	53
8.4 Vergleich der aktuellen Preisunterschiede biogener Energieträger.....	55

9. Ergebnisse der Wirtschaftlichkeits-szenarien bis 2040	56
9.1 Szenarien des CO ₂ -Preises und der Preise biogener und fossiler Energieträger bis 2040....	56
9.2 Einfluß des CO ₂ -Preises auf die Wirtschaftlichkeit bis 2040	57
9.3 Szenarien für die Kosten verschiedener Anwendungen /Produkte biomassebasiert vs fossil bis 2040 abhängig von deren Preisentwicklung	62
9.4 Vergleich der Preise und der Preisunterschiede verschiedener biomassebasierter Energieträger 2020 vs 2040 untereinander und Einfluß des CO ₂ -Preises	70
10. Wichtigste Ergebnisse	72
11. Schlussfolgerungen und Ausblick	75
12. Policy Brief.....	77
Literaturverzeichnis:.....	79
Abbildungsverzeichnis	82
Abkürzungsverzeichnis	86
Anhang A: Details zu Daten der Effizienzen, Volllaststunden und Investitionskosten	87
Anhang B: Zusammenfassung & Impulse des Workshops.....	88
Anhang C: Ausblick und Empfehlungen zu zukünftigen Forschungsfragen aus Diskussionen mit externen Biomasseexpert/inn/en	95
Anhang D: Weiterer Forschungsbedarf aus Studie Dissauer et al (2023)	98

1. Kurzfassung

Die Motivation für dieses Projekt sind die derzeitigen umwelt- und energiepolitischen Bestrebungen zur Dekarbonisierung des Energiesystems (basierend unter anderem auf der Konferenz COP21 sowie auf der Klimaneutralität 2040 des österr. Regierungsprogramms) und dessen Umbau auf ein nachhaltiges. In diesem Kontext spielt die zukünftige energetische Nutzung von Biomasse als weitgehend CO₂-neutraler Energieträger eine wichtige Rolle.

Das zentrale Ziel dieses Projekts ist es, ausgewählte biogene Primärressourcen (BPR) und Umwandlungstechnologien zur energetischen Biomassenutzung, verschiedene Umwandlungsketten und verschiedene Energieträger (Wärme, Strom) und Produkte (Synthetic Natural Gas (SNG)), Fischer-Tropsch (FT)-Diesel) zu bewerten, und zwar aus der Sicht verfügbarer Potenziale, der CO₂-Intensität und der Wirtschaftlichkeit. Die Ausgangslage ist, dass derzeit ca. 230 PJ Primärenergie an Biomasse aufgebracht werden, das sind ca. 16% der gesamten Primärenergie.

Die Methode besteht aus einer Diskussion möglicher Potenziale bis 2040, einer Analyse der CO₂-Faktoren der betrachteten Ketten, einem statischen Wirtschaftlichkeitsvergleich der biogenen Umwandlungsketten mit fossilen und einer Szenarioanalyse der Entwicklung der Wirtschaftlichkeit bis 2040

Die wichtigsten Ergebnisse dieser Arbeit sind:

Der Wert hängt zunächst von der verfügbaren Menge ab. Es gibt noch mögliche zusätzliche Potenziale in den Bereichen effizienterer Nutzung der Waldvorräte, Kurzumtriebshölzer, Miscanthus. Weiters hängen einzelne Potenziale von den Holzverarbeitenden Betrieben ab. In Bezug auf zukünftige Potenziale ist letztendlich folgende Erkenntnis wichtig: Es ist natürlich von Interesse, möglichst genau abzuschätzen, welche Mengen an Biomasse für die energetische Nutzung in Zukunft (absolut) verfügbar sein werden. Wichtiger als die Berechnung und Dokumentation von Detailzahlen für bestimmte Zukunftswerte ist es, die Methode der Entwicklung dieser zu verstehen, vor allem, von welchen Parametern die Potenziale (und deren Kosten) und die daraus resultierenden Mengen am Markt abhängig sind.

In Bezug auf die CO₂-Faktoren einzelner Biomassefraktionen sei festgestellt, dass sich diese nur unwesentlich unterscheiden und im wesentlichen davon abhängen, wieviele zusätzliche Verarbeitungsschritte bis zur energetischen Umwandlung („Verbrennung“) erforderlich sind.

In Bezug auf die Wirtschaftlichkeit der Biomasse ist aus aktueller Sicht – etwa 2020 – festzustellen, dass bei den Wärmeleistungen die Biomasse eindeutig wirtschaftlicher ist. Bei Strom ist sowohl mit als auch ohne Kraft-Wärme-Kopplung die fossile Alternative Erdgas kostengünstiger, vor allem aufgrund der besseren Wirkungsgrade der Erdgas-Kraftwerke und der geringeren Investitionskosten. Für FT-Diesel ist ebenfalls die fossile Variante etwas kostengünstiger. Der deutlichste Unterschied

ist bei SNG, hier ist Erdgas um mehr als die Hälfte billiger. D.h., es wären hier beträchtliche Subventionen notwendig, um SNG wirtschaftlich zu machen. Würden Sägenebenprodukte (SNP) statt Hackgut eingesetzt, wären etwas weniger Subventionen notwendig, bei Kurzumtriebshölzern etwas mehr. Aus dynamischer Sicht haben bis 2040 die Entwicklung des CO₂-Preises und der Preis von Erdgas den größten Einfluß auf die Wirtschaftlichkeit der Biomassenutzung.

Die wichtigsten Schlußfolgerungen dieser Analysen sind: Die wichtigste energiepolitische Maßnahme ist ein kontinuierlich steigender CO₂-Preis. Dies führt bereits in einem Niedrig- CO₂-Preis-Szenario dazu, dass bis 2040 die meisten biomasse-basierten Anwendungen/Produkte wirtschaftlich werden. Weiteres machen Subventionen z.B. Einspeisetarife für die Strom- oder auch die SNG-Erzeugung natürlich den Biomasseeinsatz im Vergleich zu den fossilen kompetitiver. Die (subventionierte) Erzeugung von SNG (oder FT-Diesel) macht aber nur dann einen Sinn, wenn dies aus politischer Sicht notwendig erscheint, z.B. wenn für Hochtemperaturprozesse in der Industrie „Grüne Gase“ alternativlos erforderlich sind.

In einem Ausblick sind folgende Aspekte von Bedeutung:

- (i) Wie kann die Entwicklung des CO₂-Preises in Szenarien modelliert werden?
- (ii) Welche Szenarien sind für die Biomassepreise relevant?
- (iii) Wie kann sich das Wachstum der Holzverarbeitenden Industrie (und damit der verfügbaren SNP) entwickeln?
- (iv) Welche Flächen werden in Zukunft für die energetische Nutzung zur Verfügung stehen, z.B. für Kurzumtriebshölzer?

2. Abstract

The motivation for this project are the current environmental and energy policy efforts to decarbonize the energy system (based, among other things, on the COP21 conference and the Austrian government's Climate Neutrality 2040 programme) and its conversion to a sustainable one. In this context, the future energetic use of biomass as a largely CO₂-neutral energy source plays an important role.

The core objective of this project is to evaluate selected biogenic primary resources and conversion technologies for biomass energy utilization, different conversion chains and different energy sources (heat, electricity) and products (Synthetic Natural Gas (SNG), Fischer-Tropsch (FT)-Diesel) from the point of view of available potentials, CO₂ intensity and economic efficiency. The starting point is that currently approx. 230 PJ of primary energy are produced from biomass, which is approx. 16% of the total primary energy.

The method of approach consists of a discussion of possible potentials up to 2040, an analysis of the CO₂ factors of the chains under consideration, a static comparison of the economic efficiency of biogenic chains with fossil chains and a scenario analysis of the development of economic efficiency up to 2040.

The most important results of these analyses are:

The value initially depends on the available quantity. There is still possible additional potential in the areas of more efficient utilisation of forest resources, short-rotation coppice and miscanthus. Furthermore, individual potentials depend on the wood-processing companies. With regard to future potentials, the following insight is ultimately important: It is of course of interest to estimate as precisely as possible what quantities of biomass will be available (in absolute terms) for energy use in the future. More important than the calculation and documentation of detailed figures for specific future values is to understand the method of their development, especially the parameters on which the potentials (and their costs) and the resulting quantities on the market depend.

Concerning the CO₂ factors of individual biomass fractions, it should be noted that these differ only insignificantly and essentially depend on how many additional processing steps are required up to energy conversion ("combustion").

With regard to the economic viability of biomass, it can be stated from a current perspective - around 2020 - that biomass is clearly economical for the heat fractions. For electricity, both with and without combined heat and power generation, the fossil alternative of natural gas is more cost-effective, primarily due to the better efficiency of natural gas power plants and the lower investment costs. For FT diesel, the fossil alternative is also slightly more cost-effective. The clearest difference is with SNG, where natural gas is more than half as cheap. This means that considerable subsidies would be necessary to make SNG economically viable. If sawmill by-products (SNP) were

used instead of wood chips, slightly fewer subsidies would be necessary, and slightly more for short-rotation coppice. From a dynamic perspective up to 2040, the development of the CO₂ price and the price of natural gas have the most important influence on the economic viability of biomass utilisation.

The major conclusions of these analyses are: The most important energy policy measure is a continuously rising CO₂ price. Already in a low CO₂ price scenario, this means that most biomass-based applications/products will become economically viable by 2040. Furthermore, subsidies, e.g. feed-in tariffs for electricity or SNG production, naturally make the use of biomass more competitive compared to fossil fuels. Yet, the (subsidized) production of SNG (or FT diesel) only makes sense if this appears necessary from a political point of view, e.g. if there is no alternative to “green gases” for high-temperature processes in industry.

In an outlook the following aspects are important: (i) How can the development of the CO₂ price be modeled in scenarios? (ii) Which scenarios are relevant for biomass prices? (iii) How can the growth of the wood processing industry (and thus the available sawmill-by-products) develop? (iv) Which areas will be available for energy use in the future, e.g. for short-rotation coppices?

3. Einleitung

3.1 Motivation und zentrale Forschungsfragen

Die zentrale Motivation für dieses Projekt sind die derzeitigen umwelt- und energiepolitischen Bestrebungen zur Dekarbonisierung des Energiesystems (basierend unter anderem auf der Konferenz COP21 sowie auf der Klimaneutralität 2040 des österr. Regierungsprogramms) und dessen Umbau auf ein nachhaltiges. In diesem Kontext spielt die zukünftige energetische Nutzung von Biomasse als weitgehend THG- und CO₂-neutraler Energieträger eine wichtige Rolle.

Somit können biomassebasierte Technologien einen wichtigen Beitrag zur Energy Transition und zur Reduktion der CO₂-Emissionen leisten. Energieträger basierend auf Biomasse sind in Österreich derzeit der wichtigste erneuerbare Energieträger. Ein weiterer Vorteil von Bioenergieträgern ist, dass sie speicherbar sind und somit zur Resilienz erneuerbarer Energiesysteme beitragen können. Biomasse weist zudem eine hohe nationale Verfügbarkeit auf und kann dadurch einen wesentlichen Beitrag zum österreichischen Energiesystem leisten. Die Fähigkeit von Bioenergieträgern, fossile Brennstoffe in der bestehenden Infrastruktur zu ersetzen, sowie die Vielfalt der möglichen Endenergieträger, machen Biomasse somit zu einer attraktiven und national verfügbaren Ressource, die zur Dekarbonisierung des Energiesystems beitragen kann.

Biomasse ist weltweit, in Europa und speziell in Österreich jener erneuerbare Energieträger mit der längsten historischen Bedeutung und auch derzeit noch immer der mit dem größten Anteil, ca. 16% an der Primärenergie in Österreich im Jahr 2022. Allerdings hat es in den letzten Jahren sowohl aus wirtschaftlicher als auch aus ökologischer Sicht zunehmend Kritik an einzelnen Biomassefraktionen gegeben.

Der zentrale Aspekt der in diesem Projekt durchgeführten Analyse ist es, den gesellschaftlichen Wert biogener Rohstoffe für die energetische Nutzung zu ermitteln. Das zentrale Ziel dieses Projekts ist es, unterschiedliche biomassebasierte Primärressourcen (PBR) und Umwandlungs Technologien zur energetischen Biomassenutzung, verschiedene Ketten der Umwandlung und verschiedene Energieträger (Wärme, Strom, Synthetic Natural Gas (SNG), Fischer-Tropsch (FT)-Diesel) aus wirtschaftlicher und aus CO₂-Sicht und des gesamten Lebenszyklus sowie deren mögliche Potenziale zu bewerten, denn auch die Resource „Biomasse“ ist limitiert.

Der wichtigste neue Beitrag dieses Berichts besteht somit darin, dass die Wirtschaftlichkeit verschiedener Biomasseumwandlungsketten - von den primären Biomasseressourcen bis hin zu den Endanwendungen oder -produkten - in einem dynamischen Kontext in Szenarien bis 2040 analysiert wird unter Berücksichtigung auch der CO₂-Kosten der Biomasseumwandlungsketten (im Vergleich zu fossilen Energieträgern), die über in dieser Studie ermittelten CO₂- Emissionsfaktoren und eben dem CO₂-Preis aus Szenarien.

Wichtig: In dieser Arbeit wird auf Nutzung fester Biomasse fokussiert. Verschiedene Formen von Sonstigen biogenen Abfällen, Ablauge, Biofuels aus der Landwirtschaft, sowie Dünger und Ähnliches werden nicht analysiert.

3.2 Inhalte und spezifische Zielsetzungen

Abgeleitet vom genannten zentralen Ziel werden im Zuge dieser Arbeit folgende spezifische Aspekte bzw. Fragestellungen analysiert:

1. Beschreibung der wichtigsten einschlägigen Literatur: Forschungsberichte aus Österreich, Peer-reviewte literaturbezogen auf Biomasse in Österreich, Peer-reviewte Literatur international.
2. Diskussion: Wie können verschiedener biomassebasierter Energieträger in Bezug auf ihren „Wert“ für Wärme, Verstromung und Industrie eingeschätzt werden?
3. Erstellung einer Systematik zur Kategorisierung des biomassebasierten Primärenergieangebots (Scheitholz, Waldhackgut, Sägenebenprodukte (SNP), Stroh usw.) und der nachfrage-seitigen Anwendungen/Produkte;
4. Welche Biomasseprodukte aus der Forstwirtschaft und welche von sonstigen Flächen (für Kurzumtriebshölzer (KUH), Miscanthus) sind relevant?
5. Welche bereits genutzten und noch nutzbaren Potenziale gibt es? Welche möglichen zukünftigen Flächennutzungen bzw. Intensitäten, Änderungen der Bewirtschaftung, sind noch möglich und sinnvoll?
6. Analyse der historischen Entwicklung der Preise biogener und fossiler Energieträger und deren möglicher Entwicklung in Szenarien bis 2040.
7. Wie sind die verschiedenen Energieträger/Umwandlungsketten in Bezug auf die gesamten CO₂-Emissionen einzuschätzen? Dabei wird der gesamte Lebenszyklus betrachtet.
8. Analyse derzeitiger Investitionskosten sowie deren möglicher Entwicklung bis 2040.
9. Wie stellen sich die einzelnen Energieträger ökonomisch dar, wie ist die Wirtschaftlichkeit verschiedener Ketten derzeit und in Szenarien bis 2040 einzuschätzen?
10. Wo liegt der zukünftige Forschungsbedarf in Bezug auf die energetische Nutzung von Biomasse?

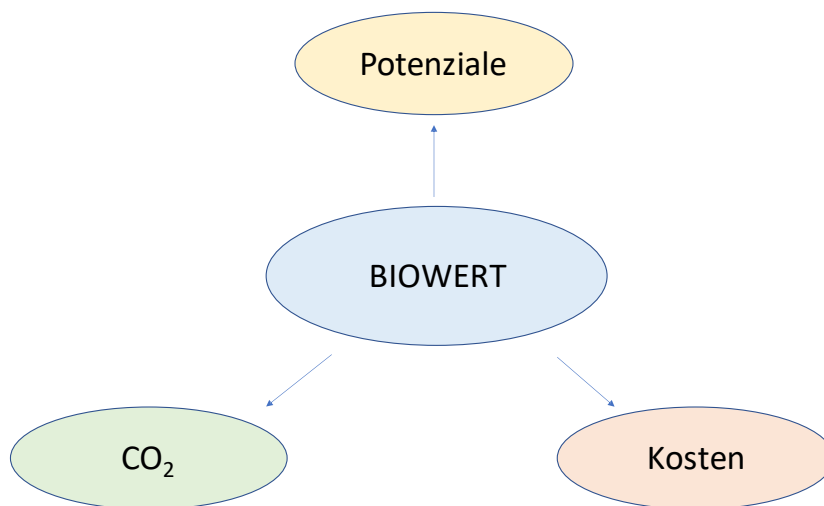
3.3 Der gesellschaftliche Wert der energetischen Nutzung von Biomasse

Grundsätzlich kann Biomasse in einer Gesellschaft auf unterschiedliche Weise genutzt werden (oder auch nicht). Neben der Nutzung zur Herstellung von Gütern und Gebrauchsprodukten ist eine weitere mögliche Option die energetische Nutzung, wobei natürlich klar ist, dass dafür nicht

die hochwertigste Biomasse herangezogen wird, sondern vor allem Nebenprodukte und für die stoffliche Nutzung weniger geeignete Holzprodukte bzw. auch Schadholz.

Wie bei jeder anderen potenziellen Energiequelle wird dieser gesellschaftliche Wert in einem Dreieck von Umweltrelevanz, monetärer Kosten und genutzter Menge ermittelt, siehe Abbildung 1.

Abbildung 1: Kriterien für den gesellschaftlichen Wert einer energetischen Resource: Umweltrelevanz, monetäre Kosten & verfügbare Mengen/Potenziale



Die betrachteten BM-Kategorien müssen also relevante Mengen bereit stellen können, ökologisch akzeptabel sein (= Carbon neutral, geringe oder sehr niedrige CO₂-Emissionen) und in der Nähe der Wirtschaftlichkeit liegen (hängt auch vom CO₂-Preis ab). Im folgenden werden diese drei Aspekte für mögliche biomassebasierte Primärquellen im wesentlichen aus der Forstwirtschaft und Nebenprodukten analysiert.

3.4 Methodische Vorgehensweise

Von zentraler Bedeutung ist die Entwicklung eines dynamischen Modells und einer zugehörigen Datenbank, die zumindest Szenarien bis 2040 ermöglichen und das die gestellten Fragen in einem dynamischen Kontext analysiert. Dazu wird zunächst die historische Entwicklung der Biomassenutzung dokumentiert, basierend auf eigenen Analysen, sowie u.a. Analysen von Statistik Austria, BEST, Energieagentur, Biomasseverband und den Analysen von Kasimir Nemestothy (LKÖ). Auch die wirtschaftlichen (Preise, Invest. Kosten ...) und ökologischen (im wesentlichen CO₂-Faktoren, z.B. bei der Synthetic Natural Gas (SNG) oder Fischer-Tropsch (FT)-Diesel-erzeugung) Parameter

werden hier dokumentiert. Es wird auf heimischer Biomasse fokussiert. Das ist aber nicht puristisch zu sehen, Importe und Exporte im Rahmen der letzten Jahre werden als weiterhin realistisch gesehen.

Zunächst werden die biomassebasierten Primärquellen analysiert und deren Potenziale diskutiert. Diese Primärquellen sind vor allem aus der Forstwirtschaft und deren Nebenprodukten, konkret Scheitholz, Waldhackgut, SNP, Altholz, Stroh, Kurzumtriebshackgut, Miscanthus. Ablage und wird in diesem Projekt nicht weiter analysiert. Bei den energetischen Potenzialen (unabhängig von der Art der Energiequelle) ist es wichtig, dass es eine Reihe von unterschiedlichen Definitionen gibt:

- * statische und dynamische Potenziale
- * technische und wirtschaftliche Potenziale
- * Angebot- und Nachfrage Potenziale.

Weiters stellt sich die Frage, welche Umwandlungsketten basierend auf den einzelnen biomassebasierten Primärquellen am wichtigsten zu analysieren sind. Diese werden im nächsten Schritt definiert. E inerseits ausgehend von Rohstoffen (Stückholz, Waldhackgut, SNP der Industrie, Pellets, Altholz, Stroh, Kurzumtriebshackgut, Miscanthus, Stroh) und andererseits die entsprechenden Schlüssel-Anwendungen und -produkte dargestellt.

Dabei werden die folgenden Schlüssel-Anwendungen und -produkte analysiert: Raumwärme (individuell), Nahwärme, Prozesswärme, Strom ohne Kraft-Wärmekopplung (KWK), Strom mit KWK, Synthetic Natural Gas (SNG), Fischer-Tropsch (FT)-Diesel. Anmerkung: Es werden nicht immer alle dieser Anwendungen/Produkte im Detail analysiert und grafisch dargestellt. Wenn es z.B. zu Ähnlichkeiten bei den Wärme-Anwendungen kommt, wird oft nur die Nahwärme dargestellt.

Für die ökonomischen und CO₂-Analysen wird zunächst ein Leitprodukt definiert, als solches wird Waldhackgut ausgewählt. Alle anderen biogenen Quellen werden sowohl ökonomisch als auch von den CO₂-Bilanzen im Verhältnis zu Waldhackgut bewertet. Der methodische Ansatz zur ökonomischen Analyse besteht im Prinzip aus einer dynamischen Gesamtkostenbetrachtung der einzelnen Biomassefraktionen untereinander sowie mit konventionellen Energieträgern. Für die ökologische Bewertung werden Lebenszyklusanalysen durchgeführt, um speziell die CO₂-Bilanzen der einzelnen Energieträger aus verschiedenen möglichen Umwandlungsketten zu ermitteln. Weitere wichtige Randbedingungen der methodischen Vorgangsweise: In Bezug auf die Preise in der Ausgangssituation: Im Folgenden wird jeweils das Jahr 2020 als Ausgangsbasis verwendet. Dazu ist allerdings festzustellen, dass hier ein Wert verwendet wird, der in etwa einen Mittelwert von 2019 – 2021 sowie 2023 darstellt. Praktisch die gleiche Vorgangsweise gilt für den Erdgaspreis.

Ein weiterer Teil der Methode besteht aus Expertenworkshops. Schließlich werden Szenarien entwickelt in denen die weitere dynamische Entwicklung (von Potentialen), der Kosten, CO₂-Bilanzen und verschiedener Szenarien des CO₂-Preises zumindest bis 2040 analysiert werden.

3.5 Erwartete Ergebnisse

Die wichtigsten erwarteten Ergebnisse dieses Projekts sind:

- Kurze Beschreibung der historischen Milestones der Biomassenutzung in Österreich und der Entwicklung der Preise biogener und konventioneller Energieträger;
- Dokumentation einer Systematik (Matrix) zur Kategorisierung des biomassebasierten Energieträgerangebots (Scheitholz, Hackgut, SNP, KUH...) - vs Nachfrage (Strom, Wärme, SNG, FT-Diesel...);
- Darstellung, welche biomassebasierten Energieträger aus der Forstwirtschaft in Zukunft relevant sein werden (inkl. KUH, Miscanthus auf neuen Flächen), welche bereits genutzten und noch nutzbaren Potenziale es gibt;
- Ermittlung von CO₂-Faktoren für die einzelnen analysierten Umwandlungsketten ;
- Darstellung wie die Wirtschaftlichkeit dieser Anwendungen/Produkte aus den verschiedenen analysierten Biomasseumwandlungsketten einzuschätzen ist;
- Wichtigste energiepolitische Handlungsempfehlungen;
- für die künftige Prioritätensetzung der Technologieforschung und -entwicklung im Bereich biomassebasierter Energieträger in Österreich
- Wesentliche auf den Punkt gebrachte Erkenntnisse für politische Entscheidungsträger werden in einem Policy Brief dargestellt.

3.6 Wichtigste Literatur

Die wichtigsten Referenzen sind die folgenden Arbeiten:

Kranzl/Haas (2003) haben als eine der ersten Studien in Österreich die **volkswirtschaftliche Bedeutung der energetischen Nutzung von Biomasse für Heizzwecke und die Entwicklung von effizienten Förderstrategien für Österreich** analysiert. Dissauer (2019) stellt die aktuell wahrscheinlich umfassendste **Potenzialanalyse mit dem Ziel Grüne Gase zu produzieren** dar. In der Studie „**Real-labor zur Herstellung von HolzdieSEL und Holzgas aus Biomasse und biogenen Reststoffen für die Land- und Forstwirtschaft**“ (Hofbauer et al. 2020 (TU Wien) wird analysiert, wie der Weg zu 100% erneuerbarer (fossilfreier) Holz- und Lebensmittel (Urproduktion) aussehen kann & eine Übersicht über mögliche Zukunftstechnologien/Kosten/Entwicklungsbedarf alternativer Antriebs- und Gaserzeugungstechnologien gegeben. Weitere wichtige Inputs stellen der **Aktionsplan „Bioökonomie“** dar, in dem insbesondere auf die Kaskadische Nutzung von Biomasse fokussiert wird, der **Nationale Energie- und Klimaplan (NEKP 2024)** in Bezug auf Biomasse, das Biomasse-Kaleidoskop, Recherche und Berichte von K. Nemesthoty von der Landwirtschaftskammer Österreich (LKÖ), des österr. Biomasseverbandes, des Biogas- und Kompostverbandes, FAO, BEST Wieselburg und DI Dr. Gerfried Jungmeier von Joanneum Research.

Von besonderer Relevanz sind die entsprechenden Biomasse-Berichte des BMK aus der Energie- und Umweltforschung, vor allem die **Markterhebung zu den innovativen Energietechnologien in Österreich 2023**, (Biermayr et al 2024¹), die spezifische Analyse dazu zur Marktentwicklung der Biomasse (Dißbauer et al, 2024, 17c²) und der Technologiereport zu Feste Biomasse - Kessel u. Öfen bei den Berichten aus der Energie- und Umweltforschung (Dißbauer et al 2024, 17d³)

¹ <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/publikationen/schriftenreihe-2024-17-marktentwicklung-energietechnologien.php>

² https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/nw_pdf/events/20240619-energiewende-marktstatistik/schriftenreihe-2024-17c-Biomasse-Brennstoffe.pdf

³ https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/nw_pdf/events/20240619-energiewende-marktstatistik/schriftenreihe-2024-17d-Biomasse-Kessel.pdf

3.7 Aufbau der Arbeit

Im nächsten Kapitel ist eine umfassende Dokumentation der einschlägigen Literatur zusammengestellt. Kap. 5 dokumentiert die historische Nutzung der Biomassenutzung basierend auf verschiedenen Statistiken sowie die historische Entwicklung der Energiepreise. In Kap. 6 werden mögliche statische und dynamische Potenziale für die energetische Nutzung von Biomasse diskutiert, in Kap. 7 werden die CO₂-Emissionsfaktoren verschiedener Fraktionen und Anwendungen/Produkte analysiert. Die Wirtschaftlichkeitsbewertung aus aktueller Sicht findet sich in Kap. 8, Szenarien für den CO₂-Preis, die Energiepreise und die Wirtschaftlichkeit bis 2040 sind in Kap. 9 beschrieben. Die wichtigsten Ergebnisse sind in Kap. 10 dokumentiert. Ein Kapitel „Schlußfolgerungen und Ausblick“ schließt die Arbeit ab.

4. Beschreibung der wichtigsten Literatur

Die Literaturdokumentation ist in folgende Schwerpunkte gegliedert: ausgewählte Forschungsberichte & peer-reviewte Literatur mit Bezug auf Biomassenutzung & -forschung in Österreich und ausgewählte, internationale peer-reviewte Literatur zu Biomassenutzung & -forschung, wobei ersteres ein Unterkapitel über die konkrete Wirtschaftlichkeit von Potenzialen und einzelner Energieträger verfügt. Unter anderem bilden Publikationen und Graphiken des Öst Biomasseverbands (ÖBMV), der Zeitschrift Ökoenergie, Arbeiten von Nemestothy/LKÖ (u.a. Holzflussdiagramme – siehe exemplarisch Abbildung 7 & 8), die Bioökonomiestrategie (Teil des nationalen Energie- und Klimaplan für Österreich/NEKP 2020), Literatur und Machbarkeitsstudien von BEST Wieselburg (u.a. die Machbarkeitsstudie Methan aus Biomasse von C. Dissauer (2019), von G. Jungmeier/Joanneum Research, Biomasse-Potenzial-Arbeiten des FFG sowie der Projektbericht „ALTETRÄ – Perspectives for alternative energy carriers in Austria up to 2050“ (TU Wien/EEG) einen wichtigen Teil der im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Recherche. Dieses Kapitel zielt in erster Linie darauf ab, eine Beschreibung der gesamten relevanteren Literatur zu bieten.

Als eine der ersten Studien, die sich mit der volkswirtschaftlichen Bedeutung der energetischen Nutzung von Biomasse für Heizzwecke und Entwicklung von effizienten Förderstrategien für Österreich beschäftigte sei das Projekt von Haas/Kranzl (2002) genannt. Diese Studie beschreibt verschiedene Szenarien für die Analyse der Auswirkungen der energetischen Nutzung von Biomasse und deren Forcierung. Diese Studie ist zwar nicht als State of the Art zu verstehen, die Analyse bildet jedoch trotzdem eine wertvolle Basis für weitere Recherche. Verschiedene Szenarien bilden die Grundlage dieser Studie: 1) Business as usual (BAU), 2) Forcierung und Intensivierung von Biomassenutzung in 2010 3) Forcierung und Intensivierung von Biomassenutzung nach 2002. Eine Hauptaussage dieser Studie war, dass die Forcierung von Biomasse für die energetische Nutzung in 2002 zu einem Anstieg von 44% der mittels Biomasse heizenden Haushälter in Österreich bis 2020 führen könnte. Dies würde ca. 100 PJ/a entsprechen und in das prognostizierte Biomasse Potenzial für Österreich fallen. In dieser Arbeit eben anfangs der 2000er Jahre werden in einem optimistischen Bild umfangreiche Potenziale suggeriert, die die volkswirtschaftliche Bedeutung der energetischen Nutzung von Biomasse untermauern. Heute sei dazu festgestellt, dass größenordnungsmäßig die nutzbaren Potenziale bisher relativ gut vorausgesagt wurden.

“Economic challenges for the future relevance of biofuels in transport in EU countries” (Ajanovic et al., 2010) zeigt Einsichten hinsichtlich der ökonomischen Bewertung für Biofuels im EU Transportsektor bis zum Jahr 2030. Die wichtigsten Erkenntnisse dieses Papers waren, dass die Wirtschaftlichkeit von Biofuels der 1. Generation in Europa zwar theoretisch vielversprechend wäre, jedoch bedingt durch mangelnder Flächenverfügbarkeit sowie mäßiger ökologischer Leistung, eine aus ökonomischer Sicht erfolgreiche Durchsetzung auf dem Markt unwahrscheinlich ist. Hinsichtlich der zukünftigen Kostenentwicklung von Biofuels der 2. Generation wurde projiziert, dass eine ökonomische rentable Produktion bis 2030, insbesondere im Vergleich zu Biofuels der 1. Generation als wahrscheinlich gilt.

Eine europaweite Analyse über die grundsätzlich energetisch möglichen Biomasse-mengen findet sich in dem Bericht „How much bioenergy can Europe use without harming the environment“ der European Environment Agency (2006) In diesem Bericht wird analysiert, wieviel Biomasse rein technisch energetisch genutzt werden könnte, ohne die Umwelt zusätzlich zu belasten. Dazu wird eine Reihe von Umweltkriterien für die Energieproduktion aus Biomasse erstellt, die in weiterer Folge für die Modellierung der Primärpotenziale verwendet werden. Diese Kriterien wurden europaweit entwickelt.

Die wichtigsten Barrieren für eine breitere Marktdurchdringung von Biomasse in Europa analysieren McCormick/Kaberger (2007) in “Key barriers for bioenergy in Europe: Economic conditions, know-how and institutional capacity, and supply chain coordination, Biomass and bioenergy.” Sie kommen letztendlich zu der Erkenntnis, dass es konsistente Strategien und geeignete politische Eingriffe geben kann, um alle relevanten Barrieren zu überwinden.

Kalt, Kranzl & Haas (2010) bieten tiefgehendere Einsichten hinsichtlich der langfristigen Perspektiven des österreichischen Bioenergiesektors. Der Hauptfokus dieser Studie liegt auf dem realisierbaren Beitrag von Biomasse zu dem österreichischen Heiz-, Elektrizitäts- und Transportsektors sowie dem gesamten Primärenergieangebot unter variierenden Rahmenbedingungen bis zum Jahr 2050. Die Hauptschlussfolgerungen waren wie folgt: in Bezug auf CO₂ Emissionsreduktion und wirtschaftlicher Wettbewerbsfähigkeit, sind in erster Linie Maßnahmen für die Forcierung von Wärme- sowie, an zweiter Stelle, Strom in Kraft-Wärmekopplung, sinnvoll. Ein zu starker Fokus auf flüssige Biotreibstoffe für den Transportsektor würde auf Grund von steigendem Wettbewerb mit limitierten Biomasseressourcen eine negative Wirkung auf die Entwicklung des Bioenergiesektors bedeuten. Um einen signifikant steigenden Anteil von Biomasse im österreichischen Primärenergieangebot zu gewährleisten, sind einerseits finanzielle Unterstützung in der Form von gezielten Förderungen sowie andererseits eine Verringerung des Gesamtenergieverbrauches notwendig. Im Falle von stark ansteigenden Preisen fossiler Energieträger ist auch zu erwarten, dass Bioenergiesysteme in Österreich aus wirtschaftlicher Sicht zunehmend wettbewerbsfähig werden.

Der Projektbericht “Perspectives for Alternative Energy Carriers in Austria up to 2050” (Ajanovic et al., 2012) beschreibt beispielhaft eine Methodik für die Bewertung von alternativen Energieträgern und unter welchen Voraussetzungen, in welchem Umfang und innerhalb welcher Zeitspanne diese in Österreich im Vergleich zu konventionellen Alternativen wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit erlangen werden. Den Kern dieser Studie bildet eine Bewertungsmethodik von Brutto- und Nettoenergiepotenzialen, Kosten, Umweltfaktoren und kumulativen Treibhausgasbilanzen sowie den Einfluss von technologischem Lernen auf die zukünftige, wirtschaftliche Leistung einzelner Energieträger. Haupterkenntnisse dieses Projektes sind u.A., dass es wahrscheinlich ist, dass Biokraftstoffe der 2. Generation (zB. Fischer-Tropsch Diesel) bis 2030 aus wirtschaftlicher Sicht und im Vergleich zu konventionellen Treibstoffalternativen wettbewerbsfähig sein werden.

Eine weitere Studie über die Wirtschaftlichkeit und die Potenziale von Biomasse-basierten Energieträgern (BBEC) in den EU-15 Ländern bis 2050 von Ajanovic et al. (2013) projiziert ein best-case Sze-

nario von 4650 PJ zusätzlicher, Biomasse-basierter Energie bis 2050. Dies würde ca. 7% des gesamten Energiekonsums der EU-15 Länder von 2010 entsprechen. Eine dynamische Betrachtung von erneuerbaren Energieträgern aus ökonomischer, energetischer und ökologischer Sicht bis 2050 zeigt, dass alle analysierten alternativen Energieträger geringere CO₂ Emissionen als konventioneller Diesel aufweisen würden, eine wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit jedoch nur durch a) Kostenreduktion durch technologisches Lernen, b) gezielt gesetzte Maßnahmen (zB. CO₂ Steuern) und c) intensivierte Forschung & Entwicklung gewährleistet werden kann.

