

Darstellung des effektiven Einsatzes innovativer Bioenergietechnologien im österreichischen Energiesystem der Zukunft (BioEff)

C. Dißbauer, M. Fuhrmann,
C. Strasser

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

73/2023

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

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

Verantwortung und Koordination:

Abteilung III/3 - Energie und Umwelttechnologien
Leitung: DI (FH) Volker Schaffler, MA

Autorinnen und Autoren: C. Dißauer, M. Fuhrmann, C. Strasser

Wien, 2023.

Darstellung des effektiven Einsatzes innovativer Bioenergietechnologien im österreichischen Energiesystem der Zukunft (BioEff)

Dipl.-Ing. Dr. Christa Dißauer
BEST – Bioenergy and Sustainable Technologies GmbH

Dipl.-Ing. Dipl.-Ing. Marilene Fuhrmann
BEST – Bioenergy and Sustainable Technologies GmbH

Dipl.-ing. Dr. Christoph Strasser
BEST – Bioenergy and Sustainable Technologies GmbH



Wien, Dezember 2023

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

Inhalt

1 Kurzfassung	7
2 Abstract	10
3 Einleitung	13
4 Bedeutung der Bioenergie in Österreich	14
4.1 Feste Biomasse.....	15
4.2 Biogas	18
4.3 Biotreibstoffe	20
4.4 Marktakteure	21
5 Entwicklung der Energienachfrage und Energiepolitische Ziele	23
5.1 Bioökonomie Strategie 2019.....	27
5.2 Kreislaufwirtschaftsstrategie 2022	31
5.3 Wasserstoffstrategie.....	32
6 Klimarelevanz und Nachhaltigkeit der Bioenergie in Österreich	33
6.1 Treibhausgasemissionen	33
6.2 Rechtlicher Rahmen	36
6.3 Entwicklungen im Nachhaltigkeitsbereich	43
7 Innovative Bioenergietechnologien	45
7.1 Direkte thermo-chemische Umwandlung.....	45
7.1.1 Technologische Umsetzung.....	45
7.1.2 Marktentwicklung	46
7.2 Pyrolyse.....	49
7.2.1 Technologische Umsetzung.....	49
7.2.2 Marktentwicklung	50
7.3 Hydrothermale Prozesse.....	53
7.3.1 Technologische Umsetzung.....	53
7.3.2 Marktentwicklung	56
7.4 Thermochemische Gaserzeugung.....	56
7.4.1 Technologische Umsetzung.....	56
7.4.2 Marktentwicklung	58
7.5 Synthese erneuerbarer Energieträger	61
7.5.1 Technologische Umsetzung.....	61
7.5.2 Marktentwicklung	62
7.6 Biotreibstoffe für den Luftverkehr	63
7.6.1 Technologische Umsetzung.....	63
7.6.2 Marktentwicklung	65
7.7 Biotechnologische Umwandlung	68
7.7.1 Technologische Umsetzung Biogaserzeugung	69
7.7.2 Marktentwicklung der Biogastechnologie	71

7.7.3	Technologische Umsetzung Biomethanherstellung.....	71
7.7.4	Marktentwicklung Biomethan.....	72
8	Ökonomische Bewertung der Bioenergietechnologien.....	75
8.1	Preisentwicklungen Biomasse.....	75
8.2	Kosten der Bioenergietechnologien.....	76
9	Technologie-, Innovationspolitische sowie energiepolitische Empfehlungen	81
9.1	Einsatzgebiete von Bioenergietechnologien.....	81
9.2	Relevante Forschungsthemen im Bereich der Bioenergie.....	82
9.3	Exkurs: F&I-Herausforderungen auf internationaler Ebene	85
9.4	Zusammenfassende Übersicht über die empfohlenen Forschungsziele	87
9.4.1	Forschungs- und Innovationsziele - Bioenergietechnologien Allgemein	89
9.4.2	Forschungs- und Innovationsziele - Thermochemische Konversion.....	90
9.4.3	Forschungs- und Innovationsziele - Biochemische Konversion	91
9.4.4	Forschungs- und Innovationsziele - Integration in Energiesysteme	92
9.4.5	Forschungs- und Innovationsziele - Sozio-ökonomische Aspekte	93
	Tabellenverzeichnis	94
	Abbildungsverzeichnis	95
	Literaturverzeichnis.....	97
	Abkürzungen.....	100
	Anhang	102

1 Kurzfassung

Bioenergietechnologien können einen wichtigen Beitrag zur Energiewende und damit verbunden zum Klimaschutz leisten. Bioenergieträger sind in Österreich der wichtigste heimische erneuerbare Energieträger. Ein 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. Allerdings ist auch die Ressource „Biomasse“ limitiert. Daher stellt sich die Frage, welche innovativen Konversionstechnologien in welchen Bereichen (Strom - Wärme/Kälte - Mobilität) genutzt werden sollten, um einen möglichst effektiven Bioenergieeinsatz in Österreich zu erreichen.

Das zentrale Ziel dieser Studie ist es, Möglichkeiten und Strategien **hinsichtlich des effektiven Einsatzes von innovativen Bioenergietechnologien in Österreich aufzuzeigen und zu erarbeiten**. Dafür wurden historische und aktuelle Entwicklungen der Bioenergie in Österreich dargestellt und innovative Bioenergietechnologien zur Gewährleistung eines zukünftigen sinnvollen Einsatzes von Biomasse basierend auf Expertenwissen veranschaulicht. Auf diesen Erläuterungen und den Ergebnissen der Expertenbefragung aufbauend, wurden Forschungs- und Innovationsziele mit hoher Priorität identifiziert (Tabelle 1).

Abbildung 1 zeigt, welche Bioenergietechnologien 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 1: Übersicht der Forschungs- und Innovationsziele mit der höchsten Priorität

Forschungs- und Innovationsziele	
Bioenergietechnologien 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 Bioenergietechnologien, 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 Hydrothormaler 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

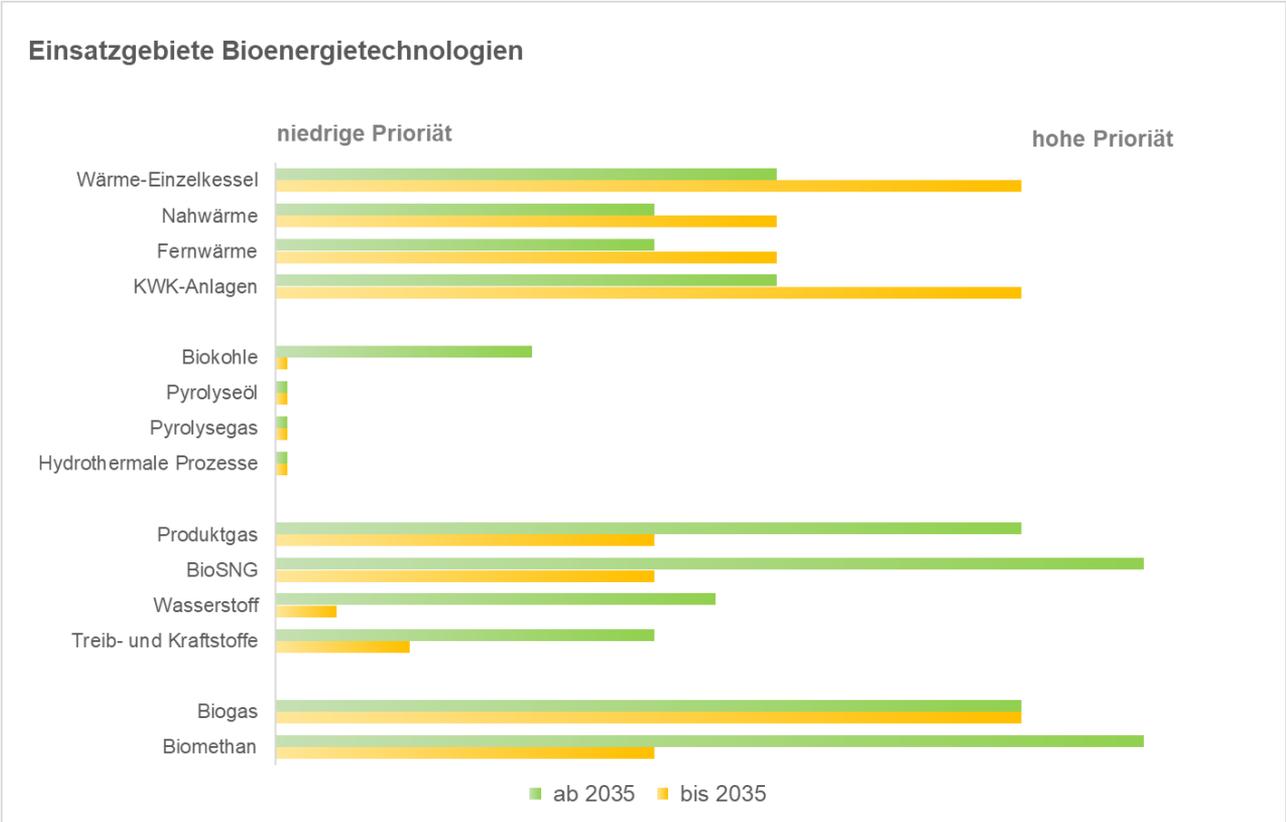


Abbildung 1: Einsatzgebiete von Bioenergietechnologien

2 Abstract

Bioenergy technologies can make an important contribution to the energy transition and the associated climate protection. Bioenergy sources are the most important domestic renewable energy source in Austria. One advantage of bioenergy sources is that they can be stored and can therefore contribute to the resilience of renewable energy systems. Biomass also has high national availability and can therefore make a significant contribution to the Austrian energy system. The ability of bioenergy sources to replace fossil fuels in the existing infrastructure, as well as the variety of possible end energy sources, make biomass an attractive and nationally available resource that can contribute to the decarbonization of the energy system. However, the “biomass” resource is also limited. The question therefore arises as to which innovative conversion technologies should be used in which areas (electricity - heat/cold - mobility) in order to achieve the most effective use of bioenergy in Austria.

The central goal of this study is to identify and develop options and strategies for the effective use of innovative bioenergy technologies in Austria. For this purpose, historical and current developments in bioenergy in Austria were presented and innovative bioenergy technologies to ensure the future sensible use of biomass were illustrated based on expert knowledge. Based on these explanations and the results of the expert survey, high priority research and innovation goals were identified (Table 1).

Figure 1 shows which bioenergy technologies should be prioritized in Austria (for the Austrian domestic market) in the medium term until 2035 and in the long term from 2035 based on current market developments and the results of the expert interviews.

Table 1: Overview of the research and innovation objectives with the highest priority

Research and innovation objectives	
Bioenergy technologies in general	Establishment of value chains with appropriate quality assurance in the processing of raw materials in order to be able to supply important future markets such as shipping, aviation and high-temperature heat for industry with bioenergy
	Increased efficiency in the collection and transport of biomass, especially residues
	Expanding the raw material spectrum of bioenergy technologies to include a greater variety of crops, residues and wastes
	Further development of existing catalysts with regard to cost reduction potential in synthesizing and exhaust gas purification as well as the development of new, technically and economically sensible catalysts for synthesis
Thermochemical conversion	Improving conversion technologies such as gas generation, pyrolysis and hydrothermal liquefaction and carbonization to deal with raw materials with higher ash content
	Further development in order to be able to deal with increased amounts of volatile substances and a higher degree of heterogeneity of raw materials when using waste and residues as feedstock
Biochemical conversion	Technology development for digestate processing for the provision of fertilizer
	Improvement of pretreatment methods for raw materials, especially for fermentation processes, in order to expand the portfolio of possible input materials
	Increasing the efficiency of biochemical conversion technologies by evaluating methods for changing the microbial composition for fermentation
Integration into energy systems	Development of carbon capture technologies adapted to the size of bioenergy plants
	Integration of bioenergy and biofuels into existing industries, such as pulp and paper and (bio)refineries
Socio-economic aspects	Identification of measures to improve the understanding of public acceptance respectively of opposition to bioenergy (plants)
	Validation of emission factors to provide draft guidelines for handling sustainability certifications

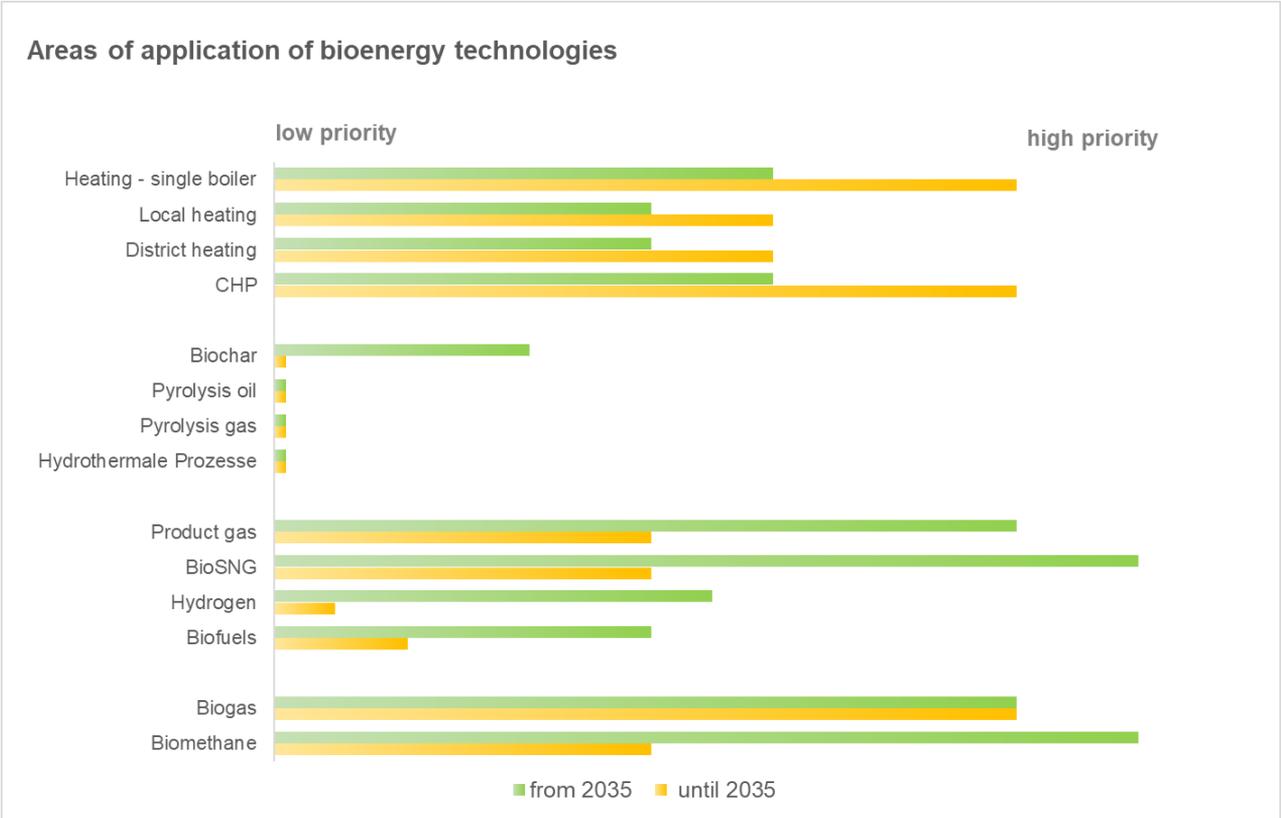


Figure 1: Areas of application of bioenergy technologies

3 Einleitung

Bioenergietechnologien können einen wichtigen Beitrag zur Energiewende und damit verbunden zum Klimaschutz leisten: In globalen Szenarien, welche die Erwärmung auf 1,5 °C begrenzen, sorgen Bioenergietechnologien für die Bereitstellung von zwischen 15 und 30 % der Primärenergieversorgung im Jahr 2050. Bioenergieträger sind auch in Österreich der wichtigste heimische erneuerbare Energieträger. Laut der Publikation „Energie in Österreich, Zahlen, Daten, Fakten 2022“ hat Bioenergie, hauptsächlich basierend auf holzartiger Biomasse, einen Anteil von 47,5 % an der heimischen Primärenergieerzeugung. Ein 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. Vor allem Biomasse aus der Forstwirtschaft, aber auch Roh- und Reststoffe aus der Landwirtschaft bilden einen Grundstein der Energieversorgung in verschiedenen Sektoren. 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. Außerdem ist der Bioenergie-Sektor von einem hohen Grad an Forschung und Entwicklung geprägt. Allerdings ist auch die Ressource „Biomasse“ limitiert. Daher stellt sich die Frage, welche innovativen Konversionstechnologien in welchen Bereichen (Strom - Wärme/Kälte - Mobilität) genutzt werden sollten, um einen möglichst effektiven Bioenergieeinsatz in Österreich zu erreichen.

Das zentrale Ziel dieser Studie ist es, Möglichkeiten und Strategien **hinsichtlich des effektiven Einsatzes von innovativen Bioenergietechnologien in Österreich aufzuzeigen und zu erarbeiten**. Dabei sollen die Biomassekonversionstechnologien mit dem größten gesellschaftlichen Nutzen identifiziert werden.

Im Folgenden werden historische und aktuelle Entwicklungen der Bioenergie in Österreich dargestellt und innovative Bioenergietechnologien zur Gewährleistung eines zukünftigen sinnvollen Einsatzes von Biomasse basierend auf Expertenwissen veranschaulicht. Auf diesen Erläuterungen und den Ergebnissen der Expertenbefragung aufbauend, werden energiepolitische Empfehlungen abgeleitet, welche Bioenergietechnologien in welchen Bereichen zur Energiebereitstellung zukünftig im Fokus stehen sollten. Zusätzlich werden der Bedarf an Technologieentwicklung und Empfehlungen hinsichtlich zukünftiger Forschungs- und Technologieförderung abgeleitet. Der Fragebogen sowie die befragten Expert*innen sind im Anhang gelistet.

4 Bedeutung der Bioenergie in Österreich

Der Anteil erneuerbarer Energie am österreichischen Bruttoinlandsverbrauch ist seit 1970 deutlich gestiegen. Während dieser 1970 noch bei 15,5 % lag, waren es 2020 bereits 32,6 %. 2021 beträgt dieser Wert 31,4 %, siehe Abbildung 2. Die beiden wesentlichen erneuerbaren Energiequellen in Österreich sind Wasserkraft und biogene Brenn- und Treibstoffe. Diese beiden erneuerbaren Energiequellen machen den größten Anteil der inländischen Primärenergieproduktion aus, wobei der Anteil der Wasserkraft tendenziell leicht rückläufig und der Anteil der Biomasse im Steigen begriffen ist. Innerhalb des Anteils der erneuerbaren Energien ist der Anteil der Bioenergie von 38 % im Jahr 1970 auf rund 60 % im Jahr 2021 gestiegen (der Maximalwert betrug im Jahr 2016 60,3 %). Im Anteil der Bioenergie sind neben den festen Biobrennstoffen auch das Biogas, Deponiegas, Biodiesel, Klärschlamm, Abwässer sowie Tiermehl und -fett enthalten. Den überwiegenden Anteil der Bioenergie machen jedoch die festen Biobrennstoffe aus.

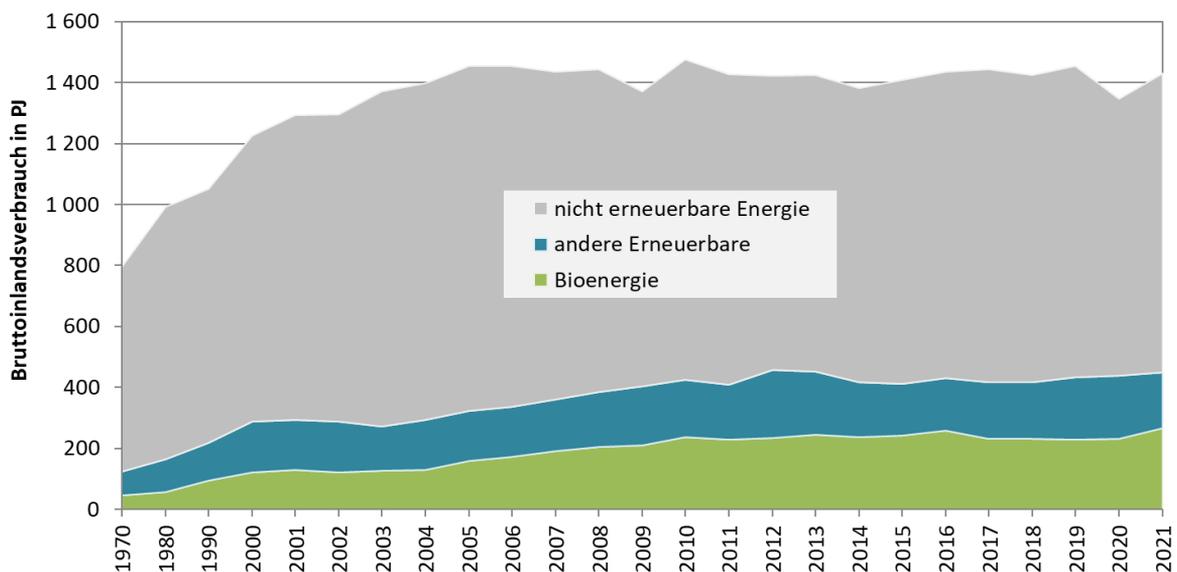


Abbildung 2: Entwicklung des österreichischen Bruttoinlandsverbrauches und des Anteiles erneuerbarer Energie von 1970 bis 2021 in PJ. Anmerkung: die Zeitachse ist nichtlinear dargestellt.

Quelle: Statistik Austria 2023a in Biermayr et al. 2023

Nach Sektoren betrachtet hat Bioenergie folgende Anteile: Am Endenergieverbrauch im Sektor Wärme von 568 PJ hat Bioenergie einen Anteil von 29,7 %. Im Straßenverkehr sind von 353 PJ bisher nur 5,7 % biogenen Ursprungs, was zum Großteil auf Biodiesel zurückzuführen ist. Die Beimischung

von Ethanol zu Benzin wurde allerdings 2023 von 5 auf 10 % erhöht. Von einem gesamten Stromaufkommen von 266 PJ basieren 2,9 % auf Holz, 1,9 % auf Lauge der Zellstoffindustrie, 0,9 % auf Biogas und 0,5 % auf sonstiger Biomasse. 2019 wurden 11.160 GWh Ökostrom in das Stromnetz eingespeist, wobei 16 % auf Biomasse inkl. Abfall fallen (Österreichischer Biomasseverband, 2021).

4.1 Feste Biomasse

Die energetische Nutzung fester Biomasse stellt in Österreich traditionell eine der tragenden Säulen erneuerbarer Energienutzung dar. Der Bruttoinlandsverbrauch fester Biobrennstoffe ist von 142 PJ im Jahr 2007 auf rund 179 PJ im Jahr 2013 gestiegen. 2014 kam es aufgrund der außergewöhnlich milden Witterung zu einem Rückgang, um in den Folgejahren wieder anzusteigen – siehe Abbildung 3. 2018 und 2019 sind bedingt durch eine milde Witterung wieder etwas geringere Verbrauchsdaten zu beobachten. Ab 2020 stieg der Bruttoinlandsverbrauch fester Biobrennstoffe aufgrund der Witterungsbedingungen und stärkerer Absätze von Biomasetechnologien wieder an. Aufgrund der sehr warmen Witterung im Jahr 2022 lag dieser bei 196,88 PJ. Hackgut und Stückholz machen den größten Anteil der festen Bioenergieträger aus. Der Pelletsverbrauch stieg in den letzten Jahren kontinuierlich an. Im Jahr 2022 beläuft sich der nationale Pelletsverbrauch auf 21,6 PJ (1.272.500 t). Zur Sicherung der Pelletsversorgung haben rund 35 aktive österreichische Pelletsproduzenten eine Produktionskapazität von rund 2,04 Mio. t/a aufgebaut.

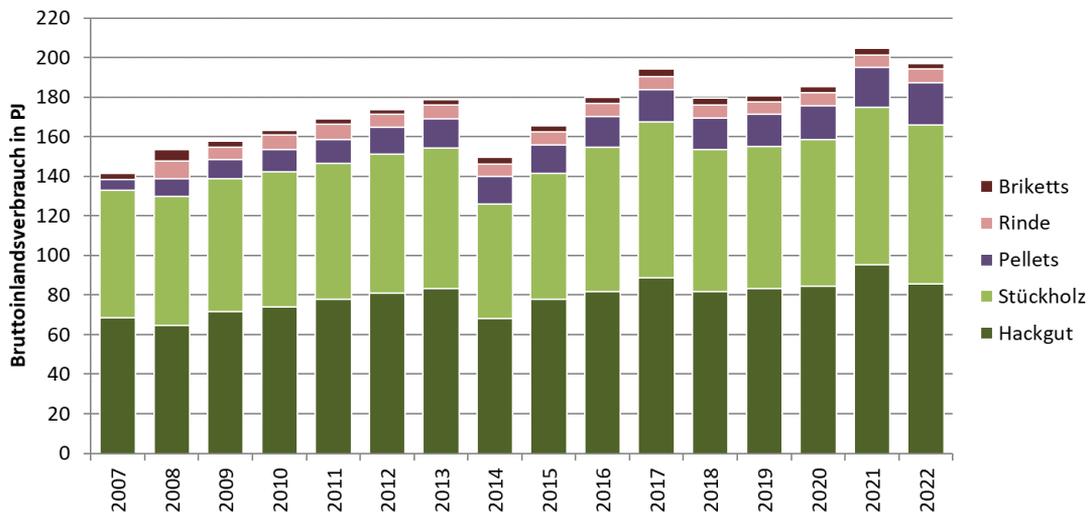


Abbildung 3: Verbrauch fester Biobrennstoffe in Österreich von 2007 bis 2022. Quelle: BEST 2023 in Biermayr et al. 2023.

In den folgenden Abbildungen (Abbildung 4 - Abbildung 6) werden die Kennzahlen „Energieertrag“, „Branchenumsatz“ und „Beschäftigung“ von fester Biomasse sowie andere erneuerbarer Technolo-

gien – Photovoltaik, Solarthermie, Wärmepumpe und Windkraft – dargestellt. Diese Kennzahlen unterstreichen die Bedeutung der Bioenergietechnologien für Österreichs Energie- und Wirtschaftssystem. Durch die Wirtschaftstätigkeit im Biomassekessel- und -ofenmarkt konnte 2022 ein Umsatz von 2.660 Mio. Euro von inländischen Unternehmen erwirtschaftet werden. Davon entfallen auf die Biomasseöfen und -herde 160 Mio. € und auf die Biomassekessel 2.500 Mio. €. Dies entspricht einem Beschäftigungseffekt von 9.366 Arbeitsplätzen. Davon können 577 Arbeitsplätze der Produktion und dem Handel von Öfen und Herden und 8.789 Arbeitsplätze der Biomassekesselbranche zugeordnet werden. Die Biobrennstoffbranche konnte 2022 einen Gesamtumsatz von 2,273 Mrd. € erwirtschaften. Dies entspricht einem Beschäftigungseffekt von 18.759 Vollzeit Arbeitsplätzen (Biermayr et al., 2023).

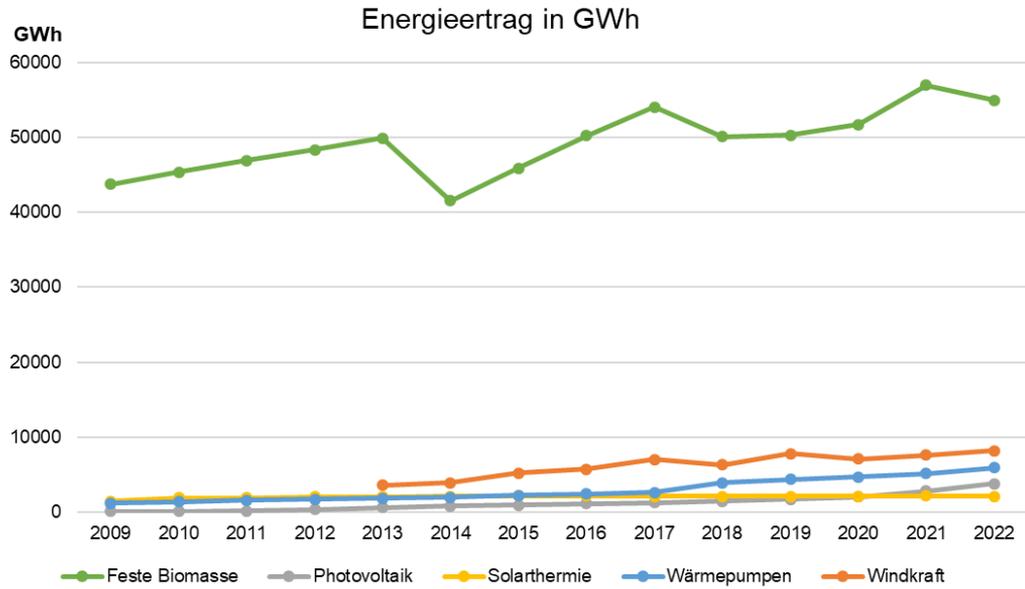


Abbildung 4: Jährlicher Energieertrag erneuerbarer Energietechnologien von 2009 bis 2022 in GWh (Daten für Windkraft erst ab 2013 verfügbar). Quelle: BEST 2023, Daten: Biermayr et al. 2010- 2023

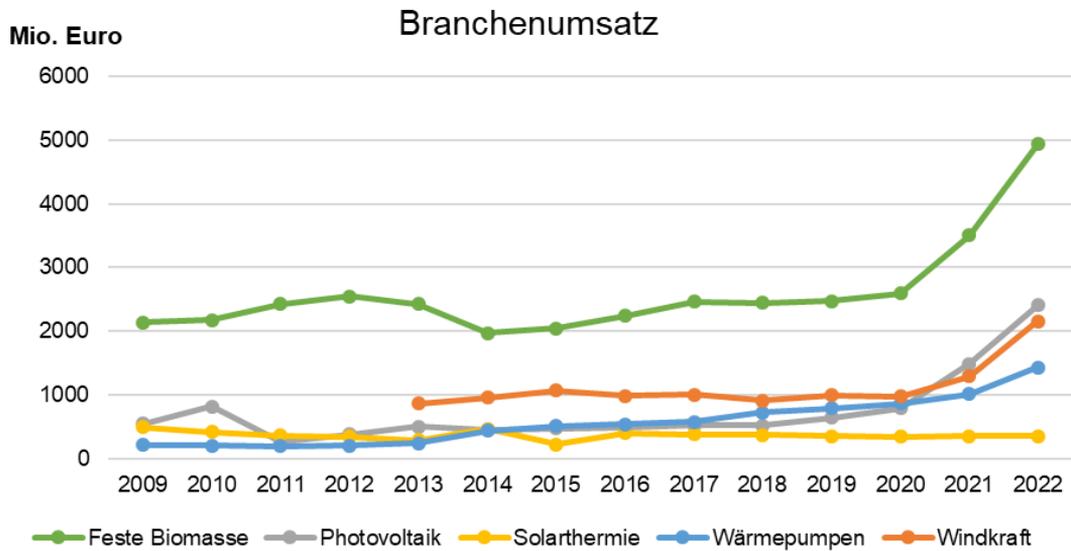


Abbildung 5: Jährlicher Branchenumsatz erneuerbarer Energietechnologien von 2009 bis 2022 in Millionen Euro (Daten für Windkraft erst ab 2013 verfügbar). Quelle: BEST 2023, Daten: Biermayr et al. 2010- 2023

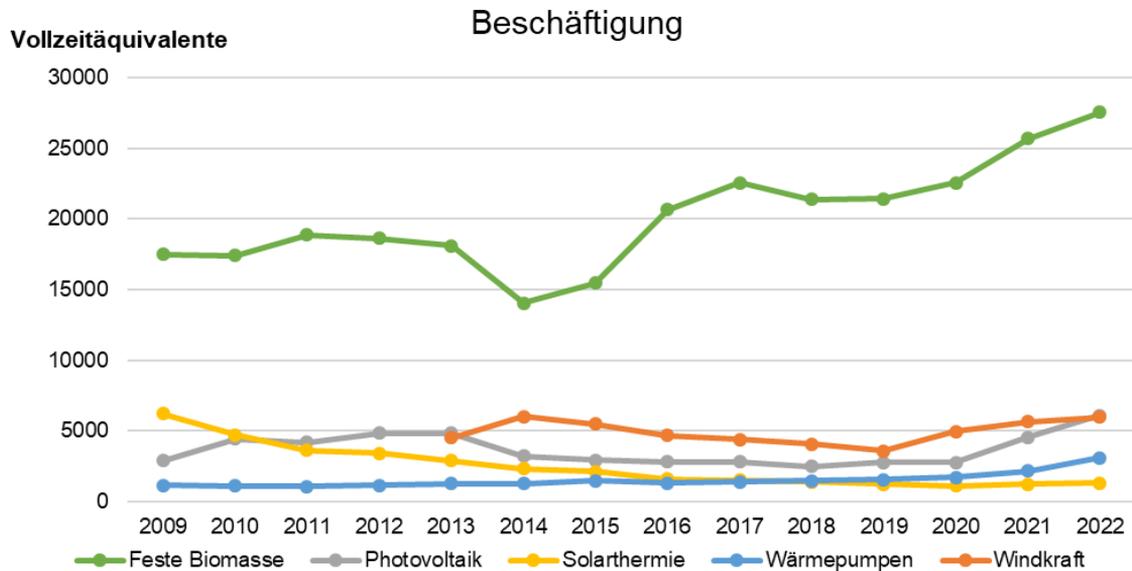


Abbildung 6: Beschäftigungszahlen erneuerbarer Energietechnologien von 2009 bis 2022 in Vollzeitäquivalente (Daten für Windkraft erst ab 2013 verfügbar). Quelle: BEST 2023, Daten: Biermayr et al. 2010- 2023

4.2 Biogas

In Biogasanlagen werden die Einsatzstoffe/Substrate mikrobiologisch in Biogas umgewandelt, das vor Ort für Wärmezwecke oder zur kombinierten Strom- und Wärmeerzeugung (KWK) genutzt werden kann. Alternativ kann das Biogas zu Biomethan aufbereitet werden. Bei diesem Verfahren wird das Gas von Verunreinigungen gereinigt und das Kohlendioxid entfernt. Als Ergebnis bleibt Biomethan übrig, das ähnliche Eigenschaften wie Erdgas hat. Somit kann Biomethan in die nationalen Gasnetze eingespeist werden und den Anteil des grünen Gases erhöhen.

Folgende Substrate werden derzeit vorwiegend in Biogasanlagen verarbeitet (Kompost & Biogas Verband Österreich, 2018):

- Kohlenstoffhaltige Industrieabwässer
- Klärschlamm
- Gülle sowie andere Nebenprodukte der Landwirtschaft wie z.B. Stroh
- Organische Abfälle
- Nachwachsende Rohstoffe (z.B. Maisganzpflanze)

Im Bereich der Verarbeitung von Klärschlamm und kohlenstoffhaltiger Abwässer handelt es sich um jeweils spezialisierte Verfahren, wobei sich gerade Klärschlammbehandlungsanlagen in den vergangenen Jahren in Richtung Behandlung organischer Abfälle entwickelt haben. Zudem gibt es aktuell intensive Anstrengungen im Bereich der Entwicklung kleiner Wirtschaftsdüngermonovergärungsanlagen (~ 100 GVE¹). Auch die nachwachsenden Rohstoffe werden in Zukunft eine wesentliche Rolle in der Biogastechnik haben. Allerdings werden die Rohstoffe Großteils zuerst für andere Produktionen (z.B. zur Stärkeproduktion) zum Einsatz kommen, um daraus den notwendigen Ertrag zu erzielen. Die Biogastechnik wird wiederum als ideale Ergänzung durch die Verwertung der anfallenden Nebenprodukte/Abfälle und dem Recycling der Nährstoffe sowie zur Energieproduktion gesehen (Kompost & Biogas Verband Österreich, 2018).

Bedingt durch das Ökostromgesetz 2002 hat es in Österreich einen erheblichen Zuwachs an Biogasanlagen gegeben. Eine neu eingeführte Stromvergütung ermöglicht es seitdem nachwachsende Rohstoffe (NAWARO) als Gärmaterial einzusetzen, die auf ihre Masse bezogen besonders hohe Gasausbeuten ermöglichen. Ebenso erfolgte in dieser Phase eine wesentliche Leistungssteigerung der Anlagen (von durchschnittlich 30 kW_{el} auf 250 kW_{el}.) (Kompost & Biogas Verband Österreich). Abbildung 7 zeigt die mit Stand Herbst 2022 in Betrieb befindenden Biogasanlagen in Österreich.

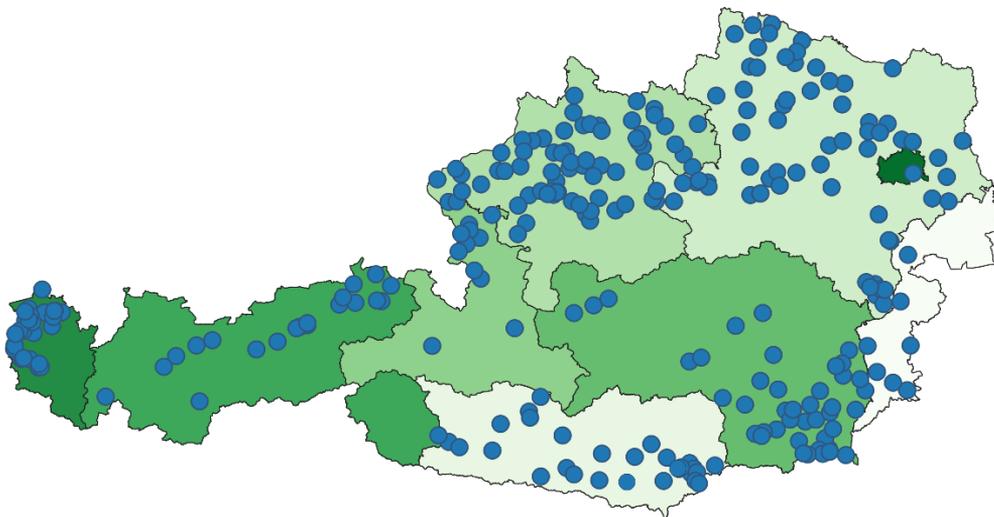


Abbildung 7: Überblick Biogasanlagen in Österreich, Status 2022. Quelle: BEST 2023

Derzeit gibt es in Österreich 14 Anlagen, die Biomethan ins Erdgasnetz einspeisen (Höchststand waren im Jahr 2019 15 Anlagen, 2020 wurde eine wieder außer Betrieb genommen). Im Jahr 2022

¹ GVE=Großvieheinheiten

wurden 136,99 GWh Biomethan ins Erdgasnetz eingespeist. Der Höchststand an eingespeistem Biomethan wurde 2018 mit 171 GWh erreicht.

4.3 Biotreibstoffe

Nach der Österreichischen Kraftstoffverordnung 2012 bestand in Österreich für das Jahr 2021 die Verpflichtung, zumindest einen Anteil von 3,4 % der in den Verkehr gebrachten fossilen Ottokraftstoffe und zumindest 6,3 % der fossilen Diesellokraftstoffe bezogen auf den Energiegehalt durch erneuerbare Energie zu substituieren. Im Jahr 2021 wurden in Österreich insgesamt 5,84 % der fossilen Kraftstoffe durch biogene Kraftstoffe substituiert, was eine leichte Abnahme im Vergleich zum Vorjahr bedeutet. Im Vergleich zu 2020 gab es 2021 eine Steigerung bei der Menge der in Verkehr gebrachten Kraftstoffen von insgesamt rund 4,1 % (+4 % bei Diesellokraftstoffen +5,4 % bei Ottokraftstoffen, -27 % bei Biodiesel in Reinverwendung - B100). Die in Verkehr gebrachte Menge an Kraftstoffen lag insgesamt noch 9,1 % unter der Menge des Jahres 2019, also vor der Covid-19-Pandemie (BMK, 2023a).

In Summe wurden rund 431.000 Tonnen Biodiesel, rund 12.000 Tonnen Hydriertes Pflanzenöl (HVO) und rund 76.000 Tonnen Bioethanol in Verkehr gebracht. Die Menge an so genannten fortschrittlichen biogenen Kraftstoffen, die im Wesentlichen aus Abfällen und Reststoffen hergestellt werden, hat sich im Vergleich zum Vorjahr mit rd. 10.400 Tonnen in etwa verdreifacht (BMK, 2023a).

Laut dem Bericht „Erneuerbare Kraftstoffe und Energieträger im Verkehrssektor in Österreich 2022“ (BMK, 2023a) wurden folgende fünf Biokraftstoffsorten im Jahr 2022 auf den österreichischen Markt gebracht:

Biodiesel ist mit 86,0 % (energetisch) der mit Abstand bedeutendste Biokraftstoff in Österreich. Dies ist vor allem auf das Verhältnis des Absatzes von Diesel zu Benzin von etwa 4:1 zurückzuführen. Weitere Faktoren, wie eine relativ hohe Energiedichte – und ein damit vergleichsweise hoher Substitutionsbeitrag – und die Möglichkeit bis zu 7 Volumenprozent (Vol.-%) beizumengen, begünstigen den Gesamtabsatz von Biodiesel zusätzlich. Zudem kann Biodiesel z. B. in Frachterflotten als Reinkraftstoff eingesetzt werden.

Bioethanol wurde den Benzinkraftstoffen bis 2023 im Ausmaß von maximal 5 Vol.-% beigemischt, seit 2023 sind es bereits 10 % in Österreich. Darunter fallen auch jene Mengen, welche den Benzinkraftstoffen in Form von Bio-ETBE² (37 %-iger Bioanteil von ETBE, energetisch) zugegeben werden.

² ETBE (Ethyl-tertiär-butylether) ist eine Beimischungskomponente für Benzin, hergestellt aus Bioethanol und aus Isobuten, welches aus Erdgas gewonnen wird.

Etwa 11,1 % aller Biokraftstoffe, die 2021 in Verkehr gebracht wurden, waren Bioethanol (8,7 %) bzw. in ETBE (2,4 %) enthaltenes Bioethanol.

Hydrierte Pflanzenöle (Hydrotreated Vegetable Oil, HVO) werden vor allem dem handelsüblichen Dieselmotorkraftstoff in relativ geringen Mengen beigemischt. Die direkte Verwendung in Flotten (Reinverwendung bzw. höhere Beimischung) findet seit Mitte 2016 faktisch nicht mehr statt (0,27 %). Der energetische Beitrag von HVO zur Gesamtabatzmenge biogener Kraftstoffe belief sich 2021 auf etwa 2,8 %.

Pflanzenöl wird in Österreich derzeit in geringen Mengen in der Landwirtschaft eingesetzt. Es fällt unter eine Ausnahmeregelung und wird daher in der *e/Na*-Datenbank³ nicht erfasst (Selbstversorger: innen, KVO § 2, Z 34), gilt aber trotzdem als „nachhaltig“. Dieser Kraftstoff kann in entsprechend adaptierten Fahrzeugen auch im Straßengüterverkehr im Bereich von geschlossenen Flotten eingesetzt werden. Zusätzlich wurden im Berichtsjahr geringe Mengen an Pflanzenölkraftstoff mittels *e/Na* erfasst – in Summe belief sich der Beitrag gemessen am Energiegehalt auf weniger als 0,03 %.

Biogas wird seit 2020 auch in der *e/Na* Datenbank erfasst (aktuell von drei Produktionsanlagen). Von den in das Erdgasnetz eingespeisten Biomethanmengen, welche über die Datenbank der AGCS (Austrian Gas Clearing and Settlement AG) abgewickelt und verfolgt werden⁴, wurden 2021 noch keine Mengen in den Verkehrssektor abgegeben, d.h. es erfolgte noch kein Transfer der entsprechenden Nachweise.

4.4 Marktakteure

Wesentliche Akteure und treibende Kräfte der Bioenergiebranche sind Bund und Länder. Folgende Punkte können in Zukunft eine besonders diffusionsfördernde Wirkung entfalten:

- Einsatz erneuerbarer Energieträger in der öffentlichen Bauwirtschaft
- Phase out für Öl, Kohle und Gas in der Raumwärme
- Ziel, die Stromversorgung bis 2030 auf 100 % Ökostrom bzw. Strom aus erneuerbaren Energieträgern umzustellen – dies beinhaltet auch den Ausbau bei Biomasse von 1 TWh
- Förderung Grünes Gas

³ Elektronische Nachhaltigkeitsnachweis, siehe: <https://www.umweltbundesamt.at/elna>

⁴ 2022 speisten 14 Anlagen insgesamt 136,99 GWh Biomethan in das Erdgasnetz ein.

Die entsprechende Umsetzung mit entstehenden Gesetzen und Fördermaßnahmen werden den Markt positiv beeinflussen. Weitere Akteure der Bioenergiebranche sind:

- Verbände (Österreichischer Biomasseverband, Kompost & Biogas Verband Österreich, pro-Pellets Austria, IG Holzkraft, Kachelofenverband)
- Der Österreichische Klima- und Energiefonds
- Das Klima aktiv Programm
- Arbeitsgruppe Biomasse im Verein österreichischer Kesselhersteller (VÖK)
- Interessensvertretungen (Landwirtschaftskammer auf Bundes- und Landesebene)
- Medien, Umweltorganisationen

Wesentliche Akteure hinsichtlich der Bioenergiebereitstellung sind neben den Rohstofflieferanten (Wald- und Forstwirtschaft, Holzindustrie, Abfallbehandler etc.) die Energieversorger, Netzbetreiber und Installateure. Zudem tragen Forschungs- und Forschungsförderungsinstitutionen sowie innovative Unternehmen, die entsprechende Modelle implementieren und erproben, maßgeblich zu einer Marktdiffusion bei. Förderlich ist auch die international gute Vernetzung von Österreich in der Bioenergiebranche, z.B. in „Bioenergy Europe (www.bioenergeurope.org), im „European Pellet Council“, in den europäischen Technologieplattformen „Renewable Heating and Cooling“ (www.rhc-platform.org) und „ETIP Bioenergy“ (www.etipbioenergy.eu), oder „IEA Bioenergy“ (www.ieabioenergy.com) sowie die „World Bioenergy Association“ (www.worldbioenergy.org).

Stark verbunden mit der Produktion von Bioenergie – wenn auch abzielend auf eine überwiegend stoffliche Nutzung der Produkte – ist die Produktion von Biokohle bzw. ganz allgemein biogene Kohlenstoffprodukten. Auf Europäischer Ebene haben sich 2019 verschiedene Stakeholder aus diesem Bereich im Rahmen des European Biochar Industry Consortium (www.biochar-industry.com) zusammengeschlossen, in dem auch österreichische Firmen tonangebend vertreten sind. Zudem gibt es auf nationaler Ebene den österreichischen Verein für Biomasse-Karbonisierung (ÖBIKA, <https://oebika.com>).

5 Entwicklung der Energienachfrage und Energiepolitische Ziele

Laut Energiebilanz der Statistik Austria (2023a) stieg der energetische Endverbrauch in Österreich im Jahr 2021 gegenüber dem Vorjahr um 6 % auf 1.123 PJ und lag damit nur noch rund 1 % unter dem Niveau des Vorkrisenjahres 2019 (Abbildung 8).

Auf der Ebene der Wirtschaftssektoren stieg der energetische Endverbrauch - in erster Linie infolge der konjunkturellen Entwicklung - im produzierenden Bereich (Industrie) um etwa 5 % auf 319 PJ und bei den Dienstleistungen um etwa 7 % auf 109 PJ. Das dadurch bedingte höhere Verkehrsaufkommen hatte eine Steigerung des Energieeinsatzes im Straßenverkehr um 3 % auf insgesamt 292 PJ zur Folge. Der Energieeinsatz im Flugverkehr stieg 2021 um 25 % auf 18 PJ. Der Verbrauch der privaten Haushalte stieg um etwa 10 % auf 321 PJ. Hier wurde aufgrund der kälteren Witterung vor allem für Heizzwecke mehr Energie eingesetzt: Die im Vorjahresvergleich österreichweit um 12 % höheren Heizgradsummen haben 2021 einen höheren Heizenergieeinsatz notwendig gemacht (Statistik Austria, 2023a).

Über alle Wirtschaftssektoren gesehen, hatten im Jahr 2021 die Erdölprodukte mit 35 % den größten Anteil am energetischen Endverbrauch, gefolgt von elektrischer Energie (21 %), Gas (18 %) und den erneuerbaren Energieträgern (17 %) (Statistik Austria, 2023a). Die vorläufige Energiebilanz für 2022 der Statistik Austria zeigt einen Bruttoinlandsverbrauch von 1.355 PJ und einen energetischen Endverbrauch von 1.059 PJ.

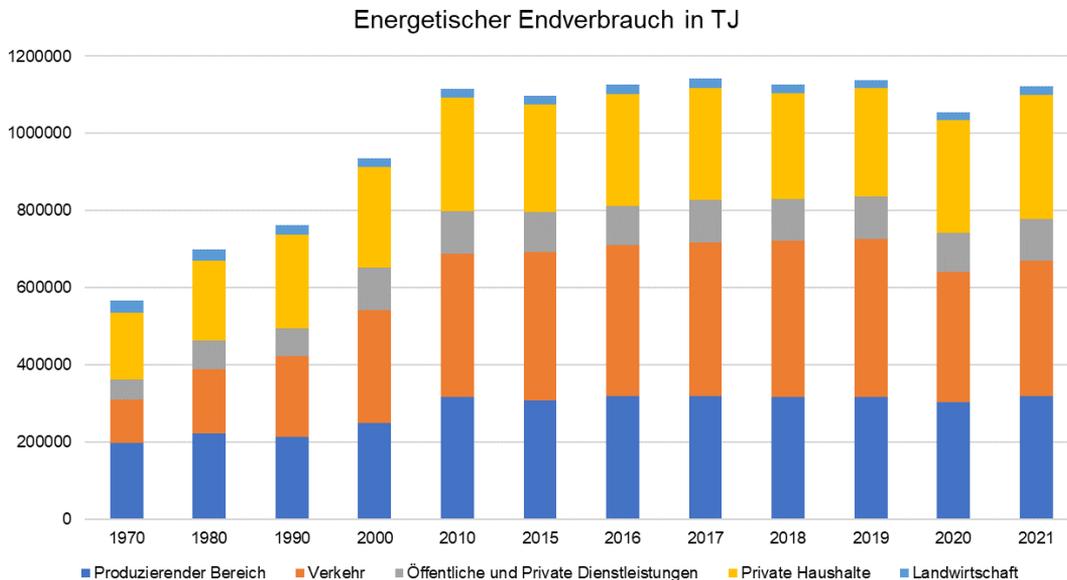


Abbildung 8: Energetischer Endverbrauch in Österreich im Zeitverlauf in Terajoule (TJ). Quelle: Statistik Austria, 2023a

Etwa 80 % der in Österreich energetisch genutzten Biomasse werden zur Bereitstellung von Raum- und Prozesswärme eingesetzt. Dies spiegelt sich auch in der Anzahl der installierten Kessel wider. Von 1980 bis 2022 wurden 86.890 Hackgutfeuerungen bis 100 kW_{th} mit einer Gesamtleistung von über 3.992 MW_{th} erfasst. Die seit 2001 erfassten typengeprüften Stückholzkessel ergeben bis 2022 eine Zahl von 103.234 Stück mit einer Gesamtleistung von 2.873 MW_{th}. Pelletkessel wurden von 1997 bis 2022 mit 187.469 Stück und rund 3.818 MW_{th} Gesamtleistung erhoben. Seit 2015 wurden insgesamt 9.089 Stückholz-Pellet Kombikessel mit einer Gesamtleistung von rund 224 MW_{th} installiert. Im Zeitraum 1980 bis 2022 wurden auf dem österreichischen Inlandsmarkt insgesamt 13.906 Biomassefeuerungen mittlerer Leistung (101 bis 1000 kW_{th}) mit einer Gesamtleistung von 3.844 MW_{th} abgesetzt. Im gleichen Zeitraum wurden 1.345 Großanlagen über 1 MW Nennwärmeleistung mit einer Gesamtleistung von 3.703 MW_{th} verkauft. Insgesamt konnten im Zeitraum von 1980 bis 2022 in Österreich somit 15.251 Anlagen über 100 kW Nennwärmeleistung mit einer Gesamtleistung von 7.547 MW_{th} installiert werden (Biermayr et al., 2023).

In einer langfristigen Perspektive wird die Bereitstellung von Raumwärme durch feste Biomasse allerdings an Relevanz verlieren. Einflussfaktoren hierfür sind z.B. die thermische Verbesserung des Gebäudebestands, der Umstieg auf strombasierte Heizsysteme (z.B. Wärmepumpen oder Stromdirektheizungen), Verunsicherungen im Zusammenhang mit steigenden Biomassepreisen, der Klimawandel sowie die damit verbundene Reduktion der Heizgradtage. Als ein großes Hemmnis werden zudem die Überprüfungen, Zulassungen und strenger werdenden Förderrichtlinien auf internationalen Märkten wahrgenommen. Für Raumheizgeräte (Öfen) ist diese Prognose nur bedingt zutreffend, da hier Aspekte wie Design/Optik, Wohlbefinden und das Sicherheitsgefühl durch ein „Backup“ System wesentlich für die Kaufentscheidung sind. Gleichzeitig bietet aber die Prozesswärme ein

enormes Potenzial, da diese heute meist über fossile Energieträger bereitgestellt wird und die nötigen Temperaturniveaus durch andere erneuerbare Wärmetechnologien schwierig erreicht werden können. Hier liegt somit ein großes Zukunftspotential im Hinblick auf die Dekarbonisierung der Industrie. Welche Umwandlungswege bzw. Zwischenschritte (z.B. Grünes Gas) hier beschriftet werden, hängt maßgeblich von den jeweiligen Anwendungen und deren Anforderungen ab. Die aktuelle Situation auf den Energiemärkten und der damit verbundene ökonomische und politische Druck auf einen schnellen Ausstieg aus Erdgas beschleunigen aktuell die Entwicklung von Prozesswärme-Lösungen durch Bioenergie zusätzlich. Der zu erwartende Anstieg des Biomassebedarfs muss dabei in den strategischen Planungen entsprechend berücksichtigt werden.

Die Stromerzeugung und kombinierte Strom- und Wärmeerzeugung (KWK) aus Biomasse bildet ein bedeutendes Standbein der Bioenergienutzung. In etwa 150 Kraftwerken und KWK-Anlagen auf Basis fester Biomasse, rund 280 Biogasanlagen sowie der Laugenverbrennung in KWK-Anlagen der Papierindustrie werden mehr als 6 % des österreichischen Stromaufkommens produziert. Knapp die Hälfte der Biomasse-Fernwärmeerzeugung basiert auf KWK-Anlagen. Insgesamt stellen Biomasse-KWK-Anlagen 20 % der in Österreich erzeugten Fernwärme bereit (Österreichs Energie, 2023).

Einen wesentlichen Einfluss auf die zukünftige Nachfragentwicklung nach Bioenergie-technologien und deren Produkten haben energiepolitische Regelungen und Zielsetzungen auf nationaler und internationaler Ebene.

Das internationale Übereinkommen von Paris (auch Pariser Abkommen genannt) ist im Jahr 2016 in Kraft getreten bildet das erste rechtsverbindliche Vertragswerk zur Bekämpfung der Klimakrise mit Verpflichtungen für alle Staaten. Hier wurde erstmals festgelegt, dass die langfristige Temperaturerhöhung 2°C nicht überschreiten darf und Bemühungen vorgenommen werden sollen, um diese auf 1,5°C zu beschränken. Weiters zielt das Abkommen darauf ab, Länder zu unterstützen, mit den Auswirkungen des Klimawandels fertig zu werden und die Transformation des Energiesystems umzusetzen.

Die wesentliche rechtliche Grundlage der EU zur Förderung erneuerbarer Energie ist die **Renewable Energy Directive** (aktuell in ihrer zweiten Fassung, **RED II – siehe auch Kapitel 4.1**)⁵. Diese legt einen Rahmen auf EU Ebene fest, der in nationalen Gesetzen der Mitgliedstaaten umgesetzt werden muss. Im März 2023 haben sich die Europäische Kommission, das Europäische Parlament und der Europäische Rat nach fast zwei Jahren Verhandlungen auf eine erneute Änderung der Renewable Energy Directive, die RED III, geeinigt. Der finale Beschluss der überarbeiteten Richtlinie fehlt allerdings noch. Um dem Green Deal entsprechend die Klimaneutralität Europas bis 2050 zu erreichen, wurden die Zielsetzungen der RED II angepasst. Das europäische Ziel für erneuerbare Energien wird damit

⁵ Überarbeitung der RICHTLINIE (EU) 2018/2001 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 11. Dezember 2018 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (Neufassung)

von 32,5 % auf mind. 42,5 % bzw. 45 % bis 2030 angehoben, mit verbindlichen Zielen für die einzelnen Sektoren. Zusätzlich werden durch die Anpassungen der RED auch auf europäischer Ebene Genehmigungsverfahren deutlich und dauerhaft beschleunigt.

In Österreich erfolgte die Umsetzung u.a. im **Erneuerbaren-Ausbau-Gesetz (EAG)**⁶. Dieses legt eine Klimaneutralität Österreichs bis 2040 fest. Das Gesetz soll u.a. die „Erzeugung von Strom und Gas aus erneuerbaren Quellen gemäß den Grundsätzen des Unionsrechts [...] fördern; die Marktintegration und die Systemverantwortung von erneuerbaren Energien [...] steigern; die Investitionssicherheit für bestehende und zukünftige Anlagen zur Erzeugung von erneuerbarem Gas [...] gewährleisten“. Festgelegte Ziele sind:

- den Anteil von national produziertem erneuerbarem Gas am österreichischen Gasabsatz bis 2030 auf 5 TWh zu erhöhen;
- den Zusammenschluss von Bürgerinnen und Bürgern mit lokalen Behörden, kleinen und mittleren Unternehmen zu Erneuerbare-Energie-Gemeinschaften zu ermöglichen und die gemeinsame Nutzung der in der Gemeinschaft produzierten Energie zu fördern;
- die Errichtung und Modernisierung der erforderlichen Infrastruktur durch integrierte Planung zu unterstützen;
- die jährliche Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen bis zum Jahr 2030 mengenwirksam um 27 TWh zu steigern; diese soll folgendermaßen aufgeteilt werden: 11 TWh Photovoltaik, 10 TWh Wind, 5 TWh Wasserkraft, 1 TWh Biomasse

Zudem wurden im Regierungsprogramm 2020-2024 (Entwurf Erneuerbare-Wärme Gesetz, EWG⁷) und im Erneuerbaren-Ausbau-Gesetz energiepolitische Ziele formuliert, deren Erreichung auch an den Einsatz von Biomassebrennstoffen gekoppelt ist. Zu diesen Zielen zählen u.a.:

- Phase-out von Öl und Kohle im Gebäudesektor
- Ausbaustopp für Gasleitungen zur Wärmeversorgung (Ausnahme Nachverdichtung)
- Ab 2025 keine Gaskessel im Neubau und auch keine Neuanschlüsse
- Förderung für erneuerbare Großanlagen und Geothermie in Fernwärmenetzen für die Anhebung des durchschnittlichen erneuerbaren Anteils in der Fernwärme um mindestens 1,5 % pro Jahr

⁶ Bundesgesetz über den Ausbau von Energie aus erneuerbaren Quellen (Erneuerbaren-Ausbau-Gesetz – EAG) StF: BGBl. I Nr. 150/2021

⁷ Erneuerbare-Wärme-Gesetz – EWG (212/ME) | Parlament Österreich

- 100 % erneuerbarer Strom bis 2030 (national bilanziell), klarer Zielpfad zum Ausbau von 27 TWh Erneuerbaren Strom (davon 1 TWh Biomasse)

Am 15. Februar 2023 hat die Bundesregierung das Erneuerbare-Gase-Gesetz (EGG)⁸ in Begutachtung geschickt. In diesem Entwurf sind bezüglich grünen Gases ambitioniertere und konkretere Ziele festgelegt als im EAG. Die wesentlichen Ziele sind den Absatz von erneuerbaren Gasen am österreichischen Gasmarkt bis 2030 auf 7,5 TWh zu erhöhen und bis 2040 eine Versorgung mit erneuerbarem Gas sicherzustellen (Anm.: die derzeitige Einspeisung liegt bei etwa 0,14 TWh). Gasversorger werden verpflichtet, festgelegte Anteile der verkauften Gasmengen durch erneuerbare Gase zu substituieren. Diese sind folgendermaßen gestaltet:

2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
0,7 %	1,05 %	1,75 %	2,8 %	4,2 %	5,95 %	7,7 % jedoch insgesamt mind. 7,5 TWh

Wenn diese Quoten von einem Versorger nicht erfüllt werden, muss dieser die Fehlmengen im darauffolgenden Jahr ausgleichen. Die Quoten für den Zeitraum 2031-2040 werden per Verordnung festgelegt, sodass bis 2040 zumindest 15 TWh Erdgas durch grünes Gas substituiert werden. Gasversorger müssten entsprechend dem Entwurf der Regulierungsbehörde (e-Control) die jeweiligen Grün-Gas-Quoten mittels Herkunftsnachweisen belegen. Außerdem sollen Biomethananlagen Betreiber den Anspruch auf eine garantierte Abnahme für ein Jahr haben. Sollte ein Gasversorger die Grün-Gas-Quote nicht erfüllen, soll ab 2025 ein Ausgleichsbetrag per Bescheid festgelegt werden. Dieser soll zunächst 18 ct/kWh betragen und ab 2027 auf 20 ct/kWh erhöht werden.

Zusätzlich werden die Maßnahmen, die basierend auf der Bioökonomie Strategie, der Kreislaufwirtschaftsstrategie und der Wasserstoffstrategie gesetzt werden, einen Einfluss auf die zukünftige Nachfrage nach biogenen Rohstoffen und Energieträgern haben. Die genannten Strategien werden im Folgenden kurz näher betrachtet.

5.1 Bioökonomie Strategie 2019

Die österreichische Bioökonomiestrategie wurde am 13. März 2019 im Ministerrat beschlossen. Diese Strategie soll den Rahmen bilden, um fossile weitgehend durch erneuerbare Ressourcen zu substituieren (Rohstoffe sowie Energiequellen). Potenzielle Rohstoffe dafür stammen aus der Land-

⁸ Bundesgesetz über die Einführung einer Versorgerverpflichtung für Gas aus erneuerbaren Quellen (Erneuerbare-Gase-Gesetz – EGG)

und Forstwirtschaft, dem Wassermanagement sowie der Abfallwirtschaft. Nutzungspfade beinhalten Nahrung und Futter, Chemikalien, Materialien und Energie. Der Fokus liegt besonders auf der Nutzung von Reststoffen, Nebenprodukten und Abfall, aber auch auf der Nutzung neuer Rohstoffe wie Algen. Zudem soll die Effizienz auf allen Stufen der Wertschöpfungskette erhöht werden. Übergeordnete Ziele der Strategie sind, die gesetzten Klimaziele zu erreichen, die Abhängigkeit von nicht erneuerbaren Ressourcen zu reduzieren, Innovation sowie die wirtschaftliche Entwicklung voranzutreiben, Arbeitsplätze zu schaffen und zu sichern und letztendlich eine nachhaltige soziale Transformation anzutreiben.

Eine weitgehende Substitution fossiler Rohstoffe kann allerdings nur erfolgen, wenn der Verbrauch insgesamt reduziert wird. Im Konsum gelten daher die Grundsätze Suffizienz, Effizienz und Konsistenz (Kreislaufwirtschaft). Voraussetzungen sind marktreife Konversionstechnologien sowie integrierte Konzepte für stoffliche sowie energetische Nutzungspfade. Im Folgenden sind die wichtigsten Handlungsfelder im Bereich der Konversionsprozesse genannt.

- (1) **Bioraffinerien:** Diese sollen wichtigen Bestandteil der Bioökonomie bilden und bezeichnen Konzepte, denen zufolge aus verschiedenen Rohstoffen eine Vielzahl an Produkten erzeugt wird. Dabei soll der größtmögliche Nutzen aus Neben- und Koppelprodukten bestehender Industrien geschöpft werden.
- (2) **Aufschließung und Weiterverarbeitung:** Existierende Technologien sollen für die Biomasse Konversion (physikalisch-mechanisch, chemisch, biotechnologisch-enzymatisch, biochemisch, thermochemisch) weiterentwickelt bzw. angepasst und ressourceneffizienter gemacht werden. Eine vielversprechende Option laut Strategie stellt die aerobe Fermentation dar, welche eine Vielzahl an industriellen Produkten bereitstellen kann: Chemikalien, Nahrungsergänzungsmittel, Futter-Additive, landwirtschaftliche und pharmazeutische Vorläufer, technische Enzyme sowie Biotreibstoffe.
- (3) **Anaerobe energetische Verwertung:** Die Biogas Technologie soll optimiert werden und verstärkt auf dem Abfall- bzw. Abwasser-Sektor basieren. Der Fokus soll nicht rein auf dem Energie Output liegen. Vielmehr sollen Konzepte verlinkt werden und die Gärreste als Ausgangsstoffe für weitere Verarbeitungsschritte verwendet werden.
- (4) **Pyrolyse:** Diese bisher nicht etablierte, aber lange beforschte Technologie soll zur Marktreife gebracht werden.
- (5) **Verbrennung:** Österreich ist ein internationaler Vorreiter in Verbrennungstechnologien. Potenzielle Bereiche der Weiterentwicklung sind Feinstaub- und NO_x-Emissionen sowie Ascherecycling bzw. -verwertung. Deren Ausbringung in Land- und Forstwirtschaft muss begleitet sein von einer Analyse der Inhaltsstoffe und Sammlungs- sowie geeigneten Ausbringungssystemen. Im Bereich der Abfallverbrennung soll die Effizienz weiter erhöht werden.

Angestrebte Entwicklungen im Bereich der Konversion sind: Neue Technologien und Prozesse, Nutzungs- und Rückgewinnungskonzepte, neue Ansätze für die Behandlung und Verwertung biogener Rohstoffe insbesondere als Energiespeicher, Industrie 4.0 in bio-basierter Konversion, Konsequenzen für Ressourcensicherheit und Marktauswirkungen untersuchen, Förderungen, Ressourceneffizienz in thermischer Verwertung erhöhen (Wärmerückgewinnungskonzepte), Wertschöpfung durch kaskadische Nutzung erhöhen, Emissionsstandards und räumliche Energieplanung etablieren.