Die Studie von Haas und Ajanovic (2014) beinhaltet eine Analyse der Nutzung verschiedener Kategorien von Biomasseressourcen, z.B. Waldhackgut, landwirtschaftliche Nutzpflanzen, Kurzumtriebsholz und Abfallprodukte für die Herstellung von Biofuels der 1. und 2. Generation sowie von verschiedenen Biomasse-basierten Energieträgerketten für Österreich bis zum Jahr 2050. Sie kommt zu folgenden Schlussfolgerungen: i) das Gesamtpotenzial von Biomasse in Österreich bis 2050 wird auf ca. 130 PJ geschätzt (zu Vergleichen mit 30 PJ in 2010), ii) das korrespondierende CO₂-Reduktionspotenzial wird auf ca. 7 Mio. Tonnen CO₂equ. geschätzt (dies entspricht ca. eine Reduktion um zwei Drittel im Vergleich zu konventionellen Energieträgern).

Einen schönen internationalen Beitrag liefert Knapik et al 2015. Sie zeigen in einer „fuel-cycle analysis“ (Biomasse-Ketten-Analyse) einen Ansatz der eine komplexe Bewertung der energetischen und wirtschaftlichen Bewertung von Kurzumtriebshölzern für verschiedene Anwendungen, wie Biomethan, Strom und Wärme zeigt. Das Paper erklärt, wie die gesamten Energiebilanzen in den Umwandlungsketten ermittelt werden und wie detailliert für jedes Segment in der Kette die Kosten berechnet werden. In diesem Artikel geht es also um Biomasse „obtained through the development of intentionally grown biomass on arable land“ also um Kurzumtriebshölzer und Miscanthus. Letztendlich erlaubt dieser Ansatz, die effizientesten Strategien der energetischen Biomassennutzung zu ermitteln, die begrenzt verfügbare Ackerfläche optimal zu nutzen und so aus einem Hektar Land ein optimales Portfolio an Energiedienstleistungen zu erwirtschaften.

Eine der derzeit umfangreichsten Studien über Biomassepotenziale in Österreich ist die „Machbarkeitsuntersuchung Methan aus Biomasse“ (Dissauer et al. 2019), welche Österreichs Biomassepotenzial bis 2050 sowie unterschiedliche Biomasse Vergasungstechnologien analysiert. Dissauer et al. prognostizieren ein realisierbares Methanpotenzial von knapp über ~4000 Mio. Nm³ Gas/a für Österreich im Jahr 2050 (Nm³... Normkubikmeter).

In der Studie „Reallabor zur Herstellung von HolzdieSEL und Holzgas aus Biomasse und biogenen Reststoffen für die Land- und Forstwirtschaft“ (Hofbauer et al. 2020 (TU Wien)) wird analysiert: wie der Weg zu 100% erneuerbarer (fossilfreier) Holz- und Lebensmittel (Urproduktion) aussehen kann & eine Übersicht über mögliche Zukunftstechnologien/Kosten/Entwicklungsbedarf alternativer Antriebs- und Gaserzeugungstechnologien gegeben. Die Kernaussagen dieser Studie sind: a) es gibt genügend Waldbestand und biogenen Abfall (50 PJ) für die Produktion von auf Holz basierendem Diesel und SNG (Synthetic Natural Gas) um den gesamten Bedarf des Landwirtschafts- und Forstsektors in Österreich zu decken, b) es ist zu erwarten, dass sich dieser Trend fortsetzen wird, da in

den nächsten Jahren kein wesentlicher Anstieg in der Nachfrage für Gas und Diesel in der österreichischen Landwirtschaft zu erwarten ist. Zu beachten ist, dass für diese Studie die Holzpreise für energetische Nutzung in drei Qualitätsklassen aufgeteilt wurden und sich dies in den verschiedenen Szenarien widerspiegelt: 50, 75 und 100 €/t_atro. Die wirtschaftliche Analyse dieser Studie kam zu dem Schluss, dass die Holzbiomasse basierte Dieselproduktion mittels einer 100 MW Anlage auf Kosten von 1,15 €/l kommen würde und dass die Herstellungskosten von Holzbiomasse basierendem SNG – abhängig von der Holzqualität - 65-80 €/MWh betragen würden.

5. Historische Meilensteine der Biomassenutzung und Preise in Österreich

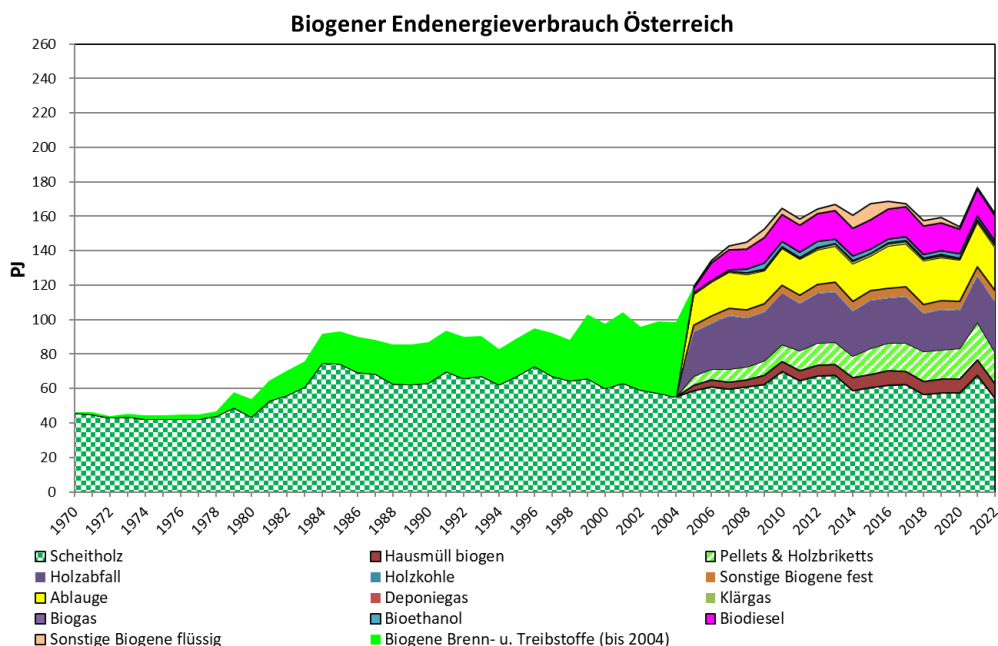
5.1 Entwicklung der Bioenergieversorgung & der energetischen Biomassenutzung in Österreich

Die Bereitstellung und der Verbrauch an verschiedener Biomasseprodukten für die energetische Nutzung in Österreich ist in Österreich nicht ganz einheitlich dokumentiert. Speziell bei der Aufbringung und dem Verbrauch an festen Biobrennstoffen sind, mit Ausnahme von Holzpellets und –briketts, in geläufigen Sortimenten (Hackgut, Stückholz,...) in Österreich die Zahlen nur teilweise konsistent erfasst, siehe auch Biermayr et al (2024).

Dementsprechend existieren auch verschiedene Statistiken. Die offizielle Quelle sind die Daten von Statistik Österreich. Hier ist es wichtig, zwischen den Endenergiedaten und den Zahlen für den Bruttoinlandsverbrauch zu unterscheiden. Abbildung 2 zeigt die Entwicklung des Endenergieverbrauchs der Biomassenutzung aller möglichen Fraktionen in Österreich für den Zeitraum 1970 – 2022.

Abbildung 2: Biomassenutzung für Endenergie in Österreich im Zeitraum 1970 – 2022, alle biogenen (Quelle: Statistik Austria, Gesamtenergiebilanz)

Anmerkung: Skala auf der Ordinate aus Vergleichsgründen gleich wie in Abbildung 4.

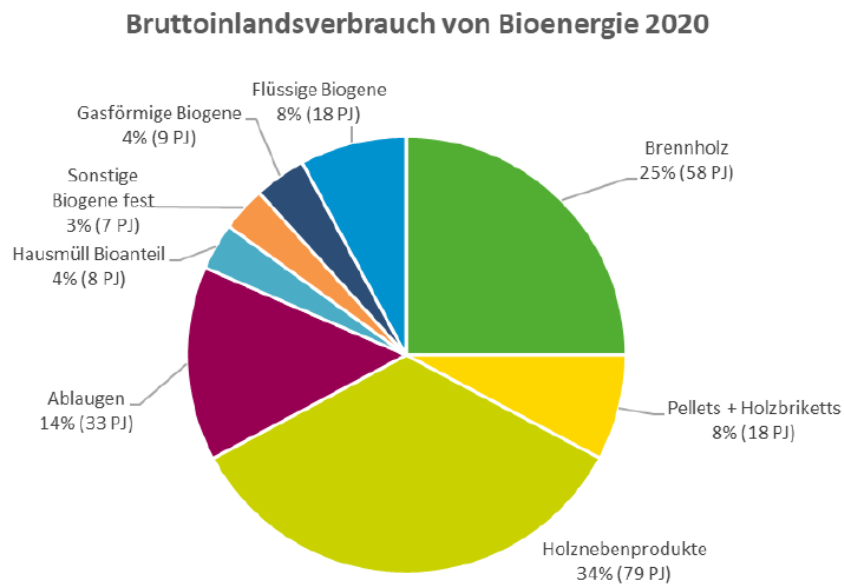


Anmerkung 1: In Bezug auf die Statistiken und die folgende Potenzialdiskussion fokussieren wir auf heimischer Biomasse. Es ist das aber nicht puristisch zu sehen, Importe und Exporte im Rahmen der letzten Jahre werden als weiterhin realistisch gesehen. Es kann z.B. für Ostösterreich vom Transportaufwand sinnvoller sein, Holz oder Waldhackgut aus der nahen Slowakei zu importieren statt aus den westlichen Bundesländern.

Anmerkung 2: Bei Scheitholz ist die Endenergie gleich dem Bruttoinlandsverbrauch, die Werte in Abbildung 2 sind also gleich jenen in Abbildung 4. Wichtig ist aus dieser Darstellung in Abb. 2, dass ab 2005 die Statistiken geändert wurden und seither eine größere Bandbreite an Biomasseprodukten detailliert erfasst wird.

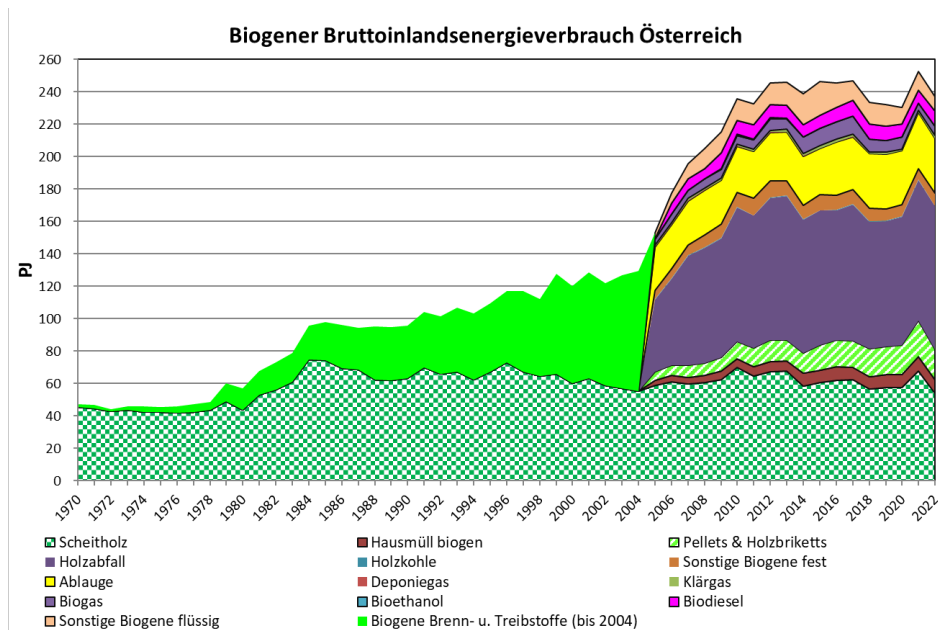
Den Energieträgermix des Bruttoinlandsverbrauchs für Bioenergie im Jahr 2020 zeigt Abbildung 3.

Abbildung 3: Energieträgermix des Bruttoinlandsverbrauchs für Bioenergie im Jahr 2020; Quelle: Statistik Austria / Grafik: Österreichische Energieagentur, Strimitzer 2022.



Der größte Anteil geht an Holznebenprodukte 34% gefolgt von Brennholz 25% und Ablauge. Die Entwicklung des Bruttoinlandsverbrauch der energetischen Biomassennutzung in Österreich im Zeitraum 1970 – 2022 ist in Abbildung 4 zu sehen.

Abbildung 4: Bruttoinlandsverbrauch der energetischen Biomassenutzung (alle biogenen Fraktionen) in Österreich im Zeitraum 1970 – 2022, (Quelle: Statistik Austria)



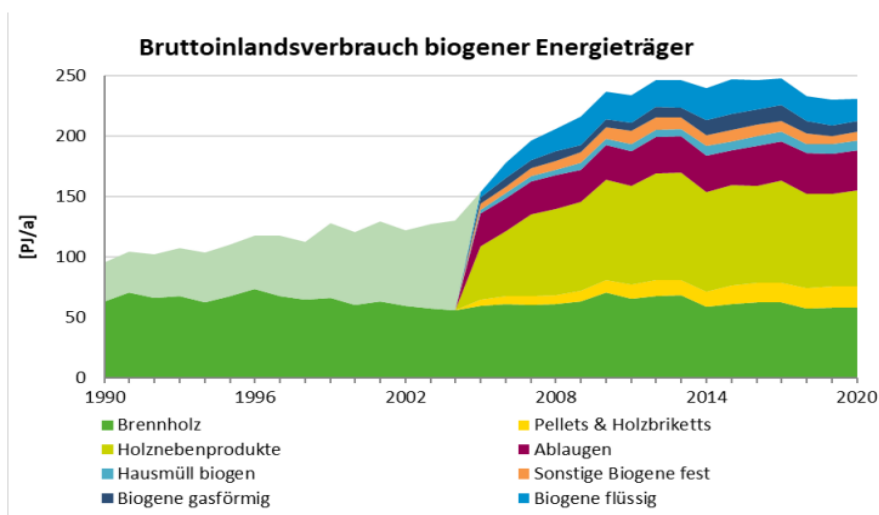
Hinsichtlich der historischen Entwicklung der Bioenergieversorgung und Biomassenutzung in Österreich, lässt sich aus Abbildung 4 eine Verfünfachung von ca. 45 PJ/a in den 1970er Jahren auf nunmehr ca. 240 PJ/a bei einem Selbstversorgungsgrad von 90 bis 100% erkennen. Gleichzeitig mit der Steigerung der inländischen Bioenergieerzeugung wurden die Waldfläche und der Holzvorrat in Österreich erhöht – siehe Kap. 4, womit über den Betrachtungszeitraum mit der Bioenergienutzung nicht nur Klimaneutralität, sondern vielmehr eine klimapositive Wirkung durch CO₂-Entzug aus der Atmosphäre erzielt wurde. Dieser Effekt wird bei Einbeziehung der in langlebigen Holzprodukten gebundenen CO₂-Mengen & der Substitutionseffekte von vermiedenen CO₂-Emissionen weiter erhöht.

Aus Abbildung 2 und Abbildung 4 ist ersichtlich, dass der Einsatz von Scheitholz im Jahr 2020 58 PJ betrug und – im Vergleich zu früheren Jahren – in etwa stagniert. Scheitholz und Holznebenprodukte, nach Statistik Österreich „Holzabfall“, sind die bedeutendsten biogenen Energieträger, wobei langfristig eine sinkende Bedeutung von Scheitholz durch verstärkten Einsatz anderer erneuerbarer Energieträger erwartet wird, Biermayr et al (2022). Dies kann u.a. auf energieeffiziente(re) Gebäude, effizientere Heizsysteme sowie Pelletheizungen/ Fernwärme und auf kürzere Heizperioden/ wärmere Winter zurückgeführt werden. Des Weiteren erwähnenswert ist die Entwicklung des Einsatzes von Pellets und Holzbriketts: während der Bruttoinlandsverbrauch von Pellets und Holzbriketts im Jahr 2005 ca. 5 PJ betrug, verdoppelte er sich bis 2010. Mit mehr als 18 PJ bzw. mehr als einer Million Tonnen war 2020 das Jahr mit der höchsten Einsatzmenge von Pellets und Holzbriketts, was teilweise auf die steigende Beliebtheit von Pelletsheizungen als Ersatz für Ölheizungen zurückzuführen ist. Holznebenprodukte, nach Statistik Österreich „Holzabfall“, welche im Wesentlichen Hackschnitzel, Waldhackgut und Rinde (für die Erzeugung von Strom und Wärme) umfassen, verzeichneten im Zeitraum 2005 – 2013 einen Anstieg des Bruttoinlandsverbrauchs von 45 auf ca. 90 PJ. Dies kann

u.a. auf den Ausbau von Nah- & Fernwärme zurückgeführt werden. Im Jahr 2020 deckten Holznebenprodukte mit etwa 80 PJ rund 6% des gesamten Bruttoinlandsverbrauchs in Österreich. Im Vergleich zum Vorjahr (77,5 PJ) ist die energetische Nutzung von Holznebenprodukten somit um rund 2% gestiegen. (Biermayr et al 2022).

Abbildung 5 (aus Strimitzer 2022) stellt eine Aufgliederung des Bruttoinlandsverbrauches von biogenen Brenn- & Kraftstoffen in Österreich für den Zeitraum 2005 – 2020 dar. Ersichtlich ist, dass es zu einem Höhepunkt des Einsatzes von biogenen Energieträgern in Höhe von 248 PJ im Jahr 2013 kam. Ebenfalls ersichtlich ist, dass es in den letzten Jahren zu einem Anstieg der energetischen Verwendung von Holznebenprodukten und einem Rückgang bei flüssigen Biogenen Energieträgern kam – u.a. wird dies der Corona-Krise und einem geringeren Kraftstoffabsatz im Jahr 2020 zugeschrieben. Bezüglich des Einsatzes von Scheitholz und Holznebenprodukten ist auch der Einfluss von witterungsbedingten Schwankungen im Wärmebedarf ein Faktor. Generell gesehen beeinflusst den Einsatz von biogenen Energieträgern auch die Konjunktorentwicklung, Preisentwicklung anderer Brennstoffe sowie auslaufende Einspeisetarife für Ökostrom.

Abbildung 5: Detaillierte Aufgliederung des Bruttoinlandsverbrauches von Scheitholz sowie biogenen Brenn- & Treibstoffen, AT ab 2005 Quelle: (Energiebilanz der Holzsortimente 2022, BMK)

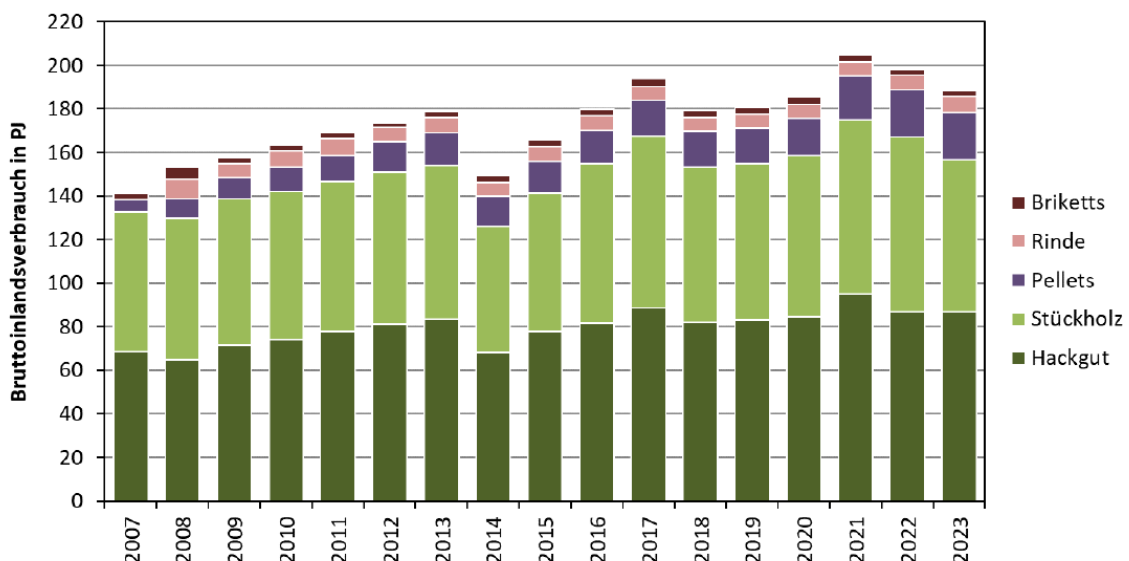


Ein anderer Ansatz liegt Abbildung 6 zugrunde, vgl. Biermayr et al (2022). Der Österreichische Biomasseverband hat auf Grundlage energetischer Basiskennzahlen der Statistik Austria, der jährlichen Holzeinschlagsmeldung und eigener Berechnungen den Bruttoinlandsverbrauch von Bioenergie für verschiedene Brennstoffe für das Jahr 2007 ermittelt. Für die Jahre 2008 bis 2013 wurde der Bioenergieverbrauch auf Basis der in den Jahren zusätzlich installierten Kesselleistungen und angenommener 1.800 Volllaststunden für kleine Anlagen und 3.000 Volllaststunden für mittlere und große Anlagen errechnet und zu den Brennstoffverbrauchswerten für 2007 hinzugerechnet. In den

Jahren 2014, 2015 und 2016 wurden entsprechend der reduzierten Heizgradsummen in diesen Jahren die Volllaststunden angepasst. Diese Anpassung wird auch für die folgenden Jahre vorgenommen. Im Jahr 2022 werden aufgrund der Witterung für die Berechnung 1.580 Volllaststunden für kleine Anlagen und 2.600 Volllaststunden für mittlere und große Anlagen angenommen - mit der Fülle an warmen bis sehr warmen Monaten war 2022 insgesamt deutlich wärmer als die meisten Jahre der vergangenen 200 Jahre, Biermayr et al (2022).

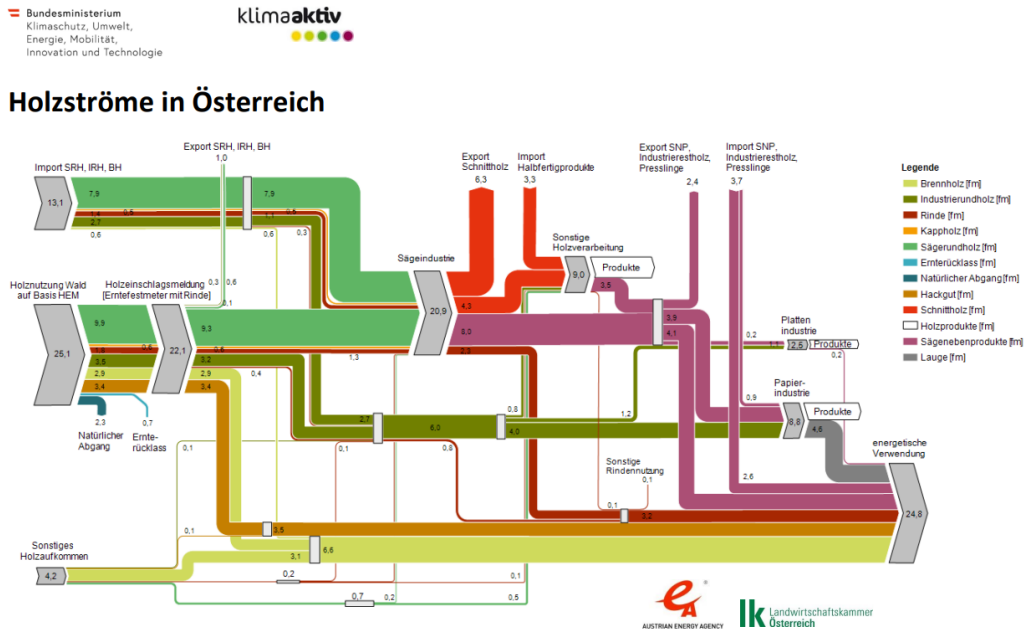
Nach Biermayr et. al (2023) wird ein Anteil von 20 % neu installierter Kessel für Hackgut <100 kW und auch für Stückholz angenommen, welche ebenfalls mit Stückholz bzw. Hackgut befeuerte alte Kessel ersetzen. Diese 20 % wurden vom Brennstoffverbrauch der Neuinstallationen abgezogen. Zusätzlich wird zur Ermittlung des Stückholzverbrauchs für 2020 jene Stückholz-Kessel (bzw. Allesbrenner) abgezogen, welche lt. Auskunft der KPC im Zuge von „Raus aus Öl“ eine Förderung bekommen haben. Ab dem Jahr 2020 wird der Verbrauch der Stückholz-Pellets Kombikessel mit einem Anteil von 50 % beim Stückholzverbrauch berücksichtigt. Der Pelletsmarkt wird umfangreich und kontinuierlich vom Branchenverband proPellets Austria erfasst, welche die jeweiligen Produktions- und Verbrauchszahlen direkt von ihren Mitgliedern erfassen. Einige Sortimenten wie z. B. Rinde werden in den Konjunkturdaten der Statistik Austria monatlich erfasst. Insgesamt wurde für das Jahr 2023 ein Verbrauch an festen Biobrennstoffen (Briketts, Pellets, Rinde, Hackgut und Stückholz) von rund 188 PJ ermittelt, siehe Abbildung 6.

Abbildung 6: Bruttoinlandsverbrauch fester Biobrennstoffe 2007 bis 2022 in 1.000 Tonnen (Quellen: proPellets Austria (2023), Auskunft GENOL (2023), BEST (2023), (Biermayr 2023), <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/publikationen/schriftenreihe-2024-17-marktentwicklung-energietechnologien.php>)



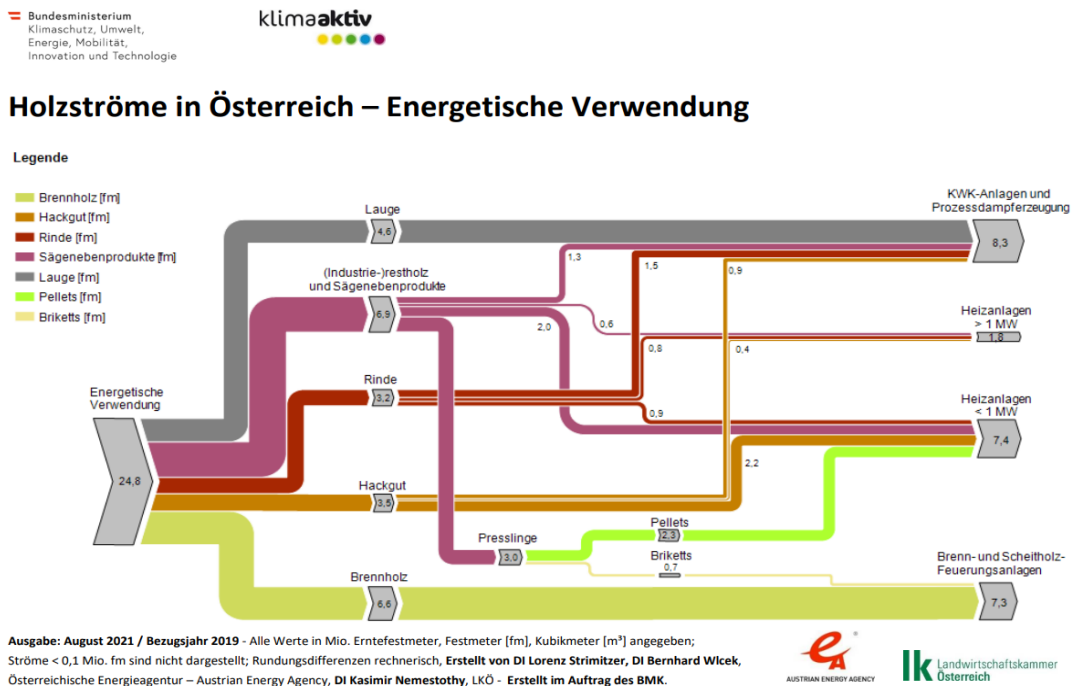
Anm: Der Rindenanteil ist bei den Werten für 2007 beim Hackgut inkludiert.

Abbildung 7: Holzströme in Österreich (Quelle: DI K. Nemestothy/LKÖ)



In Abbildung 7 sind die gesamten Holzströme in Österreich (inkl. Importe und Exporte) für alle möglichen Nutzungen, inkl. energetische Verwendung dargestellt. Es ist klar zu erkennen, dass die energetische Nutzung durchaus relevant ist.

Abbildung 8: Holzströme in Österreich – Energetische Verwendung (Quelle: DI K. Nemestothy/LKÖ)



In Abbildung 8 sind die Holzströme in Österreich nur für die energetische Verwendung dargestellt. Es ist klar zu erkennen, dass Scheitholz eine wichtige Rolle spielt, und eben auch die SNP, diese werden aber über verschiedene Anwendungen verteilt.

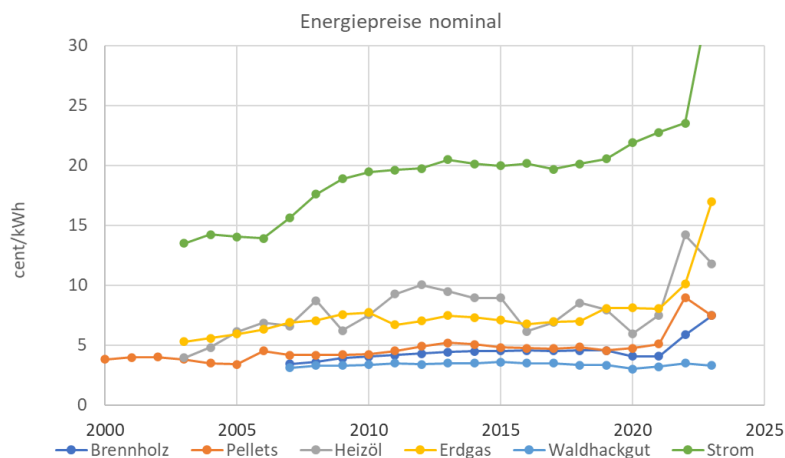
5.2 Historische Entwicklung und aktueller Stand von Preisen ausgewählter Energieträger

Ein wichtiges Kriterium für die Wirtschaftlichkeit biogener Energieträger und damit deren Chancen für eine steigende Marktdurchdringung sind deren Preise. Dies werden einerseits für Energiepreise für Endverbraucher (inkl. MWSt) und andererseits für den Großhandel (exkl. MWSt) beschrieben und diskutiert.

In Abbildung 9 sind die Energiepreise für Endverbraucher für die wichtigsten Biomasse-Energieträger auf dem Markt im Vergleich zu den konkurrierenden fossilen Energieträgern und Strom nominal von 2000 bis 2023 soweit verfügbar dargestellt.

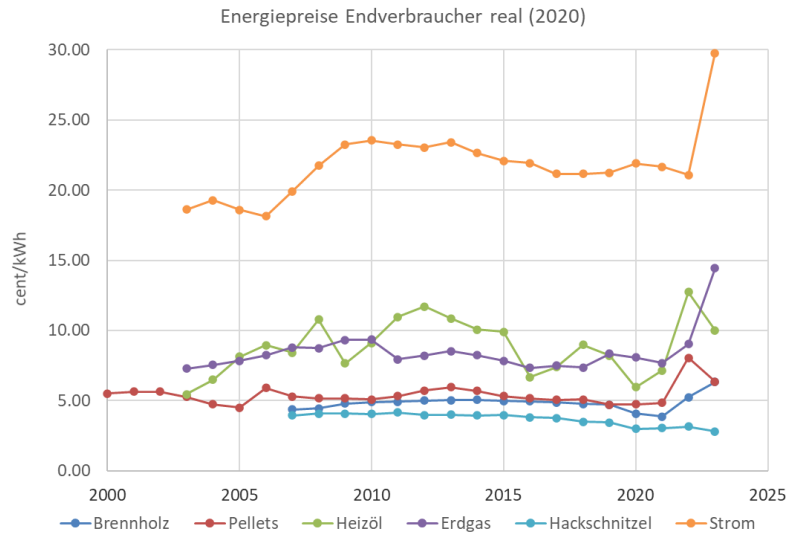
Es ist deutlich zu erkennen, dass die biogenen Energieträger über die Zeit leicht angestiegen, insgesamt aber – ausgenommen das Jahr 2022 – eher konstant geblieben sind.

Abbildung 9: Energiepreise für Endverbraucher in Österreich für biogene und fossile Energieträger nominal von 2000 bis 2023 (inkl. 20% MWSt)



In Abbildung 10 sind die Energiepreise für Endverbraucher in Österreich für relevante biogene und fossile Energieträger **real** also inflationsbereinigt (bezogen auf das Jahr 2020) von 2000 bis 2023 dargestellt.

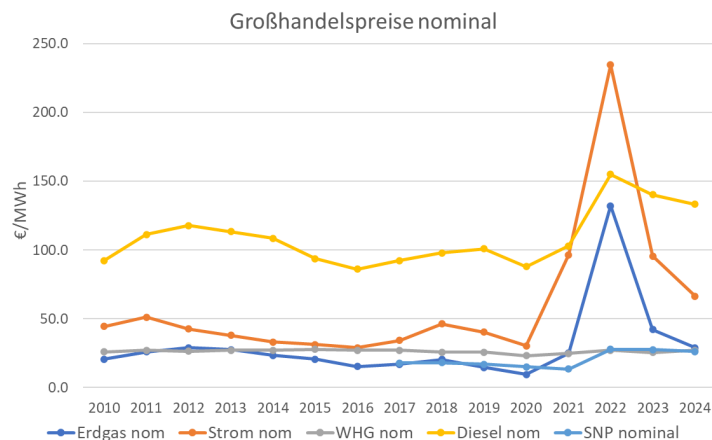
Abbildung 10: Energiepreise für Endverbraucher in Österreich für biogene und fossile Energieträger **real** (bezogen auf das Jahr 2020) von 2000 bis 2023 (inkl. 20% MWSt)



Wie wiederum deutlich zu erkennen ist, sind die Preise der biomasse basierten Energieträger über die Zeit leicht angestiegen, insgesamt aber – ausgenommen das Jahr 2022 – eher konstant geblieben.

In Abbildung 11 sind schließlich die Großhandelspreise für die relevanten Energieträgern Strom, Erdgas, Hackgut und Diesel dargestellt und zwar die nominalen Größen (letztere bezogen auf das Jahr 2020)

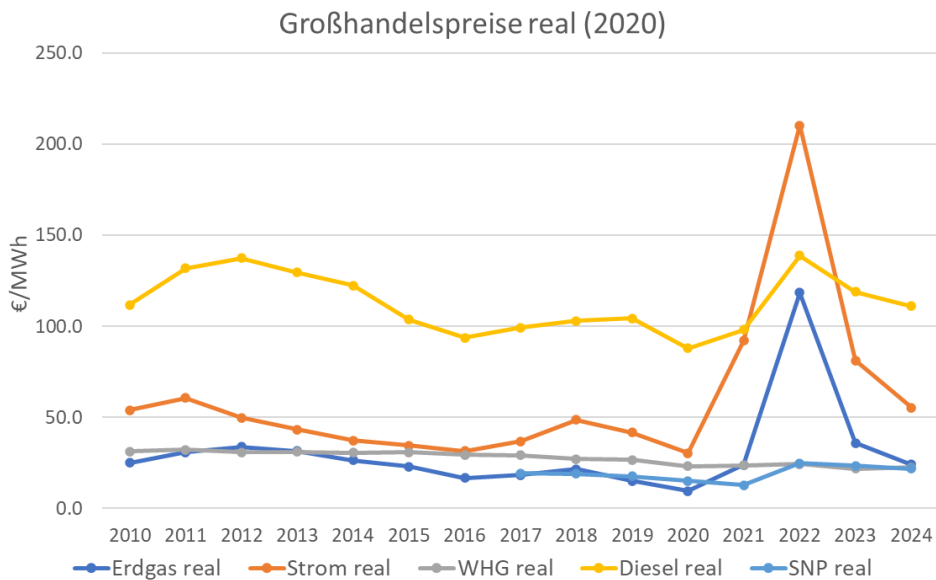
Abbildung 11: Großhandelspreise für die Energieträgern Strom, Erdgas, Hackgut und Diesel in Österreich, **nominal** von 2010 bis 2023), exkl. MWSt., bei Diesel inkl Mineralölsteuer



Aus Abbildung 11 ist deutlich zu erkennen, dass alle Energieträger nominal über die Zeit bis 2020 leicht gesunken sind, dann aber Strom und Erdgas im Jahr 2022 eine dramatische Spitze zu verzeichnen hatten. Die biomasse -basierten sind insgesamt relativ gleich geblieben.