Bioenergie bildet einen wesentlichen Bestandteil der Bioökonomiestrategie, da sie die wichtigste Quelle erneuerbarer Energie in Österreich ist und ein weiterer Anstieg durch das Erneuerbaren-Ausbau-Gesetz erwartet wird. Außerdem hat die Technologieentwicklung eine lange Tradition, wodurch Österreich eine Marktführungsposition einnimmt, viele Patente und Forschungsmärkte und somit auch wichtige Exportmärkte hat. Bioenergie wird auch durch die übergeordneten Ziele gefördert, die erneuerbare Energie zu steigern, das Erneuerbaren-Gebot in der Raumwärme umzusetzen, mittel- und langfristig klare Signale und Anreize für den vorzeitigen Ausstieg aus fossilen Energieträgern sowie attraktive Förderangebote zu schaffen, die Umstellung in öffentlichen Gebäuden zu forcieren und Förderkriterien in Richtung Ressourceneffizienz und kaskadische Nutzung weiterzuentwickeln. Teilbereiche sind feste, flüssige sowie gasförmige Biomasse.

- (1) **Feste Biomasse:** Betrifft die Transformation im Wärmesektor sowie Strom, Holz gilt als wichtigster Rohstoff.
 - Handlungsfelder: Rohstoffbasis ausweiten (Alternativen zu Holz), Anlageneffizienz erhöhen – Betriebskosten senken – kontinuierlichen Betrieb ermöglichen
 - Herausforderungen: Emissionen (Akzeptanz), Änderung der Wärmenachfrage durch Klimawandel und Gebäudesanierung, Effizienz der Wärmenutzung bei KWK Anlagen (v.a. im Sommer), Wettbewerb
- (2) **Flüssige Biomasse – Biokraftstoffe:** Die flüssigen Biokraftstoffe betreffen den Mobilitätssektor. Derzeitiger State-of-the-art ist die Hydrierung von Ölen und Fetten. Es gibt aber auch eine Reihe anderer Prozesse, die derzeit getestet bzw. entwickelt werden, wobei eine zukünftig breite Implementierung erwartet wird. Ein Umstieg in diesem Bereich kann zu einem hohen Grad mit bestehender Infrastruktur und daher ohne große Investitionen erfolgen. Als Nebenprodukte entstehen (bei gewissen Technologien) proteinreiche Futtermittel. Potenzielle Forschungsfelder sind thermo-chemische Prozesse, Direktverflüssigung aus fester Biomasse, Biokraftstoffe aus Algen.
 - Handlungsfelder: mehr Forschung zu Kraftstoffen mind. zweiter Generation, flüssige Biomasse mit hoher Energiedichte als Speichermedium, Beimischungen erhöhen

- Herausforderungen: Bei eventuellem Anstieg in Importen sind verlässliche Informationen über den ökologischen Vorteil erforderlich, transparente Kommunikation wird benötigt, um der food-feed-fuel Debatte entgegenzuwirken
- (3) Gasförmige Biomasse – Biogas & Biomethan:** Gasförmige Bioenergie kann aus einer breiten Palette von Rohstoffen hergestellt werden – Holz, landwirtschaftliche Rohstoffe, organische Abfälle oder Klärschlamm. Im Zuge der „greening the gas“ Strategie wird Biogas in Zukunft eine wichtige Rolle spielen. Es kann einerseits zur Stromproduktion genutzt und andererseits zu Biomethan aufgereinigt und in das Erdgasnetz eingespeist werden.
- Handlungsfelder: Begünstigte Einspeisung von Bioenergie in die Netze, Erschließung neuer Rohstoffe für Biogas, Wahrnehmung von Biogasanlagen als Zwischenstufe in einer Verarbeitungskette
 - Herausforderungen: Rohstoffkonkurrenz, mangelnde Bereitschaft von Rohstoffanbietern, an Biogasanlagen zu liefern

In der Bioökonomiestrategie wurden Handlungsoptionen erarbeitet und anschließend in einem Aktionsplan mit konkreten Maßnahmen ergänzt. Folgende Maßnahmen betreffen insbesondere den Bereich der Bioenergie:

Biobasierte Energieträger für eine CO₂-neutrale Industrieproduktion

Für eine klimaneutrale Produktion ist zu berücksichtigen, dass die stoffliche Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen in Konkurrenz zur energetischen Nutzung steht. Trotz der starken Ausrichtung auf die stoffliche Verwendung der nachwachsenden Rohstoffe hat die Dekarbonisierung der Wirtschaft auch mit der Umstellung des energetischen Bereichs einherzugehen. Daher ist die Sicherstellung von ausreichend biobasierten Energieträgern insbesondere für die Planungssicherheit von Investor*innen notwendig. Biomasse, als hochexergetischer Energieträger, soll langfristig vor allem für Prozesswärme eingesetzt werden.

Ressourceneffizienz bei thermischer Verwertung

Die thermische Verwertung von Biomasse wird oft als eine Nutzung von „Überschüssen“ gesehen. Die letzten Jahre haben jedoch gezeigt, dass sich der Effizienzgedanke verstärkt auch bei der Biomasseverbrennung etabliert. Dies geschieht einerseits wegen der zunehmenden Rohstoffkonkurrenz und andererseits wegen des wirtschaftlichen Ertrags der Biomasseheizwerke. Analog dem klimaaktiv Programm Qualitätsmanagementsystem (QM) Heizwerke, muss zukünftig Ressourceneffizienz bei der thermischen Nutzung von Biomasse verstärkt im Vordergrund ste-

hen. Die Kreislaufwirtschaftsstrategie wird sich diesem im Schwerpunkt „Biomasse“ widmen, wobei die Förderungskriterien anzupassen und ressourcensparende Technologien (z. B. ORC-Prozess [Organic Rankine Cycle], Wärmepumpen, Energiezentralen) zu forcieren sind.

Forcierung des Einsatzes von fortschrittlichen biogenen Kraftstoffen und biogenen Kraftstoffen aus Abfällen und Reststoffen

Das aus klimapolitischer Sicht oberstes Ziel im Verkehrsbereich besteht in der Sicherstellung des Beitrags zur Einsparung von Treibhausgasemissionen durch den Straßenverkehr. Die Steigerung des Ziels zum Einsatz von erneuerbarer Energie bewirkt eine Minderung der Treibhausgasemissionen und leistet somit einen wichtigen Beitrag auf dem Weg zur Dekarbonisierung des Verkehrs. Neben dem möglichst raschen Hochlauf der E-Mobilität können auch biogene Kraftstoffe kurz und mittelfristig einen Beitrag zur Erhöhung des Anteils an erneuerbarer Energie im Verkehr leisten. Dabei gilt es insbesondere sogenannte fortschrittliche biogene Kraftstoffe zu forcieren. Dies wird durch die Vorgabe von Substitutionszielen in der Kraftstoffverordnung umgesetzt.

5.2 Kreislaufwirtschaftsstrategie 2022

Die Kreislaufwirtschaftsstrategie soll das im Regierungsprogramm 2020-2024 verankerte Ziel vorantreiben, „Österreich und Europa als führenden Industriestandort für hochwertige, ressourcenschonende und CO₂-arme Produktion“ zu positionieren. Dadurch ist die Strategie eng verknüpft mit der Bioökonomiestrategie, dem Abfallvermeidungsprogramm, dem Bundesabfallwirtschaftsplan, dem Aktionsplan für öffentliche Beschaffung sowie dem Masterplan Rohstoffe 2030. Die Kreislaufwirtschaftsstrategie soll als zentrales Leitprinzip in allen relevanten Strategien und Programmen verankert werden und im Einklang mit den 17 UN Sustainable Development Goals (SDG) stehen. Grundlage der Kreislaufwirtschaft sind die folgenden zehn R-Grundsätze: (1) Refuse, (2) Rethink, (3) Reduce, (4) Reuse, (5) Repair, (6) Refurbish, (7) Remanufacture, (8) Repurpose, (9) Recycling, (10) Recover

Konkret sind in dieser Strategie quantifizierbare Ziele mit entsprechenden Indikatoren genannt:

1. **Reduktion des Ressourcenverbrauchs:** Der Ressourcen-Fußabdruck soll von 33 Tonnen pro Person und Jahr (2017) auf 7 Tonnen bis 2050 gesenkt werden.
2. **Steigerung der inländischen Ressourcenproduktivität** um 50 % bis 2030
3. **Steigerung der Zirkularitätsrate** auf 18 % bis 2030: 18 % der eingesetzten Materialien sollen aus Rückführung bzw. Wiederverwendung stammen. Dafür wird der Materialeinsatz um 20 % reduziert und das Recycling um 10 % gesteigert.

4. **Reduktion des materiellen Konsums** in privaten Haushalten um 10 % bis 2030. Dieser wird an den Siedlungsabfällen gemessen.

Diese Ziele sollen in sieben sogenannten Transformationsschwerpunkten umgesetzt werden. Diese sind (1) Bauwirtschaft und Infrastruktur (Sektoren mit dem größten Ressourcenverbrauch), (2) Mobilität (Mobilitätsmasterplan 2030), (3) Kunststoffe und Verpackungen, (4) Textilwirtschaft, (5) Elektro- und Elektronikgeräte, Informations- und Kommunikationstechnologien, (6) Biomasse (ressourceneffiziente und kaskadenartige Nutzung), (7) Abfälle und Sekundärressourcen.

5.3 Wasserstoffstrategie

Bisher liegt der Fokus der Wasserstoff Aufbringung auf der Elektrolyse. Andere Produktionsansätze für erneuerbaren Wasserstoff aber auch andere erneuerbare Gase stellen Verfahren auf Basis biogener Rohstoffe dar. Neben den etablierten Vergärungsverfahren zur Produktion von Biomethan bieten verschiedene Verfahren zur thermischen Gaserzeugung von Biomasse ein großes Potential zur Herstellung von erneuerbarem Wasserstoff oder Biomethan. In der „Wasserstoffstrategie für Österreich“, welche vom BMK 2022 veröffentlicht wurde, wird Wasserstoff als „Schlüssel zur Klimaneutralität“ bezeichnet. Als hochwertiger und speicherbarer Energieträger soll Wasserstoff besonders in jenen Bereichen eingesetzt werden, die einen hohen Bedarf an thermischer Energie aufweisen, sowie in Anwendungen, bei denen die Möglichkeiten der Elektrifizierung begrenzt sind. Das betrifft in erster Linie stoffliche und energetische Anwendungen in der energieintensiven Industrie, aber auch Teilbereiche der Mobilität. Power-to-Gas (PtG) Technologien sollen ein koppelndes Element zwischen dem Strom- und Gassektor darstellen, von Maßnahmen zur Flexibilisierung des Energiesystems begleitet werden, ebenso wie durch Digitalisierung, den Ausbau erneuerbarer Energie und der Steigerung der Energieeffizienz.

Laut Österreichischer Energieagentur („Erneuerbares Gas in Österreich 2040“) beträgt der Wasserstoffbedarf der Industrie derzeit ca. 140.000 Tonnen. Eine große Herausforderung in der Substitution durch klimaneutralen Wasserstoff liegt in der ökonomischen Konkurrenzfähigkeit.

6 Klimarelevanz und Nachhaltigkeit der Bioenergie in Österreich

6.1 Treibhausgasemissionen

Biomasse hat die Fähigkeit, Kohlenstoff innerhalb überschaubarer Zeiträume durch Photosynthese zu binden und somit bei der energetischen Nutzung nur so viel CO₂ freizusetzen, wie zuvor gebunden wurde. Somit wird Biomasse als klima- oder CO₂-neutral bezeichnet.

Eine Betrachtung der österreichischen Treibhausgasemissionen zeigt folgende Verteilung: Insgesamt wurden 2021 77,5 Mio. t CO₂-eq ausgestoßen, wovon mit 44 % der Sektor Energie und Industrie den größten Anteil hat. Danach folgt der Sektor Verkehr mit 28 % (Umweltbundesamt, 2023). Für die weitere Verteilung siehe Abbildung 9.

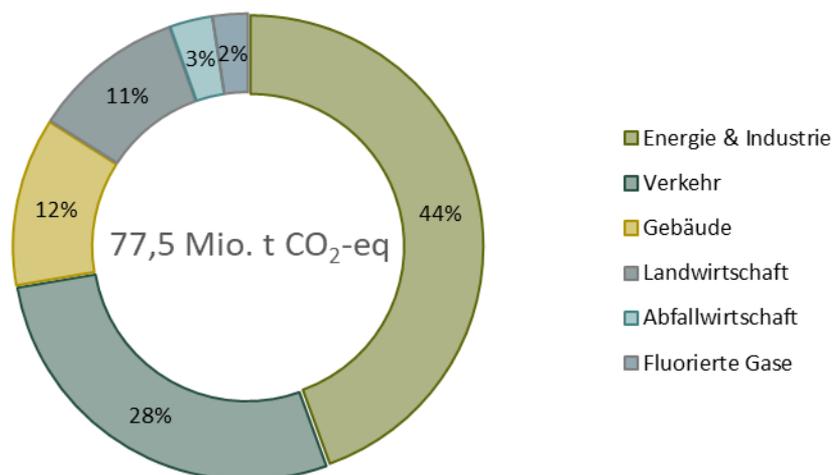


Abbildung 9: Verteilung der Treibhausgasemissionen nach Sektoren in Österreich im Jahr 2021 (Eigene Darstellung nach Umweltbundesamt, 2023)

Theoretisch vermiedene Treibhausgasemissionen können berechnet werden, indem Emissionen aus erneuerbarer Energie und im Speziellen Bioenergie der Energieerzeugung und -nutzung auf Basis fossiler Referenzen gegenübergestellt werden. 2019 konnten 29,6 Mio. t CO₂-eq durch erneuerbare Energie, 1,6 Mio. t CO₂-eq durch Biotreibstoffe und 9,3 Mio. t CO₂-eq durch Holzbrennstoffe, eingespart werden. Letztere verteilen sich auf 8,6 Mio. t CO₂-eq im Sektor Wärme und 0,7 Mio. t CO₂-eq für Strom. Somit können durch Bioenergie ca. 38 % des gesamten Treibhausgasausstoßes eingespart werden (Österreichischer Biomasse-Verband, 2023).

In Abbildung 10 werden die jährlichen CO₂ Einsparungen dargestellt, die alleine durch die Nutzung fester Biomasse (im Vergleich zu den anderen erneuerbaren Energietechnologien) erzielt werden.

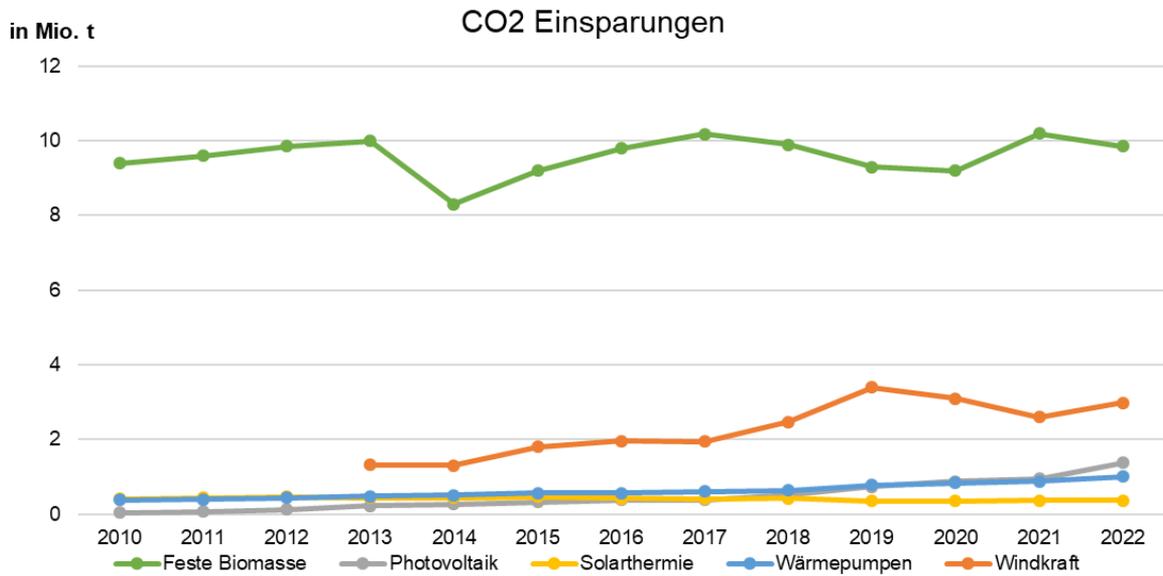


Abbildung 10: Jährliche CO₂ Einsparungen erneuerbarer Energietechnologien von 2010 bis 2022 in Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten (Daten für Windkraft erst ab 2013 verfügbar). Quelle: BEST 2023, Daten: Biermayr et al. 2011- 2023

Ein direkter Vergleich der Treibhausgasemissionen biogener Kraftstoffe zu den fossilen Alternativen ist in Abbildung 11 gegeben. Dabei ist zu sehen, dass biogene Treibstoffe großes Potenzial haben, Treibhausgasemissionen auf weniger als ein Viertel zu senken.

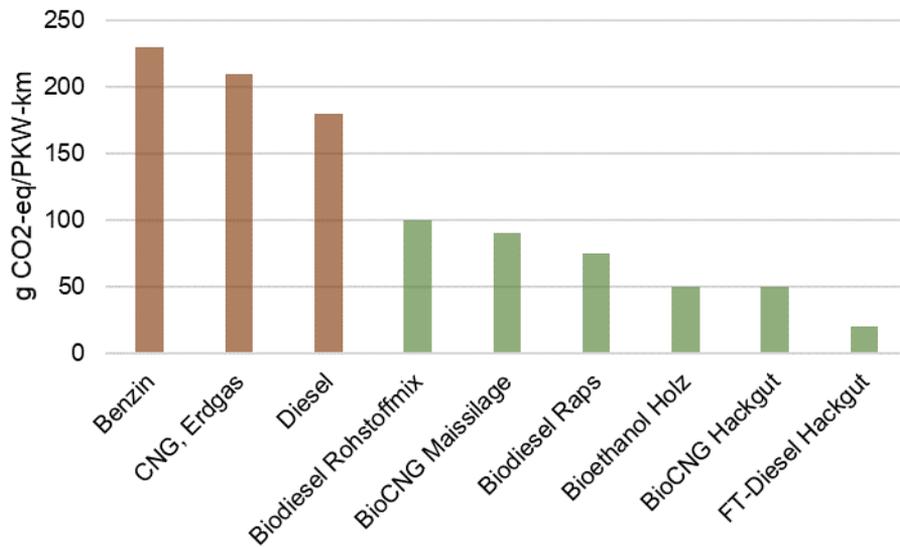


Abbildung 11: Vergleich der Treibhausgasemissionen von fossilen und biogenen Kraftstoffen in Bezug auf einen PKW-km (eigene Darstellung nach Österreichischer Biomasse-Verband, 2023)

Eine Darstellung in Bezug auf eine kWh zeigt Abbildung 12 mit CO₂-Faktoren inkl. Vorkette. An dieser Stelle ist die CO₂-Bepreisung zu erwähnen, die zu Beginn des Jahres (2023) bei 32,5 €/t CO₂eq lag (Österreichischer Biomasse-Verband, 2023). Somit geht mit einer Senkung der Treibhausgasemissionen auch eine Kostensenkung einher.

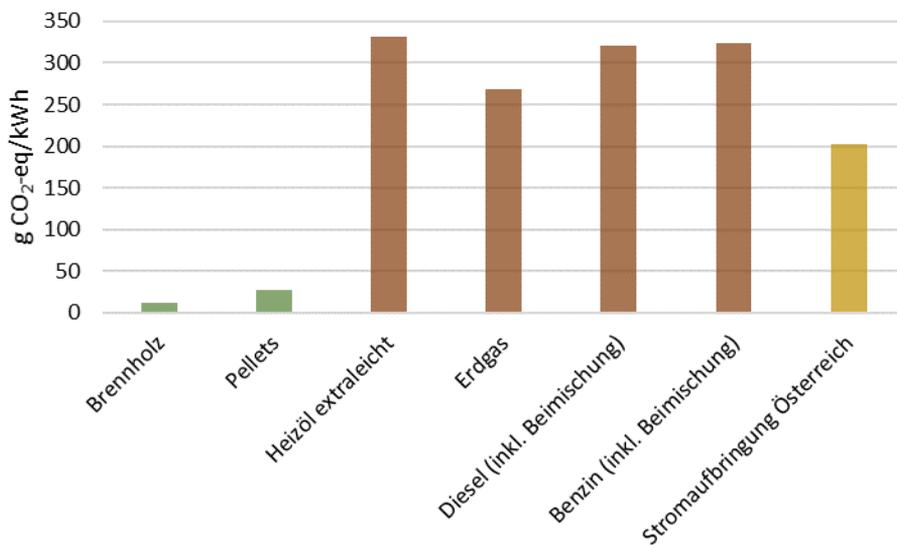


Abbildung 12: CO₂-Faktoren für biogene und fossile Brennstoffe sowie den österreichischen Strommix inkl. Vorketten in g CO₂-eq/kWh (eigene Darstellung nach Umweltbundesamt, 2022)

Grundsätzlich spricht man bei Holz und anderer Biomasse von klima- oder CO₂-neutralen Rohstoffen, da bei der Verbrennung nur so viel CO₂ freigesetzt wird, wie auch während des gesamten Wachstums durch Photosynthese gebunden wird. In Abbildung 12 sind für Brennholz und Pellets

dennoch positive Werte herauszulesen, da hier auch die Vorketten, also Ernte, Verarbeitung, usw. berücksichtigt sind.

Zur Kohlenstoffspeicherung in Biomasse gilt folgende Faustregel: 1 kg gespeicherter Kohlenstoff entspricht ca. 2 kg-atro⁹ Biomasse (ca. 50% C-Gehalt), was wiederum ca. 10 kWh entspricht. Im Folgenden sei ein vereinfachtes Beispiel genannt.

Eine erntereife Fichte mit einer Gesamtmasse von ca. 2 t-atro beinhaltet ca. 1 t C_b (biogener Kohlenstoff), die sich folgendermaßen verteilt: 400 kg C_b bleiben in Form von Wurzelstock, Nadeln und Ästen im Boden, 300 kg C_b sind in den Sortimenten Industrie- und Energieholz und 300 kg C_b im Sägerundholz, davon wiederum 100 kg C_b im Produkt (Schnittholz) sowie 200 kg C_b in Rinde und Sägenebenprodukten (Österreichischer Biomasse-Verband, 2023).

Durch eine Kombination von stofflicher und energetischer Nutzung kann möglichst viel C_f (fossiler Kohlenstoff) ersetzt und C_b langfristig gebunden werden. Ein weiterer Schritt, um die Ökobilanz von Holzprodukten zu verbessern, wäre in der Holzernte und -verarbeitung auf fossile Energie zu verzichten.

6.2 Rechtlicher Rahmen

Den rechtlichen Rahmen für die Beurteilung der Nachhaltigkeit von Bioenergie bildet die Renewable Energy Directive (derzeit REDII), die derzeit noch in der Version von 2018 geltend ist. Am 31.10.2023 wurde die Erneuerbare-Energien-Richtlinie der EU ("Renewable Energy Directive III" bzw. "RED III") im Amtsblatt der EU veröffentlicht. . Erst soll ein Überblick über die aktuell gültige REDII gegeben werden, im Anschluss werden Änderungen in der REDIII und Kritikpunkte erläutert.

Relevante Teile der REDII bezüglich Nachhaltigkeit sind die Folgenden:

In Artikel 29 (Nachhaltigkeitskriterien und Kriterien für THG-Einsparungen für Biokraftstoffe, flüssige Brennstoffe und Biomasse-Brennstoffe) werden Kriterien für Anlagen mit einer Gesamtfeuerungs-wärmeleistung ≥ 20 MW für feste Biomasse-Brennstoffe bzw. ≥ 2 MW für gasförmige Biomasse-Brennstoffe festgelegt. Nur wenn die angeführten Kriterien erfüllt sind, wird eine Anlage für den Beitrag zum Anteil der erneuerbaren Energie (Unionsziel) und für die Möglichkeit der finanziellen Förderung berücksichtigt.

Laut Artikel 30 (Überprüfung der Einhaltung der Nachhaltigkeitskriterien für THG-Einsparungen) soll die Nachvollziehbarkeit der gesamten Biomasse Wertschöpfungsketten durch ein verpflichtendes

⁹ 1 kg-atro entspricht 1 kg absolut trockener Holzmasse

Massenbilanzsystem gewährleistet werden. Somit soll die Nachhaltigkeit auch bei Rohstoff Mischungen transparent und nachvollziehbar sein.

In Artikel 31 (Berechnung des Beitrages von Biokraftstoffen, flüssigen Biobrennstoffen und Biomasse Brennstoffen zum Treibhauseffekt) wird auf die Vorgaben in Anhang V und VI verwiesen. Diese legen die genaue Berechnungsmethodik für Treibhausgaseinsparungen fest.

Im Anhang V sind Standardwerte für die Minderung von Treibhausgasemissionen für verschiedene Produktionspfade festgelegt (Biokraftstoffe, flüssige Biobrennstoffe und entsprechende Vergleichswerte für fossile Brennstoffe). Die Berechnung der Emissionen erfolgt nach der Methode:

- $E = e_{ec} + e_l + e_p + e_{td} + e_u - e_{sca} - e_{ccs} - e_{ccr}$

Dabei gilt:

- E...Gesamtemission bei der Verwendung des Kraftstoffs
- e_{ec} ...Emissionen bei der Gewinnung oder beim Anbau der Rohstoffe
- e_l ...auf das Jahr umgerechnete Emissionen aufgrund von Kohlenstoffbestandsänderungen infolge von Landnutzungsänderungen
- e_p ...Emissionen bei der Verarbeitung
- e_{td} ...Emissionen bei Transport und Vertrieb
- e_u ...Emissionen bei der Nutzung des Kraftstoffs
- e_{sca} ...Emissionseinsparung durch Akkumulierung von Kohlenstoff im Boden infolge besserer landwirtschaftlicher Bewirtschaftungspraktiken
- e_{ccs} ...Emissionseinsparung durch Abscheidung und geologische Speicherung von CO_2
- e_{ccr} ...Emissionseinsparung durch Abscheidung und Ersetzung von CO_2
-

Die Einsparung an Emissionen berechnet sich wiederum folgendermaßen:

$$\text{Einsparung} = (E_{F(t)} - E_{B(t)}) / E_{F(t)}$$

Hierfür gilt:

- E_B ...Gesamtemissionen aus dem Biokraftstoff
- E_F ...Gesamtemissionen aus dem fossilen Vergleichskraftstoff

Gerechnet und bewertet wird in der Einheit $g\ CO_2\text{-eq}/MJ$ Endenergieprodukt mit den Äquivalenzen $CO_2=1$, $N_2O=298$, $CH_4=25$. Die Vergleichswerte für die fossilen Referenzen sind $94\ g\ CO_2\text{eq}/MJ$ für den Sektor Verkehr (flüssig), $183\ g\ CO_2\text{eq}/MJ$ für Elektrizität sowie $80\ g\ CO_2\text{eq}/MJ$ für Wärme und Kälte. Festgelegte Minimalwerte für Treibhausgaseinsparungen sind $70\ \%$ für Anlagen, die im Zeitraum 2021-2025 errichtet wurden sowie $80\ \%$ für Anlagen, die ab 2026 errichtet werden.

Weiters sind hier disaggregierte Standardwerte für künftige Biokraftstoffe und flüssige Biobrennstoffe angeführt, die 2016 nicht oder nur in vernachlässigbaren Mengen auf dem Markt waren (Anbau, Verarbeitung, Transport & Vertrieb): FT-Diesel und FT-Ottokraftstoff aus Abfallholz und Kulturholz; Dimethylether (DME) aus Abfallholz und Kulturholz; Methanol aus Abfallholz und Kulturholz; FT-Diesel, FT-Ottokraftstoff, DME sowie Methanol aus der Gaserzeugung aus Schwarzlauge (in Zellstofffabrik integriert).

Analog zum Anhang V enthält Anhang VI disaggregierte Standardwerte (Anbau, Verarbeitung, Transport, Nicht CO_2 -Emissionen) für Biomasse-Brennstoffe. Diese sind zusätzlich nach Transportentfernung gestaffelt und umfassen Holzschnitzel sowie Holzbriketts oder -pellets aus forstwirtschaftlichen Reststoffen, Niederwald mit Kurzumtrieb (Eukalyptusholz sowie Pappelholz gedüngt/ungedüngt), Stammholz und Industriereststoffen, ebenso wie landwirtschaftliche Optionen und Biogas für die Elektrizitätserzeugung.

Alle Vorgaben der RED als EU Richtlinie sind in nationales Recht umzusetzen, d.h. in Österreich müssen alle Vorgaben durch nationale Gesetze und entsprechende Verordnungen abgedeckt werden. Im Folgenden wird daher dargestellt, wie das in Österreich bisher erfolgt ist (Jany und Gössl, 2023).

Durch Vorgaben der REDII werden die gesamten Wertschöpfungsketten betrachtet und hinsichtlich Nachhaltigkeitskriterien zertifiziert. Für die Biomasse Erzeugung bis zum Eingang im Heizkraftwerk gibt es jeweils eine Verordnung für land- und forstwirtschaftliche Biomasse:

- **NLAV - Nachhaltige landwirtschaftliche Ausgangsstoffe-Verordnung. BGBl. II Nr. 124/2018**

Die Überwachung der Vorgaben erfolgt durch die AMA und das Austrian Agricultural Certification Scheme (AACS).

- **NFBioV - Nachhaltige forstwirtschaftliche Biomasse-Verordnung. BGBl. II Nr. 85/2023**

Hier erfolgt die Überwachung durch das Bundesamt für Wald. Folgendes ist hier festgelegt:

„Forstwirtschaftliche Biomasse, die zur Herstellung von Biokraftstoffen, flüssigen Biobrennstoffen und Biomasse-Brennstoffen verwendet oder in Verkehr gebracht wird und als nachhaltig ausgewiesen wird, muss die folgende Kriterien erfüllen: die Erntetätigkeiten müssen legal sein, auf den Ernteflächen muss Walderneuerung stattfinden, Gebiete, die zu Naturschutzzwecken ausgewiesen sind bzw. wurden, auch Feuchtgebiete und Torfmoorflächen, müssen geschützt sein, bei der Ernte muss

auf die Erhaltung der Bodenqualität und der biologischen Vielfalt geachtet werden, um Beeinträchtigungen möglichst gering zu halten und die Erntetätigkeit muss die langfristigen Produktionskapazitäten des Waldes erhalten oder verbessern.“

Ab dem Eingang im Heizkraftwerk bis zur Energieumwandlung, gilt die Biomasseenergie-Nachhaltigkeitsverordnung.

- **BMEN-VO - Biomasseenergie-Nachhaltigkeitsverordnung. BGBl. II Nr. 86/2023:**

Diese Verordnung betrifft Elektrizität, Wärme sowie Kälte. Abgedeckt werden dadurch die min. Treibhausgaseinsparungen von 70% für Anlagen, die 2021-2025 errichtet wurden sowie 80% für Anlagen, die ab 2026 errichtet wurden. Außerdem sind hier die Vorgaben zu Massenbilanzierungssystem, Effizienzkriterien sowie Zertifizierungssystemen aus der REDII umgesetzt.

Die Elektrizität, die aus Biomasse-Brennstoffen erzeugt wird, wird berücksichtigt, wenn die Anlagen eines oder mehrere der folgenden Kriterien erfüllen (Effizienzkriterien):

- Gesamtfeuerungswärmeleistung von unter 50 MW
- Gesamtfeuerungswärmeleistung zwischen 50 und 100 MW mit hocheffizienter KWK (oder bei ausschließlich Elektrizität erzeugenden Anlagen mit BVT-assoziierten Energieeffizienzwerten)
- Gesamtfeuerungswärmeleistung über 100 MW mit hocheffizienter KWK (oder bei ausschließlich Elektrizität erzeugenden Anlagen mit einem elektrischen Nettowirkungsgrad von mindestens 36 %)

Wenn Biomasse die Nachhaltigkeitskriterien erfüllt, werden daraus resultierende Emissionen gleich null gesetzt („Nullbewertung“), andernfalls werden sie wie fossile Emissionen betrachtet, weshalb in diesem Fall CO₂-Zertifikate erforderlich sind.

Für Abfälle und Reststoffe gelten andere Regelungen. Um die Nachhaltigkeit zu gewährleisten, wurde ein Zertifizierungssystem etabliert, welches die gesamte Wertschöpfungskette abdeckt, also vom Biomasse-Erzeuger, über Sammelstelle/Verarbeiter, Händler/Transport bis hin zu den Biomasse-Kraftwerksbetreibern. Das Umweltbundesamt betreibt die Plattform „eIna“ für die Erfassung der Nachhaltigkeitsnachweise (<https://www.umweltbundesamt.at/elna>).

Im Gegensatz zu den Nachhaltigkeitszertifikaten haben Herkunftsnachweise gemäß Artikel 19 RED II die Funktion, einem/einer Endkund*in nachzuweisen, dass ein bestimmter Anteil oder eine bestimmte Menge an Energie aus erneuerbaren Quellen resultiert. Sie werden ausschließlich zur Information der Endverbraucher*innen von Strom, Wärme oder Kälte oder Gasen (Biogas oder Wasserstoff) über die Quelle der Versorgung verwendet.