In Abbildung 12 sind schließlich die realen Großhandelspreise für die relevanten Energieträgern Strom, Erdgas, Hackgut und Diesel dargestellt (letztere bezogen auf das Jahr 2020)

Abbildung 12: Großhandelspreise für die Energieträger Strom, Erdgas, Hackgut und Diesel in Österreich, **real** (bezogen auf das Jahr 2020) von 2010 bis 2023)



Auch hier ist zu erkennen, dass die Preise aller Energieträger sowohl über die Zeit bis 2020 leicht gesunken sind, dann aber Strom und Erdgas im Jahr 2022 eine dramatische Spitze zu verzeichnen hatten. Die Preise biomassebasierter Energieträger sind insgesamt relativ gleich geblieben.

6. Energetische Potenziale der Biomassenutzung und Definitionen von Umwandlungsketten der Nutzung

Die erste Wertkategorie entsprechend der obigen Definition ist die letztendlich energetische verfügbare Menge an Biomasse. Dazu sei festgestellt, dass es NICHT Ziel dieser Arbeit ist, eine neue detaillierte Potenzialstudie durchzuführen. Dazu sei vor allem auf die Arbeiten Kranzl/Haas (2009) und Dissauer (2019) verwiesen. Im Folgenden stellen wir die wichtigsten Zahlen aus diesen Studien zusammen.

Grundsätzlich sind in Bezug auf die Diskussion von energetischen Biomassepotenzialen die folgenden Aspekte bzw. Fragen von Relevanz:

- Wie werden Potenziale ermittelt? Flächen- oder mengenabhängig oder beides?
- Wie sind die Umwandlungseffizienzen in den gesamten Umwandlungsketten einzuschätzen?
- Wie können menschliche Verhaltensweisen, z.B. die Entwicklung des Fleischkonsums, die verfügbaren Flächen und somit die Potenziale beeinflussen?

Weiters gibt es eine Reihe von unterschiedlichen Definitionen von energetischen Potenzialen (unabhängig von der Art der Energiequelle):

* statische und dynamische Potenziale

* technische und wirtschaftliche Potenziale

* Angebot- und Nachfrage Potenziale.

Weiters stellt sich die Frage, welche Umwandlungsketten basierend auf den einzelnen biogenen Primärressourcen am wichtigsten zu analysieren sind.

6.1 Mögliche biogene Primärressourcen für die energetische Nutzung und deren Potenziale

Zunächst werden die möglichen biogenen Primärressourcen für die energetische Nutzung definiert. Die wichtigsten sind:

* forstliche Biomasse: Waldhackgut, Stückholz, Rinde

* Nebenprodukte der industriellen Nutzung (Sägenebeprodukte)

* Pellets

* Altholz

* Stroh

* Kurzumtriebshölzer und Perennial crops

1. Die derzeit zentralen biomassebasierten Primärressourcen sind Scheitholz, Waldhackgut und SNP der Holzverarbeitenden Industrie. Diese decken gemeinsam derzeit ca. 82 % der genutzten biomassebasierten Primärressourcen ab.
2. Bei Scheitholz ist bei der Nutzung in möglichen Umwandlungsketten festzustellen, dass es praktisch nur in der Kette zur individuellen Raumheizung von Gebäuden eingesetzt wird.
3. Abfallprodukte, Altholz
4. Als potenziell mögliche zukünftige Kategorien gelten Kurzumtriebshackgut, Miscanthus und Stroh.

6.2 Diskussion von (verfügbaren) Potenzialen primärseitig

Wenn der Wert einer energetischen Ressource diskutiert wird, ist natürlich von Interesse, abzuschätzen, welche Mengen davon in Zukunft (absolut) verfügbar sein könnten.

an Biomasse für die energetische Nutzung von in Zukunft (absolut) verfügbar sein werden. Praktisch noch wichtiger ist aber zu identifizieren, wovon, von welchen Parametern, diese Potenziale abhängen. Insgesamt ist festzustellen, wie auch die Literatur weitgehend bestätigt, z.B. Dissauer (2019), dass in vielen Bereichen die Potenziale weitgehend genutzt werden.

Es gibt aber noch mögliche zusätzliche Potenziale in den Bereichen effizienterer Nutzung der Waldvorräte, Kurzumtriebshölzer, Perennials (Miscanthus). Des Weiteren ist es wichtig, zu unterscheiden zwischen möglichem Angebot und tatsächlich realistischer Ernte. Letztere hängt z.B. vor allem von den erzielbaren Marktpreisen ab. Bei den primären forstwirtschaftlichen Produkten (Scheitholz, Waldhackgut...) sind die wichtigsten abhängigen Parameter die verfügbaren Flächen (z.B. für Kurzumtriebshölzer)

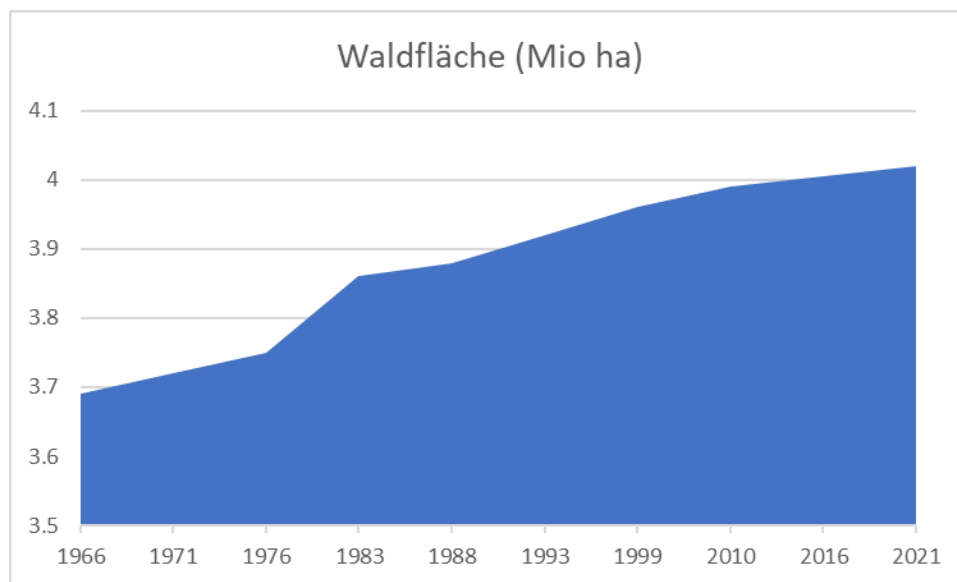
Weiters hängen einzelne Potenziale von den Holzverarbeitenden Betrieben ab. Geht es diesen gut, dann ist das auch förderlich für die energetische Nutzung von Biomasse, z. B. von SNP, Pellets, Industriehackgut.

6.2.1 Entwicklung des Waldbestandes, Waldholzvorrat, Waldzuwachs und Holzeinschlags

Die wichtigste Kategorie an biogenen Primärressourcen für die energetische Nutzung ist die forstliche Biomasse im österreichischen Wald. Österreich ist eines der walddreichsten Länder der EU und entsprechend ist die Relevanz forstlicher Biomasse für die österr Wirtschaft, speziell auch für die Energiewirtschaft.

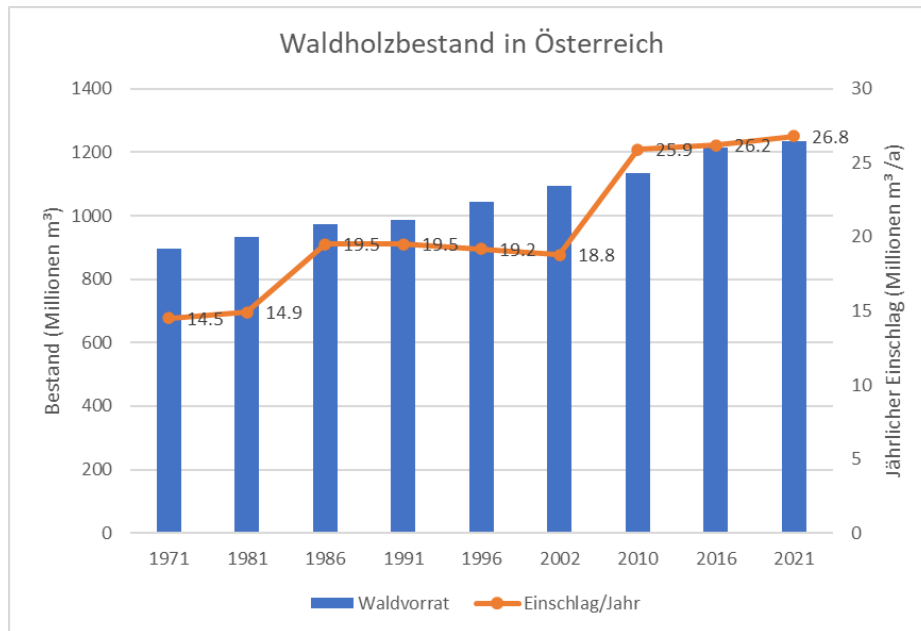
Ein Wald ist grundsätzlich ein dynamisches System und so ist die Entwicklung des Holzvorrats und seiner Nutzung dynamisch und so sind auch die Potenziale zur energetischen Nutzung. Grundsätzlich hängen die Holz-Vorratszunahme und die forstwirtschaftlichen Energie-Potenziale von zwei zentralen Faktoren ab: von der Zunahme der Flächen und von der Zunahme des spezifischen Bestands je Flächeneinheit bzw. der und Intensität der Nutzung (m³ pro Hektar und Jahr). In Bezug auf die Waldfläche ist festzustellen dass diese seit 1971 von ca. 3,7 Mio ha auf über 4 Mio ha in den letzten Jahren angestiegen ist, vgl. Abbildung 13. Mit dieser Fläche und einem Bewaldungsanteil von ca. 48% bedeckt der Wald fast das halbe Bundesgebiet (Lit: Aktiver Waldumbau 2023). Seit 1961 ist die Waldfläche um 330 000 Hektar gestiegen.

Abbildung 13: Entwicklung des Waldbestandes in Österreich



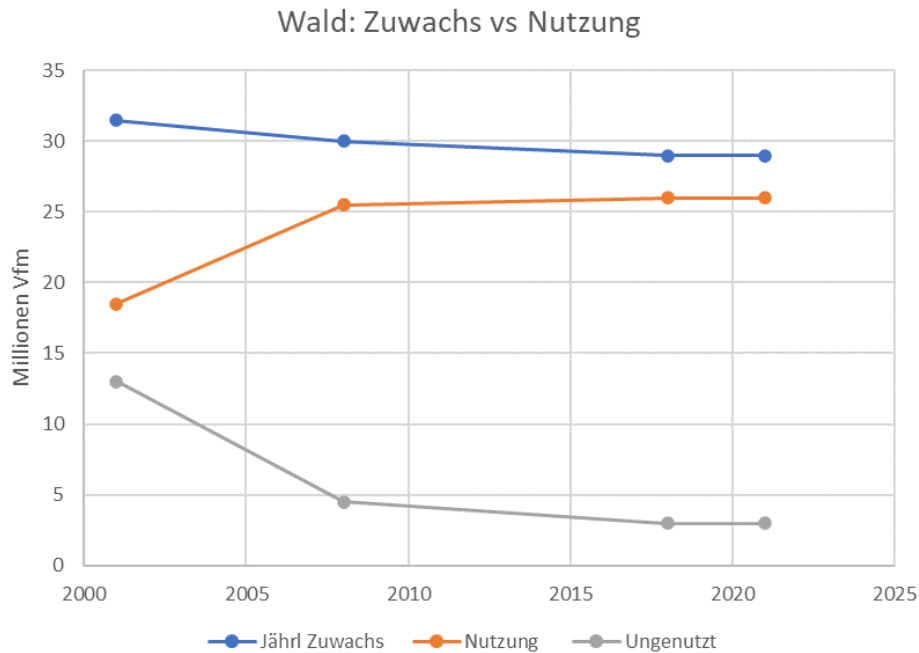
Die Abbildung 14 und Abbildung 15 zeigen zeitliche Entwicklungen zum Waldbestand. Die Abbildung 14 zeigt, wie der Holzvorrat trotz steigender Nutzung ansteigt. Dieser ist seit 1961 auf einen Wert von ca. 1,2 Milliarden Vfm (Vorratsfestmeter) gestiegen.

Abbildung 14: Entwicklung des Waldholzbestandes in Österreich



Der jährliche Zuwachs lag dabei zwischen dem Jahr 2001 und 2020 zwischen 29 und 31 Mio Vfm (Vorratsfestmeter) pro Jahr, also durchschnittlich bei ca. 30, siehe Abbildung 15. Im Vergleich zu 2007/09 verringerte sich der jährliche Gesamtwuchs von 30,4 auf 29,2 Mio Vfm, die Holznutzung nahm auf 26 Vfm zu. In Bezug auf den Ertrag pro Hektar blieb die jährliche Nutzung bei ca. 7,7 Vfm im Vergleich zu ca. 8,7 vor ca. 15 Jahren (Basisdaten BIOENERGIE 2023)

Abbildung 15: Entwicklung des Waldzuwachses und des Jahreseinschlags über die Jahre 2000 bis 2021 in Österreich (Vfm ... Vorratsfestmeter)



Wie ist nun der mögliche Waldzuwachs als energetisches Potenzial einschätzen? Aus dem ungenutzten Zuwachs von ca. 3 Mill Vfm, Abbildung 16 lässt sich bei 50%iger energetischer Nutzung ein zusätzliches statisches Potential von ca. 5,9 PJ pro Jahr abschätzen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei WHG ist, dass dessen Verfügbarkeit auch von dessen Marktpreis abhängt. D.h., je höher der Preis, desto mehr Waldhackgut wird „geerntet“ (unter sonst gleichbleibenden Rahmenbedingungen).

Daraus lässt sich erkennen, dass prinzipiell noch Optionen für zusätzliche energetisch nutzbare Holzpotentiale bestehen.

6.3 Überblick Potenziale

In Tabelle 1 sind die aktuell genutzten Mengen dieser biogenen Primärquellen (BPQ) dokumentiert und die diskutierten möglichen statischen und dynamischen Potenziale nach verschiedenen Quellen dargestellt, basierend auf: Dissauer et al (2019), ALTETRÄ (2012), Kranzl L., Haas R. (2009).

Tabelle 1: Aktuell genutzte Mengen biogener Primärquellen und mögliche statische und dynamische Potenziale basierend auf der Literatur und eigenen Abschätzungen

	2020				Statisches Zusatzpot.				MAX-GESAMT		
	ton TM/a		PJ	Hist Maxwert	ton TM/a		PJ	ton TM/a		PJ	
	t-atro	ha ist			t-atro	PJ		t-atro	ha		
Scheitholz			51.9	67.9	2021	312750	5.9	Scheitholz		59.7	
Waldhackgut	1417800		28.3	32.4	2017	275000	5.2	Waldhackgut	1817000	34.0	
Rinde	528000		10.0	11.8		52800	1.0	Rinde		11.9	
SNP	2378758		46.0	52.0			2.3	SNP	4376915	82.5	
Altholz	315000		3.9	3.9			0.2	Altholz	540000	10.2	
Stroh (inkl. N)	60000		1.1	1.1		527000		Stroh (inkl. N)	173910	3.3	
Kurzumtrieb	27500	2500	0.5	0.5				Kurzumtrieb	1320000	120000	24.9
Miscanthus	17235	1149	0.3	0.3				Miscanthus	600000	40000	11.3

In der folgenden Abbildung 16 sind die möglichen statischen Potenziale und weiters in Abbildung 17 auch die dynamischen als Beispiele dargestellt. Das heisst, das Wichtigste an diesen Darstellungen ist, wie solche Gesamtpotenziale prinzipiell zustande kommen könnten und nicht die Details der Zahlen. Darum werden hier auch keine Gesamtpotenziale angegeben. Noch einmal: Es ist nicht Ziel dieser Studie, detaillierte Zahlen zu Potenzialen zu ermitteln. Für die Details sollten die verschiedenen Zahlen Statistik AT, BEST (in Biermayr 2023) und Nemesthoty, sowie ÖBMV noch im Detail abgestimmt werden. Weiters sei verwiesen auf die Darstellung der Biomassepotenziale und Szenarien im Bioenergieatlas 2023 des ÖBMV:

Abbildung 16: Aktuelle Nutzung und mögliche zusätzliche statische Potenziale primärer biomassebasierter Energieressourcen

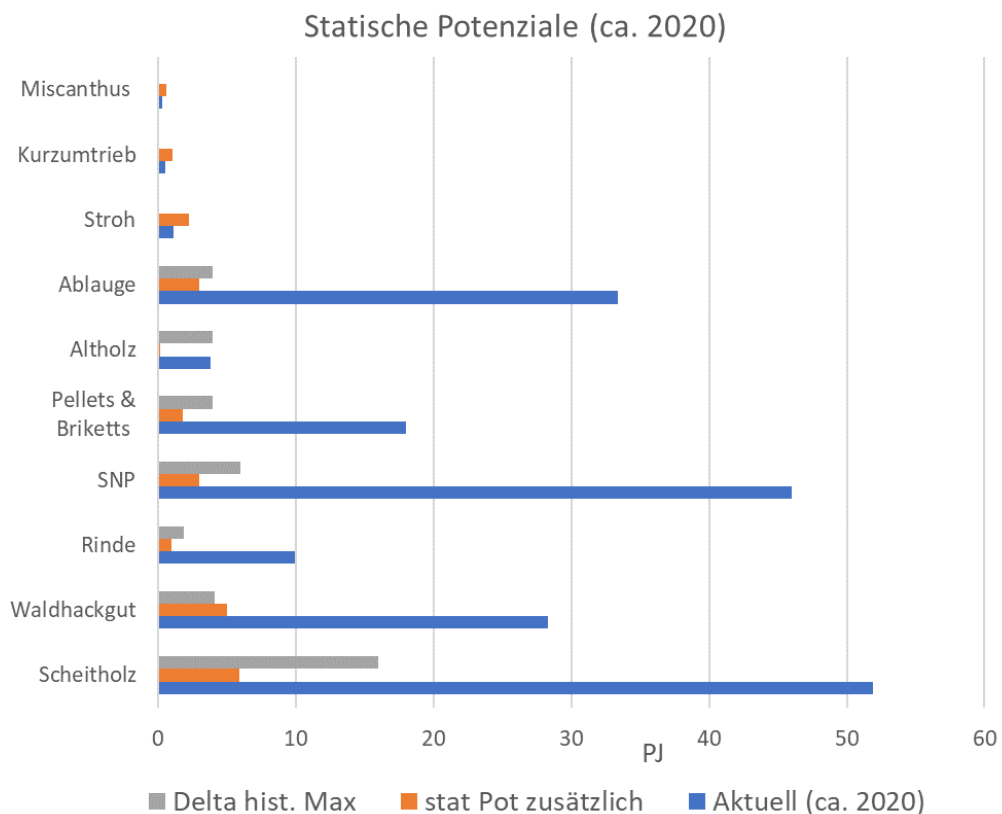
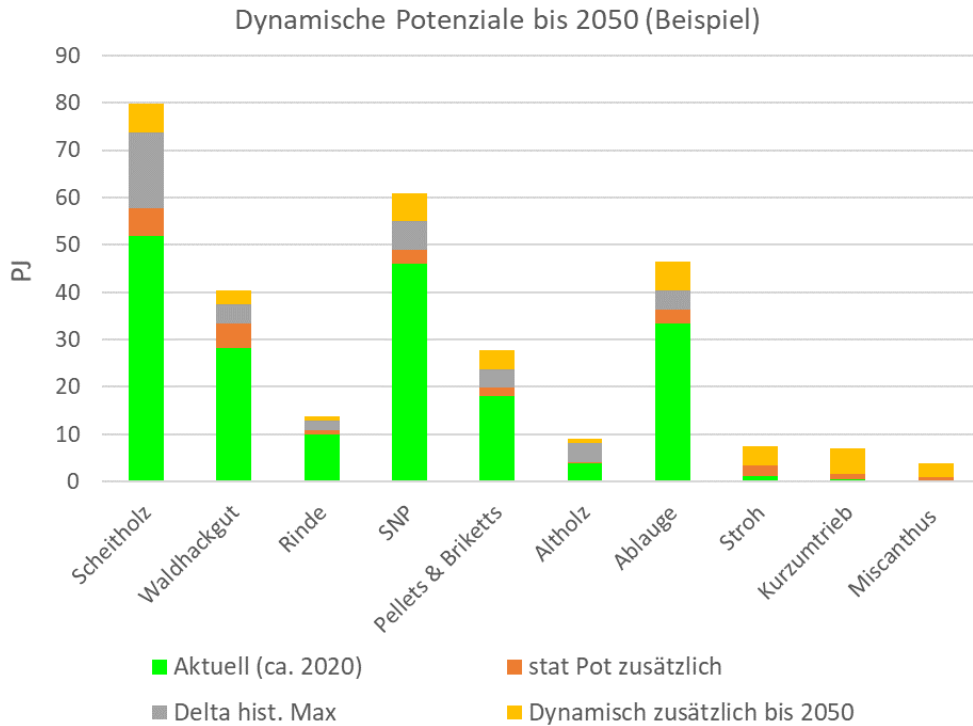


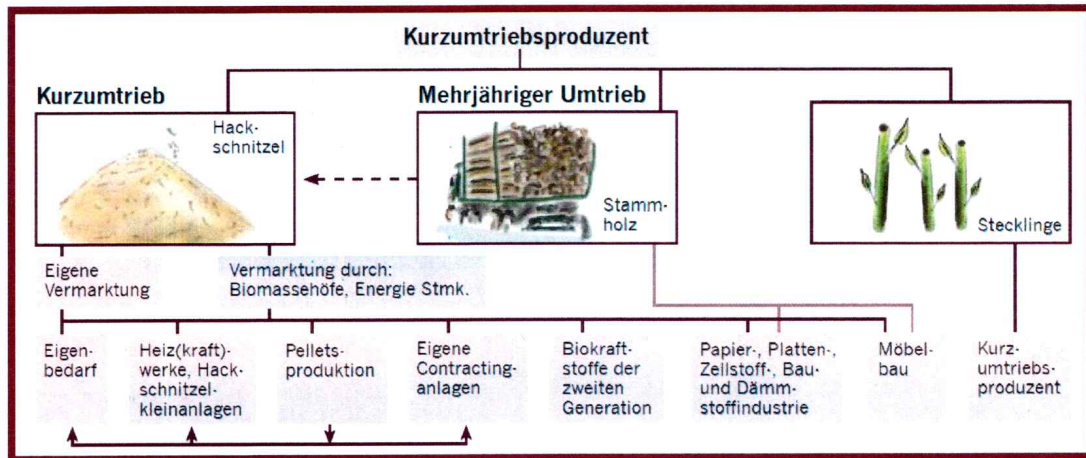
Abbildung 17: Mögliche dynamische Potenziale für die einzelnen Biomassefraktionen bis ca. 2050



Noch einige Anmerkungen zu Potenzialen der Sägenebenprodukte der Holzverarbeitenden Industrie: Diese sind im wesentlichen von der Wertschöpfung der Holzverarbeitenden Industrie abhängig und werden sich eben auch in Zukunft mit dieser entwickeln.

Zu den möglichen Potenzialen für Kurzumtriebshölzer zeigt die folgende Abbildung die Wertschöpfungskette. In den letzten Jahren wurden in Österreich auf ca. 2500 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.

Abbildung 18: Wertschöpfungskette von Kurzumtriebshölzern (Dissauer (2019) basierend auf www.biomassstradecentres.eu)



www.biomassstradecentres.eu

Es besteht nach Dissauer et al 2019 allerdings ein hohes Ausbaupotential hinsichtlich Kurzumtriebsflächen auf derzeitigen Grünlandbrachflächen. Laut Statistik der Landwirtschaft wurden im Jahr 2017 ca. 120.133 Hektar 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. Inklusive Gewerbeflächen und leerstehender Häuser schätzt man die verbaute ungenutzte Fläche auf 40.000 ha.⁴

6.4 Zusammenfassung Potenziale der energetischen Nutzung

Das von Seiten der Industrie häufig gebrachte Argument, es sei ökonomisch sinnvoller die stoffliche der energetischen Nutzung vorzuziehen, da am Ende der Lebensdauer das Holzprodukt ohnehin noch energetisch verwertet werden kann, ist nicht ganz von der Hand zu weisen. Hinsichtlich der inländischen Potenziale muss dabei jedoch bedacht werden, dass ein Großteil der in Österreich produzierten Holzprodukte exportiert wird, und daher nicht mehr im Inland energetisch verwertet werden kann.

Zu den energetisch nutzbaren Potenzialen können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden, siehe auch Kranzl/Haas (2009):

⁴ http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/raumordnung/rp_flaecheninanspruchnahme/

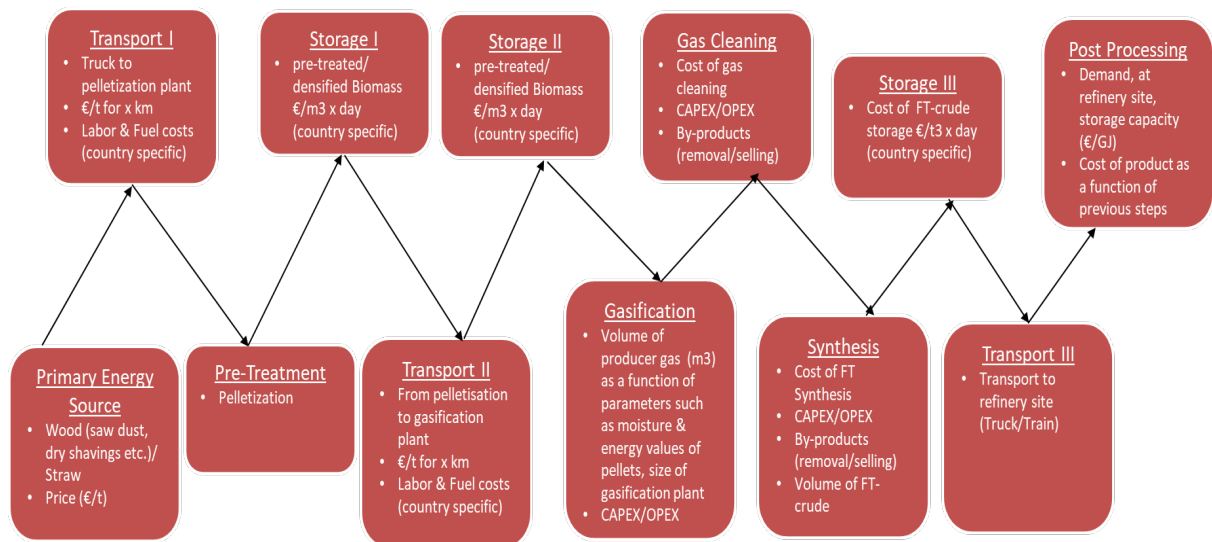
- Kurzfristig kann noch mit Steigerungen des Aufkommens forstlicher Biomasse gerechnet werden. Ob nach 2030 unter Beachtung ökologischer Kriterien eine weitere Ausweitung der Nutzung realisierbar ist, erscheint fraglich. Möglicherweise wird der Waldzuwachs, und somit das nachhaltig nutzbare Potenzial durch optimierte Waldpflege gesteigert werden können. Durch den Klimawandel wird es möglicherweise auch zu einer Beeinflussung des Waldwachstums kommen. Schließlich zählen Veränderungen der Baumartenverteilung, der Wachstumsperioden sowie Verschiebungen der Waldgrenze zu den möglichen Folgen des Klimawandels.
- Sofern die verstärkte energetische Holznutzung nicht allzu sehr auf Kosten der stofflichen Holznutzung gehen soll, sind signifikante Zuwächse bei den inländischen Potenzialen von SNP nur dann zu erwarten, wenn entweder die Sägeindustrie deutlich stärker wächst als Papier-, Zellstoff- und Plattenindustrie, oder die Industrieholz- (bzw. SNP-) Importe erheblich steigen. Auch Wechselwirkungen mit der derzeitigen Form der energetischen Biomasse-Nutzung sind zu beachten.

Dabei ist beispielsweise zu bedenken, dass noch immer ein wesentlicher Anteil des derzeitigen Brennholzverbrauchs auf relativ alte Heizsysteme mit verhältnismäßig niedrigen Wirkungsgraden zurückgeht. Wenn diese veralteten Systeme durch moderne Heizkessel ersetzt werden, hat das zur Folge, dass bereits erschlossene Rohstoffpotenziale in Zukunft effizienter genutzt werden. Außerdem sollte der Wärmebedarf im Wohnbereich aufgrund verbesserter Wärmedämmung längerfristig deutlich abnehmen.

6.5 Auswahl von/ Definition möglicher Umwandlungsketten für die energetische Nutzung biogene Primärressourcen

Für die beschriebenen biogenen Primärressourcen gibt es nun grundsätzlich unterschiedliche Optionen der Umwandlung in Endenergieträger bzw. Anwendungen, sogenannte Umwandlungsketten der Nutzung. Diese können prinzipiell sehr kurz oder auch in mehreren Umwandlungsschritten etwas länger ausfallen. Das Grundprinzip einer sehr detaillierten Darstellung einer Umwandlungskette zur energetischen Nutzung von Biomasse zeigt Abbildung 19.

Abbildung 19: Beispiel einer sehr detaillierten Darstellung einer Umwandlungskette zur energetischen Nutzung von Biomasse



Theoretisch ist eine Vielzahl an Biomassefraktion-Energieträgerkonstellationen möglich, jedoch weitaus weniger tatsächlich sinnvoll (insbesondere mit zusätzlichen Rahmenbedingungen wie in diesem Fall vorwiegend österreichischer Biomasse).

In der folgenden Tabelle 2 sind die in dieser Analyse untersuchten Umwandlungsketten identifiziert.

Anmerkung: Die Auswahl der Umwandlungsketten erfolgte basierend auf Expert/innen-Workshops und bilateralen Kooperationen. An dieser Stelle sei BEST, BMK, Joanneum Research, Kasimir Nemestothy (LKÖ) u.a. gedankt.

Tabelle 2: Dokumentation der in dieser Analyse untersuchten Umwandlungsketten aus (Biomasse) Primärenergiequellen und die daraus erzeugbaren biomassebasierten Energieträger zur energetischen Nutzung von Biomasse

	Raumwärme	Prozesswärme (aus Produktgas)	Nah-/Fernwärme	KWK (Strom / Wärme)	Strom	Synthetic Natural Gas	Fischer-Tropsch-Diesel
Scheitholz	X						
Waldhackgut		X	X	X	X	X	X
Sägenebenprodukte		X	X	X	X	X	
Rinde		X	X	X	X	X	X
Pellets	X						
Kurzumtriebshackgut		X	X	X	X	X	
Miscanthus			X	X	X		
Altholz		X	X	X	X	X	X

Im Rahmen dieses Projektes werden somit folgende 7 Leit- Biomassefraktion → -Energieträgerketten aus ökonomischer und CO₂-Sicht analysiert:

- 1) Scheitholz → dezentraler Heizkessel → Raumwärme und Warmwasser
- 2) Waldhackgut → Heizwerk → Nahwärme → Raumwärme und Warmwasser
- 3) Waldhackgut → Industrie → Industrielle Prozesswärme
- 4) Waldhackgut → Kraftwerk → Strom
- 5) Waldhackgut → Kraftwerk (KWK) → Strom und Fernwärme
- 6) Waldhackgut → Sythese gasanlage → SNG
- 7) Waldhackgut → Umwandlungsanlage → Fischer - Tropsch - Diesel)

Für die oben aufgelisteten Kettenkonstellationen werden die erzeugte Energie ($E_{gen.}$), CO₂-Äquivalente (kg CO₂/kg Energieträger) sowie die Produktionskosten (EUR/kWh) berechnet.

Des Weiteren bildet die Analyse des Status Quo, der historischen Entwicklungen sowie die Berechnung von Szenarien bis 2050 für die oben angeführten Biomassefraktionen und Energieträger einen wichtigen Teil der ökonomischen und CO₂-Analysen.

7. CO₂-Analyse ausgewählter Biomasseumwandlungsketten

In diesem Kapitel wird eine Bewertung der ausgewählten Biomasseumwandlungsketten für Anwendungen/Produkte aus der Sicht der gesamten CO₂-Bilanz der Ketten durchgeführt. Diese Analyse wird in dieser Arbeit aus zwei Gründen durchgeführt:

1. Um den Wert der Anwendungen/Produkte aus CO₂-Sicht entsprechend Abb. 1 zu ermitteln;
2. Und um die CO₂-Kosten der einzelnen Anwendungen/Produkte bei der Wirtschaftlichkeitsbewertung ermitteln zu können.

Im Folgenden erfolgt zunächst die Beschreibung der Methodik zur Ermittlung der Life-cycle - CO₂-Bilanzen der einzelnen Biomasseumwandlungsketten und anschließend werden die wichtigsten Ergebnisse der gesamten CO₂-Emissionen für diese Ketten entsprechend der Matrix in Tabelle 2 in eben dieser Matrixform in Form von CO₂-Faktoren präsentiert.

7.1 Beschreibung der Methodik zur Ermittlung der Life-cycle - CO₂-Bilanzen der einzelnen Umwandlungsketten

In diesem Kapitel wird die Methode zur Analyse der Life-cycle- CO₂-Bilanzen der einzelnen Ketten beschrieben. Für die ökologische Bewertung werden Lebenszyklusanalysen durchgeführt, um speziell die CO₂-Bilanzen der einzelnen Energieträger aus verschiedenen möglichen Ketten zu ermitteln. Diese Bewertung der Biomassefraktion-Energieträger-Ketten im Rahmen dieser Studie erfolgt mittels einer umfassenden Life-cycle – Analyse, bei der auch die embedded emissions der Konversionsprozesse mitberücksichtigt werden. Weiters berücksichtigt werden die durch den Biomasseanbau anfallenden CO₂ –Emissionen, der Effizienz des Biomassevergasungsprozesses sowie der durch die Herstellung des Energieträgers anfallenden CO₂ –Emissionen. Schließlich werden diese mit der CO₂ – Bilanz konventioneller Energieträger verglichen.

In Bezug auf die relevante Literatur sei hier vor allem auf das Projekt ALTETRÄ (Ajanovic et al (2013)) verwiesen, in dem bereits eine umfassende korrespondierende untersuchung für verschiedene biogene Energieträger durchgeführt wurde, allerdings mit speziellem Fokus auf Ketten für den Verkehrsbereich.

Die Summe der genannten Variablen stellt die CO₂ – Bilanz, CO_{2,SP}, für die Produktion eines bestimmten Energieträgers – in diesem Fall auf Biomasse basierend (biofuel, BF) – ausgehend von einer ausgewählten Biomassefraktion (feedstock, FS) dar. Zusammengefasst und mathematisch ausgedrückt ist dies mittels **Gleichung 1**:

$$CO_{2,SP} = n_{FS} \cdot CO_{2,FS_IN} + CO_{2,BF_IN} \quad [\text{kg CO}_2/\text{kg BF}] \quad (1)$$

Desweiteren können die durch den Biomasseanbau anfallenden CO₂ – Emissionen (CO_{2,FS_IN}) sowie die durch die Herstellung des Energieträgers anfallenden CO₂ – Emissionen (CO_{2,BF_IN}) mittels **Gleichungen 1.1** und **1.2** detaillierter beschrieben werden.

$$CO_{2,FS_IN} = CO_2 [Passive/Sink + Düngemittel + Transport (FS) + Transport(BF)] \quad [\text{kg CO}_2/\text{kg FS}] \quad (1.1)$$

Mit ⁵:

η_{FS}... Effizienz des Biomasseumwandlungsprozesses (Umwandlungseffizienz)

CO_{2,FS_IN} sind die durch den Biomasseanbau anfallenden CO₂ Emissionen:

$$CO_{2,FS_IN} \dots = \dots \sum CO_2 (passive/sink, Dünger, Transport (FS); Transport(BF)) \quad [\text{kg CO}_2/\text{kg FS}]$$

$$CO_{2,BF_IN} = CO_2 [Credits (Nebenprodukte) + Pressvorgang + BF Umwandlung + andere WTT + Transport (Tankstelle, TTW)]$$

$$[\text{kg CO}_2/\text{kg BF}] \quad (1.2)$$

CO_{2,BF_IN} ...durch die Herstellung des Energieträgers anfallende CO₂ Emissionen

⁵ Abkürzungen: WTT... well-to-tank, TTW...tank-to-wheel

ΣCO_2 (Credits_{Nebenprodukte}, Pressvorgang, BF Umwandlung, andere WTT, Transport_{Tankstelle}, TTW) [kg CO₂/kg BF]

7.2 Ergebnisse der Analyse der CO₂-Faktoren verschiedener ausgewählter Umwandlungsketten

In diesem Kapitel werden beispielhaft Ergebnisse zur Analyse der CO₂-Faktoren verschiedener Umwandlungsketten der energetischen Biomassenutzung dokumentiert.

Die folgenden Berechnungen der CO₂-Faktoren wurden unter Verwendung der Software GEMIS 5.1 (Globales Emissions-Modell integrierter Systeme) und der damit verbundenen Datenbank Pro-Bas durchgeführt. Die Datenbank ist von der Europäischen Kommission in der delegierten Verordnung (EU) 2023/1185 zur Berechnung von Treibhausgaseinsparungen anerkannt. Bei der Berechnung wurden weiters die folgenden spezifischen Aspekte berücksichtigt: Auswahl möglichst aktueller, realistischer und nachvollziehbarer Daten, Einbezug von peer-reviewter Literatur für Abschätzungen nach bestem Wissen bei fehlenden Daten und Vergleich mit bestehenden Arbeiten in der Literatur.

In den folgenden Abb. 20 bis Abb. 25 sind beispielhaft für einige Umwandlungsketten die ermittelten CO₂-Faktoren und deren Zusammensetzung dargestellt. Abbildung 22 zeigt die CO₂-Bilanz bei der Produktion von Nahwärme aus Hackgut, Abbildung 20 die CO₂-Bilanz bei der Produktion von Strom (ohne Wärmeauskopplung) aus Hackgut, Abbildung 21 jene bei der Produktion von Strom und Wärme in Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) aus Hackgut. Die CO₂-Bilanz bei der Produktion von Synthetic natural gas (SNG) aus Hackgut zeigt. Abbildung 24. Schließlich zeigen die Abbildungen 24 und 25 die CO₂-Bilanzen für die längsten Umwandlungsketten mit bei der Produktion von Strom und Wärme aus KWK aus Synthetic natural gas (SNG) aus Hackgut bzw Sägenebenprodukten (SNP).

Abbildung 22: CO₂-Bilanz bei der Produktion von Nahwärme aus Hackgut

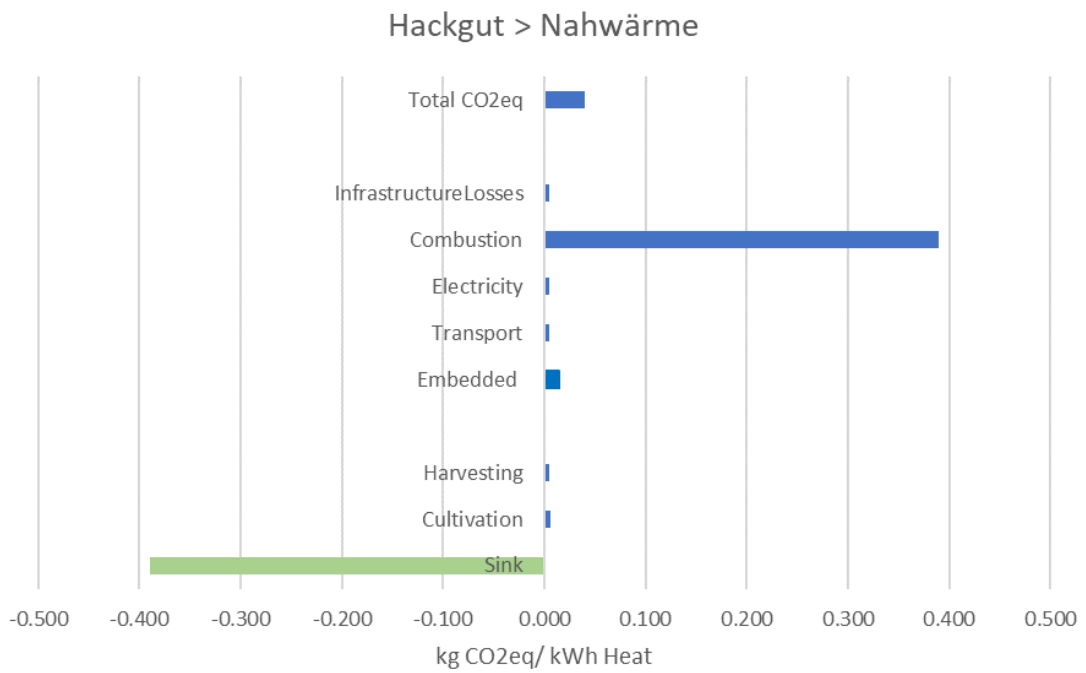


Abbildung 23: CO₂-Bilanz bei der Produktion von Strom aus Hackgut

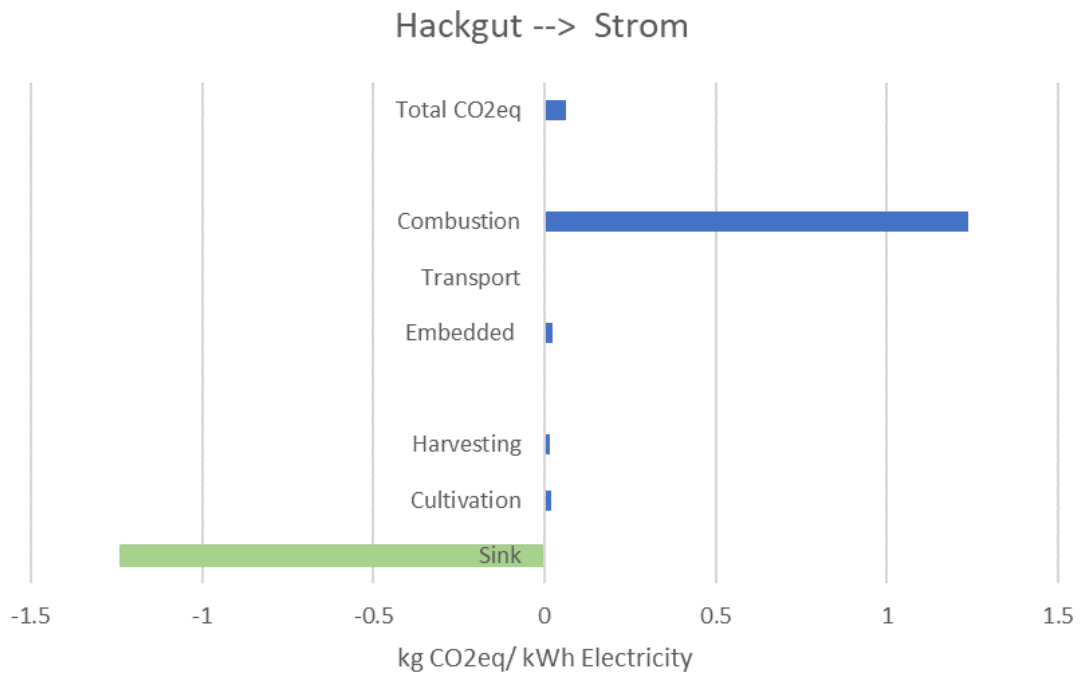


Abbildung 24: CO₂-Bilanz bei der Produktion von Strom und Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplung aus Hackgut

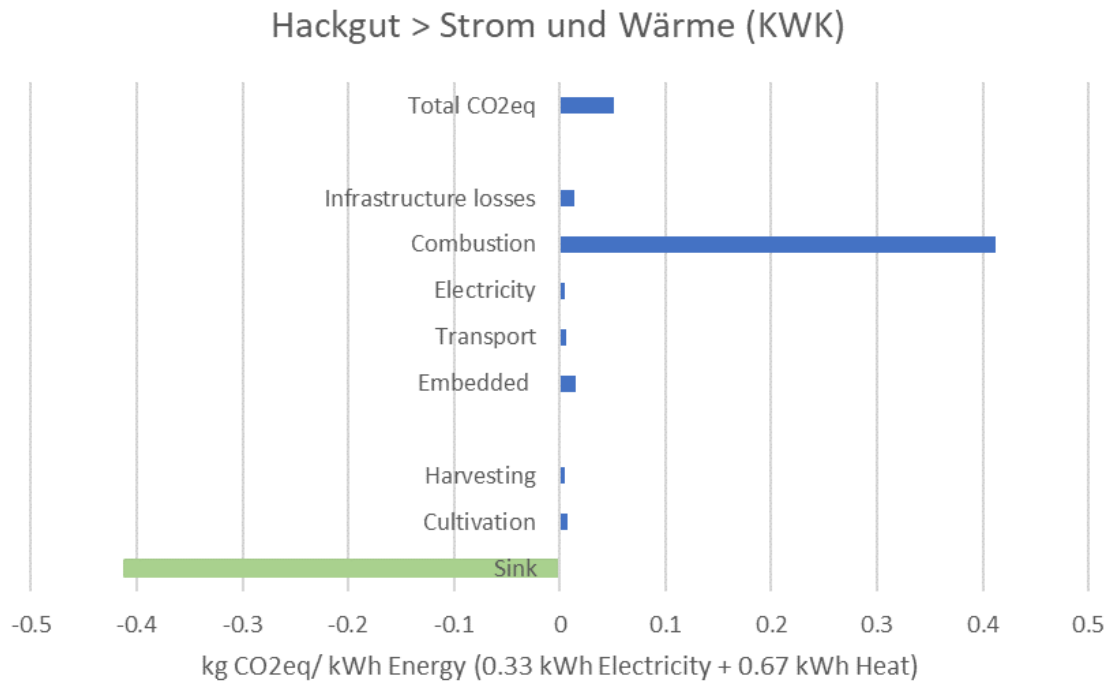


Abbildung 25: CO₂-Bilanz bei der Produktion von Synthetic natural gas (SNG) aus Hackgut

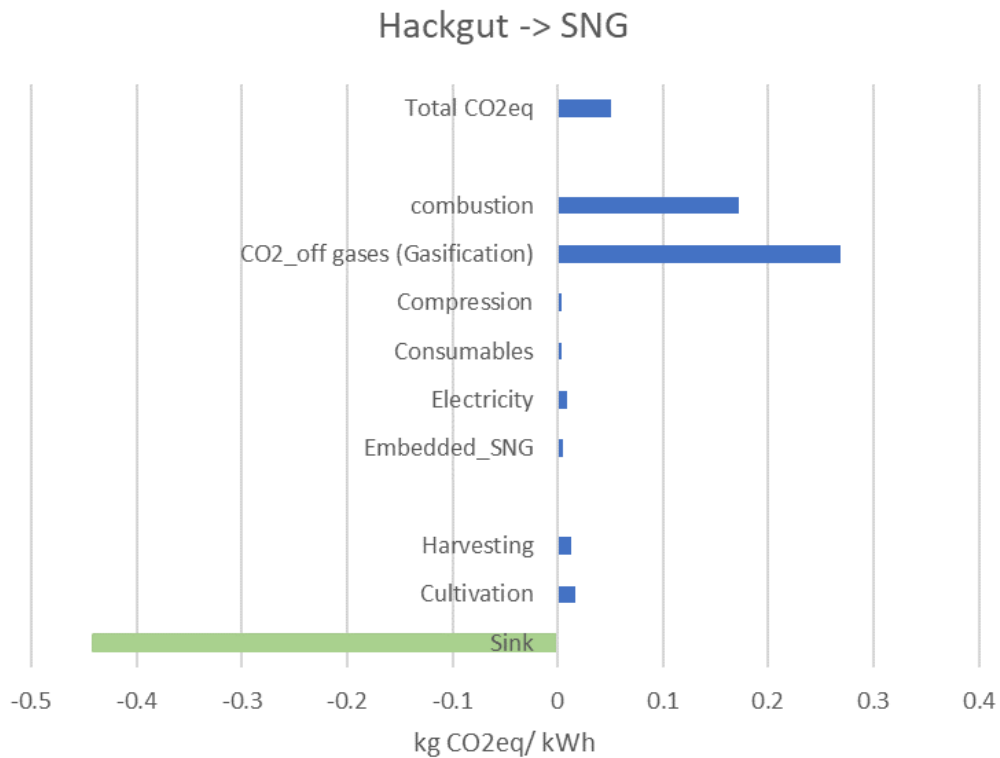


Abbildung 26: CO₂-Bilanz bei der Produktion von Strom und Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) aus Synthetic natural gas (SNG) aus Hackgut

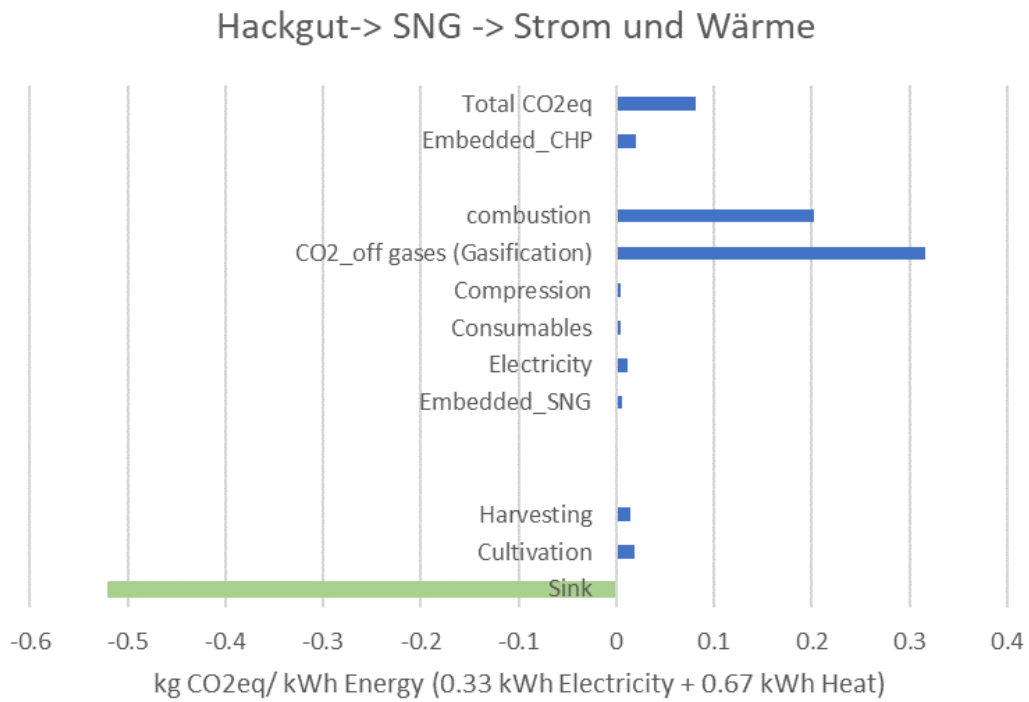
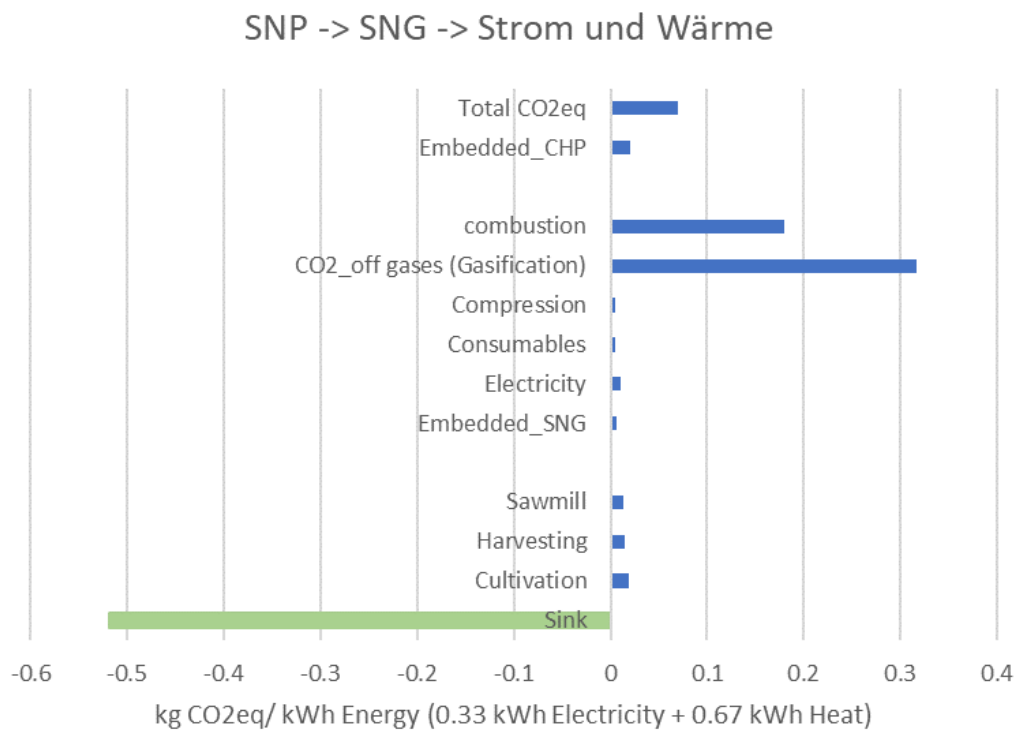


Abbildung 27: CO₂-Bilanz bei der Produktion von Strom und Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) aus Synthetic natural gas (SNG) aus Sägenebemprodukten (SNP)



Einen zusammenfassenden Überblick der in dieser Arbeit verwendeten CO₂-Faktoren gibt Tabelle 3. Die CO₂-Faktoren liegen bei praktisch allen Umwandlungsverfahren bei ca. 0,04 bis 0,07 kg CO₂/kWh, am höchsten sind sie mit 0,08 kg CO₂/kWh bei FT-Diesel und Strom (ohne Wärmeauskopplung) produziert aus Kurzumtriebshölzern (KUH).

Tabelle 3: CO₂-Faktoren verschiedener Ketten basierend auf unterschiedlichen biogenen Energieträgern (kg CO₂/kWh Endenergie)

f_WHG	kgCO ₂ /kWh	Einzelheizung, Raumwärme	Nahwärme	Prozesswärme	Strom	Strom + Wärme	Synthetic Natural Gas (SNG)	Fischer-Tropsch-Diesel
0.60	Scheitholz	0.02						
1.00	Waldhackgut		0.04	0.07	0.07	0.05	0.05	0.07
0.80	Sägenebenprodukte (SNP)		0.03	0.06	0.06	0.04	0.04	0.06
0.75	Rinde		0.03	0.05	0.05	0.04	0.04	0.05
1.20	Pellets	0.05						
1.00	Stroh		0.04	0.07	0.07	0.05	0.05	0.07
1.08	Kurzumtriebshackgut (KUH)		0.04	0.08	0.08	0.05	0.05	0.08
1.15	Miscanthus		0.05		0.08	0.06		
0.80	Altholz		0.03	0.06	0.06	0.04	0.04	0.06

f_WHG: CO₂-Faktor in Relation zu Waldhackgut (WHG), für WHG ist dieser 1,0.

8. Aktuelle Wirtschaftlichkeitsanalyse der betrachteten Umwandlungsketten

In diesem Kapitel wird zunächst die aktuelle (ca. 2020) Situation der (statischen) Wirtschaftlichkeit für die verschiedenen Anwendungen/Produkte in den beschriebenen Ketten analysiert. Dies wird basierend auf dem Preis von Waldhackgut (als Leitparameter der biogenen Energieträger) sowie den Preisen von Erdgas und Diesel durchgeführt. Konkret werden im Folgenden nun die Erzeugungskosten von Wärme, Strom, SNG und FT-Diesel aus Biomasse/Hackgut mit den Kosten/Preisen der fossilen Alternativen verglichen.

Anmerkung: Da die Periode um 2020 in Bezug auf Energiepreise allgemein sehr volatil war, wird für 2020 jeweils ein Wert der Preise verwendet, der in etwa das Mittel aus 2019 und 2023 wieder spiegelt.

In weiterer Folge werden dann in Kap. 7 in Szenarien die möglichen zukünftigen Entwicklungen der Wirtschaftlichkeit analysiert. Letztendlich wird geschaut, ob es notwendig ist, Subventionen zu vergeben (und die Rolle der CO₂-Preise diskutiert).

8.1 Beschreibung der ökonomischen Methodik

Der methodische Ansatz zur ökonomischen Analyse besteht im Prinzip aus einer dynamischen Gesamtkostenanalyse der einzelnen Biomassefraktionen untereinander sowie mit konventionellen Energieträgern. Es wird auf heimischer Biomasse fokussiert.

Vorab sei angemerkt, dass es sowie bei der ökonomischen sowie als auch bei der ökologischen Bewertung von Biomassefraktion-Energieträger Ketten zu einer Vielzahl von Abschätzungen und Annahmen kommt und auch die einzelnen Variablen, die im Zuge einer solcher Analysen berücksichtigt werden, von Modell zu Modell Unterschiede aufweisen können. Es kann daher nicht die Rede von einer Gesamtbewertung, viel mehr jedoch von einem Vergleich von Einzelfällen unter bestimmten Voraussetzungen sein. Das Ziel dieser Analyse ist es, eine dynamische Gesamtkostenbetrachtung der einzelnen Biomassefraktionen untereinander sowie mit konventionellen Energieträgern durchzuführen, wobei der Fokus auf heimischer Biomasse liegt. In einem weiteren Schritt wird eine Gesamtkostenbetrachtung für verschiedene Rohstoff-Energieträger Ketten durchgeführt.

Die Wirtschaftlichkeitsbewertung der Biomassefraktion-Energieträger Ketten, die im Rahmen dieser Studie analysiert werden, erfolgt mittels Analyse der Energie- und Kapitalkosten, sowie folgender, weiterer Kosten: Transport, Betrieb & Wartung (O&M), Elektrizität, Wärme und Arbeitskosten. Im Anschluss wird dies mit dem Marktpreis für Diesel verglichen.

Die Summe der genannten Variablen stellen die jährlichen Gesamtkosten, C_{total} , für die Produktion eines bestimmten Energieträgers – in diesem Fall Biotreibstoffes (biofuel, BF) – ausgehend von einer ausgewählten Biomassefraktion (Feedstock, FS) dar. Zusammengefasst und mathematisch ausgedrückt ist dies mittels Gleichung 2:

$$C_{total} = \frac{P_{FS}}{EC \eta_{Um}} + \frac{IC \cdot \alpha}{T} + \frac{C_{O\&M}}{T} + \frac{p_{CO_2} \cdot f_{CO_2}}{\eta_{Um}} + R_{NP} \quad [€/kWh] \quad (2)$$

mit:

EC.....Energiegehalt [kWh/ton FS],

FS.... Feedstock, Biomassefraktion

p_{FS}Feedstockpreis [€/ton FS]

IC..... Investitionskosten [€/kW]

η_{Um} Effizienz der Umwandlungstechnologie

$C_{O\&M}$...Betrieb & Wartung, Transport, Elektrizität, Wärme, Arbeitskosten [€/kW]

R_{NP} Einnahmen Nebenprodukte

p_{CO_2} ... CO₂-Preis [€/Tonne CO₂]

f_{CO_2} ... CO₂-Faktor des Brennstoffs [kg CO₂/kWh]

T Volllaststunden [h/a]

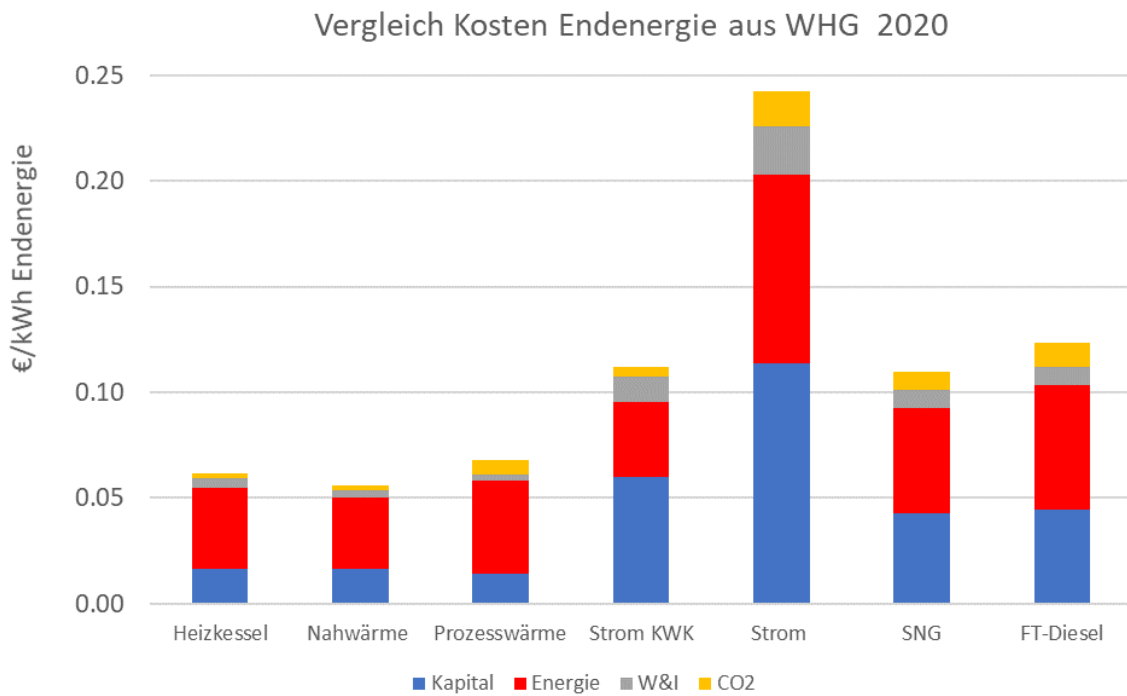
8.2 Ergebnisse der (statischen) ökonomischen Analyse ausgewählter Ketten für verschiedene Anwendungen/Produkte

Im Folgenden werden die entsprechenden Ergebnisse der Kostenberechnung der einzelnen biomasse-basierten Anwendungen/Produkte präsentiert und anschließend mit den fossilen Energieträgern, vor allem Erdgas verglichen. Wichtig: auch bei der folgenden Wirtschaftlichkeitsanalysen arbeiten wir mit einem Leit-Energieträger, eben Hackgut.

Abbildung 28 zeigt eine Aufschlüsselung der Erzeugungskosten von verschiedenen Anwendungen/Produkten aus Biomasse/Hackgut in Kapital-, Energie-, W&I sowie CO₂-Kosten im Jahr 2020. Es ist klar zu erkennen, dass mit Ausnahme von Strom aus KWK die Energiekosten jeweils den

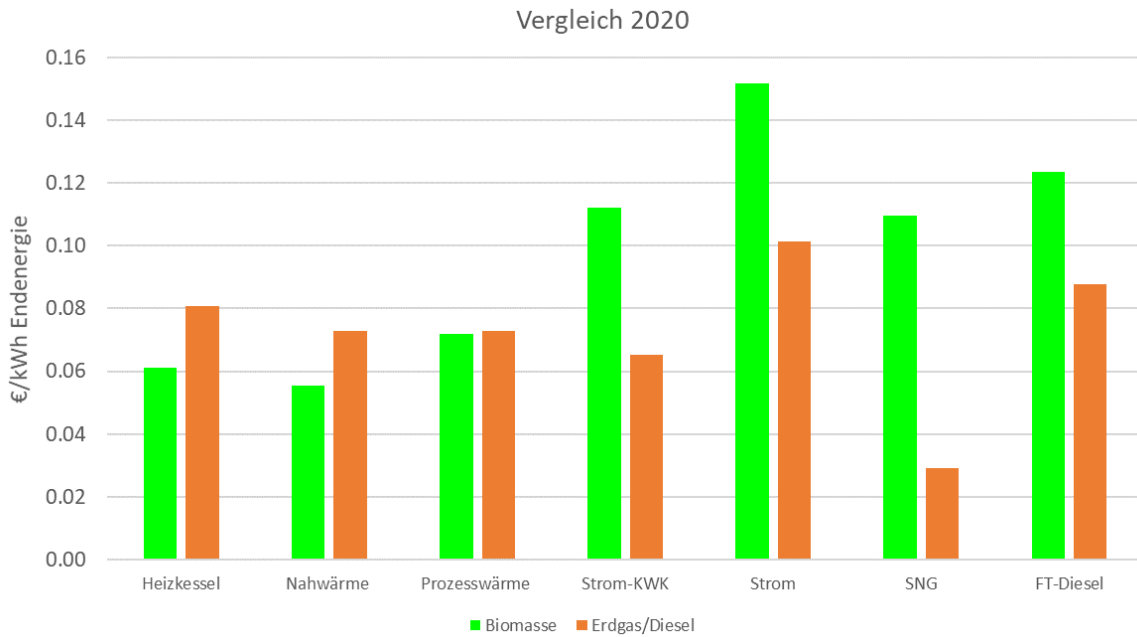
größten Anteil ausmachen und bei den Anwendungen für Wärme die Biomasse deutlich am günstigsten sind. Die höchsten Gesamtkosten ergeben sich bei Strom (ohne Wärmeauskopplung), vor allem wegen dem schlechteren Wirkungsgrad, den höheren Investitionskosten und den geringen Vollaststunden.

Abbildung 28: Aufschlüsselung der Erzeugungskosten von verschiedenen Anwendungen/Produkten aus Biomasse/Hackgut in Kapital-, Energie-, W&I sowie der CO₂-Kosten im Jahr 2020



Im Folgenden werden nun die Erzeugungskosten von Wärme, Strom, SNG und FT-Diesel aus Biomasse/Hackgut mit den Preisen der fossilen Alternativen verglichen. Die Werte für das Jahr 2020 zeigt Abbildung 29. Es ist klar zu erkennen, dass bei den drei Wärmefractionen links im Bild die Biomasse eindeutig konkurrenzfähig ist. Bei Strom sowohl mit als auch ohne KWK ist die fossile Alternative Erdgas deutlich kostengünstiger, vor allem aufgrund der besseren Wirkungsgrade der Erdgas-Kraftwerke. Für FT-Diesel ist ebenfalls die fossile Variante etwas kostengünstiger. Der deutlichste Unterschied ist bei SNG zu erkennen, hier ist Erdgas um zumindest einen Faktor 3 billiger.

Abbildung 29: Vergleich der Erzeugungskosten von Wärme, Strom, SNG aus Biomasse/Hackgut und den Kosten/Preisen der fossilen Alternativen im Jahr 2024



KWK ... Kraft-Wärme-Kopplung, SNG ... Synthetic natural gas, FT ... Fischer-Tropsch

Die im Rahmen dieses Projektes analysierten Biomassefraktionen belaufen sich auf Scheitholz, Hackgut, Sägenebenprodukte, Pellets, Kurzumtriebshölzer, Stroh, Altholz und Miscanthus.

Um die Ergebnisse der ökonomischen Analyse anschaulich darzustellen, wurden die Produktionskosten unterteilt in Kapital-, Wartung- und Instandhaltung, sowie Energie- und CO₂-Kosten (alle in EUR/kWh), für Waldhackgut und die jeweiligen, korrespondierenden Energieträger tabellarisch dargestellt.

Tabelle 4: Aufschlüsselung der Kosten verschiedener Ketten basierend auf Waldhackgut (alle Werte in €/kWh)

Energieträger	Jahr	C _{capital}	C _{other}	C _{Energy}	C _{CO2}	C _{Total}
FT-Diesel (€/kWh)	2020	0,044	0,020	0,059	0,011	0,134
	2030	0,034	0,021	0,083	0,013	0,150
	2040	0,027	0,021	0,077	0,017	0,144
Elektrizität (€/kWh Strom)	2020	0,034	0,014	0,100	0,017	0,165
	2030	0,031	0,014	0,121	0,021	0,187
	2040	0,028	0,013	0,139	0,028	0,208
Nahwärme (€/kWh Nah- wärme)	2020	0,034	0,014	0,041	0,004	0,093
	2030	0,031	0,014	0,050	0,004	0,099
	2040	0,028	0,014	0,058	0,006	0,106
SNG (€/kWh)	2020	0,043	0,020	0,050	0,007	0,120
	2030	0,045	0,010	0,055	0,008	0,118
	2040	0,047	0,012	0,061	0,011	0,131

Einen zusammenfassenden Überblick zu den Ergebnissen der Kosten verschiedener Ketten basierend auf Waldhackgut aufgeschlüsselt nach den verschiedenen Kostenkategorien (alle Werte in €/kWh) gibt Tabelle 4.

Tabelle 5: Vergleich der Kosten verschiedener Ketten basierend auf Waldhackgut und umgerechnet auf andere Biomassefraktionen basierend auf unterschiedlichen Brennstoffkosten 2020 (alle Werte in €/kWh)

kf_WHG	€/kWh	Einzelheizung, Raumwärme	Nahwärme	Prozesswärme	Strom	KWK (Strom + Wärme)	Synthetic Natural Gas (SNG)	Fischer-Tropsch-Diesel
1.30	Scheitholz	0.061						
1.00	Waldhackgut		0.056	0.072	0.242	0.112	0.110	0.123
0.80	Sägenebenprodukte (SNP)		0.051	0.068	0.238	0.109	0.107	
0.85	Rinde		0.052	0.070	0.242	0.110	0.109	0.123
1.50	Pellets	0.079						
0.70	Stroh		0.048	0.065	0.232	0.106	0.103	
1.20	Kurzumtriebshackgut (KUH)		0.065	0.088	0.278	0.124	0.129	0.147
1.25	Miscanthus		0.067	0.083	0.284	0.126	0.122	0.138
0.85	Altholz		0.053	0.070	0.242	0.111	0.109	0.124

kf_WHG: Preisfaktor für verschiedene Biomasse-Energieträger in Relation zu Waldhackgut (WHG) entsprechend Abb. 30, für WHG ist dieser 1,0.

Die Kosten sind generell am niedrigsten für die Wärmeanwendungen, vor allem auch weil dort die Technologien von den Kosten und vom Wirkungsgrad am ausgereiftesten sind.

8.3 Technologisches Lernen (TL)

In Bezug auf die zukünftige Entwicklung der Investitionskosten sei festgestellt, dass diese auf Basis von Szenarien für Technologisches Lernen modelliert werden, siehe Abbildung 30 und Abbildung 31. Dazu ist weiters festzustellen, dass die Umwandlungs Technologien für den Raumwärmebereich im wesentlichen ausgereift sind, es sind keine weiteren Kostenreduktionen zu erwarten. In Bezug auf neuere Technologien, wie die Erzeugung von SNG oder FT-Diesel sind die Erwartungen an Technologisches Lernen (TL) moderat. Nur wenn es (weltweit) gelingt, einigermaßen homogene Technologien zu entwickeln und diese in entsprechender Stückzahl praktisch zu realisieren können merkbare Kostenreduktionen durch TL erwartet werden, z.B. Abbildung 31 für SNG-Anlagen. Eine Darstellung für die früheren Erwartungen an die Entwicklung der Investitionskosten für eine breite Palette an Biomasetechnologien zeigt Abbildung 30 für eine Startbasis des Jahres 2005 bis 2050 aus dem Bericht Kranzl, Haas (2009).