Weiters sind im Erneuerbaren-Ausbau-Gesetz (EAG) sowie dem Ökostromgesetz (ÖSG) Mindestbrennstoffnutzungsgrade festgelegt.

Die Änderungen der Renewable Energy Directive zur neuen Version REDIII wurden im Amtsblatt der EU veröffentlicht. .

Anlass für die erneute Überarbeitung der Richtlinie war der European Green Deal, in dem das Ziel der Klimaneutralität bis 2050 festgelegt ist, was eine Reduktion an Treibhausgasemissionen von 55% erfordert. Dafür muss der Anteil erneuerbarer Energie in größerem Ausmaß gesteigert werden, als bisher festgelegt (bisher 32% erneuerbare Energie).

Bioenergie ist nach wie vor die Hauptquelle erneuerbarer Energie in der EU (ca. 60%). Da diese hauptsächlich auf der Forstwirtschaft beruht, sind Bedenken bezüglich Nachhaltigkeit heute ein großes Diskussionsthema. Dies wird ebenso in den Überarbeitungen berücksichtigt. Wesentliche Änderungen, die die REDIII mit sich bringt, sind:

- Anteil erneuerbarer Energie am Endenergieverbrauch 42,5% in 2030, mit der Möglichkeit weitere 2,5% aufzuschlagen, wobei Sub-Ziele für die Sektoren Verkehr, Industrie, Gebäude, Wärme und Kälte festgelegt sind.
- RFNBOs (renewable liquid and gaseous fuels of non-biological origin) – erneuerbare flüssige und gasförmige Treibstoffe nicht-biogenen Ursprungs, hauptsächlich Wasserstoff, werden dem Sektor angerechnet, in dem sie verbraucht werden (Strom, Wärme und Kälte, Transport)
- Nachhaltigkeitskriterien:
 - o Ausweitung von Kriterien der Landwirtschaft, damit auch Forstwirtschaft abgedeckt ist
 - o keine Nutzung von Holz aus Primärwäldern für die Energieproduktion
 - o keine Förderung von alleinigen Biomasse Kraftwerken ab 2026
 - o keine finanziellen Anreize für die Nutzung von Furnierholz, Baumstümpfe und Wurzeln für energetische Zwecke
- Anwendung der minimalen Einsparungsgrenzwerte für Treibhausgase auf bestehende Anlagen (bisher nur neu errichtete)

Bereits im Jahr 2021 konnten nationale Parlamente sowie Stakeholder Stellungnahmen zum Entwurf einbringen. Von Seite der Stakeholder wurden gemischte Kritikpunkte eingebracht. Umweltorganisationen sehen z.B. die Gefahr der Rodung von Wäldern sowie einer nicht nachhaltigen Holznutzung. Bioenergy Europe äußerte die Kritik, dass die Richtlinie geändert wird, während noch nicht mal die Vorgaben der REDII vollständig umgesetzt sind.

Die beschlossenen Änderungen müssen wieder in nationale Gesetze umgesetzt werden, weshalb die endgültige Wirksamkeit noch Jahre dauern kann. Das wurde als Kritikpunkt für den REDIII Entwurf genannt, da vorgegebene Ziele durch den zeitlichen Rahmen schwer erreicht werden können.

Für den **Verkehrssektor ist in der REDII** ein Subziel festgelegt, welches besagt, dass bis 2020 von jedem Mitgliedsland 10 % der eingesetzten Energie durch erneuerbare Energieträger ersetzt werden mussten. Zudem besagt die Europäische Kraftstoffqualitätsrichtlinie¹⁰, dass Anbieter von Kraftstoffen (fossil sowie biogen) die Treibhausgasemissionen über den Lebenszyklus seit 2020 um mind. 6 % (gegenüber einem Referenzwert) senken müssen. Für Biokraftstoffe sind die Nachhaltigkeitskriterien in beiden Richtlinien deckungsgleich. Zum Beispiel müssen im Vergleich zu fossilen Referenzwerten mind. 50 % an Treibhausgasemissionen eingespart werden. Des Weiteren betrifft die EU-ILUC Richtlinie¹¹ den Sektor durch eine Obergrenze für Biotreibstoffe erster Generation von 7 %.

Eine Umsetzung in Österreich erfolgte u.a. in der Kraftstoffverordnung¹². Hier sind die Minderungen der Treibhausgasemissionen festgelegt (fossiler Referenzwert 94,1 g CO₂-eq/MJ), wobei es auch Emissionsgutschriften für Kraftstoffe mit geringeren als den geforderten Emissionen gibt. Damit die Kraftstoffe den Gesamtzielen angerechnet werden können, müssen die Nachhaltigkeitskriterien für Biomasse erfüllt sein. Demnach darf die eingesetzte Biomasse nicht von Flächen stammen, die einen hohen Wert hinsichtlich biologischer Vielfalt und/oder einen hohen Kohlenstoffbestand aufweisen. Des Weiteren gelten die Kriterien aus Kapitel 6.2. Zur Nachverfolgung gilt auch hier das Massenbilanzsystem. Die Einhaltung der Kriterien von unabhängigen privatwirtschaftlichen Zertifizierungssystemen überprüft.

¹⁰ Richtlinie 2009/30/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Änderung der Richtlinie 98/70/EG im Hinblick auf die Spezifikationen für Otto-, Diesel- und Gasölkraftstoffe und die Einführung eines Systems zur Überwachung und Verringerung der Treibhausgasemissionen sowie zur Änderung der Richtlinie 1999/32/EG des Rates im Hinblick auf die Spezifikationen für von Binnenschiffen gebrauchte Kraftstoffe und zur Aufhebung der Richtlinie 93/12/EWG

¹¹ Delegierte Verordnung (EU) 2019/807 der Kommission vom 13. März 2019 zur Ergänzung der Richtlinie (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Bestimmung der Rohstoffe mit hohem Risiko indirekter Landnutzungsänderungen, in deren Fall eine wesentliche Ausdehnung der Produktionsflächen auf Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand zu beobachten ist, und die Zertifizierung von Biokraftstoffen, flüssigen Biobrennstoffen und Biomasse-Brennstoffen mit geringem Risiko indirekter Landnutzungsänderungen

¹² Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Qualität von Kraftstoffen und die nachhaltige Verwendung von Biokraftstoffen (Kraftstoffverordnung 2012)

StF: BGBl. II Nr. 398/2012 [CELEX-Nr.: 32009L0028, 32009L0030, 32011L0063]

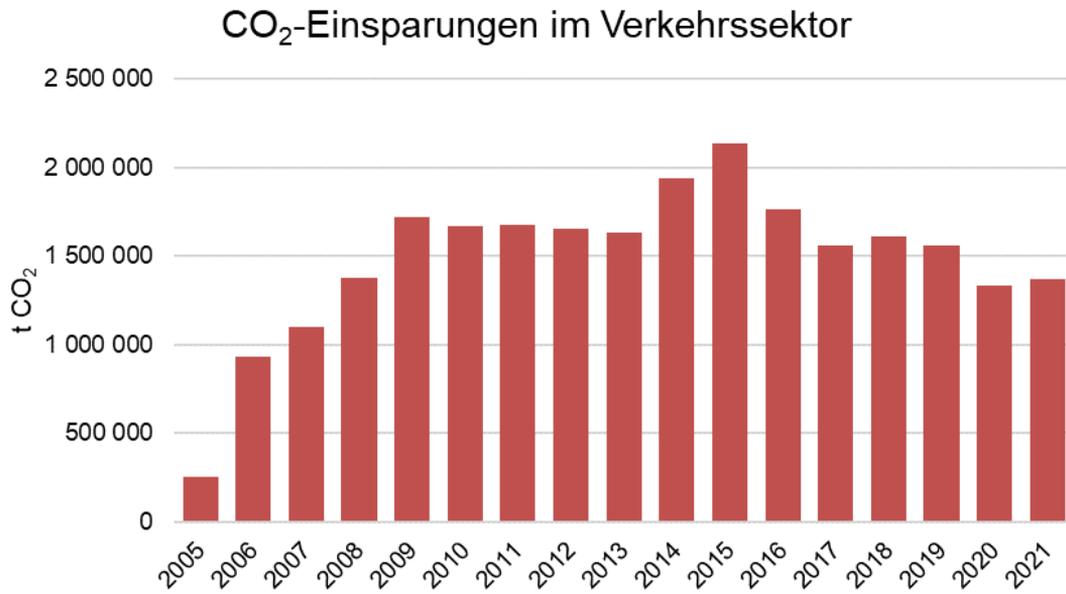


Abbildung 13: Jährliche CO₂-Einsparungen im österreichischen Verkehrssektor durch Beimengung von Biokraftstoffen (Quelle: BMK, 2023a)

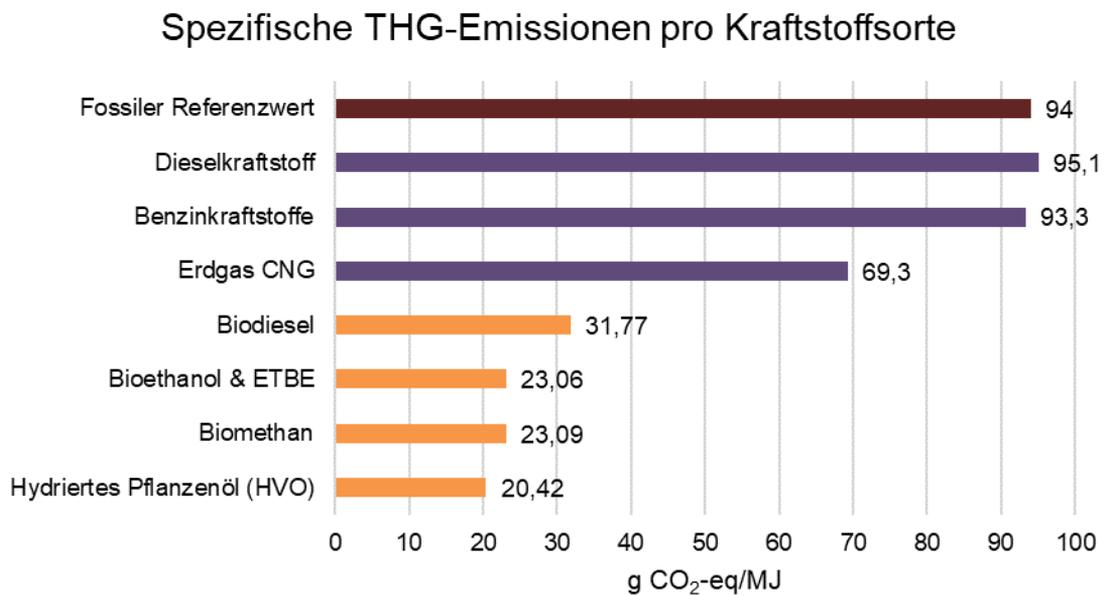


Abbildung 14: Vergleich der spezifischen Treibhausgasemissionen verschiedener Kraftstoffsorten (Stand 2021) (Quelle: BMK, 2023a)

6.3 Entwicklungen im Nachhaltigkeitsbereich

Die Relevanz von Nachhaltigkeitsaspekten wird in den nächsten Jahren noch zunehmen. Zudem ist davon auszugehen, dass sich die Ansprüche an „Nachhaltigkeit“ weiterentwickeln werden. Treibhausgas-Intensität, Zirkularität, Artenvielfalt/Biodiversität, Wasserverbrauch, Landverbrauch etc. werden entscheidende Indikatoren für die Bewertung von Energietechnologien werden.

Treibende Akteure in dem Bereich sind die Verantwortlichen für Klima- und Energiepolitik auf EU und nationaler Ebene, Forschungs- und Forschungsfördereinrichtungen, umwelt-NGOs sowie finanzierende Stiftungen. Eine weitere treibende Kraft beim Thema Nachhaltigkeit ist mittlerweile die mediale Berichterstattung. Das Thema ist in der breiten Öffentlichkeit angekommen, weshalb es wichtig ist, dass in der öffentlichen Debatte eine professionelle, transparente Kommunikation der Informationen erfolgt. Hier ist auch insbesondere die Forschung gefragt, die Komplexität dieses Themas wissenschaftlich fundiert, aber zielgruppenspezifisch greifbar aufzuarbeiten. Hier gilt es auch anzumerken, dass die Berechnung von Ökobilanzen bzw. der Treibhausgasemissionen von verschiedensten Energietechnologien harmonisiert und nachvollziehbar berechnet sowie leicht verständlich dargestellt bzw. auf Unterschiede und Besonderheiten explizit hingewiesen werden sollte. Bei Konsument*innen könnte es zu einer verstärkten Nachfrage nach nachhaltigen Produkten kommen (z.B. Nachfrage nach regionalen, aus Österreich stammenden Energieträgern, wie zum Beispiel Pellets).

Es gilt aber auch das Bewusstsein zu schaffen, dass bereits kleinere Änderungen in den Nachhaltigkeitsverordnungen große Auswirkungen auf die Versorgungssicherheit von bestehenden Projekten und Ausbaupotenziale haben. Denn die Nachhaltigkeitskriterien, die in der EU oder auf nationaler Ebene gelten, können anderen nicht aufgezwungen werden. Klar definierte Nachhaltigkeitskriterien können bei steigendem Wettbewerb und steigenden Importen einen fairen Markt schaffen. Ohne solche Kriterien werden Länder ohne nachhaltige (Forst-, Land-)Wirtschaft den Markt dominieren. Solche Regelungen haben aber auch ihre Grenzen. Beispielsweise können wir verhindern, dass Palmöl, für dessen Produktion Urwald gerodet wurde, nicht als Rohstoff für Biotreibstoff in der EU verwendet werden kann, können aber nicht verhindern, dass Urwald gerodet oder Palmöl dort angebaut wird. Somit ist es recht komplex, gewisse Aspekte der Nachhaltigkeit wie Land Use Change (global) oder Bodenversiegelung (Österreich) oder Biodiversität ausreichend in entsprechenden gesetzlichen Regelungen zu adressieren. Nichtsdestotrotz ist es klar, dass es überregionale Regelungen zur Nachhaltigkeit von Bioenergie geben muss, da Biomasse und Energie(-träger) international gehandelte Produkte sind. Denn es gilt zu verhindern, dass „billige“ aber nicht-nachhaltige Bioenergie-träger auf den europäischen bzw. österreichischen Markt drängen. Die Einhaltung von Nachhaltigkeitskriterien erhält eine gesunde forst- und landwirtschaftliche Basis, die essentiell für eine Bioökonomie bzw. für die Bereitstellung von Bioenergie-trägern ist und stellt somit langfristig auch eine

Säule der ökonomischen Nachhaltigkeit dar. Mit der RED II und den Verschärfungen in der RED III¹³ ist ein umfassendes Kontrollsystem eingerichtet worden, welches gerade implementiert wird. Gleichzeitig stellen die Energiekrise (hoher Bioenergiebedarf) und zunehmende Waldschäden (hohes unregelmäßiges Schadholzaufkommen und hoher Anfall an Energieholz aus Waldumbau) große Herausforderungen dar. Daher müssen auch die Aspekte des Artenschutzes und klimafitter Wald bzw. nachhaltige Waldbewirtschaftung zentrale Elemente in der Nachhaltigkeitsdebatte einnehmen. Zudem muss auf Bioenergietechnologien fokussiert werden, die möglichst effizient sind. Die Bioenergietechnologien werden in den nachfolgenden Kapiteln näher besprochen.

¹³ Mit der RED III gilt die Nachhaltigkeits-Nachweispflicht für Anlagen ab 7,5 MW_{th} (feste Biomasse) und weiterhin 2 MW_{th} (Biogas) – es werden sich also zusehends mehr Anlagen zertifizieren lassen müssen

7 Innovative Bioenergietechnologien

7.1 Direkte thermo-chemische Umwandlung

7.1.1 Technologische Umsetzung

Die Verbrennung beschreibt eine vollständige Umwandlung aller oxidierbaren Bestandteile unter Freisetzung der chemisch gebundenen Energie in Form von Wärme. Die Hauptprodukte aus dem Konversionsprozess sind dabei v.a. Kohlenstoffdioxid (CO₂) und Wasser (H₂O) im Abgas. Die mineralischen Bestandteile bleiben in ihrer oxidierten Form als Asche zurück.

Bei dieser direkten thermo-chemischen Umwandlung wird der eingesetzte Rohstoff zunächst durch Wärmezufuhr umgewandelt und die entstandenen Zwischenprodukte dann in weiteren Schritten oxidiert, wobei durch die Oxidation wiederum Wärme freigesetzt wird. Diese Teilschritte – Trocknung, pyrolytische Zersetzung, Gaserzeugung und Oxidation – laufen beim **Verbrennungsprozess** zugleich und im gleichen Reaktor ab, wobei die ersten drei der beschriebenen Teilschritte zumeist räumlich getrennt sind von der nachfolgenden Oxidation der Pyrolyse- bzw. Vergasungsprodukte. Im Vergleich zu anderen thermochemischen Verfahren herrschen bei diesem Prozess mitunter die höchsten Temperaturen mit 1000-1300 °C. Dies gilt es beim Einsatz neuer Rohstoffe v.a. in Hinblick auf die Möglichkeit der Entstehung von Schadstoffen bei der Verbrennung, die Bildung von Ablagerungen im Feuerraum oder Wärmetauscher sowie der Ausbildung von Verschlackungen im Rostbereich zu berücksichtigen.

Bei der **Feuerungstechnik** wird grundsätzlich in handbeschickte und automatisch beschickte Anlagen unterschieden (Kaltschmitt et al., 2016). Bei Letzteren werden drei Technologie-Arten unterschieden: Festbetttechnologien, Wirbelschichtfeuerungen und Staubfeuerungen.

Festbett-Technologien gibt es in einem sehr breiten Leistungsbereich. Mögliche Ausführungen sind z.B. Einschubsysteme mit Schubboden- bzw. Vorschubrosten. Diese sind für den Einsatz von Rohstoffen mit ungleichmäßiger Korngrößenverteilung vorteilhaft und weniger sensibel auf ungleichmäßige Formen und Stückgrößen. Weiters sind solche Technologien möglichst robust gegenüber Rohstoffen mit hohem Aschegehalt sowie schlackenden Brennstoffen; diesen kann darüber hinaus mittels Rostkühlung entgegengewirkt werden.

Wirbelschichtanlagen kommen in höheren Leistungsbereichen (1- bis 3-stelliger Megawatt-Bereich) zum Einsatz. Sie arbeiten im Allgemeinen bei etwas geringeren Temperaturen und sehr konstanten

Prozessbedingungen. Wirbelschichtfeuerungen weisen eine hohe Flexibilität hinsichtlich Art, Wassergehalt oder Ascheanteil des eingesetzten Rohstoffes auf. Limitierend sind hier niedrige Ascheschmelztemperaturen, welche ein Verkleben des Bettmaterials und damit ein Zusammenbrechen der Wirbelschicht zur Folge haben können. Bis zu einem gewissen Grad kann man dieser Problematik durch Additiv-Beimengung entgegenwirken.

Um einen störungsfreien Betrieb und optimale Performance der Anlagen zu gewährleisten, gilt es entsprechende **Anforderungen an den Rohstoff** einzuhalten:

Feuerungsanlagen können grundsätzlich mit einem **Brennstoffwassergehalt** von 0-50% betrieben werden. Wichtig ist dabei, dass die Anlage jeweils auf einen ungefähren Bereich und damit den entsprechenden Energiegehalt des Brennstoffes ausgelegt ist, welcher unmittelbar vom Wassergehalt abhängt und dadurch stark variieren kann.

Ein hoher **Ascheanteil** muss bei der Dimensionierung von Rost sowie Ascheaustragungsrichtung berücksichtigt werden. Je nach Zusammensetzung der Elemente kann der erhöhte Gehalt an mineralischen Bestandteilen auch verstärkte partikelförmige Emissionen zur Folge haben. Je geringer die charakteristischen Temperaturen zur Beschreibung des **Schmelzverhaltens von Brennstoffaschen** sind, umso höher ist die Wahrscheinlichkeit der Ausbildung von Versinterungen, Agglomeration bis hin zu glasartig geschmolzenen Schlacken im Rostbereich, die den Verbrennungsprozess beeinträchtigen und im schlimmsten Fall zum Anlagenstillstand führen können.

Abgesehen von individuellen Brennstoffeigenschaften ist aber vor allem die Variabilität selbst eine zentrale Herausforderung: Mit Schwankungen bei Partikelgrößenverteilung, Dichte, Wasser- sowie Aschegehalt gehen beträchtliche Variationen in der zugeführten Brennstoff- und Energiemenge einher. Um einen optimalen Verbrennungsprozess zu ermöglichen, müssen zum einen Rahmenanforderungen an die eingesetzten Brennstoffqualitäten definiert und zum anderen hochentwickelte und flexible Regelungskonzepte eingesetzt werden.

7.1.2 Marktentwicklung

Der Markt für Biomassekessel wuchs in Österreich im Zeitraum von 2000 bis 2006 kontinuierlich mit hohen Wachstumsraten. 2007 reduzierte sich der Absatz aller Kesseltypen aufgrund der niedrigen Ölpreise, siehe Abbildung 15. Im Jahr 2007 kamen die Auswirkungen einer Verknappung des Handelsgutes Holzpellets hinzu, wodurch die Pelletspreise signifikant stiegen und der Pelletsesselmarkt in der Größenordnung von 60 % eingebrochen ist. 2009 kam es aufgrund der Wirtschafts- und Finanzkrise neuerlich zu einem Rückgang der Verkaufszahlen um 24 %. Dieser Trend setzte sich in den folgenden Jahren fort, mit Ausnahme der Pelletskessel, welche in den Jahren 2011 und 2012 steigende Verkaufszahlen verzeichnen konnten. Gründe für die sinkenden Verkaufszahlen waren stei-

gende Biomassebrennstoffpreise und vorgezogene Investitionen in den Jahren nach der Wirtschafts- und Finanzkrise sowie niedrige Ölpreise und hohe Durchschnittstemperaturen. Seit 2019 steigen die Absatzzahlen wieder deutlich an. Aufgrund der Energiekrise konnten im Jahr 2022 sogar Rekordabsatzzahlen beobachtet werden: Die Verkaufszahlen der Pelletsfeuerungen erhöhten sich im Jahr 2022 sogar um 87,5 %, jene der Stückholz-Pellets-Kombikessel um 68,7 %. Die Verkaufszahlen der Stückholzkessel legten um 22,8 % zu, jene der Hackgutkessel (<100 kW) stagnierten allerdings.

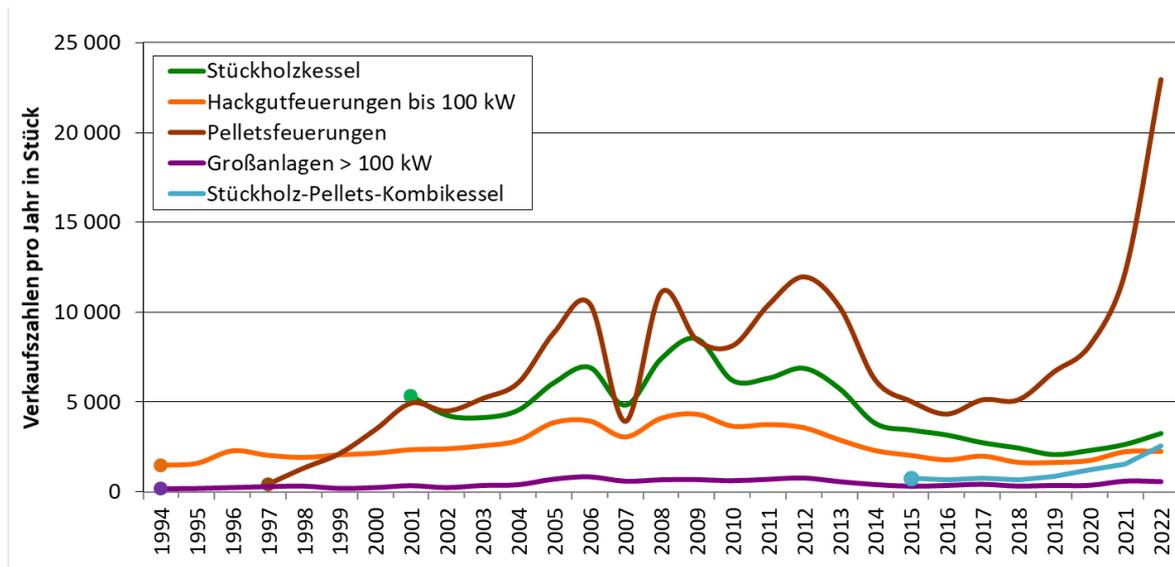


Abbildung 15 – Die Marktentwicklung von Biomassekesseln in Österreich bis 2022. Quelle: LK NÖ, 2023 in Biermayr et al., 2023

Die österreichischen Biomassekessel-Hersteller sind gut für eine gesteigerte Nachfrage gerüstet. Der limitierende Faktor für den schnelleren Ausbau von Biomasse Heizsystemen dürfte in Zukunft eher das verbundene Handwerk sein (Installateur, Heizungsbauer) – hier braucht es ganz dringend Gegenmaßnahmen wie Qualifizierungsoffensiven oder Aufwertung handwerklicher Berufe (monetär und gesellschaftlich). Bis 2050 wird die Bereitstellung von Raumwärme durch feste Biomasse sicher an Relevanz verlieren. Dazu tragen neben der thermischen Verbesserung des Gebäudebestands auch der Umstieg auf strombasierte Heizsysteme (z. B. Wärmepumpen in Kombination mit PV) sowie Verunsicherungen im Zusammenhang mit steigenden Biomassepreisen, sowie der Klimawandel und die damit verbundene Reduktion der Heizgradtage bei. Den derzeit beobachteten immer strenger werdenden Überprüfungen, Zulassungen und Förderrichtlinien auf internationalen Märkten sollte gezielt der Beitrag von Biomasse zur Dekarbonisierung gegenübergestellt werden. Für Raumheizgeräte (Öfen) ist diese Prognose nur bedingt zutreffend, da hier Aspekte wie Design/Optik, Wohlbefinden und das Sicherheitsgefühl durch ein „Back-up“ System wesentlich für die Kaufentscheidung sind. Diese Aspekte sollten Inhalt zukünftiger F&E (Forschungs- & Entwicklungs-) Aktivitäten und bei der Bewusstseinsbildung sein.

Der Einsatz von Biomasse in KWK-Anlagen zur Strom- und Wärmeproduktion bzw. die Entwicklung der Biomasse Nah- und Fernwärmeanlagen wird davon abhängen, inwieweit sich andere Nutzungen durchsetzen können. Denn die Bereitstellung von Prozesswärme aus Biomasse bietet ein enormes Potenzial, da diese heute meist über fossile Energieträger bereitgestellt wird und die nötigen Temperaturniveaus durch andere erneuerbare Wärmetechnologien schwer erreicht werden können. Hier liegt ein großes Zukunftspotential im Hinblick auf die Dekarbonisierung der Industrie. Welche Umwandlungswege bzw. Zwischenschritte (z. B. Grünes Gas) hier beschrrieben werden, hängt maßgeblich von den jeweiligen Anwendungen und deren Anforderungen ab. Die aktuelle Situation auf den Energiemärkten beschleunigt derzeit die Entwicklung von Prozesswärme-Lösungen durch Bioenergie zusätzlich. Der zu erwartende Anstieg des Biomassebedarfs muss dabei in den strategischen Planungen entsprechend berücksichtigt werden.

Die österreichischen Technologieanbieter zeichnen sich Großteils durch eine hohe inländische Fertigungstiefe aus. In den letzten zwei Jahren wurden österreichische Fertigungskapazitäten speziell für Biomassekessel stark ausgebaut. Um diesen Status zu halten, ist es wichtig, Programme wie Raus aus Gas und Öl fortzuführen, um den Ausstieg aus fossilen Energieträgern in der Raumwärme zu forcieren.

Tabelle 2: Vorteile/Alleinstellungsmerkmale der Technologien der direkten thermo-chemischen Umwandlung

	Vorteile/Alleinstellungsmerkmale
Biomasseöfen	<p>Können stromlos betrieben werden und eignen sich daher als Back-up Systeme, beispielsweise bei einem größeren Stromausfall (Blackout) oder wenn die Hauptheizung defekt ist.</p> <p>Können rel. preisgünstig (Durchschnittspreis € 800) nachgerüstet werden, sofern ein Kamin vorhanden ist, wobei auch Kamine nachgerüstet werden können.</p> <p>Werden durch Motive wie Optik oder Wohlbefinden begünstigt.</p>
Biomassekessel	<p>Geeignet für den Ersatz von fossilen Heizsystemen im unsanierten Altbau.</p> <p>V.a. im landwirtschaftlichen Bereich bei eigener Holzversorgung eingesetzt.</p>
Biomasse KWK	<p>Bietet witterungsunabhängig die Möglichkeit der Bereitstellung von „Ökostrom“ (Flexibilisierung der Stromversorgung)</p>

7.2 Pyrolyse

Pyrolyse ist ein thermochemischer Umwandlungsprozess, bei dem organische Rohstoffe unter Ausschluss von Sauerstoff direkt in gasförmige, flüssige (Pyrolyse-Öl, Bio-Öl) und feste Produkte (Bio- bzw. Pflanzenkohle) umgewandelt werden. Die so produzierten Produkte dienen als Energieträger, oder werden direkt (z.B. Pflanzenkohle) oder nach weiterer Aufbereitung (z.B. zu Basischemikalien oder Treibstoff) stofflich genutzt.

Die Bandbreite an möglichen Einsatzrohstoffen im Pyrolyseprozess ist groß, woraus sich eine Vielfalt an Einsatzbereichen ergibt (Czajczyńska et al., 2017). Das Spektrum reicht von Holz und holzartigen Agrarprodukten über den biogenen Anteil von Siedlungsabfällen bis hin zu Nussschalen und vielen weiteren biogenen Roh- und Reststoffen. Diese können über den Prozess der Pyrolyse nachhaltig veredelt und zu hochwertigen Produkten verarbeitet werden. Darüber hinaus bietet die pyrolytische Behandlung von Reststoffen die Möglichkeit den Nährstoffkreislauf zu schließen, und so wichtige Elemente in den Boden zurückzuführen.

7.2.1 Technologische Umsetzung

Über die Jahre wurde eine Vielzahl an verschiedenen Pyrolysetechnologien¹⁴ und Konzepten entwickelt, die sich grundlegend in ihrer Funktionsweise unterscheiden. Tabelle 3 gibt einen Überblick über gängige Reaktortypen und die Pyrolyseart, für die sie vorwiegend eingesetzt werden. Dabei ist zu beachten, dass die Zuteilung ebenso wenig strikt ist, wie die Unterteilung der verschiedenen Pyrolysearten. So werden zum Beispiel Schneckenreaktoren und Drehrohrreaktoren auch im Bereich der Schnellpyrolyse eingesetzt (Henrich et al., 2016, Santana et al., 2020) und Wirbelschichten im Bereich der langsamen Pyrolyse verwendet (Patel et al., 2019).

Tabelle 3: Gängige Pyrolyse Technologien und ihre Verwendung (Garcia-Nunez et al., 2017)

Schnelle Pyrolyse	Mittelschnelle Pyrolyse	Langsame Pyrolyse
Wirbelschichtreaktoren	Schraubenreaktoren	Kohlemeiler
Ablative Systeme	Drehrohröfen	Retortensysteme
Kegelreaktoren	Herreshoff-Öfen	

¹⁴ Das Projekt PyroTechOverview – Studie zur Pyrolysetechnologien im Überblick im Auftrag des BMK wird Ende 2023 fertiggestellt.

Die Anteile der verschiedenen Pyrolyseprodukte variieren in Abhängigkeit von Prozesstemperatur, Verweilzeit und Aufheizrate. Dementsprechend werden Pyrolysetechnologien anhand dieser Parameter klassifiziert. Tabelle 4 gibt einen Überblick über die Produktzusammensetzung in Abhängigkeit von den Prozessbedingungen.

Tabelle 4: Produktströme aus unterschiedlichen Pyrolysetechnologien – Referenzwerte (IEA Bio-energy Task 34 & Kaltschmitt et al. 2016)

Betriebsart	Prozessbedingungen	Flüssigkeit in m%	Kohle in m%	Gas in m%
Schnell	~500°C, kurze Heißgasverweilzeit <2-3 s, hohe Heizrate	75%	12%	13%
Mittelschnell	~500°C, Heißgasverweilzeit 10-30 s Mittlere Heizraten	50%	25%	25%
Langsam – Torrefizierung	~290°C, Feststoffverweilzeit ~10-60 min Niedrige Heizrate	–	82%	18%
Langsam – Karbonisierung	~400°C, lange Heißgasverweilzeit Stunden → Tage, niedrige Heizrate	30%	35%	35%
Gaserzeugung	~800°C	5%	10%	85%

Überwiegend flüssige Pyrolyseprodukte erhält man bei sehr kurzen Verweilzeiten und höheren Temperaturen, während sich das Produktspektrum bei langen Verweilzeiten und geringeren Temperaturen in Richtung Kohle verlagert.