Abbildung 30: Szenarien der Entwicklung der Investitionskosten basierend auf Lerneffekten für verschiedene Biomassetechnologiegruppen in Österreich bis 2050 (Kranzl, Haas 2009)

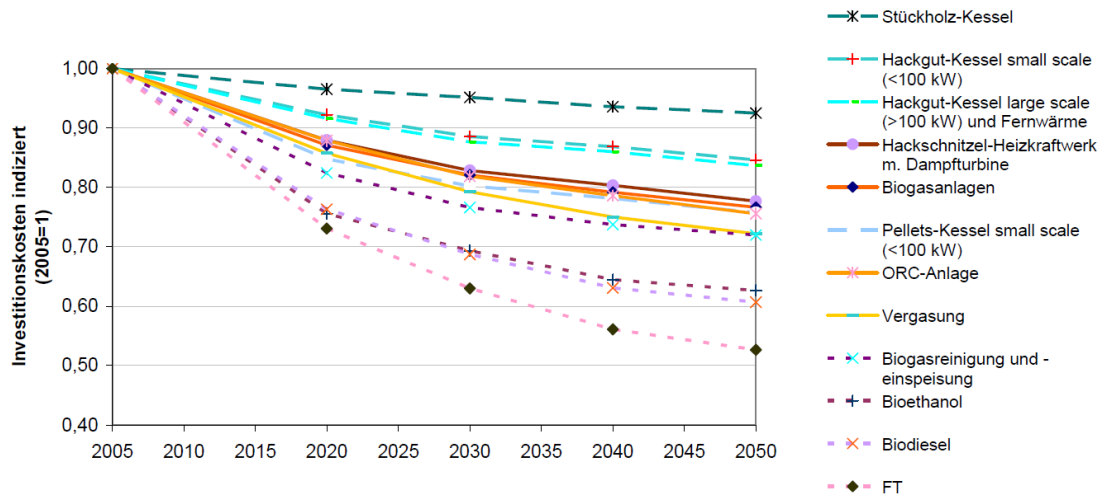
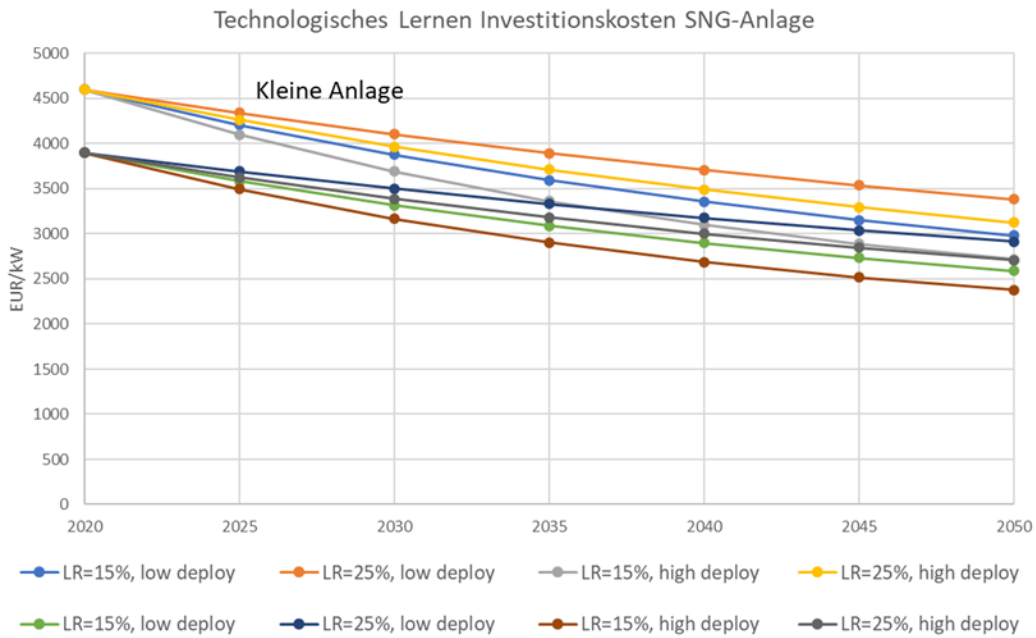


Abbildung 31 zeigt wie die Investitionskosten für verschiedene Lernraten und verschiedenen Ausbaugeschwindigkeiten am Beispiel von kleinen und großen SNG-Anlagen modelliert werden können.

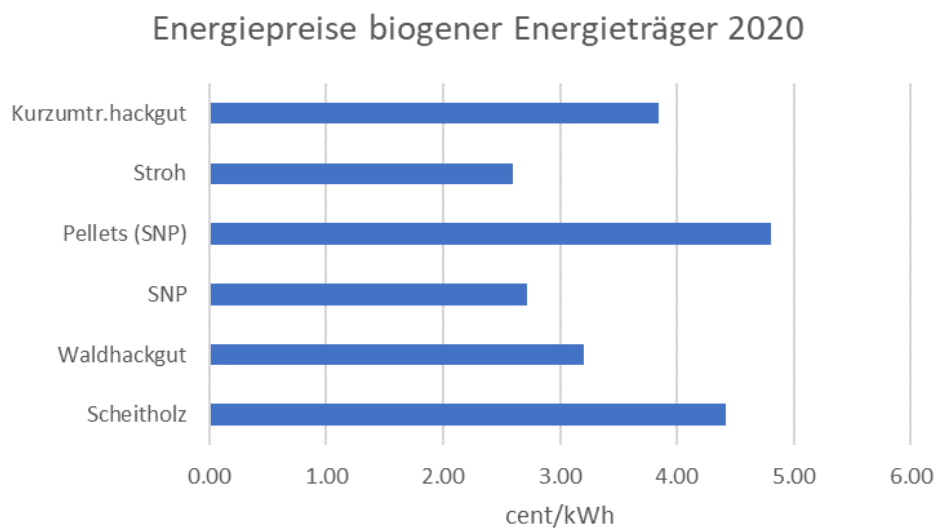
Abbildung 31: Szenarien der Entwicklung der Investitionskosten für Umwandlungstechnologien z. am Beispiel von SNG-Anlagen bis 2050



8.4 Vergleich der aktuellen Preisunterschiede biogener Energieträger

In der folgenden Abbildung 32 sind die aktuellen Preise und Preisunterschiede biogener Energieträger dargestellt. Es handelt sich dabei um Zahlen für ungefähr 2019/2020.

Abbildung 32: Aktuelle Preise und Preisunterschiede biogener Energieträger



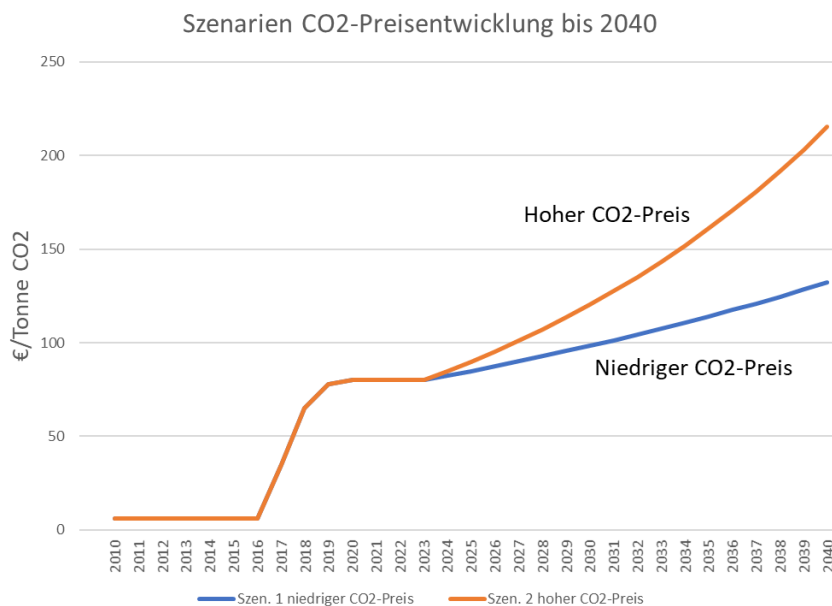
9. Ergebnisse der Wirtschaftlichkeits-szenarien bis 2040

Im folgenden werden Wirtschaftlichkeitsvergleiche in einem dynamischen Modell analysiert und verschiedene Szenarien bis 2040 erstellt. Diese basieren auf zwei Szenarien für die Entwicklung des CO₂-Preises und jeweils drei Szenarien für die Entwicklung der Preise von Waldhackgut (als Leitparameter der biogenen Energieträger) sowie Erdgas und Diesel.

9.1 Szenarien des CO₂-Preises und der Preise biogener und fossiler Energieträger bis 2040

Für die Entwicklung des CO₂-Preises bis 2040 werden zwei Szenarien analysiert. Im Szenario für niedrige CO₂-Preise wird bis 2040 ein Preis von 132 €/Tonne CO₂ erreicht, im Szenario für hohe CO₂-Preise ergibt sich 2040 ein Wert von 215 €/Tonne CO₂. Diese Szenarien sind im in Abbildung 33 dargestellt.

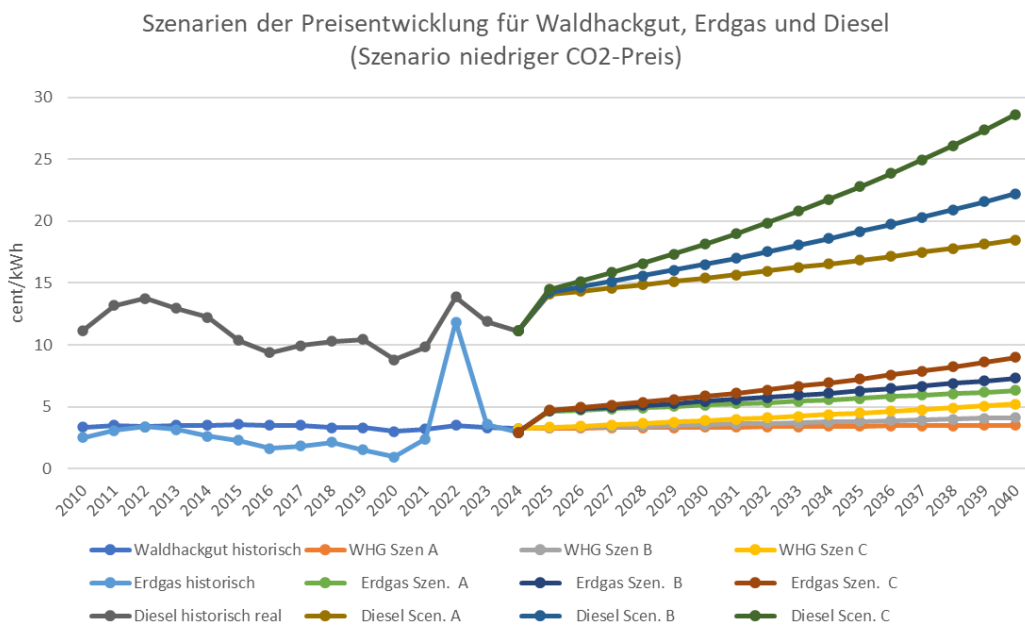
Abbildung 33: Vergleich der Entwicklung des CO₂-Preises bis 2040 in einem Niedrig- und einem Hochpreisszenario



Für die Entwicklung der Preise von Waldhackgut (als Leitparameter der biogenen Energieträger) sowie Erdgas und Diesel werden jeweils drei Szenarien bis 2040 erstellt. Für Waldhackgut wird bis 2040 mit realen jährlichen Preissteigerungen von 0,5%/a (Szenario A), 1,5 %/a (Szenario B) sowie 3,0 %/a (Szenario C) gerechnet. Dies entspricht den Werten der historisch vorherrschenden Minima über einen bestimmten Zeitraum, einem Mittelwert und dem maximal zu erwartenden Wert (3%/a). Wichtig ist, dass wir grundsätzlich immer reale Energiepreissteigerungen erwarten, und keine Preisreduktionen.

Für die beiden fossilen Energieträger Erdgas und Diesel werden bis 2040 ebenfalls jeweils drei Szenarien erstellt. Es wird hier bis 2040 mit realen jährlichen Preissteigerungen von 1,5%/a (Szenario A), 3,0 %/a (Szenario B) sowie 5,0 %/a (Szenario C) gerechnet. Dies entspricht wiederum in etwa den Werte der historisch vorherrschenden Minima über einen bestimmten Zeitraum, einem Mittelwert und dem maximal zu erwartenden Wert (5%/a). Diese Szenarien sind in Abbildung 34 dargestellt.

Abbildung 34: Vergleich der Entwicklung der realen Preise bis 2040 für Waldhackgut (als Leitparameter der biogenen Energieträger) sowie Erdgas und Diesel (inkl. Möst) in jeweils drei Szenarien.

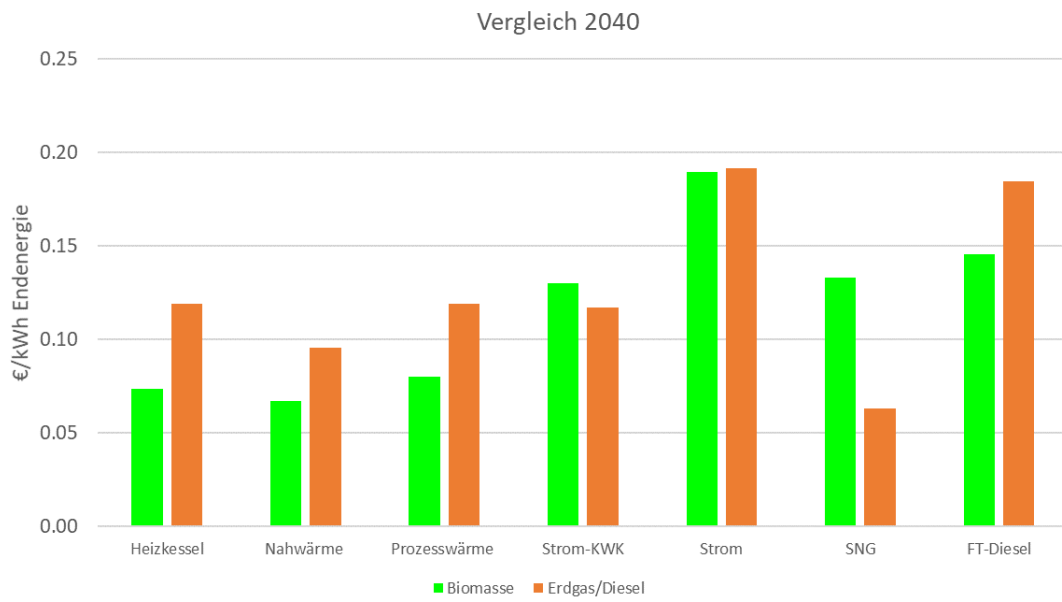


9.2 Einfluß des CO₂-Preises auf die Wirtschaftlichkeit bis 2040

Der Vergleich für das Jahr 2040 ist basierend auf dem Szenario niedriger CO₂-Preis und den jeweils niedrigste Preisszenarien bei Hackgut und Erdgas in Abbildung 35 zu sehen. Hier ist allerdings nun

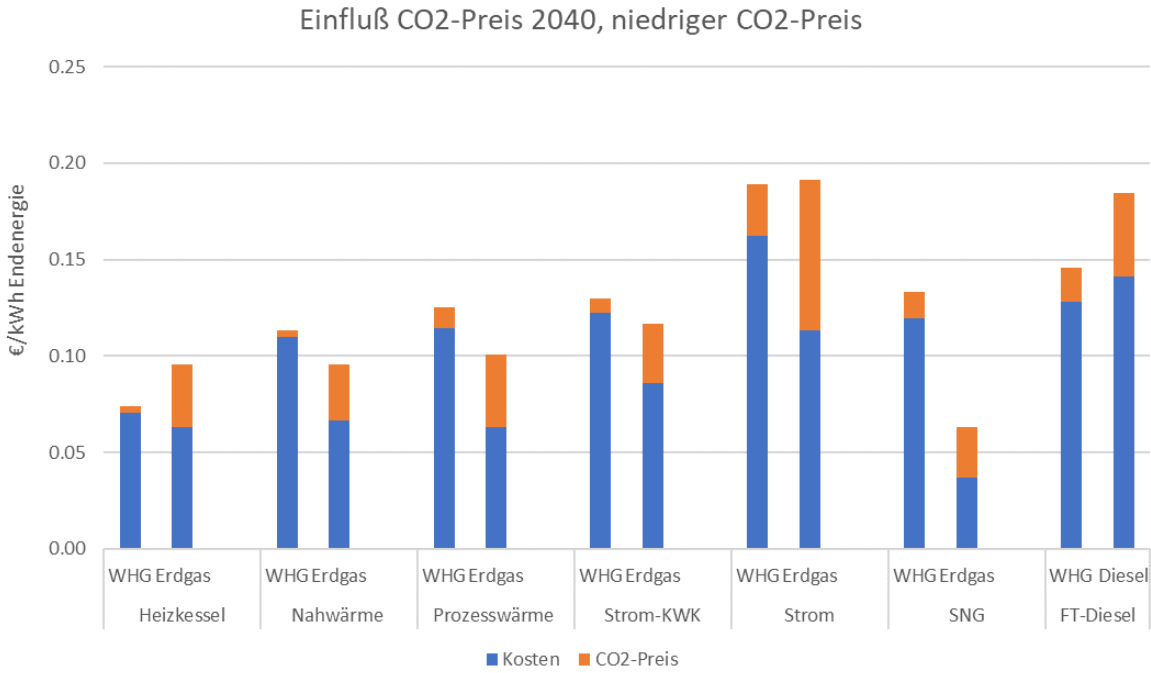
deutlich zu sehen, dass – mit Ausnahme von SNG – die biomassebasierten Anwendungen/Produkte überall konkurrenzfähig und vor allem bei den drei Wärmefractionen (links im Bild) sogar deutlich günstiger sind. Dies ist im wesentlichen auf den Einfluss des CO₂-Preises zurückzuführen.

Abbildung 35: Vergleich der Erzeugungskosten von Wärme, Strom, SNG und FT-Diesel aus Biomasse/Hackgut und den fossilen Alternativen im Jahr 2040, Szenario niedriger CO₂-Preis, niedrigste Preisszenarien bei Hackgut und Erdgas



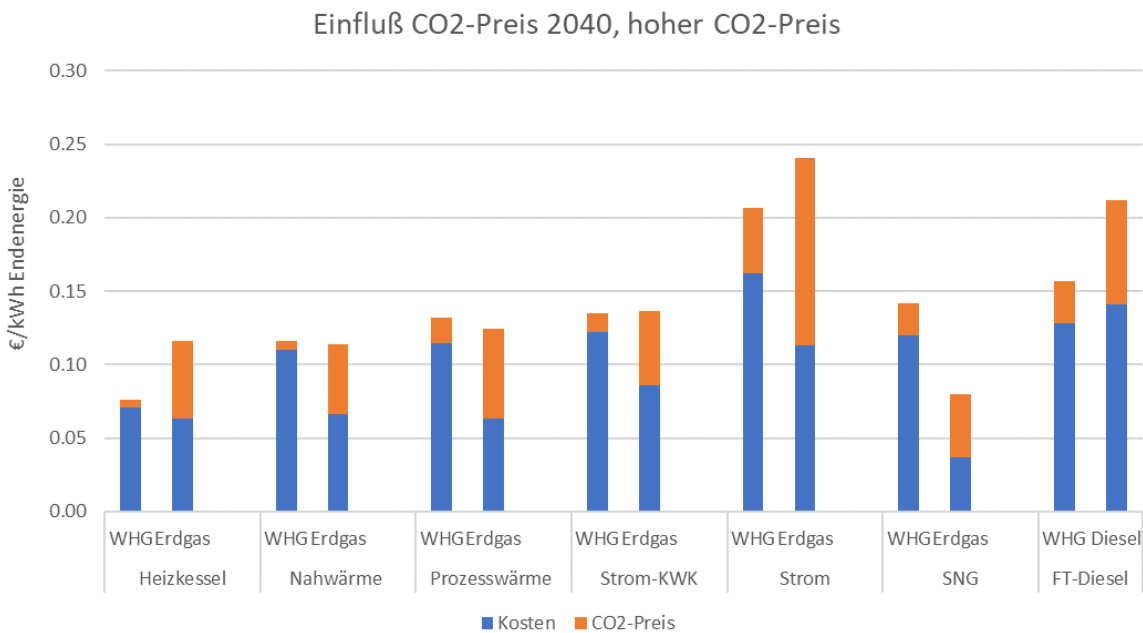
Diesen Einfluß des CO₂-Preises bis 2040 auf die Erzeugungskosten von Wärme, Strom, SNG und FT-Diesel aus Biomasse/Hackgut und den fossilen Alternativen im Jahr 2040 zeigen nun die Abbildung 36 und Abbildung 37.

Abbildung 36: Einfluß des CO₂-Preises auf die Wirtschaftlichkeit bis 2040/auf die Erzeugungskosten von Wärme, Strom, SNG und FT-Diesel aus Biomasse/Hackgut und den fossilen Alternativen im Jahr 2040 (Szenario **niedriger** CO₂-Preis)



WHG ... Waldhackgut, KWK ... Kraft-Wärme-Kopplung, SNG ... Synthetic natural gas, FT ... Fischer-Tropsch

Abbildung 37: Einfluß des CO₂-Preises bis 2040 auf die Wirtschaftlichkeit / Erzeugungskosten von Wärme, Strom, SNG und FT-Diesel aus Biomasse/Hackgut und den fossilen Alternativen im Jahr 2040 (Szenario **hoher CO₂-Preis**)



WHG ... Waldhackgut, KWK ... Kraft-Wärme-Kopplung,
SNG ... Synthetic natural gas, FT ... Fischer-Tropsch

Abbildung 37 beschreibt den Einfluß des CO₂-Preises bis 2040 auf die Erzeugungskosten von Wärme, Strom, SNG und FT-Diesel aus Biomasse/Hackgut und den fossilen Alternativen im Jahr 2040 (Szenario **hoher CO₂-Preis**).

Es ist aus Abbildung 37 klar zu erkennen, dass bei einem hohen CO₂-Preis die Wirtschaftlichkeit der Biomassenutzungen deutlich besser ist als bei niedrigem in Abbildung 36.

Die entsprechende Aufschlüsselung der Erzeugungskosten für das Jahr 2040 von verschiedenen Anwendungen/Produkten aus Biomasse/Hackgut in Kapital-, Energie-, Wartungs- und Instandhaltungskosten sowie CO₂-Kosten zeigt Abbildung 38. Es ist wiederum klar zu erkennen, dass die Energiekosten dominieren.

Abbildung 38: Aufschlüsselung der Erzeugungskosten von verschiedenen Anwendungen/Produkten aus Biomasse/Hackgut in Kapital-, Energie-, Wartung- und Instandhaltungskosten (W&I) sowie der CO2-Kosten im Jahr **2040**

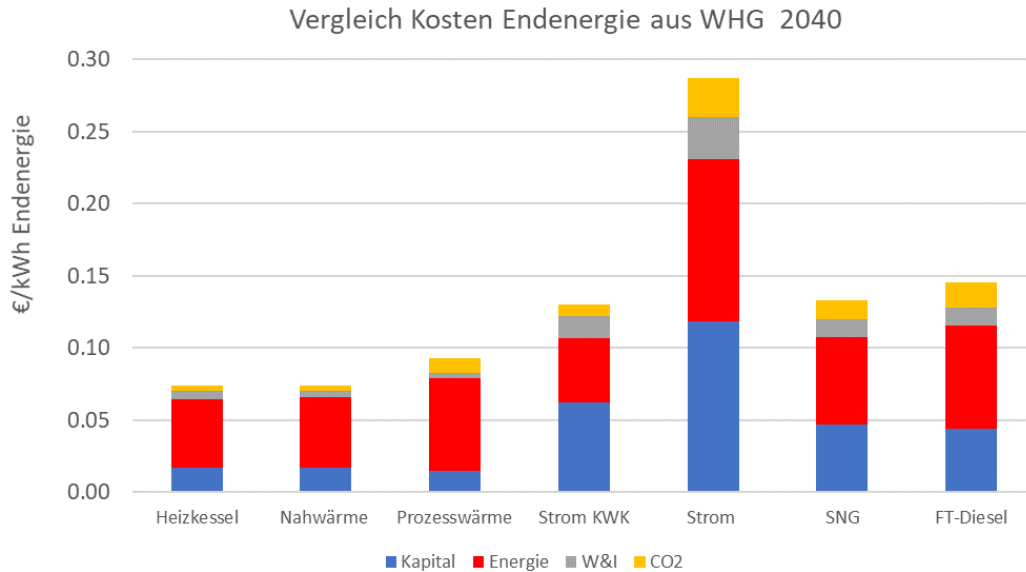
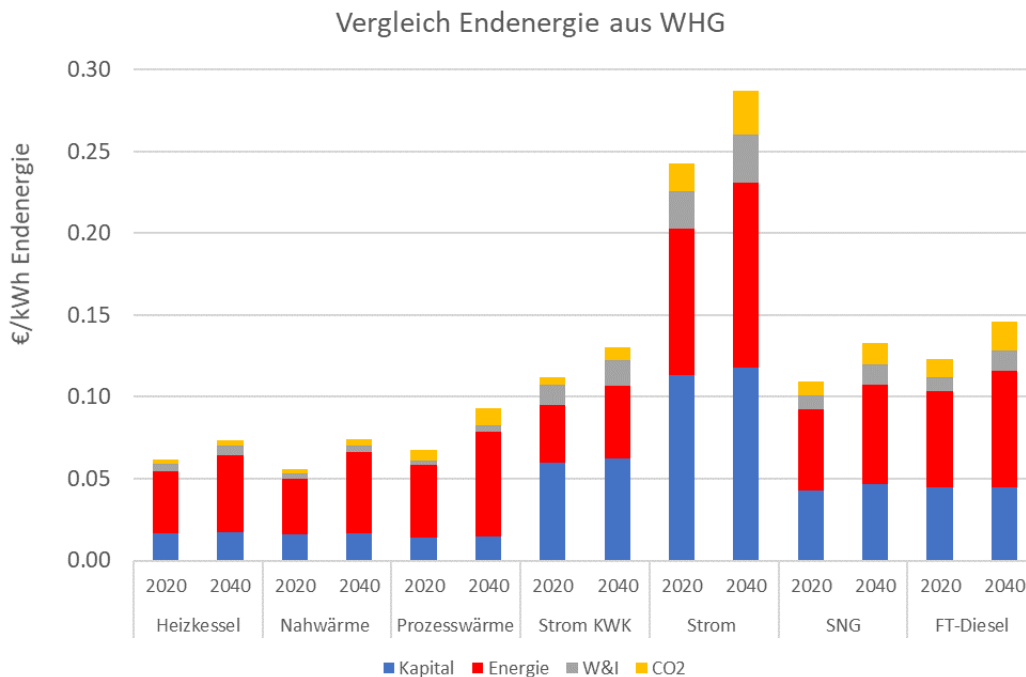


Abbildung 39: Gesamtvergleich der Aufschlüsselung der Erzeugungskosten von verschiedenen Anwendungen/Produkten aus Waldhackgut (WHG) in Kapital-, Energie-, Wartung- und Instandhaltungskosten (W&I) sowie der CO2-Kosten im Jahr 2020 im Vergleich zu 2040



Einen Gesamtvergleich der Aufschlüsselung der Erzeugungskosten von Wärme, Strom, SNG aus Biomasse/Hackgut in Kapital-, Energie-, W&I (Wartung- und Instandhaltung) sowie der CO₂-Kosten im Jahr 2020 im Vergleich zu 2040 zeigt Abbildung 39.

9.3 Szenarien für die Kosten verschiedener Anwendungen /Produkte biomassebasiert vs fossil bis 2040 abhängig von deren Preisentwicklung

Für ausgewählte Anwendungen/Produkte produziert aus Biomasse/Hackgut sind im folgenden ausgewählte Szenarien abhängig von der Entwicklung der Gaspreise, Biomassepreise und Erzeugungskosten mit vergleichbaren fossilen Technologien dargestellt⁶.

Zunächst zeigen die Abb. 25 und Abb. 26 Szenarien für die Kosten der Nahwärmeerzeugung aus Hackgut zwischen 2010 und 2040 im Vergleich zu Szenarien der Nahwärmeerzeugung aus Erdgas⁷. Es ist zu erkennen, dass während im Zeitraum vor 2020 Erdgas als Energieträger noch günstiger war, ist in den letzten Jahren Hackgut günstiger geworden – vor allem aufgrund der grundsätzlichen Steigerung bei den Erdgaspreisen. Dies ist bereits in Abbildung 40 im niedrigen CO₂-Preisszenario zu erkennen und noch deutlicher in Abb.26 im CO₂-Hochpreisszenario.

⁶ Ein ähnlicher Ansatz wird in Fuhrmann et al (2023) beschrieben.

⁷ Da die Profile der Kosten- und Preisentwicklungen bei Raumwärme und Prozesswärme sehr ähnlich wie bei Nahwärme sind, werden diese an dieser Stelle nicht explizit dargestellt.

Abbildung 40: Szenarien für die Kosten der Nahwärmeerzeugung aus Hackgut zwischen 2010 und 2040 im Vergleich zu Szenarien der Stromerzeugung aus Erdgas – niedriges CO₂-Preisszenario

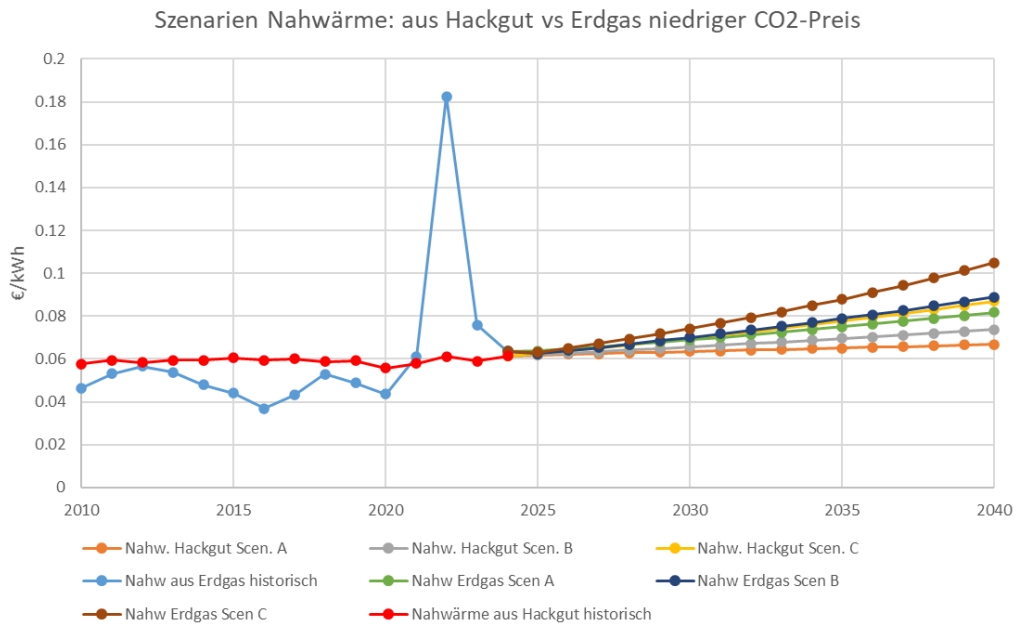
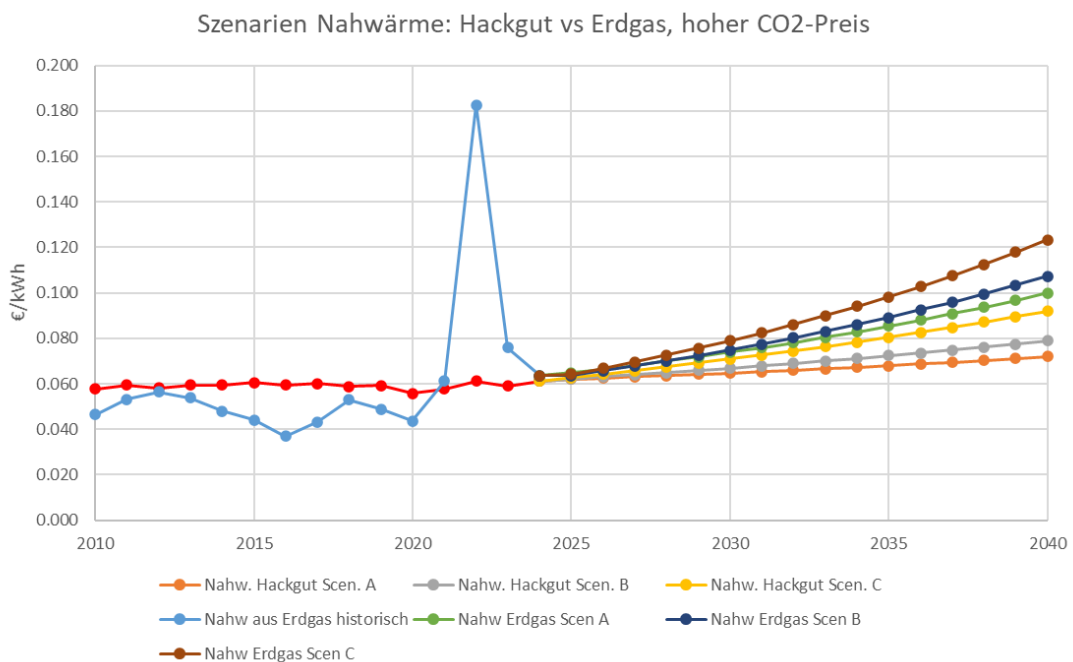
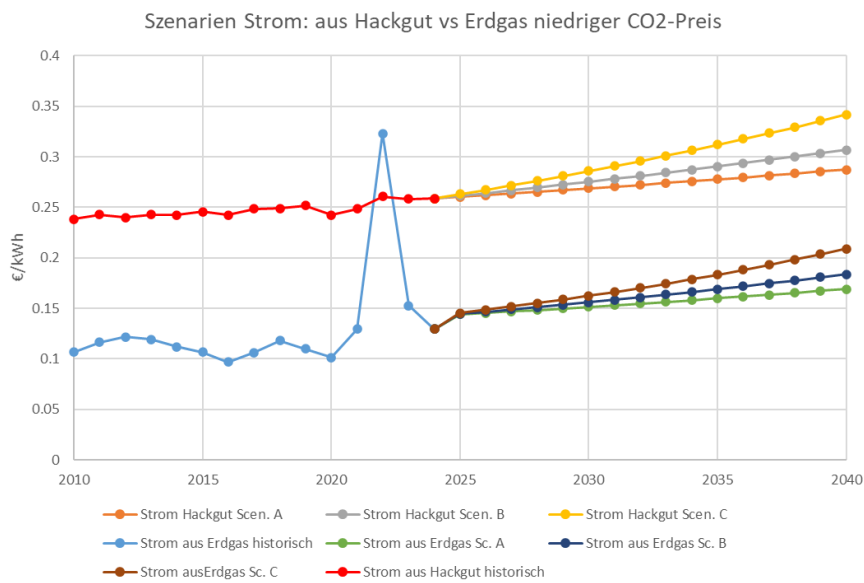


Abbildung 41: Szenarien für die Kosten der Nahwärmeerzeugung aus Hackgut zwischen 2010 und 2040 im Vergleich zu Szenarien der Stromerzeugung aus Erdgas – hohes CO₂-Preisszenario



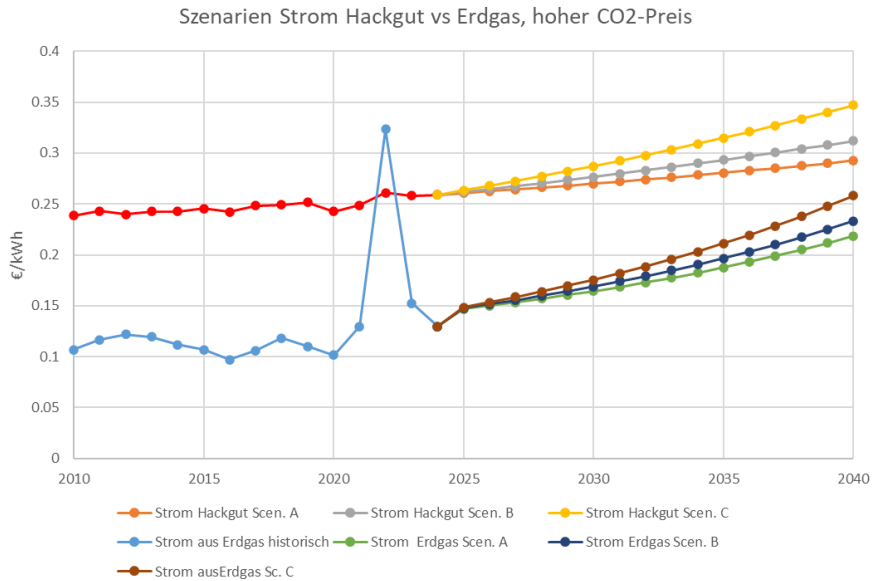
Weiters zeigen die Abbildung 42 und Abbildung 43 Szenarien für die Kosten der Stromerzeugung aus Hackgut ohne Wärmeauskopplung, also zur Abdeckung von temporären Lastspitzen, zwischen 2010 und 2040 im Vergleich zu Szenarien der Stromerzeugung aus Erdgas.

Abbildung 42: Szenarien für die Kosten der Stromerzeugung aus Hackgut (ohne Wärmeauskopplung) zwischen 2010 und 2040 im Vergleich zu Szenarien der Stromerzeugung aus Erdgas – niedriges CO₂-Preisszenario



Aus Abbildung 42 ist klar und eindeutig zu erkennen dass die reine Stromerzeugung aus Hackgut nicht mit jener aus Erdgas konkurrieren kann. Ein wichtiger Grund sind die deutlich besseren Wirkungsgrade der Erdgaskraftwerke sowie die praktisch doppelt so hohen Investitionskosten der Biomasseanlagen.

Abbildung 43: Szenarien für die Kosten der Stromerzeugung aus Hackgut (ohne Wärmeauskopp- lung) zwischen 2010 und 2040 im Vergleich zu Szenarien der Stromerzeugung aus Erdgas – hohes CO₂-Preisszenario



Aus Abbildung 43 ist klar und eindeutig zu erkennen, dass auch im CO₂-Hochpreisszenario bis 2040 auch im Erdgas-Hochpreisszenario die Biomasse bis 2040 nicht wirtschaftlich wird.

Nach diesen Analysen für die reine Stromerzeugung zeigen als nächstes die Abbildung 44 und Abbildung 45 Szenarien für die Kosten der Stromerzeugung in KWK aus Hackgut zwischen 2010 und 2040 im Vergleich zu Szenarien der Stromerzeugung aus KWK Erdgas wieder für das niedrige und das hohe CO₂-Preisszenario bis 2040.

Abbildung 44: Szenarien für die Kosten der Stromerzeugung KWK aus Hackgut zwischen 2010 und 2040 im Vergleich zu Szenarien der Stromerzeugung in KWK aus Erdgas – niedriges CO₂-Preisszenario

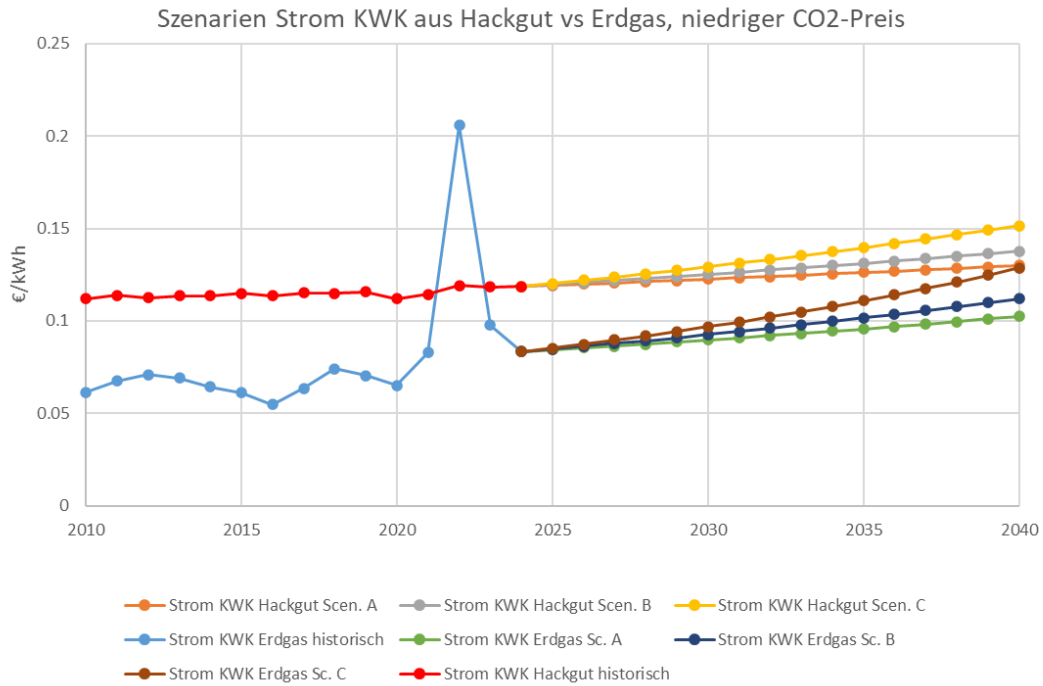
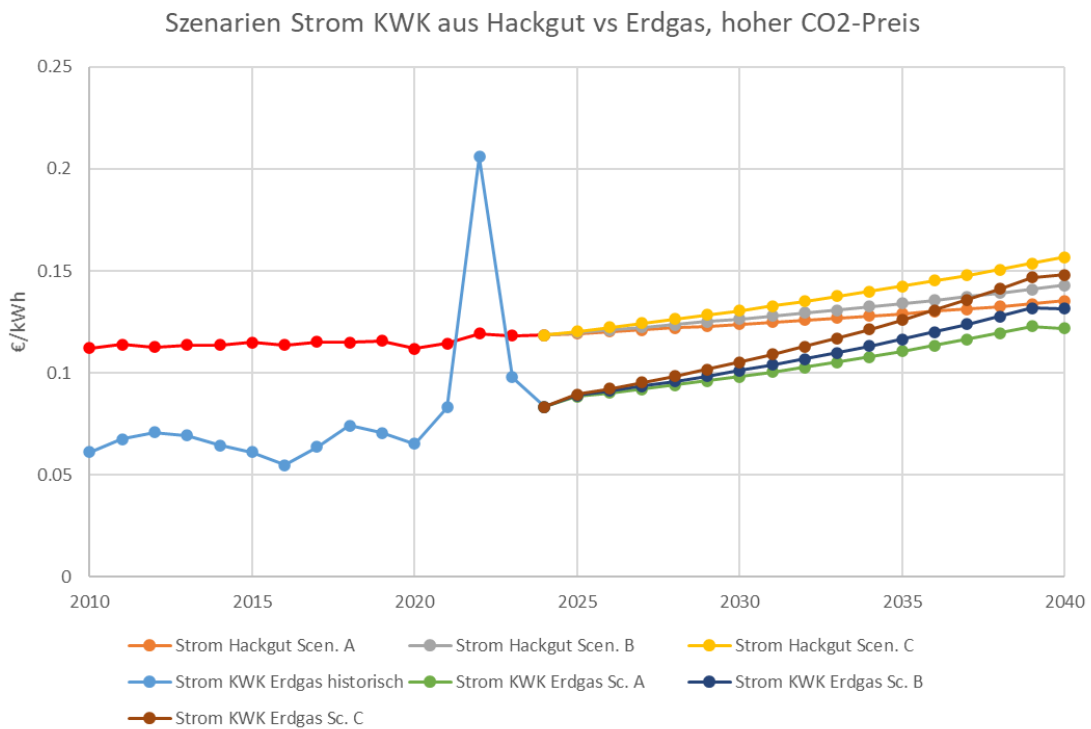


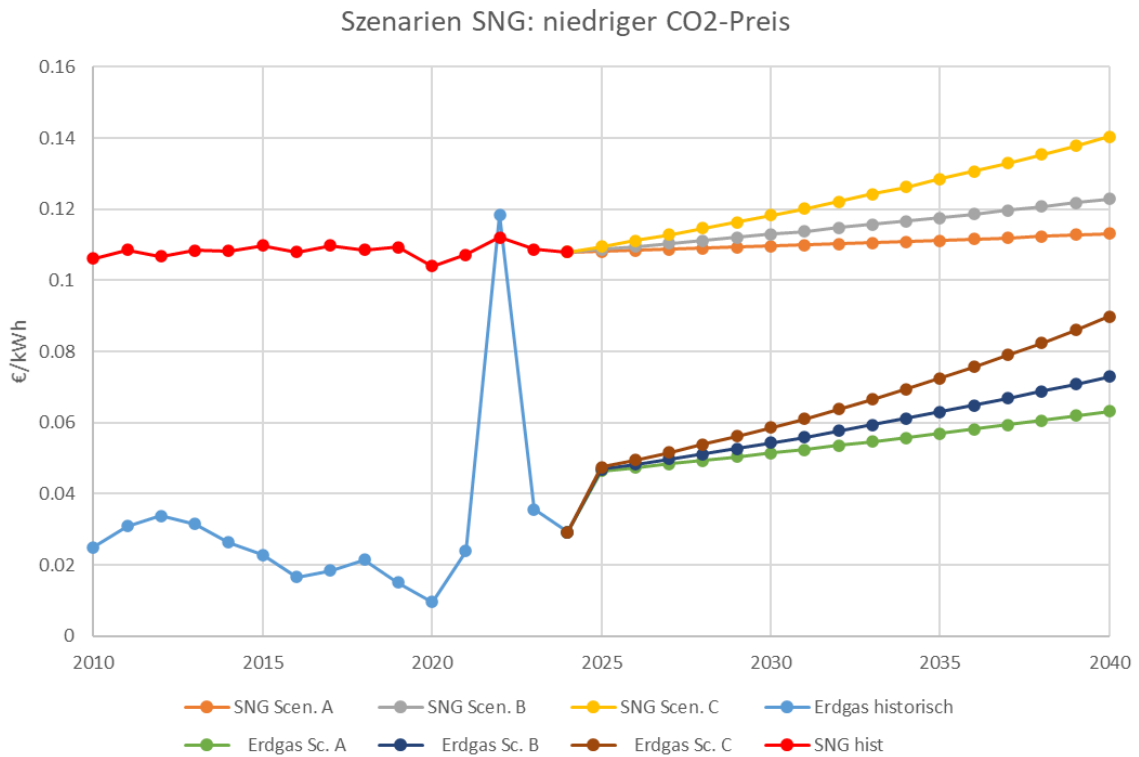
Abbildung 45: Szenarien für die Kosten der Stromerzeugung KWK aus Hackgut zwischen 2010 und 2040 im Vergleich zu Szenarien der Stromerzeugung in KWK aus Erdgas – hohes CO₂-Preisszenario



Aus Abbildung 44 ist zu sehen, dass im niedrigen CO₂-Preisszenario bis 2040 bei hohem Erdgaspreis und niedrigem Hackgutpreisszenario bis 2040 die Biomassevariante gerade noch kostengleich also wirtschaftlich wird. Aus Abbildung 45 ist zu erkennen, dass auch im CO₂-Hochpreisszenario bis 2040 nur im Erdgas-Hochpreisszenario die Biomasse bis 2040 wirtschaftlich wird. Der wichtigste Grund für die schlechte Wirtschaftlichkeit der Biomasse-KWK sind die praktisch doppelt so hohen Investitionskosten der Biomasseanlagen.

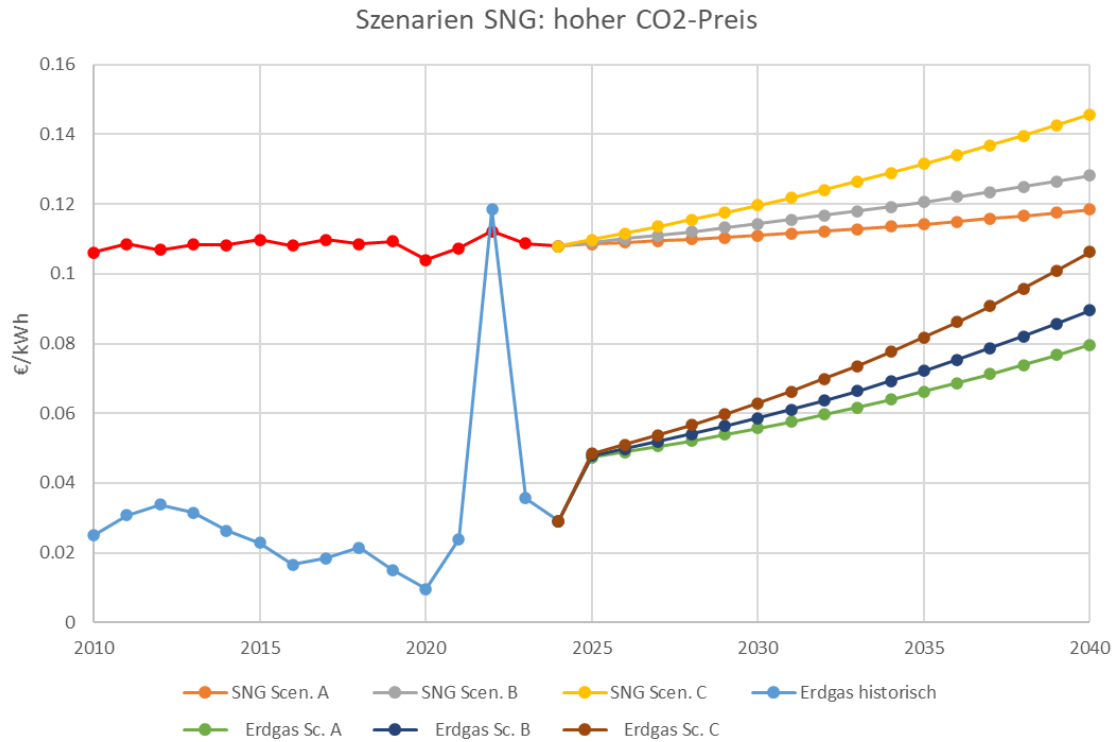
Weiters zeigen die Abbildung 46 und Abbildung 47 Szenarien für die Kostenentwicklung von SNG zwischen 2010 und 2040 im Vergleich zu Szenarien für die Entwicklung des Erdgaspreises (inkl. CO₂-Preis).

Abbildung 46: Szenarien für die Kosten von SNG zwischen 2010 und 2040 im Vergleich zu Szenarien für die Entwicklung des Erdgaspreises – niedriges CO₂-Preisszenario



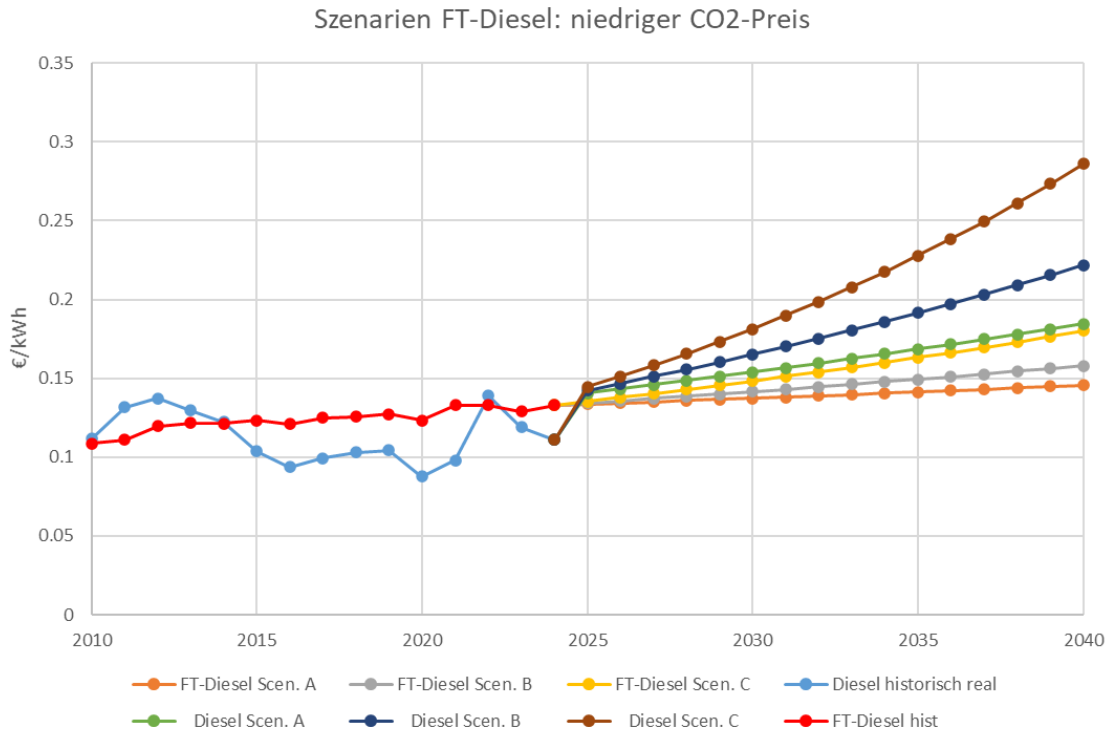
Aus Abbildung 46 ist zu erkennen, dass es praktisch keine Szenarienkombination gibt, in der SNG wirtschaftlich günstiger wird als Erdgas. Aber auch in unserem CO₂-Hochpreisszenario wird SNG bis 2040 nicht wirtschaftlich, vgl. Abbildung 47.

Abbildung 47: Szenarien für die Kosten von SNG zwischen 2010 und 2040 im Vergleich zu Szenarien für die Entwicklung des Erdgaspreises – niedriges CO₂-Preisszenario



Schließlich sind in den Abbildung 48 und Abbildung 49 Szenarien für die Entwicklung der Kosten von von FT-Diesel zwischen 2010 und 2040 im Vergleich zu Szenarien für die Entwicklung des Dieselpreises (inkl. CO₂-Preis und inkl. Mineralölsteuer) dargestellt . Diese Szenarien sind für niedrige (132 €/Tonne CO₂ im Jahr 2040) und hohe (215 €/Tonne CO₂ im Jahr 2040) CO₂-Preise bis 2040 dargestellt.

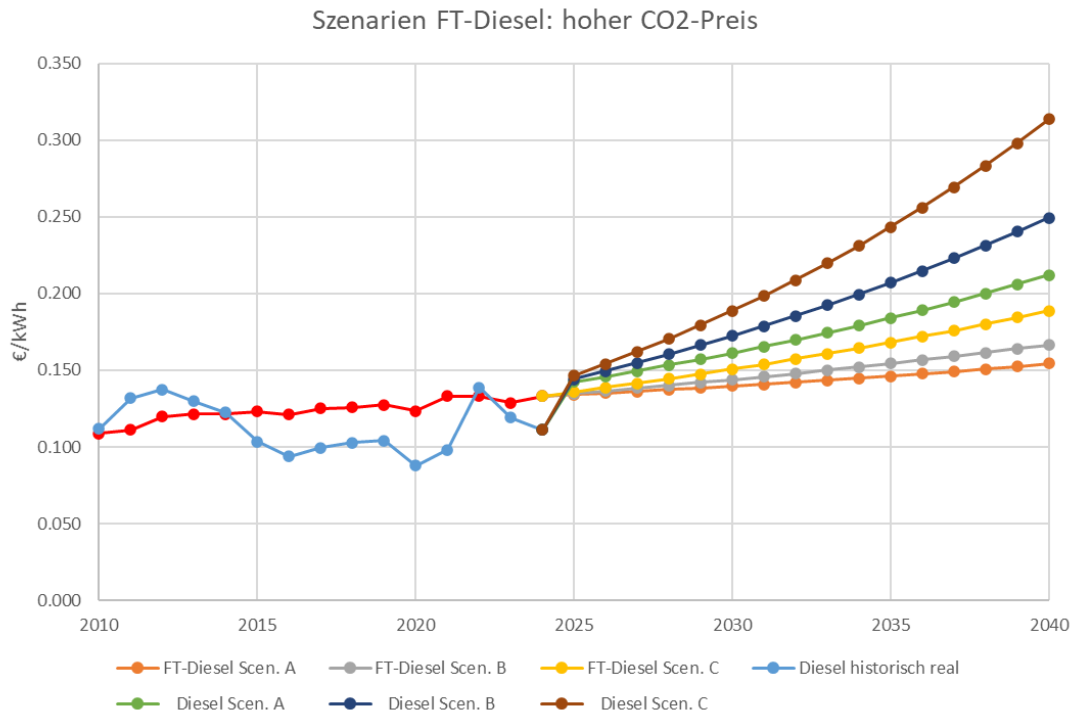
Abbildung 48: Szenarien für die Kosten von FT-Diesel zwischen 2010 und 2040 im Vergleich zu Szenarien für die Entwicklung des Dieselpreises – niedriges CO₂-Preisszenario



Wichtig ist hier, dass eben bei konventionellem Diesel die MöSt inkludiert ist, und sich dadurch eine bessere Wirtschaftlichkeit als vorhin bei SNG ergibt. Hervorzuheben ist weiters, dass bei konventionellem Diesel die CO₂-Besteuerung ab 2025 wirksam wird, was in den Abbildung 48 und Abbildung 49 den Sprung im Jahr 2025 erklärt.

Im hohen CO₂-Preisszenario in Abbildung 49 ist konventioneller Diesel in allen Szenarien teurer als FT-Diesel.

Abbildung 49: Szenarien für die Kosten von FT-Diesel zwischen 2010 und 2040 im Vergleich zu Szenarien für die Entwicklung des Dieselpreises – hohes CO₂-Preisszenario



9.4 Vergleich der Preise und der Preisunterschiede verschiedener biomassebasierter Energieträger 2020 vs 2040 untereinander und Einfluß des CO₂-Preises

In dieser Arbeit wird Waldhackgut als Leitparameter für die biomassebasierter Ressourcen verwendet. In Bezug auf die Wirtschaftlichkeit bedeutet das, dass die anderen Biomassefraktionen entsprechend ihrer Preisniveaus im Vergleich zu WHG auf derzeitiger Sicht abgestuft einzuschätzen sind und nun mit ihren Preisen in Relation zu WHG gesetzt werden. Das funktioniert wie folgt: Ist der Preis eines biogenen Energieträgers, z.B. SNG, nun günstiger, dann wird auch die Wirtschaftlichkeit dieses Energieträgers im Vergleich zur fossilen Konkurrenz besser ausfallen. Ist umgekehrt der Preis des biogenen Energieträgers, z.B. Kurzumtriebshackgut, teurer als WHG, dann ist die Wirtschaftlichkeit dieses Energieträgers im Vergleich zur fossilen Konkurrenz schlechter einzuschätzen. Einen Vergleich der Preise verschiedener biomassebasierter Ressourcen auf Basis (ungefähr) 2020 im Vergleich zu 2040 und den Einfluß des CO₂-Preises zeigen die Abbildung 50 und Abbildung 51. Die Strukturen bei einem niedrigen CO₂-Preis sind in Abbildung 50 zu sehen, jene bei hohem CO₂-Preis in Abbildung 51. Die wichtigste Erkenntnis ist: Die CO₂-Kosten sind auch bei den Biomasseprodukten zu erkennen, durch die Berücksichtigung des CO₂-Preises ergeben sich aber keine Verschiebungen innerhalb der Biomassefraktionen.

Abbildung 50: Vergleich der Preise und der Preisunterschiede verschiedener biomassebasierter Energieträger 2020 vs 2040 und Einfluß des CO₂-Preises (niedriges CO₂-Preisszenario)

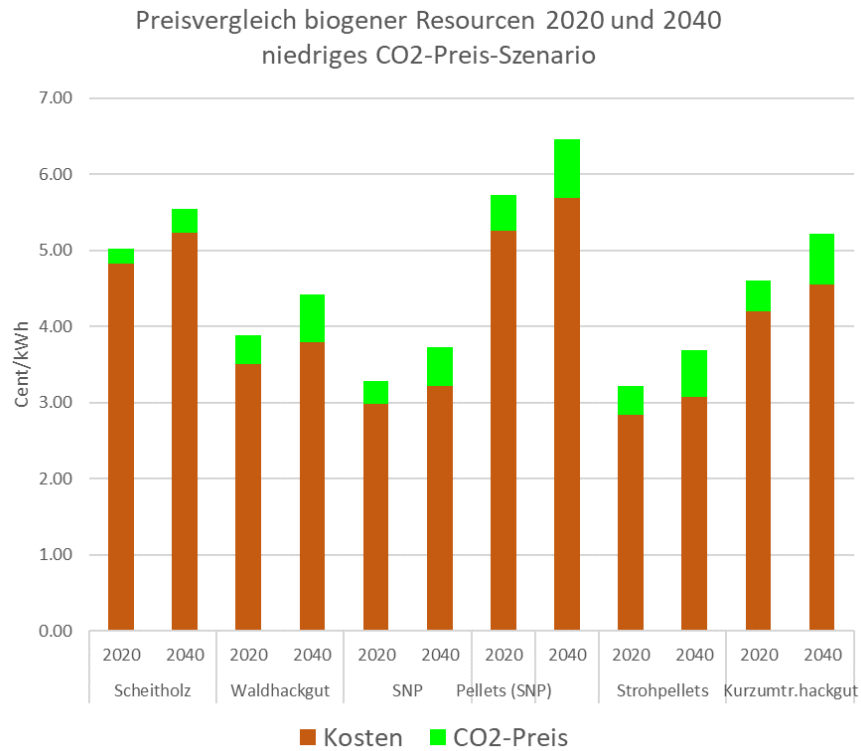
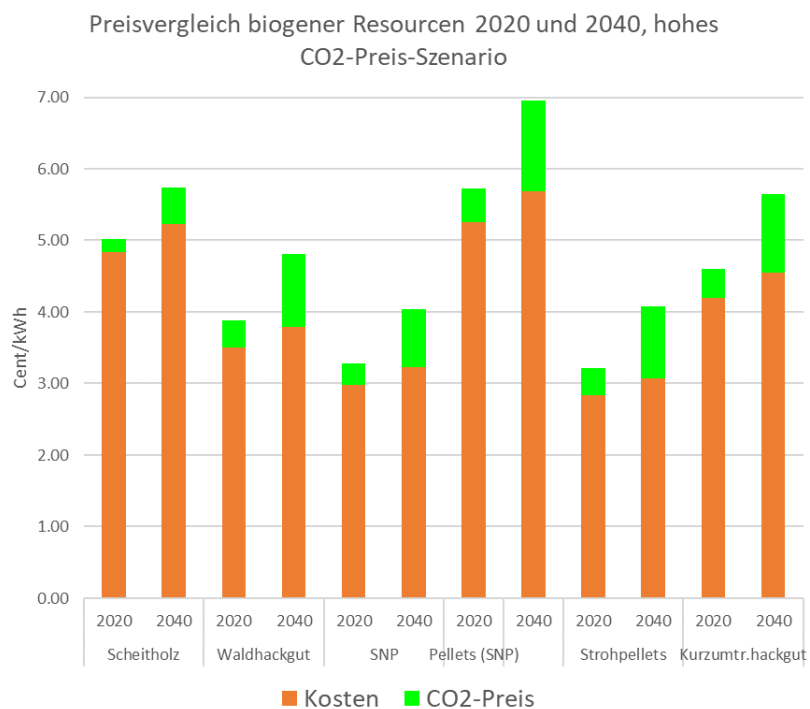


Abbildung 51: Vergleich der Preise und der Preisunterschiede verschiedener biomassebasierter Energieträger 2020 vs 2040 und Einfluß des CO₂-Preises (hohes CO₂-Preisszenario)



10. Wichtigste Ergebnisse

Im Folgenden sind nun die wichtigsten Ergebnisse in Bezug auf den Wert von Biomasse für die energetische Nutzung zusammengefasst. Für die Analyse der Wirtschaftlichkeit verschiedener Biomasseressourcen werden die Kosten der daraus produzierten Anwendungen/Produkte (Wärme, Strom, SNG und FT-Diesel) mit den entsprechenden aus fossilen Energieträgern – im wesentlichen Erdgas und Diesel verglichen. Als Leitfraktion der Biomasseressourcen wird Waldhackgut verwendet.

In Bezug auf die Wirtschaftlichkeit der Biomasse aus aktueller Sicht – etwa 2020 – festzustellen, dass bei den Wärmefraktionen die Biomasse eindeutig wirtschaftlich ist. Bei Strom sowohl mit als auch ohne KWK ist die fossile Alternative Erdgas deutlich kostengünstiger, vor allem aufgrund der besseren Wirkungsgrade der Erdgas-Kraftwerke und der praktisch doppelt so hohen Investitionskosten der Biomassekraftwerke. Für FT-Diesel ist ebenfalls die fossile Variante etwas kostengünstiger, wenn die MöSt auf fossilen Diesel bleibt, ist der Unterschied aber nicht mehr dramatisch. Der deutlichste Unterschied ist bei SNG, hier ist Erdgas um mehr als die Hälfte billiger. Für etwa 2020 kostet die Erzeugung von SNG ca. 0,11 €/kWh während der Preis von Erdgas bei 0,04 €/kWh liegt. D.h., es wären hier beträchtliche Subventionen notwendig, um SNG wirtschaftlich zu machen. Würden SNP statt Hackgut eingesetzt, wären etwas weniger Subventionen notwendig, bei Kurzumtriebshölzern (KUH) etwas mehr.

Eine weitere wichtige Erkenntnis ist, dass die Wirtschaftlichkeit von Biomasse im Vergleich zu den fossilen (basierend auf Erdgas und Diesel) weitgehend unabhängig von der betrachteten Biomasse-Fraktion ist. Wir haben das in dieser Studie ausführlich für Waldhackgut (WHG) untersucht und zwar für sieben Ketten von Anwendungen und Produkten. Also wenn WHG wirtschaftlich ist, dann sind es alle Biomasse-Fraktionen, wenn nicht, dann keine. Der wesentliche Grund dafür ist, dass der Einfluss der Investitionskosten der Umwandlungstechnologien.

Auf die Entwicklung der Wirtschaftlichkeit der Biomassenutzung aus dynamischer Sicht bis 2040 haben die Entwicklung des CO₂-Preises und der Preis von Erdgas den wichtigsten Einfluß. Schon im gewählten CO₂-Niedrigpreisszenario werden – ausgenommen SNG – alle betrachteten Anwendungen/Produkte wirtschaftlich. Der Vergleich für das Jahr 2040 ist basierend auf dem Szenario niedriger CO₂-Preis und den jeweils niedrigste Preisszenarien bei Hackgut und Erdgas in Abb. 33 dargestellt. Hier ist deutlich zu erkennen, dass – mit Ausnahme von SNG – die biomassebasierten Anwendungen/Produkte überall konkurrenzfähig und vor allem bei den drei Wärmefraktionen (links im Bild) sogar deutlich günstiger sind. Dies ist im wesentlichen auf den Einfluss des CO₂-Preises zurückzuführen. Für die Entwicklung der Preise der Biomasseprodukte werden ebenfalls Szenarien betrachtet.

In Bezug auf die Bewertung der CO₂-Emissionen der einzelnen Umwandlungsketten sei festgestellt, dass die gesamte Bandbreite der Biomassenutzungen zwischen 0,02 kg CO₂/kWh (Raumwärme aus

Scheitholz) und 0,07 kg CO₂/kWh liegt. Am höchsten sind sie mit ca. 0,08 kg CO₂/kWh bei FT-Diesel und Strom (ohne Wärmeauskopplung) produziert aus KUH. Im Vergleich mit fossilen Energieträgern liegt z.B. für die Kette zur Erzeugung von SNG der CO₂-Faktor bei ca. 0,07 kg CO₂/kWh, jener für Erdgas im Vergleich dazu bei 0,19 kg CO₂/kWh. Es ist offensichtlich, dass geringerer Aufwand bei der Bereitstellung (z. B. für SNP oder Scheitholz) und effiziente Umwandlung (z.B. Strom aus KWK oder Nahwärme) niedrige CO₂-Faktoren begünstigen. Lange Ketten, z.B. Produktion von SNG aus Hackgut und weitere Umwandlung von SNG in Strom, sollten eher vermieden werden. Die wichtigsten Gründe sind höhere CO₂-Faktoren, schlechtere Wirkungsgrade und höhere Investitionskosten.

CO₂

Zu den Potenzialen ist festzustellen: Die statischen Potenziale können für die in dieser Arbeit betrachteten Ressourcen insgesamt in zumindest einer Größenordnung von 5% eingeschätzt werden, die zukünftigen dynamischen Potenziale können deutlich höher liegen. Die wichtigste Kategorie an biologischen Primärressourcen für die energetische Nutzung ist die forstliche Biomasse im österreichischen Wald. Ein Wald ist grundsätzlich ein dynamisches System und so ist die Entwicklung des Holzvorrats und seiner Nutzung dynamisch und so sind auch die Potenziale zur energetischen Nutzung. Daraus lässt sich ableiten, dass grundsätzlich noch Optionen für zusätzliche energetisch nutzbare Holzpotentiale bestehen.

Diese dynamisch möglichen Potenziale, z.B. bis 2040, sind aber von einer Vielzahl heute unbekannter Faktoren abhängig, z.B. der zukünftigen Flächennutzung, der möglichen Entwicklung der spezifischen Flächenerträge, der Entwicklung des Fleischkonsums und damit der Änderung der notwendigen Flächen für die Viehhaltung, Anteil der Vegetarier, usw. Ein zentraler (unbekannter) Einflußparameter für die zukünftigen Potenziale der SNP ist die Entwicklung der Holzverarbeitenden Industrie (Quelle: Walter Haslinger, BEST). Darüber hinaus sei festgestellt: Wichtiger (oder zumindest genauso wichtig) als die numerischen Ergebnisse ist es, die Methode zur Abschätzung von Potenzialen exakt zu beschreiben bzw. zu diskutieren, vor allem in Bezug auf die Flächen, Erträge, Verfügbarkeit und des Zusammenhangs zwischen stofflicher und energetischer Nutzung, z.B. SNP aus der Holzverarbeitenden Industrie.

Ein offener Aspekt ist die Entwicklung des CO₂-Preises. In dieser Arbeit wurden ein Niedrig- und ein Hochpreisszenario herangezogen. Es ist allerdings nicht möglich eine realistische Entwicklung bis zum Zieljahr dieser Studie abzuschätzen. Die wichtigste Erkenntnis ist, dass bereits in unserem Niedrigpreisszenario, die meisten analysierten Anwendungen/Produkte wirtschaftlich konkurrenzfähig mit den fossilen Alternativen werden. Und natürlich, je höher die CO₂-Preise steigen, desto günstiger für die Wirtschaftlichkeit verschiedener Biomasse-Ressourcen.