7.2.2 Marktentwicklung

Der TRL¹⁵ (Technology Readiness Level) hängt stark vom eingesetzten Rohstoff und der zu erzielenden Produktqualität ab. Die Pyrolyse selbst ist bereits eine ziemlich ausgereifte Technologie, wenn

¹⁵ TRL - Technology Readiness Level, siehe: https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl_en.pdf

erprobte Rohstoffe mit konstanter Qualität eingesetzt werden. Die Verwendung einer großen Bandbreite an noch wenig erforschten Rohstoffen und im Speziellen von Reststoffen ist jedoch noch nicht kommerziell umgesetzt (TRL8). Angesichts des großen Potenzials der Pyrolyse zur Dekarbonisierung beizutragen, gibt es zahlreiche (neue) Technologie- und Produkthanbieter auf dem Markt, von denen sich aufgrund der bisher schwach entwickelten Marktrahmenbedingungen jedoch nur wenige etabliert haben. Es gibt laufende Forschungsprojekte sowie einzelne Prototypen für unterschiedlichste Einsatzbereiche. Nur wenige Anbieter verfügen über eine entsprechende Zahl an Referenzanlagen im Feld (TRL4-6).

Während die gasförmigen Reaktionsprodukte verbrannt und zur Energieerzeugung herangezogen werden können und je nach Technologie direkt für die Heizung des Prozesses verwendet werden, existieren für die flüssigen und festen Produkte der Pyrolyse eine Vielzahl an Verwendungsmöglichkeiten. Die wohl naheliegendste Verwendung für die erzeugte Biokohle ist ihre Verwertung als Brennstoff. Weitere Einsatzgebiete sind die Nutzung in der Landwirtschaft als Düngemittelzusatz bzw. als Kompostierungshilfe (hier sind rechtliche Rahmenbedingungen zu berücksichtigen), als Reduktionsmittel in der Stahlindustrie, als Wasseraufbereitungsmittel, als Energiespeicher und im katalytischen Bereich. Eine detaillierte Auflistung möglicher Einsatzfelder ist in Abbildung 16 zu sehen.

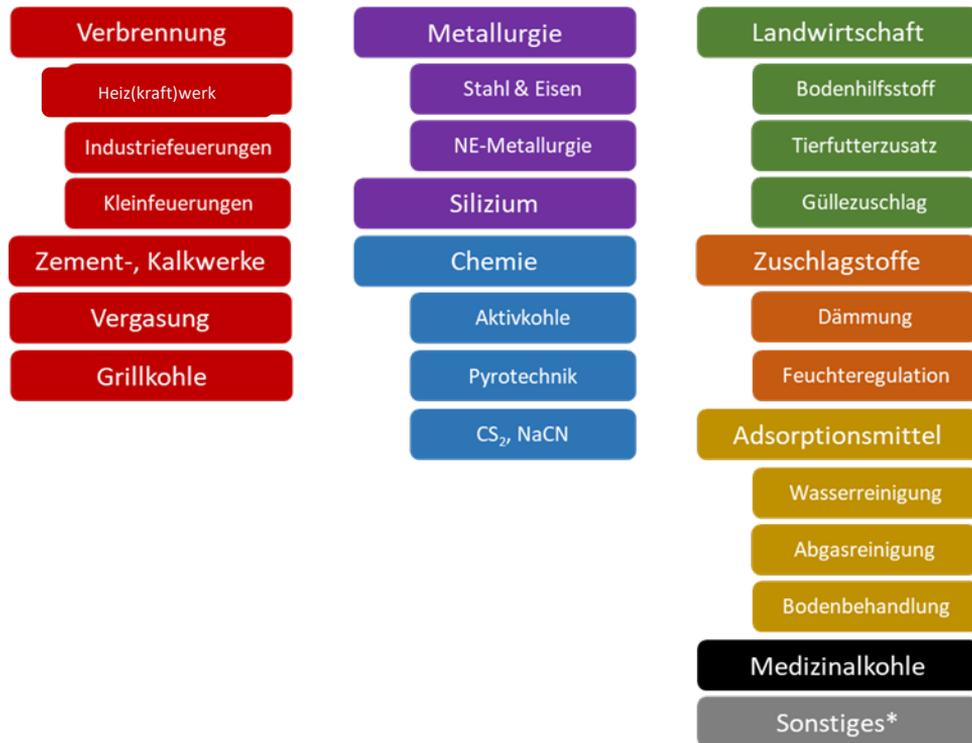


Abbildung 16: Anwendungen von Biokohle, wobei einige davon derzeit noch nicht umgesetzt werden (z.B. der Einsatz in Zement- und Kalkwerken). *z.B. Kosmetika, Kunststoffzuschlagstoffe usw. (adaptiert aus Quicker und Weber, 2016)

Auch die flüssigen Produkte des Pyrolyseprozesses bieten einige mögliche Einsatzfelder. Eine prominente Anwendung wäre das Bio-Öl als erneuerbarer Treibstoff. Dadurch, dass die flüssigen Pyrolyseprodukte komplexe chemische Gemische darstellen, können sie auch als Quelle für wertvolle Chemikalien dienen. Neben biogenen Rohstoffen werden auch Abfallfraktionen pyrolytisch aufbereitet – zumindest im Rahmen von Forschungs- und Demonstrationsvorhaben. In geeigneten Pyrolyseanlagen lassen sich Altpapier, Altpapierbecher, Tetrapaks oder Gummi zu Gasen, Öl und Holzkohle aufwerten. Auch im Bereich Kunststoffabfälle wurde viel geforscht, um Altkunststoffe aufzubereiten. Durch Upcycling werden die gebrauchten Kunststoffe zu hochwertigen Produkten veredelt, wodurch die Umweltauswirkungen des Kunststoffkonsums reduziert werden sollen.

Tabelle 5: Vorteile/Alleinstellungsmerkmale der Pyrolysetechnologie bzw. der -produkte

	Vorteile/Alleinstellungsmerkmale
Technologie	Verwertung, Verdichtung und Homogenisierung von Reststoffen
Biokohle	Breites Anwendungsfeld von der Landwirtschaft, über die Metallindustrie bis hin zur Bauwirtschaft
Pyrolyseöl	Bio-Öl kann (analog zu fossiler Raffinerie) weiter zu Kraftstoffen aufbereitet oder direkt als lagerbarer Brennstoff in Turbinen oder Ölbrennern eingesetzt werden

7.3 Hydrothermale Prozesse

Hydrothermale Prozesse eignen sich für die Verwertung von organischem Substrat mit einem Wasseranteil von ca. 40 bis 85 %. Somit stellen sie für gewisse Biomassearten, wie Klärschlamm, Gärreste, Grünschnitt, kommunale Bioabfälle und andere Abfallströme sowie Industrieschlämme einen effizienten Verwertungsweg dar, da eine alternative Trocknung mit einem hohen Energieverbrauch verbunden wäre. Durch hydrothermale Verfahren wird die Anwesenheit des Wassers allerdings zum Vorteil und es erfolgt eine Umwandlung in heizwertreichere Energieträger (Klemm und Glowacki, 2015).

7.3.1 Technologische Umsetzung

Der Begriff „hydrothermal“ steht für heißes, flüssiges Wasser unter Druck. Der thermodynamische Zustand des Wassers befindet sich dabei jenseits des kritischen Drucks und der kritischen Temperatur (überkritisches Wasser).

Der Vorteil von flüssigem Wasser unter hydrothermalen Bedingungen ist, dass es bereits bei niedrigen Temperaturen eine signifikant höhere chemische Reaktivität besitzt als dampfförmiges Wasser, wodurch eine Reihe chemischer Reaktionen ermöglicht wird, die in der Dampfphase nicht ablaufen würden. Die wichtigste ist dabei die Hydrolyse, also die Spaltung einer Bindung durch Angriff eines Wassermoleküls (Kaltschmitt et al., 2016).

Zu den hydrothermalen Prozessen zählen drei Verfahren, aus denen unterschiedliche Produktsammensetzungen resultieren:

Hydrothermale Karbonisierung (Hydrothermal Carbonisation, HTC): Hierbei werden bei Bedingungen unterhalb des kritischen Punktes die thermo-chemischen Phasen „Aufheizung“ und „pyrolytische Zersetzung“ durchlaufen. Hydrolyse Reaktionen werden zudem begünstigt. Zielprodukt ist ein braunkohleähnlicher Festbrennstoff.

Hydrothermale Verflüssigung (Hydrothermal Liquefaction, HTL): Dieses Verfahren läuft in hydrothormaler Atmosphäre bei unterkritischen Bedingungen in Nähe des kritischen Punktes ab. Der Druck ist im Vergleich zu HTC höher. Es erfolgen die thermo-chemischen Phasen „Aufheizung“ und „pyrolytische Zersetzung“. Hydrolysereaktionen werden begünstigt. Ziel ist, einen flüssigen Energieträger zu produzieren.

Hydrothermale Gaserzeugung (Hydrothermal Gasification, HTG): Hier werden in hydrothormaler Atmosphäre und überkritischen Bedingungen die Phasen „Aufheizung“, „pyrolytische Zersetzung“ und „Vergasung“ durchlaufen. Das Ziel ist eine möglichst vollständige Umwandlung der Biomasse in ein Produktgas (Kaltschmitt et al., 2016).

Tabelle 6: Überblick hydrothermale Verfahren, HTC=Hydrothermale Karbonisierung, HTL=Hydrothermale Verflüssigung, HTG=Hydrothermale Gaserzeugung (Kaltschmitt et al., 2016)

	HTC	HTL	HTG
Temperatur [°C]	200	330	400-600
Druck [MPa]	2	20	30

In hydrothermalen Medien läuft eine Vielzahl unterschiedlicher Reaktionen ab, weshalb die Selektivität in Abwesenheit von Katalysatoren schlecht ist und eine Mischung chemischer Komponenten entsteht (Mehrphasen- und Mehrkomponentensystem mit zahlreichen festen, flüssigen und gasförmigen Stoffen, die mit dem Wasser Lösungen, Emulsionen und Suspensionen bilden oder als separate Phasen vorliegen). Durch die Verwendung von Katalysatoren oder Änderung der Prozesstemperaturen kann das Produktspektrum beeinflusst werden.

Das Ziel der hydrothermalen Umwandlung ist, die Molekülgröße der eingesetzten Biomasse zu reduzieren und/oder einen möglichst geringen Sauerstoffgehalt im Endprodukt zu erreichen, was eine Erhöhung des Brennwertes bedingt. Der Wasseranteil wird gegenüber dem Einsatzmaterial stark reduziert, dadurch kommt es zu einer Erhöhung des spezifischen Energiegehaltes.

Bei dem Einsatz von Lignozellulose führt die unterschiedliche Reaktivität der Hauptbestandteile Zellulose, Hemizellulose und Lignin sowie deren Abbauprodukten zu festen, flüssigen und gasförmigen Produkten. Dem liegen unterschiedliche chemische Reaktionen zugrunde, wobei die wichtigsten sind (Kaltschmitt et al., 2016):

- **Hydrolyse**: Dabei handelt es sich um die Spaltung einer kovalenten chemischen Bindung durch den Angriff eines Wassermoleküls. Gut hydrolysierbare Bindungen sind Peptid- (Proteine), Ester- (Lipide, Hemizellulose) und glykosidische Bindungen (Zellulose). Somit kann Lignozellulose durch die vielen gut hydrolysierbaren glykosidischen Bindungen bereits bei einer „milden“ hydrothermalen Behandlung (bei ca. 180°C) aufgetrennt werden. Lignin wird erst bei höheren Temperaturen hydrolytisch gespalten, da die Etherbindungen deutlich schlechter hydrolysierbar sind als die glykosidischen Bindungen der Zellulose und Hemizellulose.
- **Decarboxylierung**: Diese Reaktion bezeichnet die Abspaltung bzw. Freisetzung eines CO₂-Moleküls und betrifft Carbonsäuren, die v.a. aus der Hydrolyse der Zellulose und Hemizellulose zu Monosacchariden stammen (Mono- und Dicarbonsäuren, längerkettige Hydroxycarbonsäuren).
- **Dehydratisierung**: Dehydratisierung bezeichnet die Abspaltung von Wasser aus einem Molekül, wobei die Anwesenheit von flüssigem Wasser notwendig ist. Bei der HTC ist diese Reaktion die zentrale Reaktion für die Bildung der Kohle (Zielprodukt). Durch die Abspaltung von chemisch gebundenem Wasser nimmt auch der Sauerstoffgehalt des Biomassefeststoffes ab.
- **Aromatisierung**: Grundsätzlich stammen aromatische, phenolische Verbindungen aus dem Lignin, während aliphatische Komponenten aus Zellulose und Hemizellulose kommen. Allerdings können auch aus den Abbauprodukten der Zellulose aromatische Moleküle entstehen (z.B. aus Fructose, Glycerin, Butanol etc.).
- **Kondensationsreaktion und Polymerisation zu Koks**: Bei der HTC ist die zentrale Reaktion eine Bildung von sekundärem Koks aus den gelösten Abbauprodukten der Biomassebestandteile. Deutlichen Einfluss auf die Koksbildung haben pH-Wert und Temperatur – am größten ist die Koksbildung bei ca. 330 bis 370°C.
- **Maillard-Reaktion**: Diese Reaktion ist für proteinhaltige Biomasse relevant. Dabei handelt es sich um die Reaktion einer Aminosäure oder eines Peptids mit einem reduzierenden Zucker wie z.B. Glucose oder Fructose.

7.3.2 Marktentwicklung

Neben der energetischen Nutzung der erzeugten festen Produkte (HTC Kohle) kann auch eine stoffliche Nutzung erfolgen. Außerdem können flüssige Kohlenstoffträger als Plattform-Chemikalien sowie gasförmige Kohlenstoffträger als Brenn- oder Synthesegas (Klemm und Glowacki 2015). Derzeit sind die hydrothermalen Prozesse aber noch mit sehr hohen Investitions- und Produktionskosten verbunden. Zudem müssten noch weitere Prozessoptimierungen erfolgen. Daher ist in diesem Bereich noch intensive Forschungsarbeit notwendig.

Tabelle 7: Vorteile/Alleinstellungsmerkmale der Hydrothermalen Prozesse

	Vorteile/Alleinstellungsmerkmale
Technologie	Verarbeitung von Biomasse mit hohem Wassergehalt Vielzahl an Produkten möglich

7.4 Thermochemische Gaserzeugung

Bei der thermochemischen Gaserzeugung von biogenen Brennstoffen entsteht das sogenannte Produktgas, welches reich an CO, CO₂, H₂, H₂O und CH₄ ist (Kaltschmitt et al., 2016). Die Gaserzeugung ist eine vielversprechende Technologie, um die umweltfreundliche und effiziente Erzeugung von Sekundärenergieträgern sowie die Stromerzeugung aus diesem Produktgas voranzutreiben. Außerdem kann Produktgas für verschiedene Synthesen verwendet werden, wie die Fischer-Tropsch Synthese, Methanisierung (Kraussler et al., 2018; Van der Meiiden et al. 2010) und Gemischte-Alkohol-Synthese (Binder et al., 2017). Darüber hinaus ist es möglich, H₂ aus dem Gasstrom für die Erzeugung von erneuerbarem H₂ abzutrennen (Kraussler et al., 2016).

7.4.1 Technologische Umsetzung

Die Gaserzeugung kann in einer Vielzahl unterschiedlicher Reaktoren durchgeführt werden. Insbesondere die Anlagengröße ist ein Kriterium bei der Auswahl der geeigneten Gaserzeugungstechnologie. Die kleinsten Anlagen können als Festbettvergaser mit einer Größe von 10 kW bis 10 MW realisiert werden. In Festbettvergasern bildet der Brennstoff ein Festbett (d. h. die Gasgeschwindigkeit ist zu gering, um den Brennstoff zu bewegen). Der Brennstoff wird von oben zugeführt und durch-

läuft alle Schritte der thermochemischen Umwandlung in verschiedenen Höhen des Reaktors, während er sich nach unten bewegt und am Boden des Reaktors Asche zurücklässt. Die gebräuchlichsten Ausführungen sind Gleichstrom- und Gegenstrom-Festbettgaserzeuger. Die Begriffe Gleichstrom und Gegenstrom beschreiben das Verhältnis der Strömungsrichtung des Brennstoffs (immer abwärts) und des Gases (abwärts bei Gleichstrom und aufwärts bei der Gegenstromtechnologie) (Kaltschmitt, 2016). Als Vergasungsmittel wird aufgrund der Einfachheit und geringen Kosten Luft verwendet. Mithilfe alternativer Vergasungsmittel (z.B. CO₂, Sauerstoff und Wasserdampf) kann Synthesegas mit hoher Energiedichte erzeugt werden.

Wirbelschichtvergaser decken den mittleren Bereich der Anwendbarkeit mit einer Größe von 2 MW bis 100 MW ab und Flugstromvergaser sind im Leistungsbereich von 40 MW bis 1 GW angesiedelt (Basu, 2010).

Wirbelschichtreaktoren bestehen aus einem Bettmaterial, das durch den Gasstrom in Schwebelage gehalten wird. Das Bettmaterial besteht aus festen Partikeln, typischerweise mit einer Größe von 0,5 bis 1 mm, und kann inert sein oder als Katalysator fungieren (Kaltschmitt et al., 2016). Die Verwendung einer Wirbelschicht gewährleistet eine gute Gas-Feststoff-Mischung und eine gleichmäßige Temperatur im gesamten Bett, so dass eine Vielzahl von Brennstoffen unterschiedlicher Qualität verwendet werden können (Basu, 2010) (z.B. sind Brennstoffwassergehalte von 5 bis 60 % möglich (Kaltschmitt et al., 2016)). Die Wirbelschichtgaserzeugung kann in blasenbildenden Wirbelschichten oder zirkulierenden Wirbelschichten durchgeführt werden, die sich in den angewandten Gasgeschwindigkeiten unterscheiden. Eine besondere Form von Wirbelschichtvergasern sind Zweibettwirbelschichten (dual fluidized bed, DFB). Dieses Verfahren basiert auf der Trennung von endothermer Gaserzeugung und exothermer Verbrennung. Die für die endotherme Gaserzeugung notwendige Wärme wird durch ein zirkulierendes Bettmaterial aus dem Verbrennungsreaktor zum Gaserzeugungsreaktor transportiert. Bei der DFB-Dampfgaserzeugung wird Dampf als Vergasungsmittel eingesetzt. Ein Teil des während der Gaserzeugung erzeugten Koks wird mit dem Bettmaterial in den Verbrennungsreaktor transportiert und dort verbrannt, um die für die Gaserzeugung erforderliche Wärme zu erzeugen (Schmid et al., 2012; Kraft et al., 2018). Neben der Wärmeübertragung wirkt das Bettmaterial zusätzlich als Katalysator für die Teerreformierung und die Wasser-Gas-Shift-(WGS) Reaktion (Kuba et al., 2016a; Kuba et al., 2016b). Aufgrund seiner Abriebfestigkeit und katalytischen Aktivität zur Teerreformierung stellt Olivin ein geeignetes Mineral für diese Anwendung dar.

Die Verwendung von Dampf als Vergasungsmittel führt zu einem N₂-freien Produktgas (Kern et al., 2013a, Kern et al., 2013b, Göransson et al., 2011) mit einem Heizwert von etwa 10 bis 16 MJ m⁻³ (Benedikt et al., 2019).

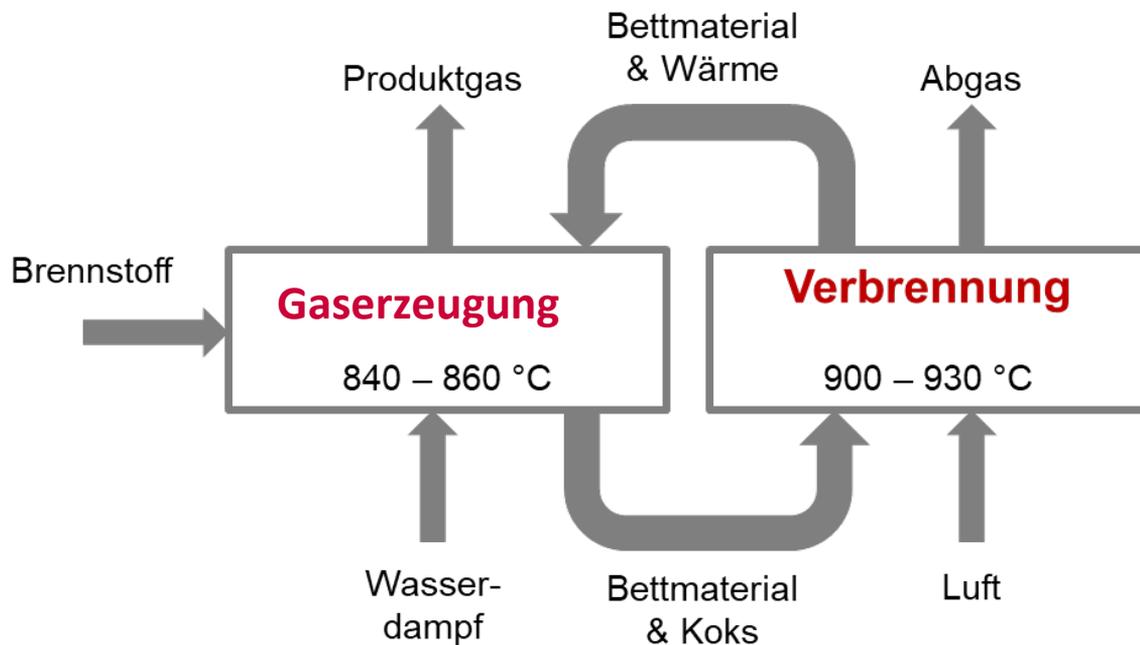


Abbildung 17: Schema der Zweibettwirbelschichtdampf-gaserzeugung (basierend auf Schmid et al., 2012)

Bei der Flugstromgaserzeugung wird der Brennstoff fein gemahlen. Dies kann bei Biomasse eine besondere Herausforderung darstellen, da die Zerkleinerung von Fasermaterialien in der Regel energieintensiv ist (Basu, 2010). Der Brennstoff wird bei 1.200 °C im Gleichstrom mit Luft oder Sauerstoff vergast (Kaltschmitt, 2016). Die geringe Partikelgröße des Brennstoffs führt zur vollständigen Umsetzung nach wenigen Sekunden. Aufgrund der hohen Temperaturen schmilzt die Brennstoffasche normalerweise und kann als Schlacke aufgefangen werden. Daher eignet sich die Flugstromgaserzeugung besonders für Brennstoffe mit geringen Ascheschmelztemperaturen, die bei anderen Gaserzeugungstechnologien nur beschränkt eingesetzt werden können. Die hohen Temperaturen führen auch zu einem niedrigen Teer- und Methangehalt, was für gewisse Syntheseanwendungen besonders vorteilhaft ist (Basu, 2010).

7.4.2 Marktentwicklung

Am Markt verfügbare Festbettgaserzeuger liegen typischerweise im Bereich von einigen 100 kW Brennstoffwärmeleistung – für größere Kapazitäten kommen häufig mehrere Gaserzeugungseinheiten in Kaskaden zum Einsatz. Vorteilhaft dabei ist, dass ein Ausfall einzelner Einheiten – z.B. bei Reparatur oder Wartung – nur eine Reduktion der Leistung und keinen kompletten Stillstand zur Folge hat. Umgekehrt können größere Anlagen natürlich in der Herstellung günstiger und effizienter sein. Derzeit eingesetzte Festbett-Gaserzeugungstechnologien werden mit Holzpellets oder Hackgut betrieben. Die Anlagen reagieren durchaus sensibel auf die eingesetzte Brennstoffqualität, weshalb einige Hersteller die Qualitätsanforderungen für Hackgut genauer spezifizieren.

Auf der Grundlage des Konzepts der DFB Gaserzeugung wurde Anfang der 2000er Jahre mit dem Heizkraftwerk Güssing in Österreich (8 MW thermisch) die erste industrielle Anwendung mit Holz als Brennstoff in Betrieb genommen. Weitere Anlagen wurden in Oberwart, Österreich (9 MW thermische Brennstoffleistung), Villach, Österreich (15 MW thermische Brennstoffleistung), Senden, Deutschland (15 MW thermische Brennstoffleistung) und Göteborg, Schweden (32 MW thermische Brennstoffleistung) errichtet. Aufgrund wirtschaftlicher Probleme sind die meisten der bisher errichteten DFB-Dampfgaserzeugungsanlagen derzeit nicht (mehr) in Betrieb. In Österreich wurden die Anlagen in Güssing und Oberwart stillgelegt, nachdem die Ökostromförderung für die Anlagen auslief und sie damit wirtschaftlich nicht mehr tragbar waren. Ein unwirtschaftlicher Betrieb führte auch zur Stilllegung der Anlagen in Deutschland und Schweden.

Jüngste Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der DFB-Dampfgaserzeugung konzentrieren sich auf die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit sowie der Effizienz des Prozesses. Erhebliche Forschungsanstrengungen konzentrieren sich auf alternative Brennstoffe mit niedrigeren Kosten im Vergleich zu Holz.

Die angestrebten Produkte entwickeln sich auch zu höherwertigen Outputs. Anstatt ein für die Wärme- und Stromerzeugung geeignetes Gas zu liefern, wie es bei den meisten der bisherigen kommerziellen Anlagen der Fall war, wird das Produktgas nun für nachgeschaltete Synthesen optimiert. In Wien wurde eine Demonstrationsanlage¹⁶ mit einer Leistung von 1 MW errichtet, deren Schwerpunkt auf der Gaserzeugung aus Abfällen und insbesondere aus Klärschlamm liegt. Die Unterschiede zur Gaserzeugung aus Holz werden in mehrwöchigen Kampagnen als letzter Schritt vor der Kommerzialisierung untersucht. Synthesen (z.B. Fischer-Tropsch, Kapitel 7.5) werden auch nachgelagert durchgeführt, um die gesamte Prozesskette abzubilden.

¹⁶ https://best-research.eu/content/de/infrastruktur/Synthesegas_Syngas_Wien

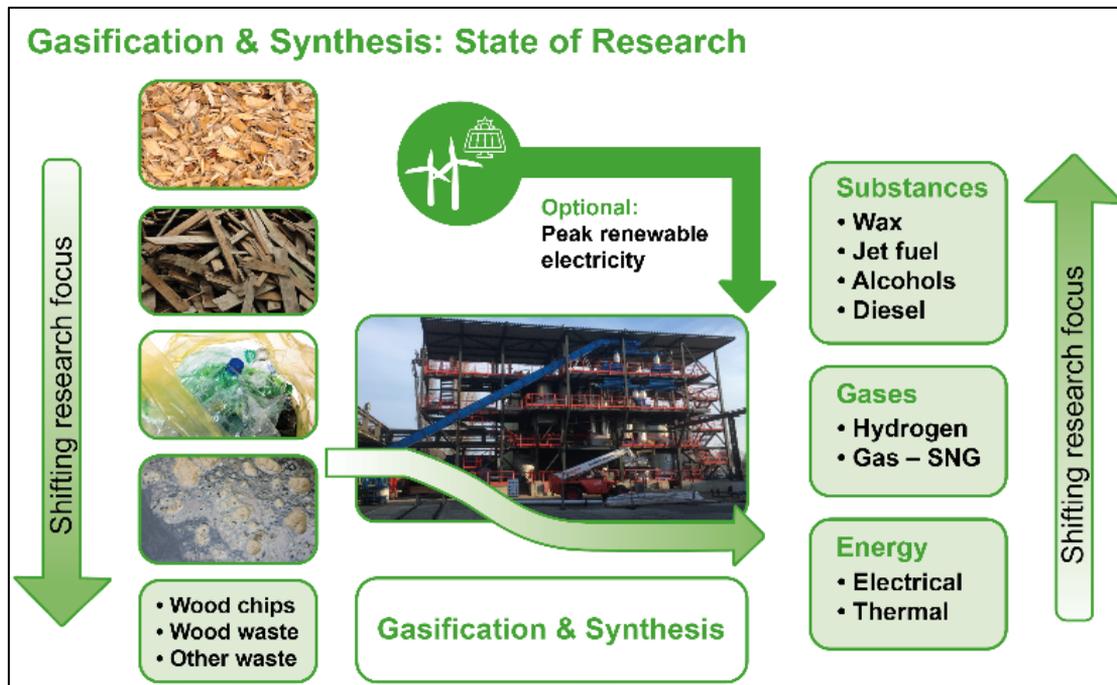


Abbildung 18: Konzept der Syngas Plattform Wien (Quelle: BEST)

Tabelle 8: Vorteile/Alleinstellungsmerkmale der thermochemischen Gaserzeugung

	Vorteile/Alleinstellungsmerkmale
Technologie	<p>Durch den Gaserzeugungsprozess werden Biomasse und Reststoffe zu Produktgas umgewandelt.</p> <p>Bei der Verwendung von erneuerbaren Roh- bzw. Reststoffen (Biomasse, Klärschlamm, ...) ist auch die Nutzung dieser Produkte CO₂-neutral.</p> <p>Dient zur Herstellung von speicherfähigen Energieträgern bzw. Ausgangsprodukten für verschiedene Syntheseprozesse.</p> <p>Auch (Überschuss-) Strom von Wind- und Solarkraftwerken kann in Form von zusätzlichem H₂ für die Synthesen genutzt und dadurch gespeichert werden.</p> <p>Flexibles Prozessdesign erlaubt Anpassung an verschiedene Ausgangsstoffe und Produkte.</p>

Produktgas	Das Produktgas kann direkt zur Erzeugung von Strom und Wärme genutzt werden - in verschiedenen industriellen Einsatzfällen kann man z.B. aus aschereichen Reststoffen ein sauberes, aschefreies, mittelkalorisches Brenngas machen.
------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

7.5 Synthese erneuerbarer Energieträger

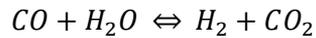
Nach der Gaserzeugung enthält das Produktgas noch eine Reihe an höherwertigen Kohlenwasserstoffen, welche für die Nutzung in Synthesanlagen vorab abgetrennt werden müssen. In den kommerziellen DFB Anlagen hat sich die Verwendung einer Rapsmethylester (RME)-Wäsche (Biodiesel-Wäsche) als sinnvoll erwiesen. Hierbei wird der Großteil der Teere abgeschieden. Ebenso werden durch die Abkühlung auf deutlich unter 100 °C der Dampf im Produktgas, sowie wasserlösliche Verunreinigungen wie NH₃ kondensiert. Der mit Teer beladene RME wird typischerweise im Verbrennungsreaktor als Begleitbrennstoff verbrannt, somit kommt es hier zu keinem Abfallstrom, der entsorgt werden muss.

7.5.1 Technologische Umsetzung

Die **Fischer-Tropsch Synthese** (FT-Synthese) ist ein seit vielen Jahrzehnten etabliertes Verfahren, um Kohlenwasserstoffe aus Biomasse, Kohle oder Erdgas herzustellen. Die FT-Synthese stellt aufgrund Ihrer Flexibilität hinsichtlich der einzusetzenden Ausgangsstoffe und der erzeugten Produkte (z.B. Treibstoffe sowie hochwertige Einsatzstoffe für die chemische Industrie) eine Schlüsseltechnologie für das Recycling von Kohlenstoff dar. Für die FT-Synthese können prinzipiell Festbett-, Wirbelschicht-, Slurry- oder Mikroreaktoren eingesetzt werden. Shell verwendet z.B. Festbettreaktoren. Microchannel-Reaktoren werden z.B. von Interatec und Velocys entwickelt. Da Änderungen von bereits 2-3°C einen starken Einfluss auf die Produktqualität haben, zielen alle Entwicklungen von FT-Reaktoren auf eine gute Wärmeabfuhr bzw. ein gutes Wärmemanagement ab.

Die **Methanisierung** resultiert in einem Gas, das von seinen Eigenschaften gleichwertig mit Erdgas ist (BioSNG – Synthetic Natural Gas aus Biomasse) und somit in vorhandener Infrastruktur genutzt werden kann. Zu diesem Zweck wird das Gas weiter aufgereinigt und der Methangehalt maximiert. Um dies zu erreichen, sind niedrige Reaktionstemperaturen und hohe Drücke, sowie die Nutzung eines Katalysators notwendig. Nickelkatalysatoren haben sich als ideales Material für die Methanisierung herausgestellt, es gibt aber auch Methanisierungskatalysatoren basierend auf Ruthenium, Eisen, Kobalt und Molybdän (Hofbauer et al. 2020). Kommerziell werden Methanisierungsreaktoren als adiabate Festbettreaktoren ausgeführt. Es gibt verschiedenste Anbieter, welche alle leicht unterschiedliche Prozessdesigns verwenden.

Wird auf die Maximierung des H₂-Gehalts abgezielt, wird CO mit Wasser über die Wasser-Gas-Shift (WGS) Reaktion zu zusätzlichem **Wasserstoff** umgewandelt:



WGS-Reaktoren werden meist als Festbettreaktoren ausgeführt und sind kommerziell verfügbar (Binder et al. 2018). Das Gleichgewicht der WGS-Reaktion verschiebt sich bei höheren Temperaturen Richtung CO und H₂O. Um den Gehalt an H₂ zu maximieren sind daher niedrigere Betriebstemperaturen notwendig. Bei WGS Reaktoren sowie deren Katalysatoren wird zwischen Hochtemperatur (HT, 350-550 °C) und Niedrigtemperatur (NT, etwa 200 °C) WGS unterschieden. Für die HT WGS werden typischerweise Katalysatoren basierend auf Fe-Cr verwendet.

7.5.2 Marktentwicklung

Das Produktgas kann einerseits direkt zur Erzeugung von Strom und Wärme genutzt werden. In verschiedenen industriellen Einsatzfällen kann man z.B. aus aschereichen Reststoffen ein sauberes, aschefreies, mittelkalorisches Brenngas machen. Die Weiterverarbeitung des Syngases zu speicherfähigen Energieträgern wird jedoch immer wichtiger – dies nicht zuletzt deswegen, weil dafür bereits existierende Infrastrukturen für Treibstoffe und für Erdgas genutzt werden können (drop-in fuels im Automobilbereich und das bestehende Erdgasnetz).

Die Entwicklung und die Optimierung der einzelnen Verfahren wird entlang der Prozesskette in die drei Bereiche Gasproduktion (thermische Vergasung), Gasaufbereitung und Gasanwendung (Synthesen) unterteilt, in denen derzeit eine Reihe von notwendigen Neu- und Weiterentwicklungen von Verfahrensstufen, von Gesamtverfahren und von den erforderlichen Infrastrukturen im Rahmen von Forschungstätigkeiten erfolgt. Diese Aktivitäten sollten intensiviert werden, damit diese Technologien letztlich implementiert, und auch exportiert werden können.

Die Investitions- bzw. Betriebskosten sind im Vergleich zu fossilen Anlagen in diesem Bereich noch recht hoch. Daher werden Grünes Gas und grüner Wasserstoff erst dann einen entsprechenden Marktdurchbruch erfahren, wenn es adäquate gesetzliche Grundlagen mit verpflichtenden Zielen bzw. Quoten und die dafür unterstützenden Fördermechanismen gibt, um die ersten kommerziellen Anlagen bauen zu können.

Tabelle 9: Vorteile/Alleinstellungsmerkmale der Synthese erneuerbarer Energieträger

	Vorteile/Alleinstellungsmerkmale
Synthese erneuerbarer Energieträger	<p>Herstellung von synthetischen Treibstoffen (FT-Diesel, FT-Kerosin, Methanol), gasförmiger Energieträger (H₂ und synthetisches Erdgas) oder Chemikalien möglich.</p> <p>Dabei handelt es sich um speicherbare Energieträger, die zum größten Teil in bereits bestehender Infrastruktur eingesetzt werden können</p>

7.6 Biotreibstoffe für den Luftverkehr

7.6.1 Technologische Umsetzung

Die Definition von nachhaltigen Flugkraftstoffen (Sustainable Aviation Fuels, SAF) umfasst eine breite Palette von Kraftstoffen, die über verschiedene Wege hergestellt werden. Der Begriff SAF umfasst alle nicht-fossilen Flugkraftstoffe, die über die Kohlenstoffintensität hinaus entsprechende Nachhaltigkeitskriterien erfüllen. SAF können grundsätzlich weiter in Biokraftstoffe und E-Treibstoffe unterteilt werden, wobei im Folgenden nur Biokraftstoffe berücksichtigt werden.

Biokraftstoffe umfassen Kraftstoffe auf der Grundlage von Biomasse, bei der es sich um Nahrungs- und Futtermittelpflanzen, Energiepflanzen, landwirtschaftliche Reststoffe, forstwirtschaftliche Biomasse und Rückstände sowie andere Abfälle und Reststoffe handeln kann. Biokraftstoffe aus Biomasserohstoffen wie Abfällen, Reststoffen oder Waldrestholz werden als fortschrittliche Biokraftstoffe bezeichnet. Von diesen werden geringere negative Wirkungen auf Landnutzungsänderungsprozesse erwartet als bei Biokraftstoffen der ersten Generation, wie zum Beispiel aus Raps, Getreide oder Palmöl. Biotreibstoffe können als drop-in fuels, also in bestehender Infrastruktur gleichwertig mit fossilen Kraftstoffen, verwendet werden.

Neue Flugtreibstoffe müssen hohe Sicherheitsstandards erfüllen, wenn sie im kommerziellen Flugverkehr eingesetzt werden. Die Zulassung ist ein langwieriger Prozess. Bislang wurden neun Produktionsverfahren für alternative Flugkraftstoffe zugelassen, die den internationalen Normen ASTM D4054 entsprechen. Mehrere weitere Verfahren werden derzeit von der ASTM (Internationale Standardisierungsorganisation) geprüft. Die Zertifizierung stellt sicher, dass die chemischen und leistungsbezogenen Merkmale von herkömmlichem Jet-A1-Kraftstoff bis zu einer bestimmten

Mischung (Drop-in) erfüllt werden. Sie bezieht sich nicht auf den TRL oder den Grad der Nachhaltigkeit. Derzeit wird daran gearbeitet, die Verwendung von 100 % SAF in Flugzeugen zuzulassen und die Höchstgrenze für die Beimischung von 5 % auf 30 % zu erhöhen.

Im Folgenden wird ein Kurzüberblick über die verschiedenen Technologien gegeben:

- **HEFA:** Der HEFA-Pfad hat den höchsten TRL unter den SAF-Pfaden und hat das Potenzial, in naher Zukunft große Mengen an SAF zu liefern. HEFA ist bereits auf dem Markt und erfordert vergleichsweise geringe Investitionskosten. Triglyceridhaltige Altöle und -fette werden hydriert und anschließend hydrogecrackt und hydroisomerisiert. Die Isomerisierung ist erforderlich, um die Kaltfließigenschaften des Flugkraftstoffs zu verbessern. Alkane, Isomere und Crackprodukte werden abgetrennt und zu Propan, Benzin, Diesel und Drop-in-Flugkraftstoff fraktioniert.
- **Fischer Tropsch Kraftstoffe:** Der Fischer-Tropsch-Pfad ist vielversprechend im Hinblick auf die Reduzierung der CO₂-Emissionen und die Flexibilität der Rohstoffe. Darüber hinaus ist die Technologie bereits entwickelt und die Produktion von flüssigem Kraftstoff aus fossilen Quellen ist gut etabliert. Kommerzielle FT-Anlagen werden mit fossilen Brennstoffen wie Kohle oder Erdgas betrieben, aber auch z. B. biogene Rückstände können als Brennstoff verwendet werden. Leichte Kohlenwasserstoffe können oligomerisiert und schwerere Kohlenwasserstoffe können hydrogecrackt werden, um die gewünschten Eigenschaften des nachhaltigen Flugkraftstoffs zu erhalten. Schließlich werden die Rohprodukte durch Destillation isomerisiert und fraktioniert.
- **Alcohol-to-Jet (ATJ):** Das ATJ-Verfahren wandelt Ethanol (oder Isobutanol) in synthetisches paraffinisches Kerosin und Diesel um. Zunächst wird das Ethanol zu Ethylen dehydratisiert. Das Ethylen wird dann zu längererkettigen Olefinen oligomerisiert, wobei die Betriebsbedingungen des Prozesses so eingestellt werden können, dass eine hohe Ausbeute an Flugbenzin oder Diesel entsteht. In der Hydrierungsstufe werden alle Olefine zu Paraffinen und Isoparaffinen gesättigt. Schließlich wird das Produkt in der Fraktionierungsstufe fraktioniert, um Flugbenzin und Diesel zu trennen.

Der Flugverkehr ist für ca. 2 % der globalen Treibhausgasemissionen verantwortlich. Die potenziellen Treibhausgaseinsparungen durch SAF hängen stark von der jeweiligen Technologie sowie den eingesetzten Rohstoffen ab. Konventioneller Jet-A1 hat eine Treibhausgasintensität von ca. 85 bis 95 g CO₂-eq/MJ (IEA-AMF Task 63, 2023).

7.6.2 Marktentwicklung

SAF werden als wichtige Maßnahme zur Dekarbonisierung des Flugsektors betrachtet, und zwar von Industrie sowie von Politik. In den letzten Jahren wurden verschiedene SAF Strategien und Roadmaps ausgearbeitet und das Interesse unter nationalen Akteuren an der Produktion und dem Kauf von SAF ist groß. Bis 2022 gab es in Österreich noch keine Produktion und auch keinen Verbrauch von SAF. Seither produziert die OMV ca. 2.000 Tonnen SAF in der Form von HEFA pro Jahr. Diese Mengen werden vom Flughafen Wien-Schwechat verbraucht. Die OMV plant eine Produktionssteigerung auf 700.000 Tonnen pro Jahr bis 2030 und ist auch interessiert daran, grünen Wasserstoff herzustellen. Im Vergleich dazu lag der inländische Verbrauch von konventionellem Jet-A1 2019 bei ca. 1.190 Mio. Liter während die inländische Produktion 1.116 Mio. Liter bzw. 893.040 t betrug (IEA-AMF Task 63, 2023). Weitere Details siehe Tabelle 10.

Tabelle 10: Überblick Flugtreibstoffe in Österreich (Stand 2019) (IEA-AMF Task 63, 2023)

Kraftstoff	Inländische Produktion	Import	Export	Treibhausgasintensität	Produktionskosten
Jet-A1	1.116 Mio. l 893.040 t	62,6 Mio. l 50.064 t	36,1 Mio. l 28.848 t	85-95 g CO ₂ - eq/MJ	0,4 €/Liter

Vom TCP Advanced Motor Fuels¹⁷ wurden Szenarien bis 2050 berechnet, welche die Entwicklung von SAF in Österreich abbilden. Dafür wurde angenommen, dass die EU Ziele erfüllt werden und der Anteil von SAF kontinuierlich zunimmt bis er 2050 70 % erreicht. Die Szenarien resultieren in einem SAF Verbrauch von 18 Mio. Liter in 2025 und 51 Liter in 2030 – siehe Abbildung 19.

¹⁷ AMF (iea-amf.org)

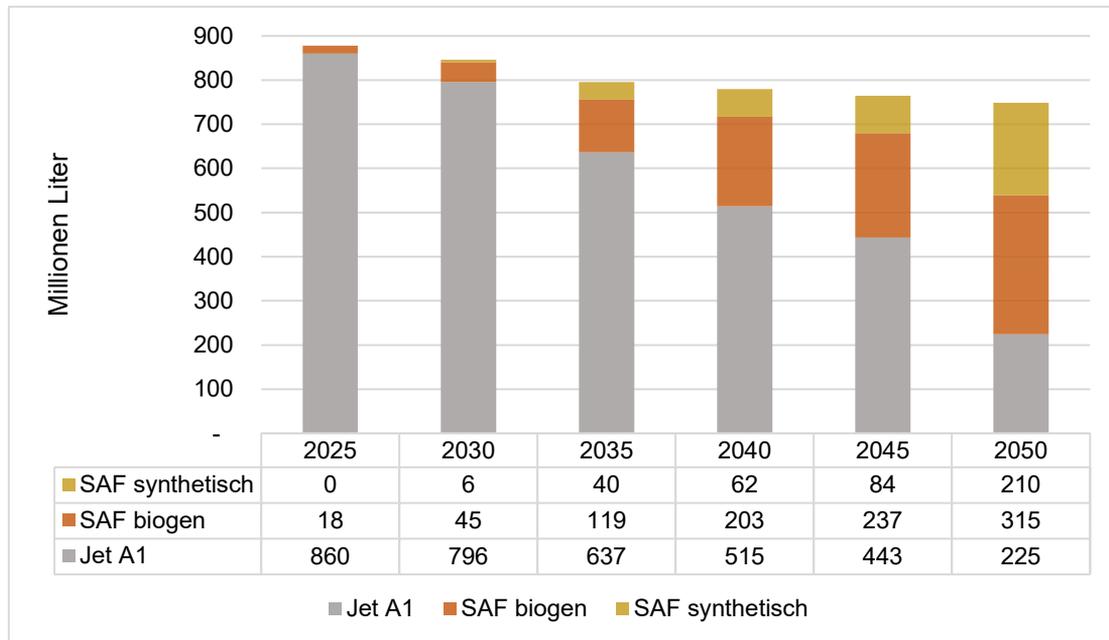


Abbildung 19: Szenarien für die SAF Entwicklung in Österreich im Einklang mit den EU Zielen bzw. Vorgaben, Angaben in Mio. Liter (Quelle: BEST, 2023)

Da dafür verschiedene Technologien und Ausführungen zur Verfügung stehen, ergibt sich auch eine breite Palette an potenziellen Rohstoffen. Von jenen Rohstoffen, welche die Basis für das theoretische Potenzial für 2050 darstellen, hat Holz aus Kurzumtrieb den größten Anteil, gefolgt vom derzeit ungenutzten Holzzuwachs österreichischer Wälder und Miscanthus. Die Verteilung ist auch in Abbildung 20 dargestellt.

Rohstoffpotenzial für SAF 2050 insgesamt 1,5 Mio. t-atro

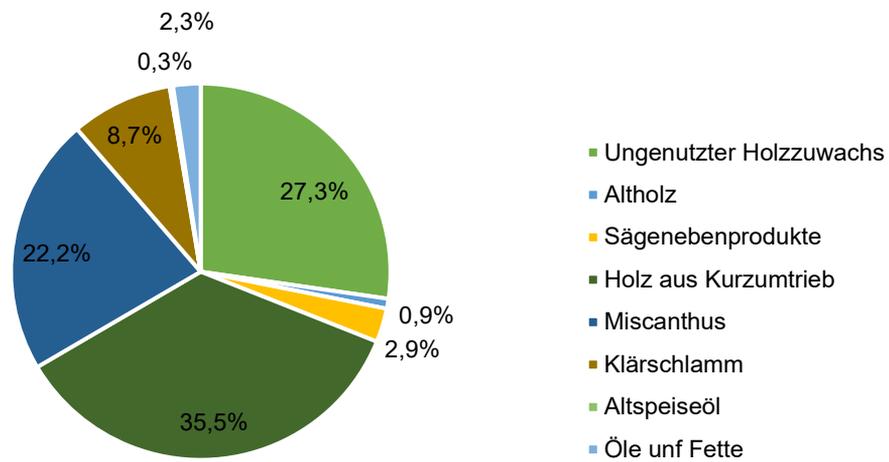


Abbildung 20: Theoretisches Rohstoffpotenzial für die Produktion von SAF im Jahr 2050 (Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von IEA-AMF Task 63 (2023))

Innerhalb des europäischen Fit-for-55 Pakets gibt es fünf Initiativen, welche den Flugsektor betreffen: Die ReFuelEU Aviation Initiative, Renewable Energy Directive, das EU Emissionshandelssystem, die Energy Taxation Initiative sowie die Alternative Fuel Infrastructure Regulation. Auf nationaler Ebene wurde in den vergangenen Jahren eine Reihe von Strategien und Berichten mit Bezug auf SAF veröffentlicht: Die Luftfahrtstrategie 2040+, die Wasserstoffstrategie, der Bericht „Erneuerbares Gas in Österreich 2040“, der Mobilitätsmasterplan 2030 für Österreich, der Nationale Energie- und Klimaplan sowie die Roadmap Luftfahrt 2020.

Eine SWOT Analyse für SAF in Österreich ist Tabelle 11 zu entnehmen.

Tabelle 11: SWOT Analyse für SAF in Österreich

Stärken	Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> • Know-how durch mehrere Forschungsinstitute und Technologieanbieter • Konsens von Politik und Industrie zur Bedeutung von SAF • Gemeinsame Position zu SAF der führenden Unternehmen aus den Bereichen Mobilität, Energie und Digitalisierung • Lange Tradition von nachhaltiger Waldbewirtschaftung und Biomassenutzung 	<ul style="list-style-type: none"> • Relativ hohe Kosten • Geringe Marktreife • Derzeit geringe heimische Produktion
Möglichkeiten	Hindernisse
<ul style="list-style-type: none"> • Politische Anreize wie Finanzierung und Risikoverteilung könnten zu Investitionen führen • Nationale Akteure sind an der Produktion und dem Kauf von SAF interessiert 	<ul style="list-style-type: none"> • Unsicherer rechtlicher Rahmen • Begrenzte Rohstoffverfügbarkeit, tlw. Rohstoffkonkurrenz

7.7 Biotechnologische Umwandlung

Die Biogasproduktion, auch anaerobe Vergärung genannt, ist ein biotechnologischer Prozess, der auf einer mikrobiellen Mischkultur basiert. **Anaerob** bedeutet, dass die Zersetzung von Biomasse durch Mikroorganismen in sauerstofffreier Atmosphäre stattfindet. In anschließenden Abbauphasen werden organische Stoffe (Proteine, Kohlenhydrate, Fette) in lösliche Zwischenprodukte (flüchtige Fettsäuren, Alkohole usw.) und schließlich in Biogas umgewandelt. Das erzeugte Biogas besteht hauptsächlich aus Methan und Kohlendioxid sowie geringen Mengen an Wasserstoff, Schwefelwasserstoff, Ammoniak und Wasser.

Biogas wird größtenteils aus verschiedenen Arten von Rückständen und Nebenprodukten, wie biologisch abbaubaren Abfällen (z. B. Biomüll), industriellen Nebenprodukten/Abfällen (z. B. aus Lebensmittel- und Getränkeindustrie), landwirtschaftlichen Nebenprodukten (z.B. Gülle) oder Abwasser (Klärschlamm, Industrieabwässer) erzeugt. Es kann aber auch aus Biomasse-Rohstoffen, wie z. B. Mais, hergestellt werden.

In Biogasanlagen werden die Einsatzstoffe in Biogas umgewandelt, das vor Ort für Wärmezwecke oder zur kombinierten Strom- und Wärmeerzeugung (KWK) genutzt werden kann. Alternativ kann das Biogas zu Biomethan aufbereitet werden. Biomethan kann in die nationalen Gasnetze eingespeist werden und den Anteil des grünen Gases erhöhen.

7.7.1 Technologische Umsetzung Biogaserzeugung

Klassische Biogasanlagen werden meist als Nassvergärungsanlagen gebaut. Dies bedeutet, dass die Vergärung in einer Flüssigkeit im volldurchmischten Reaktor stattfindet. Eine Alternative bietet die Trockenvergärung, wie z.B. die Garagen- oder Boxenfermenter. Hierbei wird das Material mit einem Radlader in die Box eingebracht und mit dem vorhandenen Material vermischt. Dann wird die Box geschlossen und es wird Wasser von oben auf das Material geregnet. Dieses Wasser wird im Rahmen eines Drainagesystems wieder aufgefangen und im Kreislauf wieder in die Verregnung geführt.

Nach dem anaeroben Vergärungsprozess fallen die nicht abbaubare Biomasse und das restliche Wasser als Nebenprodukt an. Dieser Gärrest wird als Gärrückstand bezeichnet. In den meisten Fällen handelt es sich um flüssige Gärreste, aber z.B. nach Trockenvergärungsprozessen oder nach einer Zentrifugation fallen auch feste Gärreste an. Diese Gärreste (flüssig oder fest) werden idealerweise als Düngemittel verwertet und auf landwirtschaftlichen Böden ausgebracht. Bei großtechnischen Biogasanwendungen können die Gärreste zum Engpass werden. Der Grund dafür ist, dass die Ausbringung auf dem Land durch Vorschriften (z. B. die europäische Nitratrichtlinie) begrenzt ist und große Entfernungen zurückgelegt werden müssen, um große Mengen von Gärresten auszubringen. Eine alternative Verwertung von Gärrest der Biogasanlage stellt die Pyrolyse dar. Durch die Pyrolyse können einerseits enthaltene Störstoffe, wie z.B. Mikroplastik, beseitigt werden, andererseits wird Biokohle als Produkt gewonnen, welches wiederum vielseitig einsetzbar ist (abhängig vom Ausgangsmaterial z.B. als Düngemittel, Stalleinstreu, Aktivkohle etc.) (siehe Kapitel 7.2).

Während die Biogastechnologie schon lange etabliert ist, gibt es einige Bereiche, in denen noch Potenzial zur Verbesserung besteht:

- **Systemintegration:** Ein vielversprechender Ansatz für innovative Biogasprojekte ist die Systemintegration einer Anlage in ihr Umfeld und die spezifischen Randbedingungen. Da die Projekte von Fall zu Fall unterschiedlich sind, können dadurch verschiedene Aspekte der Biogastechnologie an Attraktivität gewinnen. Ein wichtiges Beispiel ist die Fähigkeit, die Produktion in Abhängigkeit von der Nachfrage aus den Stromnetzen hoch- und runterzufahren (wobei intermittierende erneuerbare Energien wie Sonne und Wind eine zunehmende Rolle spielen). Die Biogastechnologie lässt sich auch leicht mit Bioraffineriekonzepten zur Behandlung von Zwischenprodukten oder Rückständen oder mit Power-to-Gas-Konzepten mit erneuerbarem Wasserstoff kombinieren.

- Vorbehandlung von Rohstoffen: Für die Vorbehandlung von Biogasrohstoffen können verschiedene Technologien eingesetzt werden: mechanische, thermische, mikrobielle, enzymatische Verfahren sowie Kombinationen davon. Der Zweck der Vorbehandlung besteht entweder darin, Rohstoffe/Bestandteile mikrobiell abbaubar zu machen, die vorher nicht abbaubar waren, und/oder die Abbaupzeit zu verkürzen. Da die Vorbehandlung von Rohstoffen oft mit erheblichen Investitionskosten und Energieaufwand verbunden ist, muss für jeden spezifischen Fall/Rohstoff geprüft werden, ob die Vorbehandlung effizient und vorteilhaft ist.
- Gärrestaufbereitung: Bei großtechnischen Biogasanwendungen können die Gärreste zum Engpass werden. Der Grund dafür ist, dass die Ausbringung auf dem Land durch Vorschriften (z. B. die europäische Nitratrichtlinie) begrenzt ist und große Entfernungen zurückgelegt werden müssen, um große Mengen von Gärresten auszubringen. Es gibt zahlreiche F&E-Aktivitäten zur Erforschung und Optimierung der Behandlung oder Verarbeitung von Gärresten. Diese Verfahren wandeln Gärreste in ein nährstoffreiches Konzentrat (das über weite Strecken wirtschaftlicher zu transportieren ist) und in Brauchwasser um.
- Monovergärung von Industrieabfällen: Bei großtechnischen Prozessen fallen häufig bestimmte Rückstände oder Abwässer an. Der anaerobe Vergärungsprozess muss auf die spezifischen Monosubstrate zugeschnitten sein und Hemmungen oder Mangel an Spurenelementen entgegenwirken.
- Wirtschaftlich tragfähige Biogasanlagen im kleinen Maßstab: Die Verfügbarkeit von Rohstoffen begrenzt die Kapazität von Biogasanlagen. Daher haben Kleinanlagen aufgrund der Skaleneffekte tendenziell hohe spezifische Kosten. Für eine nachhaltige Nutzung von Substraten und die Integration in landwirtschaftliche Infrastrukturen sind wirtschaftliche Lösungen für eher kleine Anlagenkapazitäten (z.B. 50-200 kW_{el}) erforderlich.
- Biogasanlagen als Bioraffinerien: Der Biogasprozess hat nicht nur das Potenzial, Energie zu erzeugen, sondern die Zwischenprodukte wie Carbonsäuren können direkt als Chemikalien verwertet werden.

Zudem sollte auch die Rolle der Lebensmittel- und biogene Rohstoffe verarbeitenden Industrie nicht außer Acht gelassen werden: Wenn an einem Industriestandort vor Ort die Reststoffe zu Biogas verarbeitet werden, und dieses im Betrieb eingesetzt wird und dadurch fossiles Gas ersetzt (=direkte Verwertung von Biogas im Betrieb), sollte das auch gefördert werden.

7.7.2 Marktentwicklung der Biogastechnologie

Mit dem Ökostromgesetz, welches im Jahr 2003 in Kraft getreten ist, wurden viele Biogasanlagen in Betrieb genommen. Nach Auslaufen der 13-jährigen Förderperiode stellten einige Anlagen im Jahr 2016 den Betrieb unmittelbar bevor die nachfolgende Einspeisevergütung in Kraft trat ein. Im Jahr 2021 waren in Österreich 423 Biogasanlagen in Betrieb (EBA, 2022).

190 der österreichischen Biogasanlagen – knapp die Hälfte der Gesamtzahl im Jahr 2021 – sind landwirtschaftlich betriebene Anlage. Anlagen zur Abwasseraufbereitung und Anlagen zur Nutzung organischer Siedlungsabfälle bilden ebenfalls einen erheblichen Anteil der Gesamtzahl, nämlich 24 % bzw. 28 %. Ebenso wie die Anzahl der Biogasanlagen ist auch die Biogasproduktion in Österreich im letzten Jahrzehnt nur leicht gewachsen und erreichte im Jahr 2021 eine ausgewiesene Biogasproduktion von 1.487 GWh. In diesen Werten sind die Daten der Biogasproduktion aus Deponie- und Kläranlagen nicht inkludiert (EBA, 2022).

Mit der Umsetzung des Erneuerbare-Energien-Ausbaugesetzes (in Kraft seit Anfang 2022) wird in Österreich eine Verlagerung von der Biogas- hin zur Biomethanproduktion erwartet. Das Gesetz sieht Maßnahmen zur Umstellung von stromerzeugenden Biogasanlagen auf Biomethananlagen zur Einspeisung in das österreichische Gasnetz sowie Maßnahmen zur Errichtung neuer Biomethananlagen vor.

Tabelle 12: Vorteile/Alleinstellungsmerkmale der Biogastechnologie

	Vorteile/Alleinstellungsmerkmale
Biogas	Wetterunabhängige Strom- und Wärmeproduktion. Nutzung von Reststoffen (z.B. aus der Landwirtschaft und der Lebensmittelindustrie). Große Bandbreite an Kapazitäten möglich.

7.7.3 Technologische Umsetzung Biomethanherstellung

Die Aufbereitung von Biogas zu Biomethan umfasst die Entfernung von Verunreinigungen aus dem Gas sowie die Entfernung des Kohlendioxids. Der größte Aufwand besteht darin, das Kohlendioxid

aufgrund seiner hohen Konzentration (in der Regel 30-40 %) zu entfernen. Die am häufigsten angewandten Technologien zur Gasreinigung sind: Membrantrennung, Wasser- oder chemische Wäscher und Druckwechselabsorption. Sobald das CO₂ entfernt ist, verbleibt als Endprodukt Biomethan, das ähnliche Eigenschaften wie Erdgas aufweist und daher eine direkte Substitution unter Nutzung der bestehenden Infrastruktur und Nutzungstechnologien ermöglicht.

7.7.4 Marktentwicklung Biomethan

Biomethan kann in die nationalen Gasnetze eingespeist oder direkt an die Kunden weitergegeben werden (z. B. an lokale Tankstellen) und erhöht den Anteil des an die Kunden abgegebenen grünen Gases. Je nach den örtlichen Vorschriften muss Biomethan bei der Einspeisung in das Netz möglicherweise Propan zur Anpassung des Brennwertes und zur Geruchsverbesserung zugesetzt werden. Ein interessantes Konzept ist auch die direkte Kombination einer Biogasanlage mit einer Tankstelle für Biomethan, wie dies z.B. bei der Biogasanlage in Margarethen am Moos realisiert worden ist.

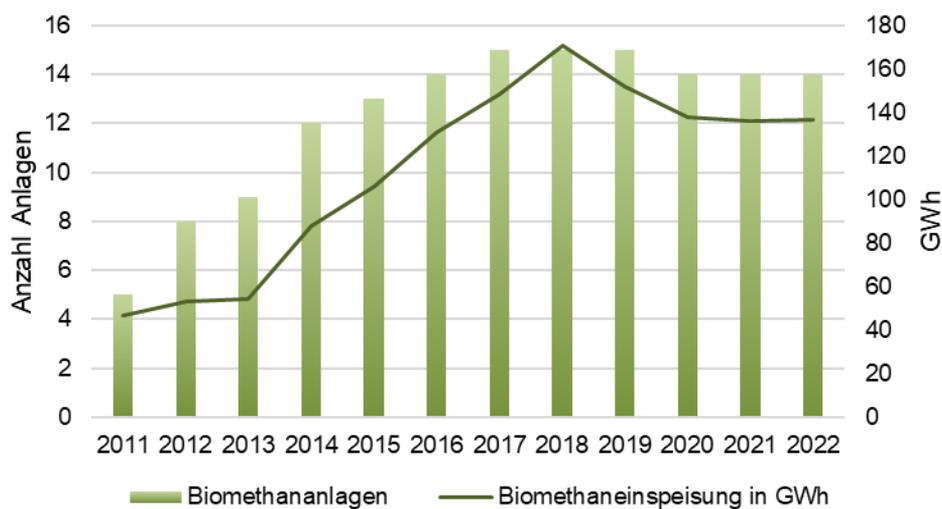


Abbildung 21: Anzahl der aktiven Biomethananlagen und deren Biomethaneinspeisung in GWh in Österreich. Quelle: BEST 2022, Daten: AGCS 2022

Aus einer Befragung unterschiedlichster Akteure im Biogas-/methanesektor (Kriechbaum et al., 2023) konnten drei Narrative abgeleitet werden, welche grundlegende Ansichten der zukünftigen Entwicklung vom Biomethanmarkt widerspiegeln. Diese unterscheiden sich in Ansichten zum Potenzial von Biomethan, Erdgas zu substituieren, potenziellen Anwendungsfeldern, Risiken eines zunehmenden ökologischen Drucks, der Rolle von Energiepflanzen, der Dringlichkeit, die Produktion hoch zu skalieren sowie zu Anlagengrößen und auch zu erwarteten Kosten. Allerdings haben alle drei Narrative gemein, dass die Bedeutung von Biomethan in Zukunft zunehmen wird.

Im Folgenden werden die drei Narrative der Studie von Kriechbaum et al.(2023) kurz vorgestellt.

1) „Greening the Gas“

In diesem Narrativ spielt Biomethan eine wesentliche Rolle in der Energiewende und die Ansicht herrscht vor, dass der Wechsel zu Biomethan so schnell wie möglich erfolgen soll. Anwendungsbereiche liegen in der Wärmebereitstellung, v.a. in der Raumwärme, sowie in der Stromproduktion, um diese in einem Erneuerbaren-Strommix auszugleichen. Ein Wechsel in der Raumwärme wird als gut möglich betrachtet ohne große Investitionen machen zu müssen. Biomethan gilt als kosteneffizienter und ausreichend verfügbarer Energieträger, der die Energiewende ökonomisch tragbar machen kann. Die Notwendigkeit, die Technologie hoch zu skalieren, wird nicht mit logistischen Problemen in Verbindung gebracht. Der Gasindustrie wird ausreichend Know-How zugeschrieben, um die entsprechenden Anlagen zu betreiben. In diesem Narrativ besteht nicht das Risiko eines zunehmenden ökologischen Drucks, allerdings wird das Risiko von Konflikten mit der Nahrungs- und Futtermittelindustrie hervorgehoben, weshalb die Nutzung von Mais und ähnlichen Substraten nicht unterstützt wird. Die „greening the gas“ Strategie der Gasindustrie wird vollkommen unterstützt.

2) „Champagne of the energy transition“

Auch in diesem Narrativ dominiert die Ansicht, dass Biomethan eine wichtige Rolle in der Energiewende spielen wird, das Potenzial wird allerdings unterschiedlich eingeschätzt. Das Hochskalieren wird als weniger dringend angesehen, was auch mit ernsthaften Zweifeln verbunden ist, dass ausreichend Reststoffe zur Verfügung stehen. Hier wird ein geringeres quantitatives Potenzial gesehen, welches mit höheren Kosten verbunden ist. Das macht Biomethan zu einem sehr wertvollen Energieträger, für den es gilt, die effizienteste Anwendung zu identifizieren und umzusetzen. Das heißt es wird auf Sektoren fokussiert, für die keine Dekarbonisierungsalternative existiert, was in erster Linie Industrie und Stromsektor (Langzeitspeicher) sind. In den Bereichen Raumwärme und Mobilität wird Biomethan nicht benötigt, da die Nutzung von erneuerbarem Strom die bessere Option darstellt. Um Konflikte mit der Nahrungs- und Futtermittelindustrie zu vermeiden, soll die Nutzung von Mais nicht unterstützt werden.

3) „Energy farmer 2.0“

Im „Energy farmer 2.0“ Narrativ steht die Schaffung von Arbeitsplätzen und die lokale Wertschöpfung im Vordergrund. Österreich wird in einer guten Position gesehen, eine Vorreiterrolle in der Biomethanproduktion einzunehmen. Das beruht einerseits auf dem quantitativen Potenzial und andererseits auf der technologischen Expertise. Landwirte werden vielmehr als potenzielle Betreiber von Anlagen gesehen als Energieunternehmen, dadurch haben auch Kleinanlagen eine gewisse Relevanz. Im Gegensatz zu den anderen beiden Narrativen wird die Nutzung nachwachsender Rohstoffe stark unterstützt, auch die Nutzung von Mais wird nicht ausdrücklich abgelehnt. Starke Preisschwankungen werden nicht als Grund betrachtet, landwirtschaftliche Rohstoffe nicht zu nutzen, aber auch die Nutzung von Gülle wird als sinnvoll betrachtet. In diesem Narrativ herrscht die Ansicht vor, dass die ambitionierten Dekarbonisierungspläne in den Bereichen Wärme und Mobilität nicht alleine durch die Nutzung erneuerbaren Stroms umgesetzt werden können. Allerdings besteht auch Skepsis gegenüber der Nutzung von Biomethan für die Raumwärme.