Aus der Sicht der Politik ist festzustellen, dass zusätzlich zu den oben dokumentierten Überlegungen der gesellschaftliche Wert der energetischen Nutzung von Biomasse auch davon abhängig ist, ob die Betrachtung Bottom-Up oder Top-Down gemacht wird. Bei einer dezentralen Entscheidung auf einem Markt werden ohne staatliche Intervention lediglich die Preise auf dem Markt entscheiden, wie eine Technologie genutzt wird. Bei einer Top-Down-Analyse wird zusätzlich, z.B. von der

Energiepolitik, überlegt, welche Anwendung Priorität haben könnte. Wenn es z.B. bei bestimmten industriellen Prozessen nur wenige Handlungsoptionen für die Dekarbonisierung gibt, diese aber im System politische Priorität hat, dann kann/wird die Politik hier lenkend eingreifen. Ein Beispiel derzeit könnte sein, dass die Nutzung biomassebasierter grüner Gase Einsatzbereichen in der Industrie vorbehalten bleiben sollte, in denen hohe Prozesstemperaturen für Verfahren erforderlich sind, die eben nur mit grünen Gasen erreicht werden können. Dies bleibt offen für zukünftige Forschung.

11. Schlussfolgerungen und Ausblick

In diesem Forschungsprojekt wurde – aus gesellschaftlicher Sicht – der Wert der energetischen Nutzung verschiedener Biomassefraktionen analysiert. Die wichtigsten Schlußfolgerungen dazu sind: Grundsätzlich hängt der gesellschaftliche Wert der energetischen Nutzung verschiedener Biomassefraktionen zumindest von den drei folgenden Kategorien ab: verfügbare Potenziale, CO₂-Intensität und Wirtschaftlichkeit.

Zu den (verfügbaren) Potenzialen:

Der Wert hängt zunächst von der verfügbaren Menge ab. Es ist natürlich von Interesse, abzuschätzen, welche Mengen an Biomasse für die energetische Nutzung von in Zukunft (absolut) verfügbar sein werden. Praktisch noch wichtiger als die Berechnung und Dokumentation von Detailzahlen für bestimmte Zukunftswerte ist es, die Methode der Entwicklung dieser zu verstehen, vor allem, von welchen Parametern die Potenziale (und deren Kosten) und die daraus resultierende Mengen am Markt abhängig sind.

Es gibt also noch mögliche zusätzliche Potenziale in den Bereichen effizienterer Nutzung der Waldvorräte, Kurzumtriebshölzer, Miscanthus. Des Weiteren ist es wichtig, zu unterscheiden zwischen möglichem Angebot und tatsächlich realistischer Ernte, z.B. bei Waldhackgut. Letztere hängt z.B. vor allem von den erzielbaren Marktpreisen ab. Weiters hängen einzelne Potenziale von der Auftragslage der Holzverarbeitenden Betriebe ab.

Zu den CO₂-Faktoren einzelner BM-Fraktionen:

Diese unterscheiden sich nur unwesentlich, und hängen im Wesentlichen davon ab, wieviele zusätzliche Verarbeitungsschritte bis zur energetischen Umwandlung („Verbrennung“) erforderlich sind. Darum sind diese bei Waldhackgut höher als bei SNP und Altholz. Scheitholz liegt irgendwo dazwischen. Die Unterschiede sind allerdings so gering, dass sie in ökonomischen Analysen (über den CO₂-Preis) keine wesentliche Rolle spielen.

Zur Wirtschaftlichkeit:

Die Entwicklung der Marktpreise für Biomasse ist festzustellen, dass diese historisch im Wesentlichen stabil waren. Ausser bei Pellets im Jahr 2022 kam es bei keinem Energieträger zu dramatischen Schwankungen. Es ist damit zu rechnen, dass es auch in absehbarer Zukunft zu keinen dramatischen Anstiegen bei den Marktpreisen für Biomasse kommen wird. Für die Nutzung von arbeitsaufwändigen ET wie WHG ist dies jedoch auch nicht nur von Vorteil. Denn deren zusätzliche Nutzung wäre nur bei steigenden Marktpreisen attraktiv.

In Bezug auf die zukünftige Entwicklung der Investitionskosten sei festgestellt: Die Umwandlungs-Technologien für den Raumwärmebereich sind im Wesentlichen ausgereift, es sind keine weiteren Kostenreduktionen zu erwarten. In Bezug auf neuere Technologien, wie die Erzeugung von SNG oder FT-Diesel sind die Erwartungen an *Technologisches Lernen* moderat. Nur wenn es (weltweit) gelingt, einigermaßen homogene Technologien zu entwickeln und diese in entsprechender Stückzahl praktisch zu realisieren können merkbare Kostenreduktionen durch TL erwartet werden.

Zur Notwendigkeit weiterer Forschung:

In Bezug auf den weiteren Forschungsbedarf ist die Schlussfolgerung, dass im gesamten Bereich der Wärmeversorgung keine weitere Forschung notwendig ist. Verbesserungen, Weiterentwicklungen und Effizienzsteigerungen sind zunächst aber vor allem bei den thermochemischen und weiters bei den bio-chemischen Konversionstechnologien (Dissauer, 2023) erforderlich.

Zentrale Schlußfolgerungen zu den energiepolitischen Empfehlungen

Die wichtigsten Schlußfolgerungen dieser Analysen sind: Die wichtigste energiepolitische Maßnahme ist ein kontinuierlich steigender CO₂-Preis. Dies führt bereits in einem Niedrig- CO₂-Preis-Szenario dazu, dass bis 2040 die meisten biomasse-basierten Anwendungen/Produkte wirtschaftlich werden. Weiteres machen Subventionen z.B. Einspeisetarife für die Strom- oder auch die SNG-Erzeugung natürlich den Biomasseeinsatz im Vergleich zu den fossilen kompetitiver. Die (subventionierte) Erzeugung von SNG (oder FT-Diesel) macht aber nur dann einen Sinn, wenn dies aus politischer Sicht notwendig erscheint, z.B. wenn für Hochtemperaturprozesse in der Industrie „Grüne Gase“ alternativlos erforderlich sind. Grundsätzlich sollten sehr lange Ketten, z.B. Produktion von SNG aus Hackgut und weitere Umwandlung von SNG in Strom, vermieden werden. Die wichtigsten Gründe sind höhere CO₂-Faktoren, schlechtere Wirkungsgrade und höhere Investitionskosten in diesen Ketten.

Ausblick

In diesem Kontext sind vor allem folgende Fragen von Bedeutung: (i) Wie kann die Entwicklung des CO₂-Preises in Szenarien modelliert werden? (ii) Welche Szenarien für die Biomassepreise? (iii) Wie kann sich das Wachstum der Holzverarbeitenden Industrie (und damit der verfügbaren SNP) entwickeln? (iv) Welche Flächen werden in Zukunft für die energetische Nutzung zur Verfügung stehen, z.B. für Kurzumtriebshölzer, abhängig z.B. von der Zahl der Vegetarier?

12. Policy Brief

Biomasse-basierte Energieträger können die CO₂-Emissionen im Vergleich zu Erdgas für verschiedene Anwendungen/Produkte um mindestens 75% verringern und können damit einen wichtigen Beitrag zu den Klimazielen Österreichs leisten.

Allerdings ist die Biomasse derzeit nicht für alle Anwendungen/Produkte wirtschaftlich konkurrenzfähig. Während bei den Wärmeanwendungen Hackgut als Leitenergieträger der Biomasse dieser Studie heute weitgehend sogar kostengünstiger ist als Erdgas sind bei der Erzeugung von Strom, SNG oder FT-Diesel die fossilen Energieträger günstiger.

Lange Umwandlungsketten, z.B. Produktion von SNG aus Hackgut und weitere Umwandlung von SNG in Strom, sollten eher vermieden werden. Die wichtigsten Gründe sind höhere CO₂-Faktoren, schlechtere Wirkungsgrade und höhere Investitionskosten. Ausgenommen von dieser Empfehlung sind eventuell notwendige Einsätze aus Top-Down-Sicht, z.B. wenn die Politik aus gesamtwirtschaftlicher Sicht zu dem Schluss kommt, dass SNG ein wichtiger Energieträger für Einsätze in der Industrie ist.

Als wichtigste energiepolitische Maßnahme ist derzeit die Einführung eines kontinuierlich steigenden CO₂-Preises zu empfehlen. Dies führt bereits in einem in dieser Arbeit gerechneten Niedrig-CO₂-Preis-Szenario, dass bis 2040 die meisten betrachteten biomasse-basierten Anwendungen/Produkte wirtschaftlich werden. Weiteres machen Subventionen z.B. Einspeisetarife für die Stromerzeugung oder auch die SNG-Erzeugung natürlich den BM-Einsatz im Vergleich zu den fossilen kompetiver. Um die CO₂-Bilanzen zu verbessern, könnten Standards dazu beitragen, dass keine fossilen ET als Hilfsstoffe eingesetzt werden.

Aus der Sicht der Politik ist weiters festzustellen, dass zusätzlich zu den oben dokumentierten Überlegungen der gesellschaftliche Wert der energetischen Nutzung von Biomasse auch davon abhängig ist, ob die Betrachtung Bottom-Up oder Top-Down gemacht wird. Bei einer dezentralen Entscheidung auf einem Markt werden ohne staatliche Intervention lediglich die Preise auf dem Markt entscheiden, wie eine Technologie genutzt wird. Bei einer Top-Down-Analyse wird zusätzlich, z.B. von der Energiepolitik, überlegt, welche Anwendung Priorität haben könnte. Wenn es z.B. bei bestimmten industriellen Prozessen nur wenige Handlungsoptionen für die Dekarbonisierung gibt, diese aber im System politische Priorität hat, dann kann/wird die Politik hier lenkend eingreifen. Ein Beispiel derzeit könnte sein, dass die Nutzung biomassebasierter grüner Gase Einsatzbereichen in der Industrie vorbehalten bleiben sollte, in den hohe Prozesstemperaturen für Verfahren erforderlich sind, die eben nur mit grünen Gasen erreicht werden können.

Abschliessend sei festgestellt, dass es bald nicht mehr reichen wird, dass die Biomassenutzung in den verschiedenen Sektoren einfach weniger Treibhausgase emittiert als die fossilen, auch die energetische Nutzung von Biomasse muss letztendlich CO₂-neutral werden.

Literaturverzeichnis:

Ajanovic, Amela & Haas, Reinhard (2010): Economic challenges for the future relevance of bio-fuels in transport in EU countries. *Energy*, DOI:10.1016(35), 3340–3348. (2010). <http://hdl.handle.net/20.500.12708/167562>

Ajanovic, Amela: Renewable fuels - A comparative assessment from economic, energetic and ecological point-of-view up to 2050 in EU-countries. *Renewable Energy*, 60, 733–738, (2013). <http://hdl.handle.net/20.500.12708/156118>

Ajanovic Amela, Reinhard Haas, Martin Beermann, Gerfried Jungmeier, Christoph Zeiss: AL-TETRÄ Perspectives for Alternative Energy Carriers in Austria up to 2050 (ALTETRÄ), FFG-Project number: 815677, Wien 2013.

Ajanovic Amela, Haas Reinhard: CO₂-reduction potentials and costs of biomass-based alternative energy carriers in Austria, *Energy*, Volume 69, 1 May 2014, Pages 120–131.

Ajanovic, Amela & Haas, Reinhard: (2014). Economic prospects of advanced biomass-based energy carriers in EU-15 up to 2050. *Int. J. of Environment and Sustainable Development*. 13. 93 - 108. 10.1504/IJESD.2014.056414.

Biermayr, Peter, Aigenbauer, S., Dißauer, C., Eberl, M., Enigl, M., Fechner, H., Fink, C., Fuhrmann, M., Hengel, F., Jaksch-Fliegenschnee, M., Leonhartsberger, K., Matschegg, D., Moidl, S., Prem, E., Riegler, T., Savic, S., Schmidl, C., Strasser, C., Wonisch, P., Wopienka, E. (Hrsg. BMK): Innovative Energietechnologien in Österreich: Marktentwicklung 2023, Markterhebung 17/2024. <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/publikationen/schriftenreihe-2024-17-marktentwicklung-energiotechnologien.php>

Dißauer Christa, Monika Enigl, Christoph Strasser, Elisabeth Wopienka: Innovative Energietechnologien in Österreich Marktentwicklung 2023 Technologiereport Feste Biomasse – Brennstoffe, Berichte aus Energie- und Umweltforschung, BMK, 17c/2024, https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/nw_pdf/events/20240619-energiewende-marktstatistik/schriftenreihe-2024-17c-Biomasse-Brennstoffe.pdf

Dißauer Christa, Monika Enigl, Christoph Strasser Innovative Energietechnologien in Österreich, Marktentwicklung 2023, Technologiereport Feste Biomasse - Kessel u. Öfen, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 17d/2024, https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/nw_pdf/events/20240619-energiewende-marktstatistik/schriftenreihe-2024-17d-Biomasse-Kessel.pdf

Dißbauer Christa, Rehling Barbara, Strasser Christoph: Machbarkeitsuntersuchung Methan aus Biomasse, BIOENERGY 2020+, Wieselburg/Graz 2019. https://www.gruenes-gas.at/assets/Uploads/BioEnergy2020+_Machbarkeitsuntersuchung_Methan_aus_Biomasse.pdf

Dißbauer Christa, Fuhrmann Marilene, Strasser Christoph: BioEff - Darstellung des effektiven Einsatzes von innovativen Bioenergietechnologien im österreichischen Energiesystem der Zukunft, BMK Wien 2023

European Environmental Agency: How much bioenergy can Europe use without harming the environment, EEA-Report 7/2006.

Fuhrmann Marilene, Dißbauer Christa, Strasser Christoph, Schmid Erwin: Techno-economic assessment of BioSNG production under feedstock price scenarios (Mimeo), Wien 2023.

Haas Reinhard, Kranzl L.: Bioenergie und Gesamtwirtschaft Analyse der volkswirtschaftlichen Bedeutung der energetischen Nutzung von Biomasse für Heizzwecke und Entwicklung von effizienten Förderstrategien für Österreich, BMVIT 2003.

Hofbauer, Hermann, Mauerhofer, A.; Benedikt, F.; Hammerschmid, M.; Bartik, A.; Veress, M.; Haas, R.; Siebenhofer, M.; Resch, G. (2020): Reallabor zur Herstellung von Holzdiesel und Holzgas aus Biomasse und biogenen Reststoffen für die Land- und Forstwirtschaft. Technische Universität Wien; Studie ausgeführt von Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften, Wien.

Kalt Gerald, Lukas Kranzl: ALPOT – Strategien für eine nachhaltige Aktivierung landwirtschaftlicher Bioenergie-Potenziale, FFG-Projekt Nr. Wien 2010

Kalt Gerald, Lukas Kranzl, Reinhard Haas. Long-term strategies for an efficient use of domestic biomass resources in Austria. Biomass and bioenergy 34 (2010) 449 – 466.

Kalt Gerald, et al: Transformation scenarios towards a low-carbon bioeconomy in Austria, Energy Strategy Reviews, Volumes 13–14, November 2016, Pages 125-133

Knappek Jaroslav, Kralik Tomas, Valentova Michaela, Vorisek Tomas: Effectiveness of biomass for energy purposes: a fuel cycle approach. WIREs Energy Environ 2015.

Kranzl Lukas & Haas Reinhard (2003). Bioenergie und Gesamtwirtschaft: Analyse der volkswirtschaftlichen Bedeutung der energetischen Nutzung von Biomasse für Heizzwecke und Entwicklung von effizienten Förderstrategien für Österreich, (BMK), ZDB-ID 1435692-2. - Bd. 2003,12

Kranzl Lukas, Haas Reinhard: Strategien zur optimalen Erschließung der Biomassepotenziale in Österreich bis zum Jahr 2050 mit dem Ziel einer maximalen Reduktion an Treibhausgasemissionen, Berichte aus der Energie- und Umweltforschung, BMVIT Wien 44/2009

Kranzl Lukas et al.: Wärmewende 2030: Analyse der Erfordernisse und Konsequenzen -Teilbericht zur Wirtschaftlichkeitsanalyse von Heizsystemen“, (TU Wien, EEG), 2017

Kraussler, M.; Pontzen, F.; Müller-Hagedorn, M.; Nenning, L.; Luisser, M.; Hofbauer, H. (2018): Techno-economic assessment of biomass-based natural gas substitutes against the background of the EU 2018 renewable energy directive. Biomass Conversion and Biorefinery 8: 935–944.

Lettner M. et al.: Szenarien zu CO₂-Einsparung bei der Produktion von Holzprodukten – Eine exemplarische Analyse der Rolle der Bioenergie für die österreichische Forst- und Holzwirtschaft, BOKU, Wien 2017.

McCormick Kes, Kaberger Tomas: Key barriers for bioenergy in Europe: Economic conditions, know-how and institutional capacity, and supply chain coordination, Biomass and bioenergy (2007).

Österreichischer Biomasse-Verband (2021): Basisdaten 2021 Bioenergie, Wien.

Österreichischer Biomasse-Verband (2023): Bioenergie Atlas Österreich 2023, Wien. Online: Bioenergie Atlas 2023 (biomasseverband.at).

Strimitzer Lorenz, Österreichische Energieagentur, Energiebilanz der Holzsortimente - Energieholz Marktinformation 2022 – Teil 1, BMK Wien, 2022.

Stürmer et al. (2022): Biogas 2021 – Ergebnisse und Konsequenzen der Betriebsauswertung aus den Arbeitskreisen in Österreich

UBA-Szenario Erneuerbare Energien:
<https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0576.pdf>

Weiss Peter, Braun M., Fritz D., Gschwantner T., Hesser F., Jandl R., Kindermann G., Koller T., Ledermann T., Ludvig A., Pölz W., Schadauer K., Schmid B.F., Schmid C., Schwarzbauer P., Weiss G.: Adaptation for carbon efficient forests and the entire wood value chain (including a policy decision support tool) - Evaluating pathways supporting the Paris Agreement; Endbericht zum Projekt Care-forParis, Klima-und Energiefonds Wien, 2020.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kriterien für den gesellschaftlichen Wert einer energetischen Resource: Umweltrelevanz, monetäre Kosten & verfügbare Mengen/Potenziale	12
Abbildung 2: Biomassenutzung für Endenergie in Österreich im Zeitraum 1970 – 2022, alle biogenen (Quelle: Statistik Austria, Gesamtenergiebilanz) Anmerkung: Skala auf der Ordinate aus Vergleichsgründen gleich wie in Abbildung 4.....	21
Abbildung 3: Energieträgermix des Bruttoinlandsverbrauchs für Bioenergie im Jahr 2020; Quelle: Statistik Austria / Grafik: Österreichische Energieagentur, Strimitzer 2022.....	22
Abbildung 4: Bruttoinlandsverbrauch der energetischen Biomassenutzung (alle biogenen Fraktionen) in Österreich im Zeitraum 1970 – 2022, (Quelle: Statistik Austria).....	23
Abbildung 5: Detaillierte Aufgliederung des Bruttoinlandsverbrauchs von Scheitholz sowie biogenen Brenn- & Treibstoffen, AT ab 2005 Quelle: (Energiebilanz der Holzsortimente 2022, BMK).....	24
Abbildung 6: Bruttoinlandsverbrauch fester Biobrennstoffe 2007 bis 2022 in 1.000 Tonnen (Quellen: proPellets Austria (2023), Auskunft GENOL (2023), BEST (2023), (Biermayr 2023), https://nachhaltigwirtschaften.at/de/publikationen/schriftenreihe-2024-17- marktentwicklung-energietechnologien.php)	25
Abbildung 7: Holzströme in Österreich (Quelle: DI K. Nemestothy/LKÖ).....	26
Abbildung 8: Holzströme in Österreich – Energetische Verwendung (Quelle: DI K. Nemestothy/LKÖ)	26
Abbildung 9: Energiepreise für Endverbraucher in Österreich für biogene und fossile Energieträger nominal von 2000 bis 2023 (inkl. 20% MWSt)	27
Abbildung 10: Energiepreise für Endverbraucher in Österreich für biogene und fossile Energieträger real (bezogen auf das Jahr 2020) von 2000 bis 2023 (inkl. 20% MWSt)	28
Abbildung 11: Großhandelspreise für die Energieträgern Strom, Erdgas, Hackgut und Diesel in Österreich, nominal von 2010 bis 2023), exkl. MWSt., bei Diesel inkl Mineralölsteuer	28
Abbildung 12: Großhandelspreise für die Energieträger Strom, Erdgas, Hackgut und Diesel in Österreich, real (bezogen auf das Jahr 2020) von 2010 bis 2023).....	29
Abbildung 13: Entwicklung des Waldbestandes in Österreich	32
Abbildung 14: Entwicklung des Waldholzbestandes in Österreich.....	33

Abbildung 15: Entwicklung des Waldzuwachses und des Jahreseinschlags über die Jahre 2000 bis 2021 in Österreich (Vfm ... Vorratsfestmeter)	34
Abbildung 16: Aktuelle Nutzung und mögliche zusätzliche statische Potenziale primärer biomassebasierter Energieresourcen.....	35
Abbildung 17: Mögliche dynamische Potenziale für die einzelnen Biomassefraktionen bis ca. 2050	36
Abbildung 18: Wertschöpfungskette von Kurzumtriebshölzern (Dissauer (2019) basierend auf www.biomasstradecentres.eu	37
Abbildung 19: Beispiel einer sehr detaillierten Darstellung einer Umwandlungskette zur energetischen Nutzung von Biomasse	39
In den folgenden Abb. 20 bis Abb. 25 sind beispielhaft für einige Umwandlungsketten die ermittelten CO ₂ -Faktoren und deren Zusammensetzung dargestellt. Abbildung 22 zeigt die CO ₂ -Bilanz bei der Produktion von Nahwärme aus Hackgut, Abbildung 20 die CO ₂ -Bilanz bei der Produktion von Strom (ohne Wärmeauskopplung) aus Hackgut, Abbildung 21 jene bei der Produktion von Strom und Wärme in Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) aus Hackgut. Die CO ₂ -Bilanz bei der Produktion von Synthetic natural gas (SNG) aus Hackgut zeigt. Abbildung 24. Schließlich zeigen die Abbildungen 24 und 25 die CO ₂ -Bilanzen für die längsten Umwandlungsketten mit bei der Produktion von Strom und Wärme aus KWK aus Synthetic natural gas (SNG) aus Hackgut bzw Sägenebenprodukten (SNP).	43
Abbildung 22: CO ₂ -Bilanz bei der Produktion von Nahwärme aus Hackgut	44
Abbildung 23: CO ₂ -Bilanz bei der Produktion von Strom aus Hackgut	44
Abbildung 24: CO ₂ -Bilanz bei der Produktion von Strom und Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplung aus Hackgut	45
Abbildung 25: CO ₂ -Bilanz bei der Produktion von Synthetic natural gas (SNG) aus Hackgut.....	45
Abbildung 26: CO ₂ -Bilanz bei der Produktion von Strom und Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) aus Synthetic natural gas (SNG) aus Hackgut.....	46
Abbildung 27: CO ₂ -Bilanz bei der Produktion von Strom und Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) aus Synthetic natural gas (SNG) aus Sägenebemprodukten (SNP)	46
Abbildung 28: Aufschlüsselung der Erzeugungskosten von verschiedenen Anwendungen/Produkten aus Biomasse/Hackgut in Kapital-, Energie-, W&I sowie der CO ₂ -Kosten im Jahr 2020	50
Abbildung 29: Vergleich der Erzeugungskosten von Wärme, Strom, SNG aus Biomasse/Hackgut und den Kosten/Preisen der fossilen Alternativen im Jahr 2024.....	51

Abbildung 30: Szenarien der Entwicklung der Investitionskosten basierend auf Lerneffekten für verschiedene Biomassetechnologiegruppen in Österreich bis 2050 (Kranzl, Haas 2009)	54
Abbildung 31: Szenarien der Entwicklung der Investitionskosten für Umwandlungstechnologien z. am Beispiel von SNG-Anlagen bis 2050.....	54
Abbildung 32: Aktuelle Preise und Preisunterschiede biogener Energieträger	55
Abbildung 33: Vergleich der Entwicklung des CO ₂ -Preises bis 2040 in einem Niedrig- und einem Hochpreisszenario	56
Abbildung 34: Vergleich der Entwicklung der realen Preise bis 2040 für Waldhackgut (als Leitparameter der biogenen Energieträger) sowie Erdgas und Diesel (inkl. Möst) in jeweils drei Szenarien.....	57
Abbildung 35: Vergleich der Erzeugungskosten von Wärme, Strom, SNG und FT-Diesel aus Biomasse/Hackgut und den fossilen Alternativen im Jahr 2040, Szenario niedriger CO ₂ -Preis, niedrigste Preisszenarien bei Hackgut und Erdgas	58
Abbildung 36: Einfluß des CO ₂ -Preises auf die Wirtschaftlichkeit bis 2040/auf die Erzeugungskosten von Wärme, Strom, SNG und FT-Diesel aus Biomasse/Hackgut und den fossilen Alternativen im Jahr 2040 (Szenario niedriger CO ₂ -Preis).....	59
Abbildung 37: Einfluß des CO ₂ -Preises bis 2040 auf die Wirtschaftlichkeit / Erzeugungskosten von Wärme, Strom, SNG und FT-Diesel aus Biomasse/Hackgut und den fossilen Alternativen im Jahr 2040 (Szenario hoher CO ₂ -Preis)	60
Abbildung 38: Aufschlüsselung der Erzeugungskosten von verschiedenen Anwendungen/Produkten aus Biomasse/Hackgut in Kapital-, Energie-, Wartung- und Instandhaltungskosten (W&I) sowie der CO ₂ -Kosten im Jahr 2040	61
Abbildung 39: Gesamtvergleich der Aufschlüsselung der Erzeugungskosten von verschiedenen Anwendungen/Produkten aus Waldhackgut (WHG) in Kapital-, Energie-, Wartung- und Instandhaltungskosten (W&I) sowie der CO ₂ -Kosten im Jahr 2020 im Vergleich zu 2040	61
Abbildung 40: Szenarien für die Kosten der Nahwärmeerzeugung aus Hackgut zwischen 2010 und 2040 im Vergleich zu Szenarien der Stromerzeugung aus Erdgas – niedriges CO ₂ -Preisszenario	63
Abbildung 41: Szenarien für die Kosten der Nahwärmeerzeugung aus Hackgut zwischen 2010 und 2040 im Vergleich zu Szenarien der Stromerzeugung aus Erdgas – hohes CO ₂ -Preisszenario .	63
Abbildung 42: Szenarien für die Kosten der Stromerzeugung aus Hackgut (ohne Wärmeauskopplung) zwischen 2010 und 2040 im Vergleich zu Szenarien der Stromerzeugung aus Erdgas – niedriges CO ₂ -Preisszenario	64

Abbildung 43: Szenarien für die Kosten der Stromerzeugung aus Hackgut (ohne Wärmeauskopplung) zwischen 2010 und 2040 im Vergleich zu Szenarien der Stromerzeugung aus Erdgas – hohes CO ₂ -Preisszenario	65
Abbildung 44: Szenarien für die Kosten der Stromerzeugung KWK aus Hackgut zwischen 2010 und 2040 im Vergleich zu Szenarien der Stromerzeugung in KWK aus Erdgas – niedriges CO ₂ -Preisszenario	66
Abbildung 45: Szenarien für die Kosten der Stromerzeugung KWK aus Hackgut zwischen 2010 und 2040 im Vergleich zu Szenarien der Stromerzeugung in KWK aus Erdgas – hohes CO ₂ -Preisszenario	66
Abbildung 46: Szenarien für die Kosten von SNG zwischen 2010 und 2040 im Vergleich zu Szenarien für die Entwicklung des Erdgaspreises – niedriges CO ₂ -Preisszenario	67
Abbildung 47: Szenarien für die Kosten von SNG zwischen 2010 und 2040 im Vergleich zu Szenarien für die Entwicklung des Erdgaspreises – niedriges CO ₂ -Preisszenario	68
Abbildung 48: Szenarien für die Kosten von FT-Diesel zwischen 2010 und 2040 im Vergleich zu Szenarien für die Entwicklung des Dieselpreises – niedriges CO ₂ -Preisszenario	69
Abbildung 49: Szenarien für die Kosten von FT-Diesel zwischen 2010 und 2040 im Vergleich zu Szenarien für die Entwicklung des Dieselpreises – hohes CO ₂ -Preisszenario	70
Abbildung 50: Vergleich der Preise und der Preisunterschiede verschiedener biomassebasierter Energieträger 2020 vs 2040 und Einfluß des CO ₂ -Preises (niedriges CO ₂ -Preisszenario)	71
Abbildung 51: Vergleich der Preise und der Preisunterschiede verschiedener biomassebasierter Energieträger 2020 vs 2040 und Einfluß des CO ₂ -Preises (hohes CO ₂ -Preisszenario)	71
Abbildung 52: Einsatzgebiete von Bioenergietechnologien (aus Dissauer et al2023).....	100

Abkürzungsverzeichnis

BPR	Biomassebasierte Primärressourcen
ET	Energieträger
FS	Feedstock
FT	Fischer-Tropsch
KUH	Kurzumtriebshölzer
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LKÖ	Landwirtschaftskammer Österreich
Nm ³	Normkubikmeter
PJ	Petajoule
SNP	Sägenebenprodukte
SNG	Synthetic Natural Gas
THG	Treibhausgase
TL	Technologisches Lernen
TTW	Tank-to-wheel
Vfm	Vorratsfestmeter
WTT	Well-to-tank
WHG	Waldhackgut
W&I	Wartung- und Instandhaltung

Anhang A: Details zu Daten der Effizienzen, Volllaststunden und Investitionskosten

Tabelle A-1: Effizienzen /Jahresnutzungsgrade verschiedener Technologien (Einheit: %, KWK ... Kraft-Wärme-Kopplung, SNG ... Synthetic Natural Gas, FT ... Fischer-Tropsch)

Wirkungsgrad:			
	Wärme/Prozess	Strom	Gesamt
Zentralheizung	78%		
Nahwärme	88%		
Prozesswärme	68%		
Strom		34%	
Strom-KWK	57%	28%	85%
SNG	60%		
FT-Diesel	51%		

Tabelle A-2: Volllaststunden verschiedener Technologien (Einheit: Stunden/Jahr)

Volllaststunden:	h/a
Heizkessel	3000
Nahwärme	3500
Prozesswärme	5000
Strom	2000
KWK	4500
SNG-production	7000
FT-production	7500

Tabelle A-3: Investitionskosten verschiedener Technologien (th ... thermisch, ele ... elektrisch)

Investitionskosten der				
Biomasseanlagen		Mittelwert	Kleinanlagen	Großanlagen (> 10 MW)
Heizkessel	€/kW_th	700	800	600
Nahwärme	€/kW_th	800	900	700
Prozesswärme	€/kW_th	1000	900	1200
Strom	€/kW_ele	3200	3400	3000
KWK	€/kW_ele	3800	4200	3500
SNG-production	€/kW	4200	4600	3900
FT-production	€/kW	4700	5000	4200

Anhang B: Zusammenfassung & Impulse des Workshops

Am 29.11.2022 fand im Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) ein Stakeholder Workshop zu „ökologischer und wirtschaftlicher Bewertung von biomassebasierten Energieträgern in Österreich“ im Rahmen des BLOWERT Projektes statt. Anwesend bei dem Workshop waren Kasimir Nemestothy (LKÖ), Eva Talic (IG Holzkraft), Josef Galdberger (BEST), Christa Dissauer (BEST), Hannes Bauer (BMK), Reinhard Haas (TU Wien/ Energy Economics Group), Bettina Bergauer (BMK), Gerfried Jungmaier (Joanneum Research), Rene Albert (BMK), Johannes Schmidl (proPellets), Christoph Pfmeter (Österreichischer Biomasse-Verband), Nadine Gürer (TU Wien/ Energy Economics Group) sowie Theodor Zillner (BMK) (alle ohne Titel). Die Zielsetzung des Workshops war es, einen Austausch relevanter Akteure der Biomasseforschung in Österreich über den Status Quo sowie zukünftige Biomasse Forschungsschwerpunkte in Österreich zu ermöglichen. Als Impuls dafür dienten Beiträge von:

- **Reinhard Haas** (EEG, TU Wien) zur ökologischen und wirtschaftlichen Bewertung von Biomasetechnologien und Energieträger zur energetischen Nutzung – Beitrag zur Dekarbonisierung 2050
- **Kasimir Nemestothy** (LKÖ) zu den letzten Entwicklungen und energetischen Nutzung forstlicher Biomasse in Österreich,
- **Christa Dissauer** (BEST) zu Biomassepotenzialen in Österreich,
- **Gerfried Jungmaier** (Joanneum Research) zu CO-2 Bilanzen und ökologischen Aspekten verschiedener Biomasse-Energieträger,
- **Josef Galdberger** (BMK) zur österreichischen Bioökonomie-Strategie,
- sowie ein mündl. Beitrag von **Bettina Bergauer** (BMK) zu u.a. dem österreichischen Erneuerbaren Ausbaugesetz (EAG) und dem sich in Erarbeitung befindenden Erneuerbare-Gase-Gesetz (EEG).

Anschließend wurde der aktuelle Stand sowie die weitere, geplante Vorgehensweise für das Projekt BLOWERT seitens der Energy Economics Group (EEG, TU Wien) präsentiert. Die oben angeführten Präsentationen wurden an alle Workshop Teilnehmer verteilt und werden auf Anfrage gerne nochmals, bzw. nach Absprache mit den Vortragenden, auch an weitere Interessenten gesendet.

Gefolgt wurden die Präsentationen von einer Diskussionsrunde, in der Fragen und Anmerkungen bezüglich des Projektes BLOWERT sowie den Vorträgen aufgegriffen und festgehalten wurden. Die folgenden Punkte stellen eine Zusammenfassung wesentlicher Kommentare der Stakeholder dar und dienen zugleich auch als Impulspunkte für die weitere Recherche und Ausarbeitung des Projektes.

- Ein wesentlicher Diskussionspunkt war die Rolle der Versorgungssicherheit als zentrales Thema der österreichischen Energiepolitik. In diesem Zusammenhang wurden momentane geopolitische Unruhen (Ukraine-Russland) sowie die über die letzten Jahre abgenommene, jedoch aktuell erneut immer wichtiger werdende Selbstversorgung durch inländische Energieerzeugung genannt.
- In diesem Zusammenhang wurde u.a. die Entwicklung der inländischen Erdgasversorgung als Beispiel aufgezeigt: „seit 1970 Einbruch bei inländischer Versorgung von 2,4 Mrd. m³/a auf 0,6 Mrd. m³/a (= Reduktion um 75% auf ¼), bei einem durchschnittlichen Verbrauch von derzeit ca. 8,5 Mrd. m³/a ist der Selbstversorgungsgrad bei Erdgas im Betrachtungszeitraum von ca. 65% auf nunmehr kritische 7% gefallen“.
- Hinsichtlich Entwicklungen der Bioenergieversorgung:
 - Verfünfachung von ca. 45 PJ/a in den 70er Jahren auf nunmehr ca. 240 PJ/a bei einem Selbstversorgungsgrad von 90 bis 100%
 - „Gleichzeitig mit der Steigerung der inländischen Bioenergieerzeugung wurden die Waldfläche und der Holzvorrat in Österreich erhöht, womit über den Betrachtungszeitraum mit der Bioenergienutzung nicht nur Klimaneutralität, sondern vielmehr eine klimapositive Wirkung durch CO₂-Entzug aus der Atmosphäre erzielt wurde. Dieser Effekt wird bei Einbeziehung der in langlebigen Holzprodukten gebundenen CO₂-Mengen & der Substitutionseffekte von vermiedenen CO₂-Emissionen noch weiter erhöht.“
- Hinsichtlich der Faserholzpreise in Relation zu Strompreisen:
- Faserholzpreise (handelsübliches Holzsortiment im „qualitativen Nahbereich“ der energetischen Nutzung) sind in den letzten Monaten in Relation zu den Strom- & Gaspreisen nur moderat vom langjährigen Mittelwert in der Höhe von ca. 17,30 Euro/MWh auf derzeit ca. 25,- Euro/MWh (= ca. 40%) gestiegen (Annahme für energetische Bewertung: Fichte, WG 30%, Energieinhalt ca. 1,8 MWh/Festmeter, Rundholz frei Forststraße).