Tabelle 13: Vorteile/Alleinstellungsmerkmale der Biogastechnologie

	Vorteile/Alleinstellungsmerkmale
Biomethan	<p>Biomethan kann als Ersatz für Erdgas oder als Treibstoff eingesetzt werden.</p> <p>Ausgereifte Technologie, Nutzung in bestehender Infrastruktur</p>

8 Ökonomische Bewertung der Bio- energietechnologien

8.1 Preisentwicklungen Biomasse

Durch die zunehmende Nachfrage nach Bioenergie, aber auch nach biogenen Reststoffen für die industrielle Produktion, ist davon auszugehen, dass auch die Preise für die Biomasse Rohstoffe bzw. Substrate grundsätzlich steigen werden. Für die Umsetzung erfolgreicher und nachhaltiger Bioenergieunternehmen ist somit die Verfügbarkeit geeigneter, nachhaltiger Biomassen in ausreichender Menge und zu angemessenen Preisen von entscheidender Bedeutung. Ansätze wie die kaskadenartige Nutzung von Biomasse und integrierte Bioraffinerien können eine Preisexplosion für Biomasse verhindern. Die Verbesserung der Biomasseverfügbarkeit kann aufgrund der Unterschiede in den regionalen und individuellen Merkmalen der Biomasseressourcen eine Herausforderung darstellen. Geeignete gesetzliche Rahmenbedingungen, die Schaffung von Märkten für Biomasserohstoffe und technologische Innovationen können die Mobilisierung von Biomasse unterstützen.

Bei der land- und forstwirtschaftlichen Biomasse spielen aber auch andere Faktoren bei der Preisbildung eine Rolle. Es ist davon auszugehen, dass es Klimawandelbedingt zu einer Zunahme der Schadereignisse kommen wird. Bei der Holzbiomasse können Kalamitäten zu kurzfristigen Überschuss-Situationen mit entsprechend sinkenden Preisen in kurzen Perioden mit folgenden Preisanstiegen, d.h. zu einer höheren Preisvolatilität, führen. Dabei könnte der verstärkte Anbau von Kurzumtriebshölzern den Preisdruck auf Holzbiomasse entgegenwirken. Zunehmende Schadereignisse werden auch bei den landwirtschaftlichen Produkten zu noch höheren Preisvolatilitäten führen. Ein positiver Aspekt für die Kreislaufwirtschaft wäre, dass vor allem die Preise auf gut sortierte Reststoffe, ohne größere Verunreinigungen steigen werden, und somit der Anreiz auf den Markt, diese bereitzustellen. Einen Überblick über die historische Preisentwicklung von ausgewählten Biomasse-sortimenten werden in Abbildung 22 dargestellt.

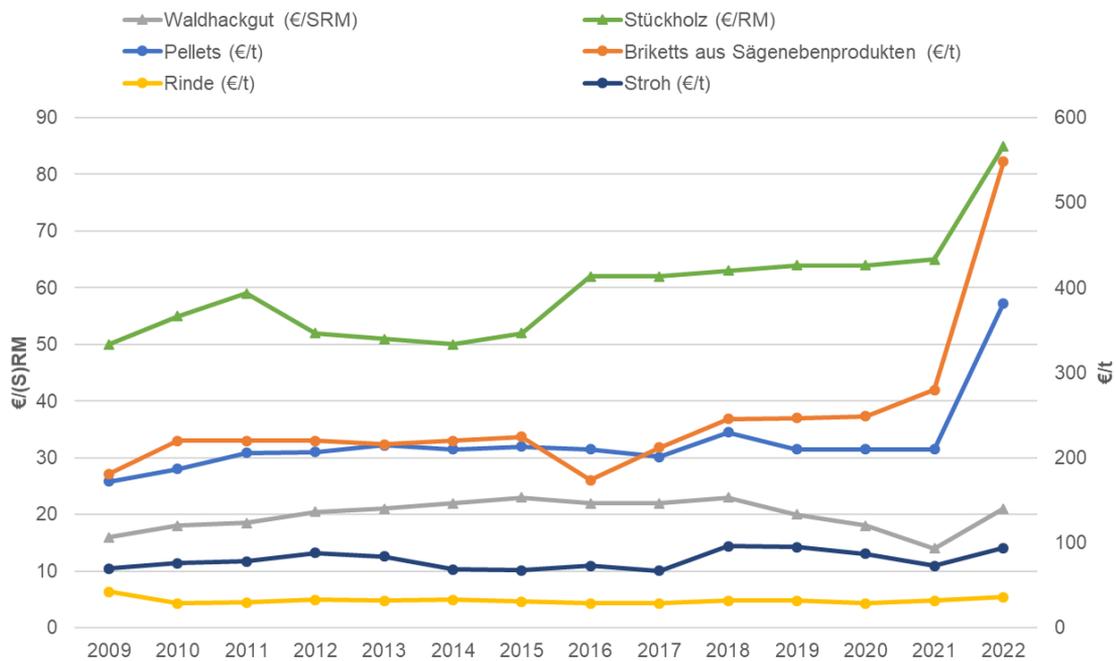


Abbildung 22: Durchschnittlich jährliche nominelle Preise von 2009 bis 2022 für die Sortimente Waldhackgut (€/SRM) und Stückholz (€/RM) auf der Primärachse sowie Pellets, Briketts, Rinde und Stroh jeweils in €/t auf der Sekundärachse. Quelle: BEST, Statistik Austria, proPellets Austria, Holzmarktbericht

8.2 Kosten der Bioenergietechnologien

Die Gesamtkosten von Bioenergietechnologien variieren erheblich je nach Technologie, Land und auch je nach verwendetem Rohstoff. Kosten, Qualität und Quantität der verfügbaren Biomasse bestimmen daher die Menge an Bioenergie, die auf nachhaltige Weise produziert werden kann. In Tabelle 14 werden die durchschnittlichen Marktpreise für Biomassefeuerungen gezeigt. Die Wärmekosten von unterschiedlichen Systemen für das Jahr 2023 werden in Tabelle 15 dargestellt. Abbildung 23 zeigt die Stromgestehungskosten ausgehend von verschiedenen Energieträgern (Erdgas, Kohle, Biomasse-KWK und Biogas). Für die Berechnung der Stromgestehungskosten von Biomasse-KWK und Biogas wurden Durchschnittswerte herangezogen, da diese stark von der eingesetzten Biomasse abhängen. Die Stromgestehungskosten der Biomassetechnologien liegen leicht über die der fossilen Technologien, wobei dies durch die Ökostromförderung kompensiert wird. Bei der Gaserzeugung liegen die Produktionskosten (exkl. Netzeinspeisung und Abgaben) von fossilem Erdgas weit unter den Kosten der Bioenergietechnologien (Abbildung 24). Auch verglichen mit dem Erdgasimportpreis lt. eControl für das Jahr 2023 können die Bioenergietechnologien hier noch nicht ganz mit dem fossilen Pendant mithalten, wobei hier die Differenz nicht so hoch ist. Eine Ausnahme war das Jahr 2022, in dem die Importpreise für Erdgas stark erhöht waren. In Abbildung 25 wird der Vergleich der Produktionskosten (exkl. Transport und Abgaben) von fossilem

Diesel und FT-Diesel dargestellt, wobei ersichtlich wird, das FT-Diesel von den Produktionskosten her noch nicht wettbewerbsfähig ist.

Tabelle 14: Durchschnittliche Marktpreise für verschiedene Biomassefeuerungen unterschiedlicher Leistungsklassen, exklusive MwSt. Quelle: BEST in Biermayr et al. (2023)

Art der Biomassefeuerung	Durchschnittlicher Verkaufspreis in € ohne MwSt.
Öfen und Herde	
Kaminöfen	700
Herde	850
Pelletöfen	2.800
Kessel	
Pellets bis 25 kW	12.000
Pellets über 25 kW	14.000
Stückholz bis 30 kW	8.300
Stückholz über 30 kW	12.000
Pellets-Stückholz Kombi bis 40 kW	17.500
Hackgut bis 100 kW	20.000
Hackgut 101 bis 250 kW	38.000
Hackgut 251 bis 500 kW	62.000
Hackgut 501 bis 1000 kW	160.000 - 210.000
Hackgut 1000 bis 5000 kW	180.000 - 260.000

Tabelle 15: Heizkostenvergleich für das Jahr 2023. Quelle: Energieinstitut Vorarlberg

Brennstoff	Brennstoffpreis ct/kWh	Heizkosten Einfamilienhaus*	
		Euro pro Jahr	
		Neubau, HWB 30	Bestand, HWB 120, unsaniert
Heizöl	11,04	773	2 839
Erdgas	10,93	725	2 459
Pellets	7,78	612	1 749
Stückholz	6,76	533	1 873
Hackschnitzel	6,77	533	1 523

* Einfamilienhaus (EFH), HWB 30, 130 m2 Wohnnutzfläche, Warmwasser für 4 Personen, ohne Solaranlage, Energiebedarf = 6.300 kWh / Jahr

Einfamilienhaus Bestand, unsaniert, HWB 120, Baujahr 1980, 130 m2 Wohnnutzfläche, Warmwasser für 4 Personen, ohne Solaranlage, Energiebedarf = 18.000 kWh

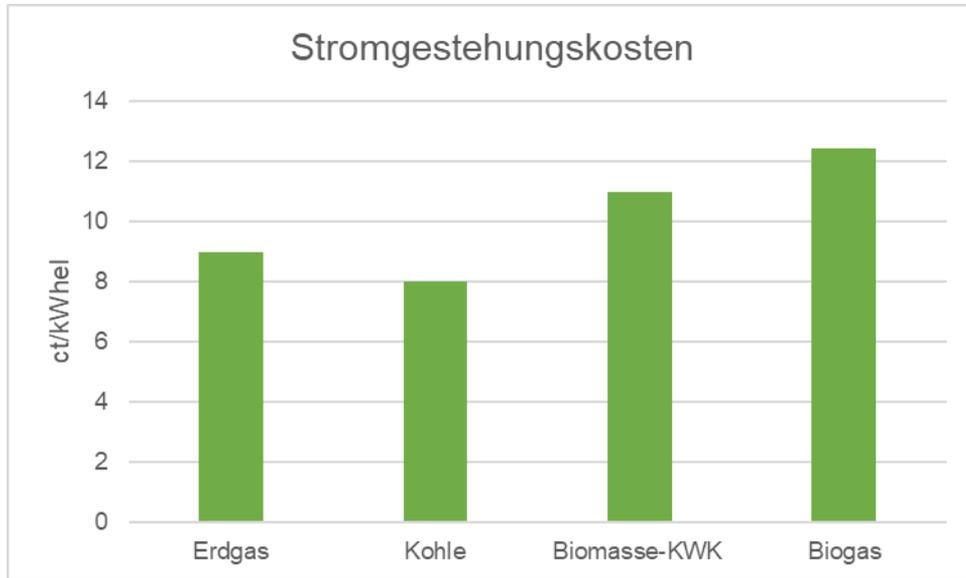


Abbildung 23: Stromgestehungskosten aus unterschiedlichen Brennstoffen. Quelle: BEST

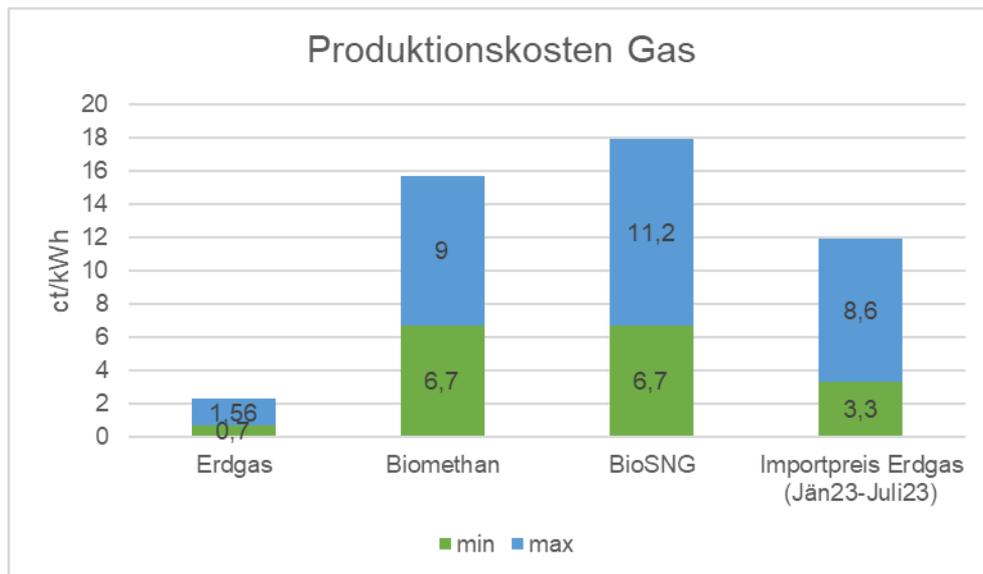


Abbildung 24: Produktionskosten für Gas bzw. Importpreis für Erdgas, exkl. Netzeinspeisung und Abgaben. Quelle: BEST

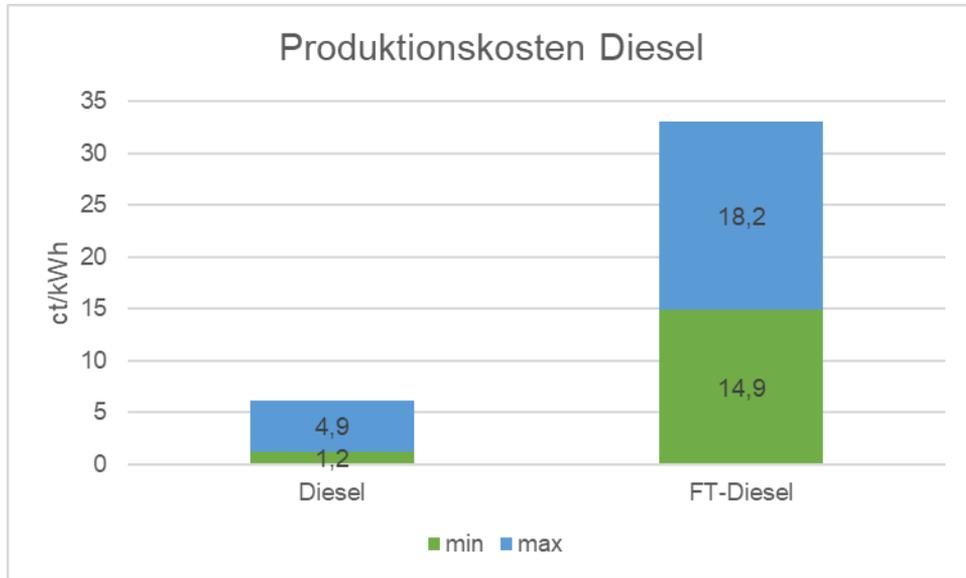


Abbildung 25: Produktionskosten für Diesel exkl. Transport und Abgaben. Quelle: BEST

Weitere detaillierte Analysen wird das BIEWERT Projekt liefern, welches im Auftrag des BMK von der Energy Economics Group (EEG) an der TU Wien bearbeitet wird.

9 Technologie-, Innovationspolitische sowie energiepolitische Empfehlungen

9.1 Einsatzgebiete von Bioenergietechnologien

Abbildung 26 zeigt, welche Bioenergietechnologien 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. Diese Priorisierung sollte um detaillierte ökonomische und ökologische Betrachtungen ergänzt werden.

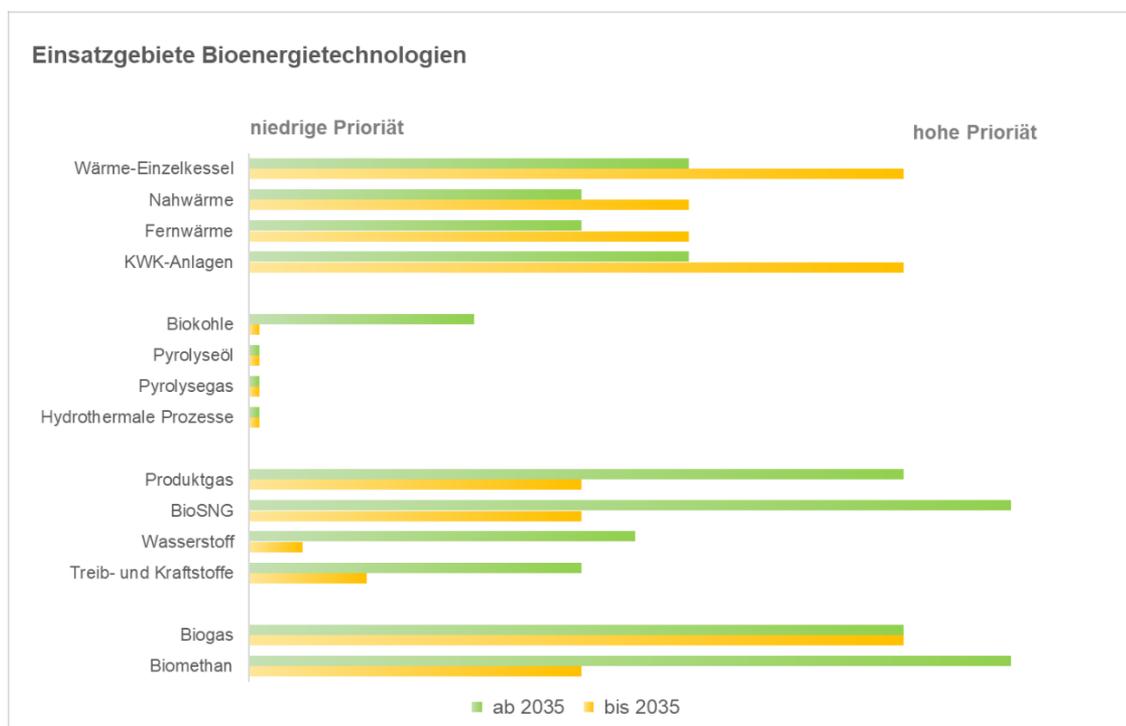


Abbildung 26: Einsatzgebiete von Bioenergietechnologien

Die Relevanz von Biomasse im Wärmebereich wird mittelfristig als eher hoch eingeschätzt, vor allem für Einzelkessel und KWK-Anlagen. Nach 2035 sinkt diese Relevanz insgesamt, während sich der Fokus mehr zu den innovativen bzw. höherwertigeren Anwendungen verschiebt. Beispielsweise steigt die abgeschätzte Priorität für Produktgas und BioSNG stark an. Auch für Biokohle wird 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.

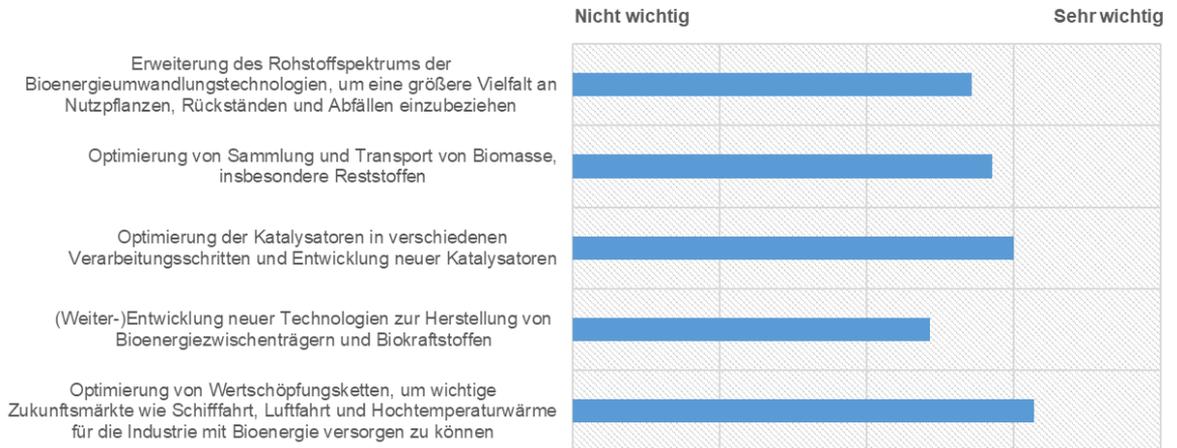
Für die breite Implementierung dieser Technologien gibt es allerdings verschiedene Markteintrittsbarrieren. Als mögliche Maßnahmen, die Marktdiffusion zu steigern, wurde von den Expert*innen genannt:

- 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

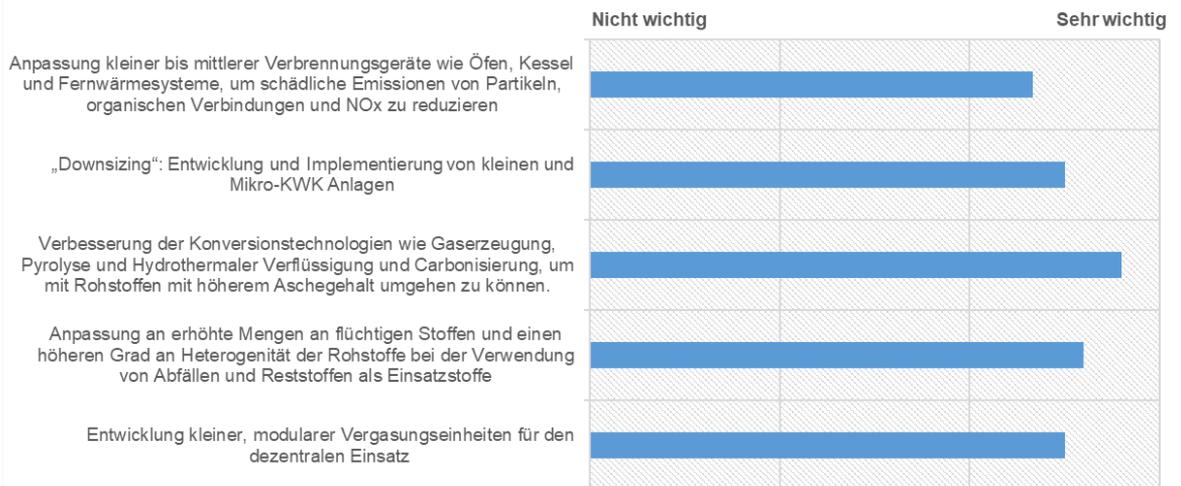
9.2 Relevante Forschungsthemen im Bereich der Bioenergie

Im Rahmen der Expert*innen Interviews wurde zusätzlich die Relevanz folgender Forschungsthemen, die in den nächsten 10 Jahren im Bereich der Bioenergietechnologien in Österreich verfolgt bzw. gefördert werden sollten, bewertet. Die aggregierten Antworten sind nach übergeordneten Forschungsfeldern in Abbildung 27 dargestellt. Basierend auf diesen Ergebnissen werden in Kapitel 7.4 Forschungs- und Innovationsziele formuliert.

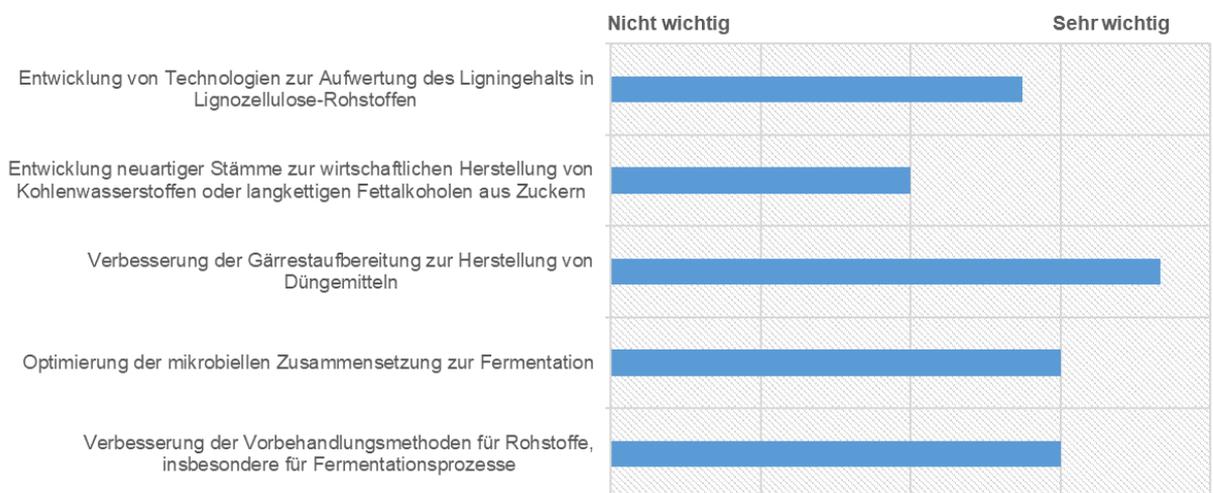
Bioenergietechnologien allgemein



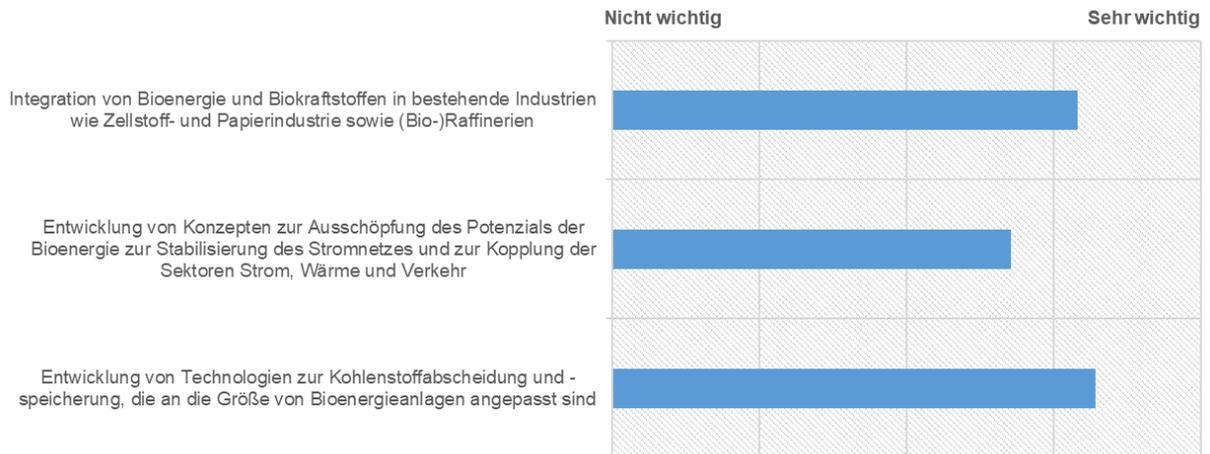
Thermochemische Konversion



Biochemische Konversion



Integration in Energiesysteme



Sozio-ökonomische Aspekte

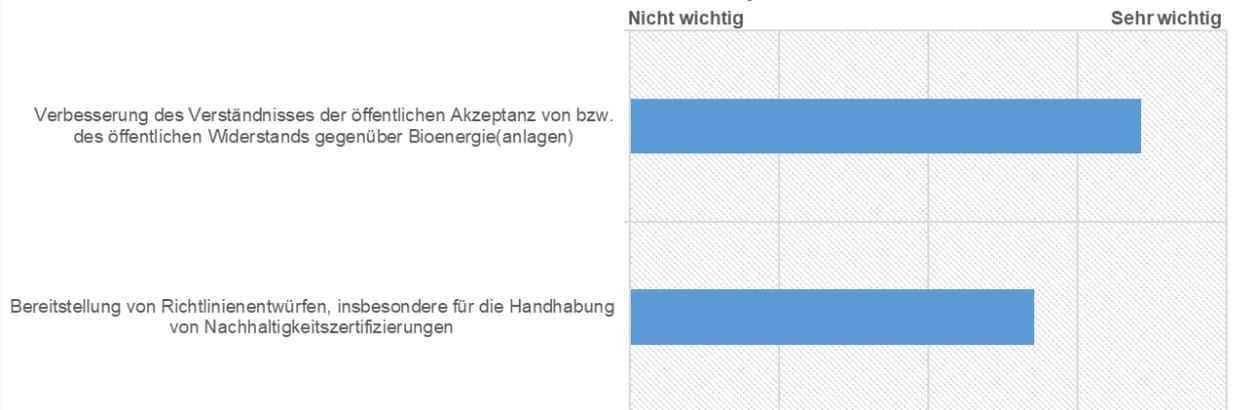


Abbildung 27: Bewertung der Wichtigkeit bestimmter Forschungsfragen laut Expert*innen Einschätzung

Alle oben abgebildeten Forschungsthemen wurden als wichtig eingestuft, wobei folgende fünf daraus abgeleitete Forschungsfragen mit der höchsten Relevanz bewertet worden sind:

- 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
- Technologieentwicklung zur Gärrestaufbereitung für die Bereitstellung von Düngemittel
- Integration von Bioenergie und Biokraftstoffen in bestehende Industrien, wie Zellstoff- und Papierindustrie sowie (Bio-)Raffinerien
- Entwicklung von Technologien zur Kohlenstoffabscheidung und -speicherung, die an die Größe von Bioenergieanlagen angepasst sind

- Identifizierung von Maßnahmen zur Verbesserung des Verständnisses der öffentlichen Akzeptanz von bzw. des öffentlichen Widerstands gegenüber Bioenergie(anlagen)

Daraus kann abgeleitet werden, dass notwendige Forschungsaktivitäten weniger in der Entwicklung neuer Technologien als in der Optimierung bereits bestehender technologischer Optionen liegen. Um Technologien breiter einzuführen, muss Forschung erfolgen, die dazu beitragen kann, bestehende Barrieren zu verringern, wie z.B. bei der Gärrestauffbereitung im Bereich der Biogastechnologie. Außerdem braucht es Konzepte, die es ermöglichen, die verschiedenen Bioenergietechnologien in bestehende Industrien zu integrieren und somit auf einen industriellen Maßstab hoch zu skalieren (z.B. Produktgas bzw. BioSNG). Kostenreduktionen und die Sicherstellung einer nachhaltigen Biomasseversorgung sind unerlässliche Pfeiler einer weiteren Marktdiffusion. Um auch tatsächlich einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leisten zu können, wird auch das Vorantreiben der Kohlenstoffabscheidung und -speicherung als wichtiger Bereich gesehen, der bis zu Umsetzung noch einige Forschungsarbeit erfordert. Letztendlich ist auch die öffentliche Akzeptanz vor allem in den letzten Jahren ein wichtiges Thema, das durch F&E Aktivitäten adressiert werden sollte.

9.3 Exkurs: F&I-Herausforderungen auf internationaler Ebene

Damit Biomasse und Bioenergie einen optimalen Beitrag zu einer nachhaltigen EU-Wirtschaft und Dekarbonisierung (im Sinne einer Defossilisierung) leisten können, wurden auch auf EU Ebene Herausforderungen und Empfehlungen im Bereich Forschung und Innovation von Bioenergietechnologien identifiziert, die im Folgenden adressiert werden (ETIP Bioenergy, 2023). Diese Punkte sind teilweise deckungsgleich mit den identifizierten Empfehlungen auf nationaler Ebene, wobei den Biotreibstofftechnologien und auch der Pyrolyse bzw. Rohstoffen wie Algen international mehr Bedeutung eingeräumt wird, als es in Österreich der Fall sein wird.

Mobilisierung bisher ungenutzter biogener Ressourcen

Der weitere Ausbau der Bioenergie hängt zunächst von der Verfügbarkeit der Ressourcen ab. Es besteht noch erhebliches Potenzial für die zusätzliche Nutzung von Biomasse, siehe z.B. „Nachhaltige Biomasseverfügbarkeit in der EU bis 2050“. Zentrale kurzfristige Aufgaben bestehen darin, dieses Potenzial zu belegen, Eigentümer davon zu überzeugen, ihre Rohstoffe zuverlässig der Bioenergieproduktion zur Verfügung zu stellen und die Biomasse effizient zu sammeln. Bestehende erfolgreiche Vertragsvereinbarungen könnten geteilt und als Vorlagen für bewährte Verfahren verwendet werden. Langfristig sind F&I in der Land- und Forstwirtschaft (z. B. Verbesserung der Nettoerträge) unerlässlich, um die Ressourcenbasis nachhaltig zu erhöhen.

Weiterentwicklung der Nachhaltigkeitsmaßnahmen

Im Vergleich zu anderen Anwendungen von Biomasse verfügt die energetische Nutzung bereits heute über ausgefeilte Nachhaltigkeitsstandards, insbesondere in der EU. Die Überwachung von

Entwicklungen und Erkenntnissen in diesem Bereich ist wichtig, da sie zur Weiterentwicklung wissenschaftlich fundierter Standards und Zertifizierungssysteme führt, unerwünschte Auswirkungen hinreichend verhindert und den Verwaltungsaufwand auf einem akzeptablen Niveau hält.

Verwendung minderwertiger Ressourcen

Um die Ressourcenbasis weiter zu erhöhen und Wettbewerbsprobleme mit anderen Anwendungen zu verringern, sind Innovationen erforderlich, um minderwertige Ressourcen, insbesondere lignozellulosehaltige Materialien und andere organische Reststoffe, in hochwertige Energieträger wie flüssige Kraftstoffe umzuwandeln. Hierbei spielen sowohl thermische (z. B. Vergasung) als auch bi-chemische (z. B. enzymatische) Verfahren eine Rolle, je nachdem, welches Verfahren den Eigenschaften der Rohstoffe, den lokal verfügbaren Ressourcen und den angestrebten Endprodukten am besten entspricht.