Die deutliche Diskrepanz zwischen der Entwicklung von Energieträgerpreisen (500,- Euro/MWh) und Industrieholzpreisen (25,- Euro/MWh) kann auch zu Veränderungen der traditionellen Holzverwertungspfade führen. Ansätze für einen ordnungspolitisch vorgegebenen „Kaskadenzwang“ sind in diesem Zusammenhang „realitätsfremd“. Als relevant und ergänzend zu oben stehenden Kommentaren werden auch folgende Abbildungen (**Graphiken 6-9**) erachtet:

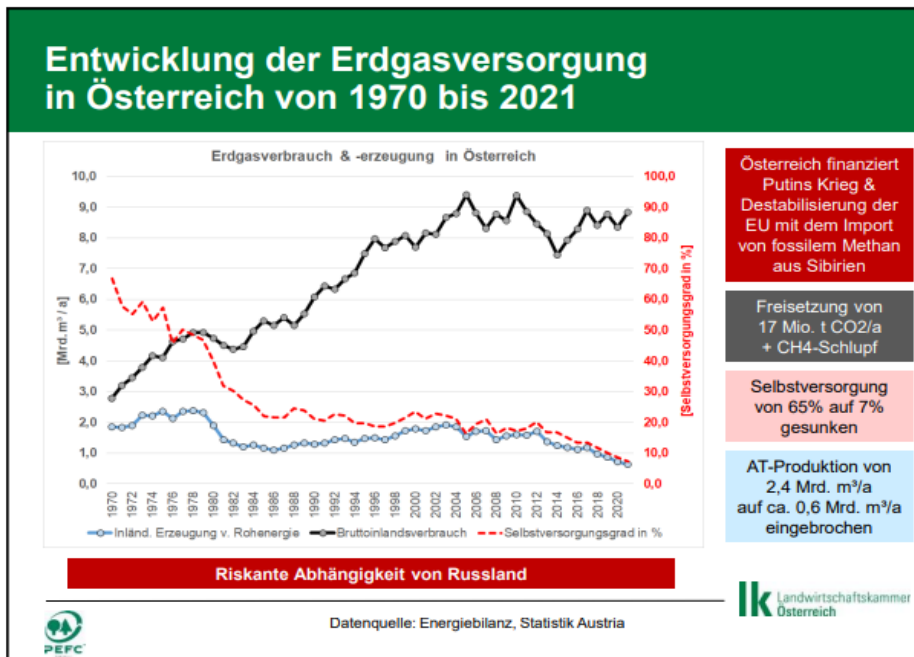


Abbildung 6: Entwicklung der Erdgasversorgung in Österreich von 1970 bis 2021 (Quelle: Statistik Austria)

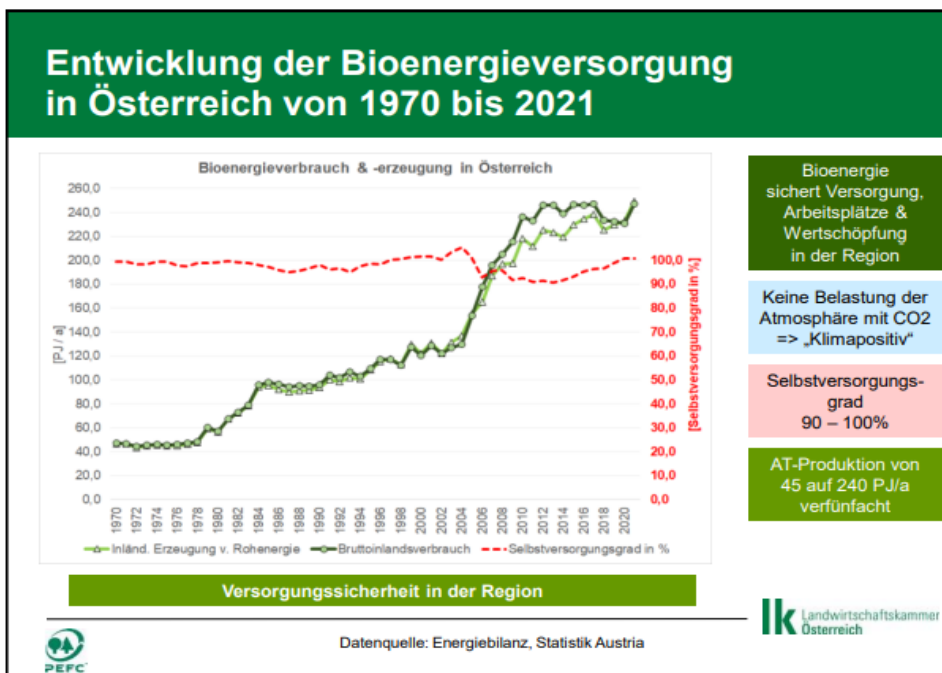


Abbildung 7: Entwicklung der Bioenergieversorgung in Österreich von 1970 bis 2021 (Quelle: Statistik Austria)

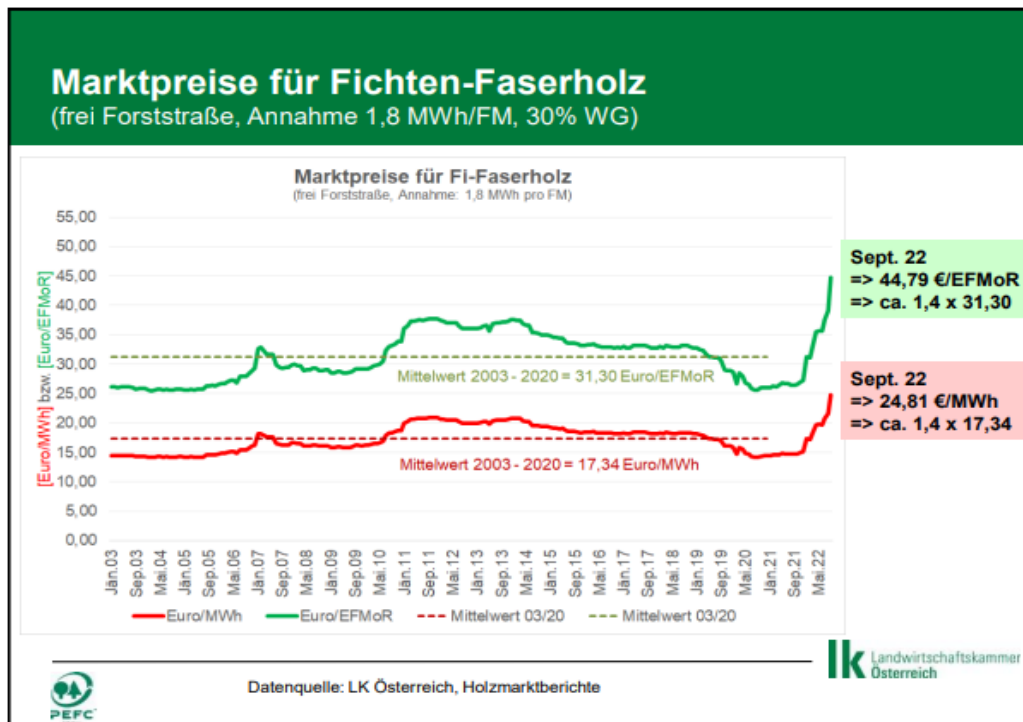


Abbildung 8: Marktpreise für Fichten-Faserholz (Quelle: LK Österreich)

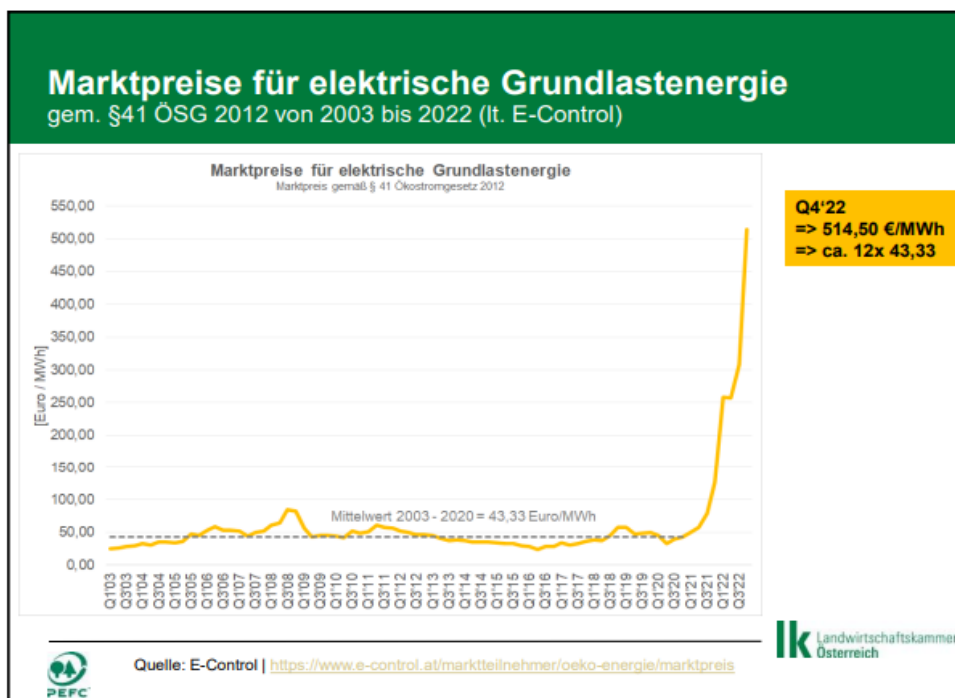


Abbildung 9: Marktpreise für elektrische Grundlastenergie (Quelle: E-Control)

- Ein weiterer, wesentlicher Punkt der angesprochen wurde, ist das notwendige Bestreben, sich in Österreich von dem langjährigen Wert von ~ 80 Mio. Tonnen CO₂ eq. zu distanzieren und bis 2040 auf 0 zu kommen. Dies bedeutet eine kontinuierliche Reduktion von ~5 Mio t. jährlich bis 2040.
- Des Weiteren wurde in diesem Zusammenhang unterstrichen, dass alle Formen an Bioenergie ein wesentlicher Teil dieses Bestrebens und der notwendigen Lösung für die Klimaneutralität sind („selbst wenn der Anteil Österreichs am weltweiten CO₂-eq-Fußabdruck bei 0,22% liegt, kann eine Verfehlung der Klimaziele keine Option sein“)
- Es wurde auch folgendes hinsichtlich Prognosen/ Szenarien des Österreichischen Biomasse Verbandes (ÖBMV) sowie Entwicklungen bezüglich Biomasse-basierter Energieträger in Österreich erwähnt:
 - „die für Energieszenarien empfohlenen und vom ÖBMV kommunizierten, nachhaltig verfügbaren Potenziale (mittelfristig 340 PJ/ langfristig 450 PJ**) verstehen sich als Bruttoinlandsverbrauch“
 - Aktueller Bioenergieumsatz: Nutzung+Import ohne Export in Österreich lag 2021 bei 280 PJ

In Zusammenhang dieser Energieszenarien gibt es mehrere Aufbringungszenarien, welche abhängig von Aspekten wie Steigerung der Nutzung, Reduktion der Importe, Erhöhung der Exporte, Änderung der Nutzungsgewohnheiten, Effizienzsteigerungen etc. sind.

Für detailliertere Informationen diesbezüglich sowie einer Gegenüberstellung von Potenzial und Bedarf wurde auf das Kapitel Potenzial und das Kapitel Holzströme im Bioenergieatlas des ÖBMV hingewiesen.

Ebenfalls als relevante Quelle in diesem Zusammenhang wurden die Basisdaten Bioenergie erwähnt.

Als weitere, in diesem Kontext als relevant erachtete Studien wurden folgende erwähnt:

- Zum Thema Feinstaub: Feinstaubfactsheet von BEST
 - Reduktion von Feinstäuben aus Hausbränden mit aktuell verfügbarer Technologie und den Tausch alter Heizungen (in Summe um bis zu 90 Prozent - Feinstaubthema gelöst, muss „nur“ umgesetzt werden)
- Zur Energiewende im Strombereich und zur Energiewende im Bereich der Wärmebereitstellung: „Stromzukunft“ und „Wärmeszukunft“ Studien (beide Lukas Kranzl TU Wien/ EEG)
 - Besondere an beiden Studien: notwendige Primärenergie auf Stundenbasis heruntergerechnet

- Bezüglich der Klimaauswirkungen, der Notwendigkeit der Klimaneutralität und der notwendigen negativen Emissionen: Publikation „Wald.Holz.Energie“
 - Studie bietet Zusammenfassung aktueller Fachmeinungen zur Klimaneutralität; insbesondere letztes Kapitel beinhaltet umfangreiche Literaturrecherche diesbezüglich sowie einigen Arbeiten zum Thema „Biodiversität im Wirtschaftswald“
- Studie über „Kosten und Potenzial verschiedener Klimaschutzmaßnahmen“ in verschiedenen Bereichen, u.a. Wärme, Effizienz, Mobilität:

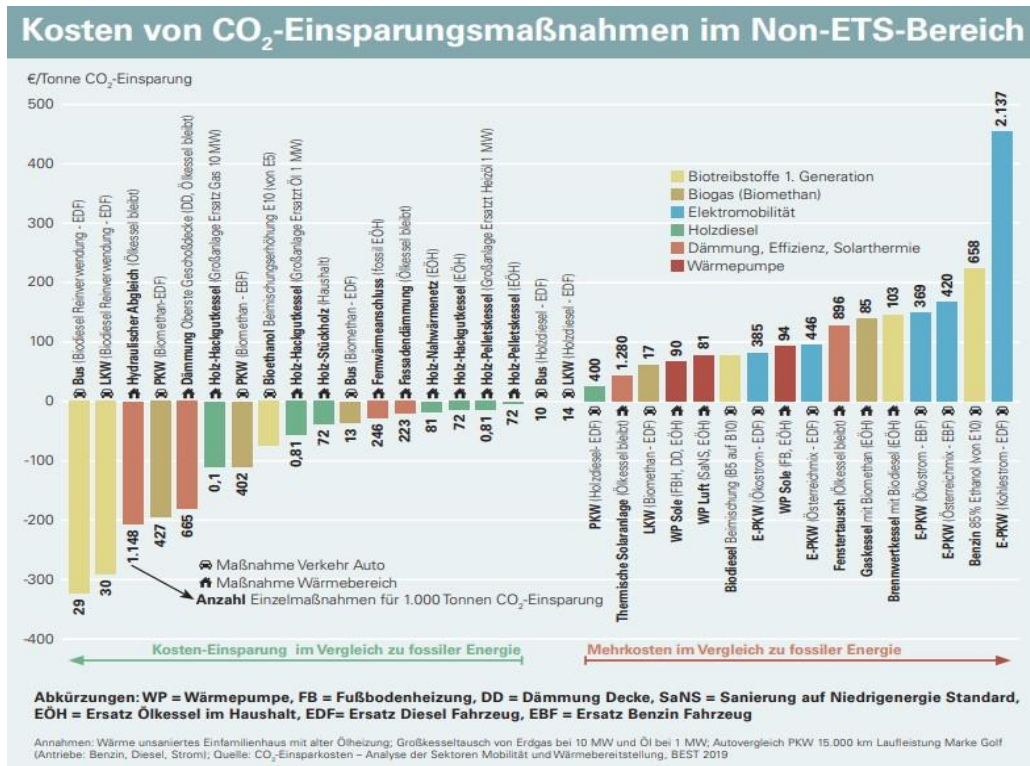


Abbildung 10: Kosten von CO₂-Einsparungsmaßnahmen im Non-ETS-Bereich

- Studie „Real Labor“ (TU Wien): wie der Weg zu 100% erneuerbarer (fossilfreier) Holz- und Lebensmittel (Urproduktion) aussehen kann & Übersicht über mögliche Zukunftstechnologien/Kosten/Entwicklungsbedarf alternativer Antriebs- und Gaserzeugungstechnologien

Ergänzend zu oben angeführten Studien wurden folgende Punkte hervorgehoben:

- Ein Kreislauf- bzw. Bioökonomiemodell, dass mit russischem Gas angetrieben wird (oft die Basis der Überlegungen und auch des aktuellen Green Deal der EU) macht nicht nur aus ökologischer Sicht wenig Sinn.
- Biomassepotenziale für die Energie sollten auf ein im Inland prinzipiell aufbringbares Potenzial (450 PJ) begrenzt werden (damit hier im Krisenfall Versorgungssicherheit besteht), aber Importe werden/sollen eine Rolle spielen (die Empfehlung liegt ähnlich wie in der Industrie bei max. 30 Prozent, basierend auf momentaner Logistikketten Situation)

- Die Herausforderung wird sein, die Inlandsproduktion konkurrenzfähig gegen Importe zu halten. Interessant sind auch die Interaktionen zwischen Nutzungen (siehe Machbarkeitsanalyse Biomethan – weniger Rinder durch reduzierten Fleischkonsum bedeuten geringeres Potenzial beim Mist, aber höheres Potenzial an Biomasse für direkte Verwendung – in Summe wird erwartet, dass es ähnlich bleibt)
- Des Weiteren wurde hervorgehoben, dass für die Biomasseforschung in erster Linie ein realistisches Bedarfsszenario notwendig ist, um in einem weiteren Schritt die Priorisierung von Biomassenutzung für energetische Zwecke zu analysieren. Es wird weitgehend erwartet, dass bei Betrachtung aller relevanten Parameter, der Bedarf niedriger als gedacht ist und unter dem nachhaltig verfügbaren Potenzial liegt. Dies wiederum führt zu der Frage, welche Biomasse-Energieträgerketten realisiert werden sollen.

- WALD.HOLZ.ENERGIE:

https://www.biomasseverband.at/wp-content/uploads/Broschuere_Wald.Holz_Energie_ENDE.pdf

- Bioenergieatlas:

<https://www.biomasseverband.at/wp-content/uploads/Bioenergie-Atlas-Oesterreich-2019.pdf>

- Basisdaten:

<https://www.biomasseverband.at/wp-content/uploads/Basisdaten-Bioenergie-2021.pdf>

- Bioenergie 2030:

https://www.biomasseverband.at/wp-content/uploads/Bioenergie_2030_klein.pdf

- Feinstaubfactsheet:

<https://www.best-research.eu/webroot/files/file/Factsheet%20Staubemissionen.pdf>

- Holzgas:

https://www.biomasseverband.at/wp-content/uploads/Folder-Holzgas_FINAL.pdf

Zusammenfassend kann über diesen Workshop im Rahmen des Projektes BLOWERT gesagt werden, dass es ein anregender Austausch mit vielen wichtigen Impuls- und Ansatzpunkten für die weitere Ausarbeitung des Projektes war. Ein aus unserer Sicht an dieser Stelle passender, abschließender Gedanke wäre, dass – obgleich wir aus jetziger Sicht nicht genau wissen können wie sich die einzelnen Biomassemengen in Zukunft optimal zusammensetzen werden - die erwähnten Biomassepotenziale nicht ohne gezielter Unterstützung der Politik und der Energiebranche im Allgemeinen erreicht werden können. Es sei ebenfalls angemerkt, dass womöglich nicht alle, im Workshop Resümee aufscheinenden Fragestellungen beantwortet werden (da dies womöglich über den Rahmen des Projektes hinausgehen würde).

Link: <https://www.biomasseverband.at/wp-content/uploads/Bioenergie-Atlas-Oesterreich-2023.pdf>

Anhang C: Ausblick und Empfehlungen zu zukünftigen Forschungsfragen aus Diskussionen mit externen Biomasseexpert/inn/en

In bilateralen Gesprächen und Diskussionen mit externen Biomasseexpert/inn/en wurden nach dem Workshop (Anhang B) die im Folgenden dokumentierten Anregungen zu zukünftigen Forschungsfragen gesammelt.

Zentrale zukünftige Forschungsfragen:

- 1) Wie hoch sind die tatsächlichen Emissionen der in Österreich eingesetzten fossilen Brennstoffe inklusive Vorketten?
- 2) Wie hoch sind die tatsächlichen THG-Emissionseinsparungen einzelner Technologien?
- 3) Wie schauen die Abbauraten der Biomasse aus, wie schnell erfolgt eine Oxidation (Blätter, Feinwurzeln, andere Baumteile, Stöcke,... nach Pflanzen bzw. Baumarten, Lebensdauer von Produkten, Verarbeitungsdauer von Produkten)?
- 4) Lassen sich Zuwächse und Nutzungsraten durch Nährstoffrückführung im Wald steigern?
- 5) Wie hoch ist der Treibstoffbedarf (der Bedarf an flüssigen Treibstoffen) in Österreich 2030/2040/2050, wie hoch ist der gewünschte Eigenversorgungsanteil?
- 6) Wie hoch ist der Bedarf an gasförmigen Brennstoffen in Österreich 2030/2040/2050, wie hoch ist der gewünschte Eigenversorgungsanteil?
- 7) Wie groß ist der Energiebedarf im Bereich der Lebensmittel und Holzprodukteproduktion in Österreich vom Wald/Feld bis in den Haushalt, wie hoch ist der gewünschte Eigenversorgungsanteil mit erneuerbarer Energie?
- 8) Wie groß ist die technische/geologische Möglichkeit für unterirdische geologische Speicherung von CO₂ (Abscheideraten bis zu 90 Prozent mit BIOCCS und bis zu 70 Prozent mit Bio-kohle)?
- 9) Wie kann eine „erneuerbare“ Düngemittelproduktion aussehen (Holzgas hätte hier Potenzial), wie hoch ist der Düngemittelbedarf 2030/2040/2050?
- 10) Wie ist die künftige Priorisierung von Biomassenutzungen (Extrembeispiel: Regionale Energiewende vers. energieintensive neue Bioökonomieprodukte, ...)?

- 11) Wie sieht das Waldszenario aus, auf das wir die Biomassenutzung beziehen/bewerten (Einfluss Bestandesalter, Baumartenzusammensetzung, Klimawandel, Waldpflege, Waldumbau, flächige Ausfälle durch biotische und abiotische Schäden, ...)?
- 12) Wie hoch ist die Aufnahmefähigkeit des Gebäudebestandes für Holzstrukturen, welche Reststoffmengen würde dies bedeuten? Wie ist die Plattenindustrie (MDF, HDF, OSB, BSPH,...) in diesem Kontext zu bewerten.?

Nach umfassenden Recherchen gibt es im Bereich der Biomassepotenziale folgende offene Fragestellungen:

- Wie hoch ist die Nettoprimärproduktion von Biomasse in Österreich (Wald, Landwirtschaft, sonstige Flächen) und wo findet die Oxidation der Biomasse (Pflanzenatmung, Verdauung, Verbrennung, Verrottung) statt?
- Wie viele Biomassen werden in Österreich durch Nutzung umgesetzt (ca. 48 Millionen TM), wo werden sie verarbeitet (Massen+Energiebilanzen) oder entsorgt bzw. im Kreislauf geführt (eine Übersicht hat KALT 2014 gemacht; siehe Bioenergieatlas Seite 23, Biogene Materialflüsse)?
- Was ist der zeitliche Verlauf des Biomassebedarfs in einem 100 Prozent-Szenario unter Berücksichtigung aller Bereiche des Inlandsbedarfs und der Aufnahmefähigkeit der Märkte (Projektdauer, Entwicklung, Installationsraten, Lebensdauer der Anlagen, ...) und können wir das in der land- und forstwirtschaftlichen Produktion „nachfahren“ (z.B. Waldumbau und Vorratsaufbau in klimaresistenten Beständen)?
- Wie schaut ein zeitlich optimierter Biomasseinsatz aus, damit in Summe die höchsten THG-Effekte erzielt werden können (höhere Nutzung bei hohem Bedarf, geringere Nutzung bei niedrigem Bedarf), wohin können wir das Gesamtsystem treiben (optimierter Einsatz) wenn notwendig?
- **Im Detail werden dringend folgende Infos gebraucht:**
 - Wie hoch sind die tatsächlichen Emissionen der in Österreich eingesetzten fossilen Brennstoffe inklusive Vorketten (sonst ist jede Ökobilanz falsch)?
 - Wie hoch sind die tatsächlichen THG-Emissionseinsparungen einzelner Technologien (Grenzkraftwerke, keine Durchschnitte! Sonst ist jede Ökobilanz ein Daumen-mal-Pi-Richtwert)?
 - Wie schauen die Abbauraten der Biomasse aus, wie schnell erfolgt eine Oxidation (Blätter, Feinwurzeln, andere Baumteile, Stöcke,... nach Pflanzen bzw. Baumarten, Lebensdauer von Produkten, Verarbeitungsdauer von Produkten)?
 - Lassen sich Zuwächse und Nutzungsraten durch Nährstoffrückführung im Wald steigern?

- Wie hoch ist der Treibstoffbedarf (der Bedarf an flüssigen Treibstoffen) in Österreich 2030/2040/2050, wie hoch ist der gewünschte Eigenversorgungsanteil?
- Wie hoch ist der Bedarf an gasförmigen Brennstoffen in Österreich 2030/2040/2050, wie hoch ist der gewünschte Eigenversorgungsanteil?
- Wie groß ist der Energiebedarf im Bereich der Lebensmittel und Holzprodukteproduktion in Österreich vom Wald/Feld bis in den Haushalt, wie hoch ist der gewünschte Eigenversorgungsanteil mit erneuerbarer Energie?
- Wie groß ist die technische/geologische Möglichkeit für unterirdische geologische Speicherung von CO₂ (Abscheideraten bis zu 90 Prozent mit BIOCCS und bis zu 70 Prozent mit Bio-kohle)?
- Wie kann eine „erneuerbare“ Düngemittelproduktion aussehen (Holzgas hätte hier Potenzial), wie hoch ist der Düngemittelbedarf 2030/2040/2050?
- Wie ist die künftige Priorisierung von Biomassenutzungen (Extrembeispiel: Regionale Energiewende vers. energieintensive neue Bioökonomieprodukte, ...)?
- Wie sieht das Waldszenario aus, auf das wir die Biomassenutzung beziehen/bewerten (Einfluss Bestandesalter, Baumartenzusammensetzung, Klimawandel, Waldpflege, Waldumbau, flächige Ausfälle durch biotische und abiotische Schäden, ...)?
- Wie hoch ist die Aufnahmefähigkeit des Gebäudebestandes für Holzstrukturen, welche Reststoffmengen würde dies bedeuten? Wie ist die Plattenindustrie (MDF, HDF, OSB, BSPH,...) in diesem Kontext zu bewerten.?

Anhang D: Weiterer Forschungsbedarf aus Studie Dissauer et al (2023)

Es stellt sich also weiters die Frage, in welchen Bereichen sich die Forschung zur energetischen Nutzung der Biomasse in Österreich fokussieren soll, wo es den wichtigsten weiteren **Forschungsbedarf gibt**.

Im gesamten Bereich der Wärmeversorgung ist keine weitere Forschung notwendig.

Im Detail wurde dies weiters in der Studie Dissauer et al (2023) untersucht.

Die Tabelle 6 und Abbildung 52, beide aus der Studie Dissauer et al (2023), zeigen, welche Bioenergiotechnologien basierend auf den aktuellen Marktentwicklungen und den Ergebnissen der Expert*innen Interviews mittelfristig bis 2035 und langfristig ab 2035 in Österreich (für den österreichischen Inlandsmarkt) priorisiert werden sollten.

Tabelle 6: Übersicht der Forschungs- und Innovationsziele mit der höchsten Priorität (Dissauer et al 2023)

Forschungs- und Innovationsziele	
Bioenergiotechnologien allgemein	Etablierung von Wertschöpfungsketten mit entsprechender Qualitätssicherung bei der Rohstoffaufbereitung, um wichtige Zukunftsmärkte wie Schifffahrt, Luftfahrt und Hochtemperaturwärme für die Industrie mit Bioenergie versorgen zu können
	Effizienzsteigerung bei der Sammlung und Transport von Biomasse, insbesondere Reststoffen
	Erweiterung des Rohstoffspektrums der Bioenergiotechnologien, um eine größere Vielfalt an Nutzpflanzen, Rückständen und Abfällen einzubeziehen
	Weiterentwicklung von bestehenden Katalysatoren in Hinblick auf Kostensenkungspotentiale bei der Syn- und Abgasreinigung sowie die Entwicklung neuer, technisch und ökonomisch sinnvoller Katalysatoren für die Synthese
Thermochemische Konversion	Verbesserung der Konversionstechnologien wie Gaserzeugung, Pyrolyse und Hydrothermaler Verflüssigung und Carbonisierung, um mit Rohstoffen mit höherem Aschegehalt umgehen zu können
	Weiterentwicklung, um mit erhöhten Mengen an flüchtigen Stoffen und einem höheren Grad an Heterogenität der Rohstoffe bei der Verwendung von Abfällen und Reststoffen als Einsatzstoffen umgehen zu können

Biochemische Konversion	Technologieentwicklung zur Gärrestaufbereitung für die Bereitstellung von Düngemittel
	Verbesserung der Vorbehandlungsmethoden für Rohstoffe, insbesondere für Fermentationsprozesse, um das Portfolio der möglichen Einsatzstoffe zu erweitern
	Effizienzsteigerung der biochemischen Konversionstechnologien durch Evaluierung der Methoden zur Änderung der mikrobiellen Zusammensetzung für die Fermentation
Integration in Energiesysteme	Entwicklung von Technologien zur Kohlenstoffabscheidung, die an die Größe von Bioenergieanlagen angepasst sind
	Integration von Bioenergie und Biokraftstoffen in bestehende Industrien, wie Zellstoff- und Papierindustrie sowie (Bio-)Raffinerien
Sozio-ökonomische Aspekte	Identifizierung von Maßnahmen zur Verbesserung des Verständnisses der öffentlichen Akzeptanz von bzw. des öffentlichen Widerstands gegenüber Bioenergie(anlagen)
	Absicherung der Emissionsfaktoren zur Bereitstellung von Richtlinienentwürfen für die Handhabung von Nachhaltigkeitszertifizierungen

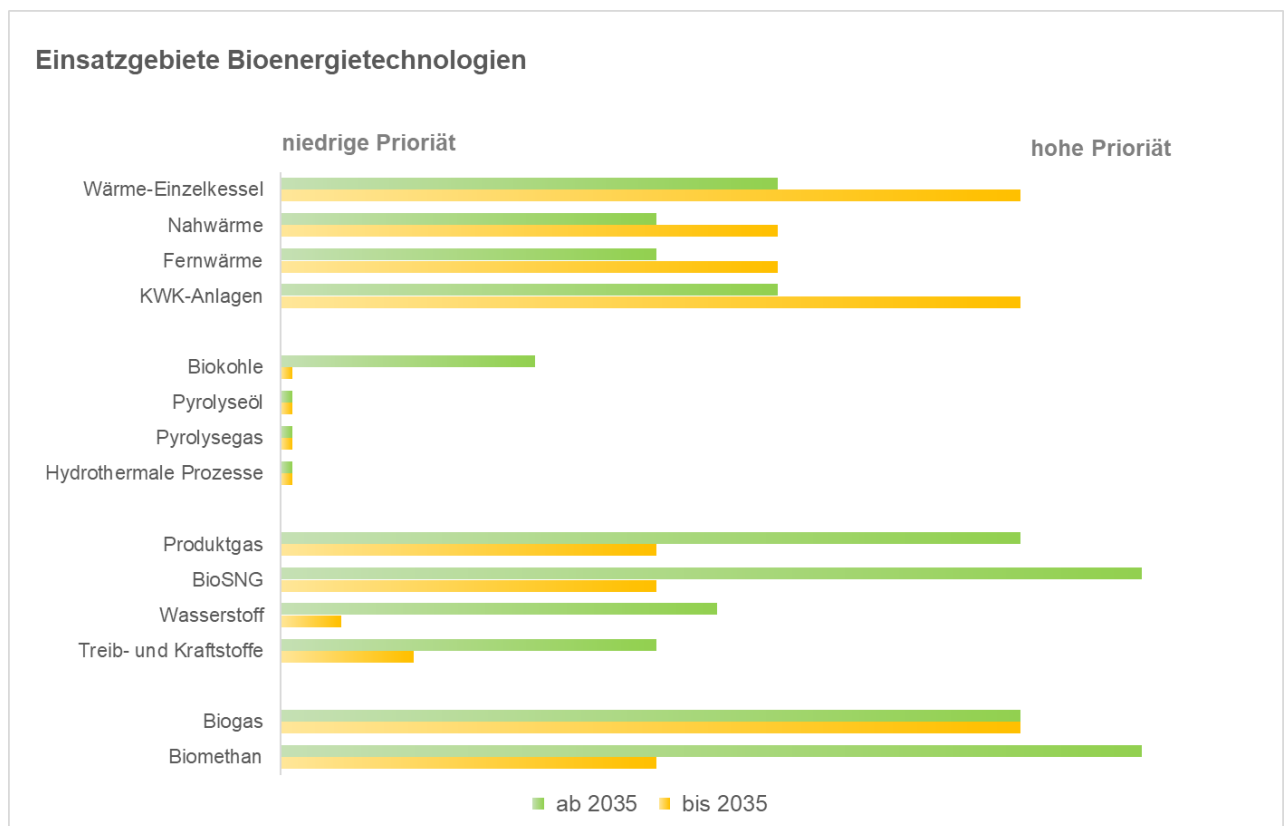
Dissauer et al (2023) stellen weiters fest, dass die Relevanz von Biomasse im Wärmebereich mittelfristig als eher hoch eingeschätzt wird, vor allem für Einzelkessel, Nahwärme und KWK-Anlagen. Nach 2035 sollte sich der Fokus mehr zu den innovativen bzw. höherwertigeren Anwendungen verschieben, beispielsweise wird die Priorität für Produktgas und BioSNG stark ansteigen. Auch für Biokohle wird von Dissauer et al (2023) eine wachsende Relevanz gesehen, die sich allerdings vom Gesamtvolumen her in Grenzen hält. Die anderen Produkte aus Pyrolyse (Öl und Gas) sowie Hydrothermalen Prozessen werden in Österreich auch in Zukunft eine untergeordnete Rolle spielen. Im Bereich der biotechnologischen Umwandlung ergibt das Gesamtbild, dass Biomethan deutlich an Bedeutung gewinnen wird, die direkte Verwertung von Biogas aber dennoch wichtig bleiben wird.

Für die breite Implementierung dieser Technologien gibt es allerdings verschiedene Markteintrittsbarrieren. Als mögliche Maßnahmen, die Marktdiffusion zu steigern, wurde von den Expert*innen im Rahmen der Studie Dissauer et al (2023) genannt:

- Die Förderung einer Kreislauf-orientierten Bioökonomie hilft bei der Etablierung neuer Märkte
 - CO₂ Steuern können anfänglich bei der Marktdiffusion helfen, allerdings müssen sich die Bioenergietechnologien langfristig selbst am Markt bewähren

- F&E Maßnahmen sollten auch zur Kostenreduktion bei Bioenergietechnologien beitragen
- Zunehmender Wettbewerb um den Rohstoff „Biomasse“
 - Umsetzung von EU-weiten Nachhaltigkeitskriterien, um einen fairen Markt zu schaffen und nicht nachhaltige Importe zu verhindern
 - Gütesiegel für nachhaltigen Transport von Gütern
 - Einheitliche Berechnung von CO₂-Intensität innerhalb der EU und über alle Produkte hinweg
- Schaffung von Demonstrations-Regionen bzw. Projekten, um verschiedene „Integrations-Konzepte“ zu implementieren und zu erproben

Abbildung 52: Einsatzgebiete von Bioenergietechnologien (aus Dissauer et al 2023)



Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

+43 800 21 53 59

servicebuero@bmk.gv.at

bmk.gv.at