Verbesserung der Effizienz der Konversionsprozesse, Reduzierung der Kosten und Reduzierung des Risikos in der Wertschöpfungskette

Bei allen Umwandlungstechnologien ist eine dauerhafte Forschungs- und Innovationsarbeit erforderlich, um die Effizienz weiter zu verbessern und auf diese Weise die Produktionskosten zu senken. Neben Learning-by-Doing bleibt Learning-by-Searching wichtig. Auch die Reduzierung von Risiken entlang der Wertschöpfungsketten wird von entscheidender Bedeutung sein, um Investoren zu überzeugen. Die Identifizierung wichtiger Investoren und Investitionsförderungsprogramme würde dazu beitragen, kooperative Partnerschaften entlang von Wertschöpfungsketten zu initiieren. Darüber hinaus wird die Integration der Bioenergieproduktion in Bioraffinerien, in denen andere Produkte (beispielsweise Tierfutter und hochwertige Verbindungen für verschiedene Anwendungen) gewonnen werden, oder in andere Produktionssysteme die Risiken verringern, da mehr Einnahmequellen zur Verfügung stehen und gleichzeitig die Nachhaltigkeit der Bioenergie durch eine effizientere und vollständigere Rohstoffausnutzung erhöht werden kann.

Vorbereitung auf den Übergang zu langfristigen Anwendungsbereichen

Aktuelle Bioenergieanwendungen werden von Wärme, Strom und flüssigen Kraftstoffen für den Straßenverkehr dominiert. Angesichts der Potenziale und Grenzen anderer Optionen zur Dekarbonisierung unserer Wirtschaft wird Biomasse auch für stoffliche und chemische Anwendungen, als flüssige Treibstoffe für die Luft- und Schifffahrt sowie als Gase für vielseitige Anwendungen (biobasiertes Methan und Wasserstoff) benötigt. Dies wird durch integrierte Energiesystemmodelle wie das IEA Net Zero bis 2050 bestätigt. Die für diese alternativen Anwendungen erforderlichen Technologien wurden bereits identifiziert und entsprechende Forschung und Innovation ist im Gange, muss jedoch intensiviert werden, z.B. durch die Unterstützung kommerzieller Anlagen zur Risikominderung dieser Technologien. Neben Überlegungen zur Treibhausgas-effizienz müssen auch die lo-

kale Nutzung, Vorteile für Umwelt, Wirtschaft und Energieeffizienz, Priorität für schwer zu dekarbonisierende Nutzungen und Sektoren, soziale Aspekte (Arbeitsplätze) und gesellschaftliche Aspekte (Energiesicherheit, Soziales) berücksichtigt werden.

Effiziente Ansätze für die Infrastruktur entwickeln

Während aktuelle Biomasseanwendungen gut in die bestehende Infrastruktur für Wärme, Strom und (gemischte) flüssige Brennstoffe integriert werden können, erfordern neue Anwendungen wie Plattformchemikalien und dezidierte Brennstoffe möglicherweise auch zusätzliche Infrastruktur oder neue Möglichkeiten zur Nutzung bestehender Netzwerke.

Langfristige Lösungen vorbereiten

Forschung und Entwicklung müssen auch weiterhin an längerfristigen Lösungen wie Algen oder Solarkraftstoffen arbeiten, um deren Markteinführung zu beschleunigen und so schnell wie möglich zur Diversifizierung der zukünftigen Energielandschaft beizutragen.

9.4 Zusammenfassende Übersicht über die empfohlenen Forschungsziele

In Tabelle 16 werden zusammenfassend die Forschungs- und Innovationsziele mit der höchsten Priorität für Österreich basierend auf den Expert*innen Interviews dargestellt. Die Erläuterungen in den Kapiteln 9.4.1 bis 9.4.5 stützen sich auch die Inhouse-Expertise von BEST.

Tabelle 16: Übersicht der Forschungs- und Innovationsziele mit der höchsten Priorität

Forschungs- und Innovationsziele	
Bioenergietechnologien 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 Bioenergietechnologien, 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 Hydrothormaler 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

9.4.1 Forschungs- und Innovationsziele - Bioenergietechnologien 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

Um das volle Potential der Bioenergie ausschöpfen zu können, braucht es neben der Weiterentwicklung von Einzeltechnologien die Betrachtung der gesamten Wertschöpfungsketten vom Rohstoff/Einsatzstoff bis zum finalen Produkt. Bislang, mangels industrieller Umsetzungen, noch wenig beachtete Herausforderungen (z.B.: Qualitätssicherung in der Rohstofflogistik und Rohstoffaufbereitung, Aufbereitung der Prozessabwässer bei Synthesen oder prozessspezifisch erforderliche Reinheiten von Syngas bei dessen Direktnutzung für Hochtemperaturwärmeanwendungen) müssen systematisch bearbeitet werden und Lösungen, die im Idealfall auch zu weiteren Effizienzsteigerung führen, entwickelt werden. Begleitende techno-ökonomische Analysen und Ökobilanzierungen sollen dazu dienen, die „Hot-Spots“ für die möglichen Verbesserungen herauszuarbeiten.

Effizienzsteigerung bei der Sammlung und Transport von Biomasse, insbesondere Reststoffen

Die Sammlung und der Transport von Biomasse ist ein nicht zu unterschätzender Kostenfaktor und ist oft auch mit entsprechend hohem CO₂ Ausstoß verbunden. Für klassische Sortimente wie Holz-Hackgut und Holz-Pellets ist die Logistik bereits gut entwickelt. Je weiter man in den Reststoff oder Abfallbereich kommt, desto komplexer und aufwendiger wird die Logistik. Die Vermeidung und Entfernung von Störstoffen ist dabei ein großes Thema. KI basierte Ansätze (z.B. Müllfahrzeuge mit selbstlernender Störstoffsensorik) können hier zum Einsatz kommen.

Erweiterung des Rohstoffspektrums der Bioenergietechnologien, um eine größere Vielfalt an Nutzpflanzen, Rückständen und Abfällen einzubeziehen

Um das Rohstoffspektrum der Einsatzstoffe (der Feedstocks) zu erweitern, sind je nach Technologie unterschiedliche und zum Teil noch zu entwickelnde Aufbereitungsverfahren nötig bzw. möglich. Die Bandbreite der angesprochenen Verfahren reicht von Vorbehandlungstechnologien (z.B. zur Abscheidung von Störstoffen) über spezielle Reinigungstechnologien für Zwischenprodukte (z.B. von Syngas) bis zur Aufbereitung von Nebenprodukten (z.B. Rückgewinnung von pflanzenverfügbaren Phosphorverbindungen aus Aschen, Aufbereitung von Schlämmen oder Gärresten). Für diese Aufgaben ist nach wie vor Forschungsbedarf gegeben.

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

Angesprochen sind hier zwei Themenblöcke: Katalytische Syn- und Abgasreinigung und Synthesen. Während es bei der katalytischen Gasreinigung vor allem darum geht, Kostensenkungspotenziale zu realisieren und neue Verfahrenskonzepte zu entwickeln, steht bei den Synthesen die Entwicklung neuer Katalysatoren und Integration in technisch wie ökonomisch sinnvolle Prozessketten im Vordergrund. Die neuen Katalysatoren müssen sich insbesondere durch Selektivität in Hinblick auf gewünschte Produkte und durch Unempfindlichkeit gegenüber Katalysatorgiften auszeichnen.

9.4.2 Forschungs- und Innovationsziele - Thermochemische Konversion

Verbesserung der Konversionstechnologien wie Gaserzeugung, Pyrolyse und Hydrothormaler Verflüssigung und Carbonisierung, um mit Rohstoffen mit höherem Aschegehalt umgehen zu können

Die Notwendigkeit und gleichzeitig die Chance, auch minderwertige Roh- und Reststoffsportimente wertschöpfend zu verwerten, schafft den Bedarf, dass auch die Konversionstechnologien mit den spezifischen Anforderungen dieser herausfordernden Feedstocks umgehen können. Dies gilt insbesondere für höhere Aschegehalte, aber auch für höhere Gehalte an flüchtigen Bestandteilen (siehe folgender Punkt), die chemische Zusammensetzung und schwankende Qualität der betrachteten Feedstocks. Die Kombination aus höheren Aschegehalten und den daraus auch resultierenden anspruchsvollen chemischen Zusammensetzungen erfordert umfangreiche Auseinandersetzung mit aschechemischen Fragestellungen, um prozesstechnische Herausforderung wie das Ascheschmelzverhalten, Depositionsbildung, Korrosion und Emissionen beherrschen zu können und Anforderung an (Zwischen-)Produkte einhalten zu können. Gleichzeitig bieten die thermochemischen Konversionsverfahren aber auch die Möglichkeit, Wertstoffe, die als Nebenprodukte anfallen wie der oben schon genannte Phosphor, zu recyceln, und anorganische Umweltgifte wie Schwermetalle aus dem Stoffkreislauf zu entfernen und deponierbar zu machen.

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

Die oben genannten Herausforderungen für aschereiche Feedstocks gelten weitgehend auch für solche Feedstocks, die höhere Gehalte an flüchtigen Bestandteilen aufweisen. Die Gehalte an flüchtigen Bestandteilen sind insbesondere dann substantiell höher, wenn Sortimente zum Einsatz kommen, die wohl einen hohen biogenen Anteil umfassen, aber aus dem Abfallrecycling kommen. Solche Fraktionen beinhalten in der Regel auch noch relevante Anteile an nicht abtrennbaren Kunststoffen und Metalle.

Um den Herausforderungen für die thermochemische Konversion, die diese Feedstocks mit sich bringen, gerecht zu werden, müssen bestehende Technologien ebenfalls weiterentwickelt werden. Für manche Sortimente werden aber auch umfassende Neuentwicklungen erforderlich sein, wenn deren zuverlässige Verwertung sichergestellt werden soll und wenn bestimmte Anforderungen an Produkte eingehalten werden müssen. Auch hierfür gilt, dass z.B. erforderliche Gasqualitäten sowohl für die grundsätzliche Nutzung in bestehenden Brennern, als auch die chemische Reinheit des Gases sowohl auf der Systemebene als auch auf der Ebene der Einzeltechnologien noch mit beträchtlichem Forschungs- und Entwicklungsaufwand verbunden sind. Analoges gilt auch für die verfahrenstechnischen Herausforderungen, um anwendungsspezifische Anforderungen an Biokohle nicht nur im Konversionsverfahren, sondern auch in den nachfolgenden Prozessschritten der (Syn-)Gasreinigung oder der Aufbereitung flüssiger oder fester (Zwischen-)Produkte zu bewältigen.

Zur Skalierung der erarbeiteten Lösungen und zum industriellen Ausrollen ist auch Forschung im Pilot- und Demonstrationsmaßstab und das nicht nur an Einzeltechnologien, sondern an Prozessketten erforderlich.

9.4.3 Forschungs- und Innovationsziele - Biochemische Konversion

Technologieentwicklung zur Gärrestaufbereitung für die Bereitstellung von Düngemittel

Speziell bei größeren Biogasanlagen kann eine direkte Ausbringung des Gärrests aufgrund der langen Transportwege sowie bei Anlagen, die in Regionen mit Nährstoffüberschuss liegen, unwirtschaftlich sein. Eine Weiterverarbeitung zu einem hochwertigen Bio-Düngemittel ist in diesen Fällen eine spannende Alternative. Dafür sind geeignete Technologien zu entwickeln, bzw. Technologien zu kombinieren, um standardisierbare und hochqualitative Düngemittel zu produzieren, und dabei die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen zu berücksichtigen und die strengen rechtlichen Vorgaben für solche Düngemittel zu erfüllen.

Verbesserung der Vorbehandlungsmethoden für Rohstoffe, insbesondere für Fermentationsprozesse, um das Portfolio der möglichen Einsatzstoffe zu erweitern

Im Bereich der fermentativen Umsetzung von biogenen Roh- bzw. Reststoffen ist es ein Ziel, das Portfolio der möglichen Einsatzstoffe zu erweitern. Hierbei geht es um die gezielte Verfügbarmachung von Reststoffen für die Mikroorganismen (z.B. Substrataufschluss), sowie der Aussortierung von Störstoffen, etc.

Effizienzsteigerung der biochemischen Konversionstechnologien durch Evaluierung der Methoden zur Änderung der mikrobiellen Zusammensetzung für die Fermentation

Die Effizienz von biochemische Konversionstechnologien ist stark von der Performance der Mikroorganismen abhängig. Insbesondere Mischkulturen (z.B. in Biogasanlagen) sind in ihrer Funktionsweise sehr komplex. Der Einsatz von Hochdurchsatz Sequenzierungsmethoden (z.B. Next Generation Sequencing) kann dazu beitragen, das Verständnis dieser Mischkulturen zu verbessern und zu optimieren. Ebenso sind Ansätze zur Bioaugmentation, also dem gezielten Zusatz gewisser Mikroorganismen in die Mischkultur mögliche Optimierungsstrategien, oder auch der Zusatz von gezielten Aufwuchsflächen für Mikroorganismen (z.B. Biokohle, etc.).

Ergänzung: Weiterentwicklung der Gas- und Elektrofermentation

Die direkte biotechnologische Verwertung von CO₂ oder von Syngas mit Hilfe oder ohne elektrische Unterstützung ist ein noch junges Forschungsfeld. Stammen das CO₂ und das Syngas aus biogenen Quellen, so stellt deren biotechnologische Verwertung eine erneuerbare Alternative zu thermochemischen Synthesen dar. Das erreichbare Produktportfolio reicht von grünen Gasen, über flüssige Energieträger und Grundstoffen für die chemische Industrie bis hin zu Nahrungs- und Futtermitteln.

9.4.4 Forschungs- und Innovationsziele - Integration in Energiesysteme

Entwicklung von Technologien zur Kohlenstoffabscheidung, die an die Größe von Bioenergieanlagen angepasst sind

Es sollen einerseits Technologien für die Abscheidung von CO₂ aus dem Abgas von Bioenergieanlagen als auch die Technologien für die Herstellung von speicherfähigem festem Kohlenstoff (Bio- oder Pflanzenkohle) weiterentwickelt werden. Forschungsbedarf besteht bei der umfassenden Gegenüberstellung der unterschiedlichen Nutzungs- und Speicheroptionen hinsichtlich Größen, Platzbedarf, Effizienz und Kosten basierend auf experimentell ermittelten Daten.

Im Speziellen angesprochene (Einzel-)Technologien sind hier die Gas- und Elektrofermentation, sowie Chemical Looping Prozesse. Entscheidend für eine rasche Skalierung der Technologien in relevante industrielle Größen wird auch hier die Möglichkeit sein, die Technologieentwicklung im Pilot- und Demonstrationsmaßstab im Rahmen von Forschungsprojekten zu unterstützen.

Integration von Bioenergie und Biokraftstoffen in bestehende Industrien, wie Zellstoff- und Papierindustrie sowie (Bio-)Raffinerien

Die Zellstoff- und Papierindustrie sind prädestiniert für die weitere Integration von Bioenergie (z.B. Nutzung von Rinde zur Herstellung von Syngas und dessen direkte Verwendung in Brennern, respektive als Erdgasersatz). Aber auch andere Industrien wie Raffinerien oder die Stahlindustrie können durch den Einsatz von Bioenergie ihren CO₂ Ausstoß zumindest verringern. Je nach Anwendungsfall sind die in Frage kommenden Technologien (z.B. Pyrolysetechnologie für die Herstellung

von Biokohle als Brückentechnologie für die Stahlindustrie) noch anzupassen bzw. weiter zu entwickeln und zu beforschen. Ein weiteres Beispiel für Forschungsbedarf ist die Wasserstoffproduktion aus dem Abwasser der Lebensmittelindustrie.

9.4.5 Forschungs- und Innovationsziele - Sozio-ökonomische Aspekte

Identifizierung von Maßnahmen zur Verbesserung des Verständnisses der öffentlichen Akzeptanz von bzw. des öffentlichen Widerstands gegenüber Bioenergie(anlagen)

Das Heizen mit Holz in dezentralen Kleinanlagen ist in Österreich nach wie vor sehr beliebt und auch emotional meist sehr positiv besetzt (z.B. der „heimelige“ Kachelofen). Speziell um Bioenergieanlagen im mittleren bis großen Maßstab realisieren zu können, braucht es das Verständnis und die Akzeptanz der breiten Öffentlichkeit. Durch die Erforschung der Motive für Befürwortung oder Ablehnung von gewissen Bioenergieanlagen wird eine wichtige Grundlage zur Ausrollung von Technologien geschaffen. Basierend darauf können Maßnahmen zur Erhöhung der Akzeptanz abgeleitet werden.

Absicherung der Emissionsfaktoren zur Bereitstellung von Richtlinienentwürfen für die Handhabung von Nachhaltigkeitszertifizierungen

Mit den aktuellen Zielen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen und steigenden Preisen für CO₂ Zertifikate (Die EU Carbon Permits lagen im Sept. 2023 bei rund 90 €/t, waren 2020 im Bereich von 25 €/t und 2017 im Bereich von 6 €/t, Quelle: <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>) wird die Handhabung von Nachhaltigkeitszertifizierungen immer wichtiger und zunehmend ein Geschäftsfeld. Das sollte auf EU Ebene durch entsprechende Richtlinien abgedeckt werden, wobei einheitliche und abgesicherte Emissionsfaktoren verwendet werden sollten.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der Forschungs- und Innovationsziele mit der höchsten Priorität.....	8
Tabelle 2: Vorteile/Alleinstellungsmerkmale der Technologien der direkten thermo-chemischen Umwandlung	48
Tabelle 3: Gängige Pyrolyse Technologien und ihre Verwendung (Garcia-Nunez et al., 2017).....	49
Tabelle 4: Produktströme aus unterschiedlichen Pyrolysetechnologien – Referenzwerte (IEA Bioenergy Task 34 & Kaltschmitt et al. 2016)	50
Tabelle 5: Vorteile/Alleinstellungsmerkmale der Pyrolysetechnologie bzw. der -produkte	53
Tabelle 6: Überblick hydrothermale Verfahren, HTC=Hydrothermale Karbonisierung, HTL=Hydrothermale Verflüssigung, HTG=Hydrothermale Gaserzeugung (Kaltschmitt et al., 2016)	54
Tabelle 7: Vorteile/Alleinstellungsmerkmale der Hydrothermalen Prozesse.....	56
Tabelle 8: Vorteile/Alleinstellungsmerkmale der thermochemischen Gaserzeugung	60
Tabelle 9: Vorteile/Alleinstellungsmerkmale der Synthese erneuerbarer Energieträger	63
Tabelle 10: Überblick Flugtreibstoffe in Österreich (Stand 2019) (IEA-AMF Task 63, 2023)	65
Tabelle 11: SWOT Analyse für SAF in Österreich	68
Tabelle 12: Vorteile/Alleinstellungsmerkmale der Biogastechnologie	71
Tabelle 13: Vorteile/Alleinstellungsmerkmale der Biogastechnologie	74
Tabelle 14: Durchschnittliche Marktpreise für verschiedene Biomassefeuerungen unterschiedlicher Leistungsklassen, exklusive MWSt. Quelle: BEST in Biermayr et al. (2023)	77
Tabelle 15: Heizkostenvergleich für das Jahr 2023. Quelle: Energieinstitut Vorarlberg.....	78
Tabelle 16: Übersicht der Forschungs- und Innovationsziele mit der höchsten Priorität	88

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einsatzgebiete von Bioenergietechnologien.....	9
Abbildung 2: Entwicklung des österreichischen Bruttoinlandsverbrauches und des Anteiles erneuerbarer Energie von 1970 bis 2021 in PJ. Anmerkung: die Zeitachse ist nichtlinear dargestellt. Quelle: Statistik Austria 2023a in Biermayr et al. 2023.....	14
Abbildung 3: Verbrauch fester Biobrennstoffe in Österreich von 2007 bis 2022. Quelle: BEST 2023 in Biermayr et al. 2023.	15
Abbildung 4: Jährlicher Energieertrag erneuerbarer Energietechnologien von 2009 bis 2022 in GWh (Daten für Windkraft erst ab 2013 verfügbar). Quelle: BEST 2023, Daten: Biermayr et al. 2010- 2023.....	17
Abbildung 5: Jährlicher Branchenumsatz erneuerbarer Energietechnologien von 2009 bis 2022 in Millionen Euro (Daten für Windkraft erst ab 2013 verfügbar). Quelle: BEST 2023, Daten: Biermayr et al. 2010- 2023.....	17
Abbildung 6: Beschäftigungszahlen erneuerbarer Energietechnologien von 2009 bis 2022 in Vollzeitäquivalente (Daten für Windkraft erst ab 2013 verfügbar). Quelle: BEST 2023, Daten: Biermayr et al. 2010- 2023	18
Abbildung 7: Überblick Biogasanlagen in Österreich, Status 2022. Quelle: BEST 2023.....	19
Abbildung 8: Energetischer Endverbrauch in Österreich im Zeitverlauf in Terajoule (TJ). Quelle: Statistik Austria, 2023a.....	24
Abbildung 9: Verteilung der Treibhausgasemissionen nach Sektoren in Österreich im Jahr 2021 (Eigene Darstellung nach Umweltbundesamt, 2023)	33
Abbildung 10: Jährliche CO ₂ Einsparungen erneuerbarer Energietechnologien von 2010 bis 2022 in Millionen Tonnen CO ₂ -Äquivalenten (Daten für Windkraft erst ab 2013 verfügbar). Quelle: BEST 2023, Daten: Biermayr et al. 2011- 2023	34
Abbildung 11: Vergleich der Treibhausgasemissionen von fossilen und biogenen Kraftstoffen in Bezug auf einen PKW-km (eigene Darstellung nach Österreichischer Biomasse-Verband, 2023) ...	35
Abbildung 12: CO ₂ -Faktoren für biogene und fossile Brennstoffe sowie den österreichischen Strommix inkl. Vorketten in g CO ₂ -eq/kWh (eigene Darstellung nach Umweltbundesamt, 2022) ..	35
Abbildung 13: Jährliche CO ₂ -Einsparungen im österreichischen Verkehrssektor durch Beimengung von Biokraftstoffen (Quelle: BMK, 2023a)	42
Abbildung 14: Vergleich der spezifischen Treibhausgasemissionen verschiedener Kraftstoffsorten (Stand 2021) (Quelle: BMK, 2023a).....	42
Abbildung 15 – Die Marktentwicklung von Biomassekesseln in Österreich bis 2022. Quelle: LK NÖ, 2023 in Biermayr et al., 2023	47
Abbildung 16: Anwendungen von Biokohle, wobei einige davon derzeit noch nicht umgesetzt werden (z.B. der Einsatz in Zement- und Kalkwerken). *z.B. Kosmetika, Kunststoffzuschlagstoffe usw. (adaptiert aus Quicker und Weber 2016)	52
Abbildung 17: Schema der Zweibettwirbelschichtdampfgaserzeugung (basierend auf Schmid et al., 2012)	58
Abbildung 18: Konzept der Syngas Plattform Wien	60

Abbildung 19: Szenarien für die SAF Entwicklung in Österreich im Einklang mit den EU Zielen bzw. Vorgaben, Angaben in Mio. Liter (Quelle: BEST, 2023).....	66
Abbildung 20: Theoretisches Rohstoffpotenzial für die Produktion von SAF im Jahr 2050 (Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von IEA-AMF Task 63 (2023)).....	67
Abbildung 21: Anzahl der aktiven Biomethananlagen und deren Biomethaneinspeisung in GWh in Österreich. Quelle: BEST 2022, Daten: AGCS 2022	72
Abbildung 22: Durchschnittlich jährliche nominelle Preise von 2009 bis 2022 für die Sortimente Waldhackgut (€/SRM) und Stückholz (€/RM) auf der Primärachse sowie Pellets, Briketts, Rinde und Stroh jeweils in €/t auf der Sekundärachse. Quelle: BEST, Statistik Austria, proPellets Austria, Holzmarktbericht.....	76
Abbildung 23: Stromgestehungskosten aus unterschiedlichen Brennstoffen. Quelle: BEST.....	79
Abbildung 24: Produktionskosten für Gas bzw. Importpreis für Erdgas, exkl. Netzeinspeisung und Abgaben. Quelle: BEST	79
Abbildung 25: Produktionskosten für Diesel exkl. Transport und Abgaben. Quelle: BEST.....	80
Abbildung 26: Einsatzgebiete von Bioenergietechnologien.....	81
Abbildung 27: Bewertung der Wichtigkeit bestimmter Forschungsfragen laut Expert*innen Einschätzung.....	84

Literaturverzeichnis

- Basu, P. (2010): Biomass gasification and pyrolysis: practical design and theory. OCLC: ocn502035604. Burlington, MA: Academic Press, 2010. 365 pp. ISBN: 978-0-12-374988-8.
- Binder, M., Rauch, R., Koch, M., Summers, M., Aichernig, C., Hofbauer, H. (2017): Influence of Sul-
fur Components on the Catalytic Mixed Alcohol Synthesis Based on Wood Gas Derived from Bi-
omass Steam Gasification. In: ETA-Florence Renewable Energies, 2017. DOI: 10.5071/25theu-
bce2017-3bv.3.14.
- BMK (2022): Wasserstoffstrategie für Österreich, Wien, 2022. Online: [Wasserstoffstrategie für Ös-
terreich \(bmk.gv.at\)](https://www.bmk.gv.at/wasserstoffstrategie). (abgerufen am 20.09.2023)
- BMK (2023a): Erneuerbare Kraftstoffe und Energieträger im Verkehrssektor in Österreich 2022.
- Czajczynska, D., Anguilano, L., Ghazal, H., Kryzynska, R., Reynolds, A.J., Spencer, N., Jouhara, H.
(2017): Potential of pyrolysis processes in the waste management sector. Thermal Science and
Engineering Progress, Volume 3, Pages 171-197, 2017.
- EBA - European Biogas Association (2022): Bioenergy and Sustainable Technologies. Statistical Re-
port 2022.
- ETIP BIOENERGY – Strategic Research and Innovation Agenda 2023. [https://www.etipbioen-
ergy.eu/images/SRIA_2023.pdf](https://www.etipbioenergy.eu/images/SRIA_2023.pdf)
- Garcia-Nunez, J. A., Pelaez-Samaniego, M. R., Garcia-Perez, M. E., Fonts, I., Abrego, J., Westerhof,
R. J. M., Garcia-Perez, M. (2017): Historical developments of pyrolysis reactors: A review. En-
ergy & Fuels, 31(6):5751–5775.
- Göransson, K., Söderlind, U., He, J., Zhang, W. (2011): Review of syngas production via biomass
DFBGs. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews 15.1 (Jan. 1, 2011), pp. 482–492. ISSN:
1364-0321. DOI: 10.1016/j.rser.2010.09.032.
- Henrich, E., Dahmen, N., Weirich, F., Reimert, R., Kornmayer, C. (2016): Fast pyrolysis of lignocellu-
losics in a twin screw mixer reactor. Fuel Processing Technology, 143:151–161.
- Hofbauer, H., Mauerhofer, A., Benedikt, F., Hammerschmid, M., Bartik, A., Veress, M. Haas, R., Sie-
benhofer, M., Resch, G. (2020): Reallabor zur Herstellung von Holzdiesel und Holzgas aus Bio-
masse und biogenen Reststoffen für die Land- und Forstwirtschaft, Technische Universität
Wien.

- IEA-AMF Task 63 (2023): Sustainable Aviation Fuels – Status quo and national assessments. A report from the Advanced Motor Fuels Technology Collaboration Programme. Online: https://iea-amf.org/app/webroot/files/file/Annex%20Reports/AMF_Task_63.pdf (abgerufen am 14.09.2023)
- IEA Bioenergy: Task 33 (2020): Emerging Gasification Technologies for Waste & Biomass. December 2020.
- Jany A., Gössl, M. (2023): Kriterien für Nachhaltigkeit und Treibhausgaseinsparungen. RED-II-Informationsleitfaden. Wien: Umweltbundesamt GmbH.
- Kaltschmitt, M., Hartmann, H., Hofbauer, H. (eds.) (2016): Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken und Verfahren. 3., aktualisierte und erweiterte Auflage. OCLC: 948486478. Berlin Heidelberg: Springer Vieweg, 2016. 1867 pp. ISBN: 978-3-662-47438-9.
- Kathamania V. R. Santana, Fernanda C. S. O. Apolônio, and Alberto Wisniewski, Valorization of cattle manure by thermoconversion process in a rotary kiln reactor to produce environmentally friendly products. *BioEnergy Research*, 13(2):605–617, oct 2019.
- Kern, S., Pfeifer, C., Hofbauer, H. (2013a): Gasification of wood in a dual fluidized bed gasifier: Influence of fuel feeding on process performance. In: *Chemical Engineering Science* 90 (Mar. 7, 2013), pp. 284–298. ISSN: 0009-2509. DOI: 10.1016/j.ces.2012.12.044.
- Kern, S., Pfeifer, C., Hofbauer, H. (2013b): Reactivity tests of the water–gas shift reaction on fresh and used fluidized bed materials from industrial DFB biomass gasifiers. In: *Biomass and Bioenergy* 55 (Aug. 1, 2013), pp. 227–233. ISSN: 0961-9534. DOI: 10.1016/j.biombioe.2013.02.001.
- Klemm, M., Glowacki, R. (2015): Die Strategie hinter der Innovation. In: Klemm, M., Glowacki, R., Nelles, M. (2015): *Innovationsforum Hydrothermale Prozesse*. DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH, Leipzig.
- Kompost & Biogas Verband Österreich (2018): *Biogasanlagen - kaskadische Nutzung der Rohstoffe*. Programmmanagement klimaaktiv Biogas, Wien.
- Kraft, S., Kuba, M., Hofbauer, H. (2018): The behavior of biomass and char particles in a dual fluidized bed gasification system. In: *Powder Technology* 338 (Oct. 1, 2018), pp. 887–897. ISSN: 0032-5910. DOI: 10.1016/j.powtec.2018.07.059.
- Kraussler, M., Binder, M., Hofbauer, H. (2016): 2250-h long term operation of a water gas shift pilot plant processing tar-rich product gas from an industrial scale dual fluidized bed biomass

steam gasification plant. In: *International Journal of Hydrogen Energy* 41.15 (Apr. 2016), pp. 6247–6258. ISSN: 03603199. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2016.02.137.

Kraussler, M., Pontzen, F., Müller-Hagedorn, M., Nenning, L., Luisser, M., Hofbauer, H. (2018): Techno-economic assessment of biomassbased natural gas substitutes against the background of the EU 2018 renewable energy directive. In: *Biomass Conversion and Biorefinery* 8.4, 2018, pp. 935–944. DOI: 10.1007/s13399-018-0333-7.

Kriechbaum M., Terler, N., Stürmer B., Stern T. (2023): (Re)framing technology: The evolution from biogas to biomethane in Austria. *Environmental Innovation and Societal Transitions* 47: 100724.

Kuba, M., Havlik, F., Kirnbauer, F., Hofbauer, F. (2016a): Influence of bed material coatings on the water-gas-shift reaction and steam reforming of toluene as tar model compound of biomass gasification. In: *Biomass and Bioenergy*. Biomass&Bioenergy special issue of the 23rd European Biomass Conference and Exhibition held in Vienna, June 2015 89 (Supplement C June 1, 2016), pp. 40–49. ISSN: 0961-9534. DOI: 10.1016/j.biombioe.2015.11.029.

Kuba, M., He, H., Kirnbauer, F., Skoglund, N., Boström, D., Öhman, M., Hofbauer, H. (2016b): Mechanism of Layer Formation on Olivine Bed Particles in Industrial-Scale Dual Fluid Bed Gasification of Wood. In: *Energy & Fuels* 30.9 (Sept. 15, 2016), pp. 7410–7418. ISSN: 0887-0624. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.6b01522.

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

Österreichischer Biomasse-Verband (2023): *Bioenergie Atlas Österreich 2023*, Wien. Online: [Bioenergie Atlas 2023 \(biomasverband.at\)](https://www.biomasverband.at/). (abgerufen am 20.09.2023)

Österreichs Energie (2023): Online: [Österreichs E-Wirtschaft Biomasse-Projekte: Oesterreichs Energie](https://www.oesterreichsenergie.at/). (abgerufen am 20.09.2023)

Biermayr, P., 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 2022, Markterhebung 36/2023*.

Patel, S., Kundu, S., Halder, P., Veluswamy, G., Pramanik, B., Paz-Ferreiro, J., Surapaneni, A., Shah, K. (2019): Slow pyrolysis of biosolids in a bubbling fluidised bed reactor using biochar, activated char and lime. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 144:104697.

Quicker, P., Weber, K. editors. (2016): *Biokohle*. Springer Fachmedien Wiesbaden.

Schmid, J.C., Wolfesberger, U., Koppatz, S., Pfeifer, C., Hofbauer, H. (2012): Variation of feedstock in a dual fluidized bed steam gasifier—influence on product gas, tar content, and composition. In: Environmental Progress & Sustainable Energy 31.2 (July 1, 2012), pp. 205–215. ISSN: 1944-7450. DOI: 10.1002/ep.11607.

Statistik Austria (2023a) Energiestatistik. Gesamtenergiebilanzen Österreich 1970 bis 2021, Wien.

Umweltbundesamt (2022): Berechnung von Treibhausgas (THG)-Emissionen verschiedener Energieträger. <https://secure.umweltbundesamt.at/co2mon/co2mon.html> (abgerufen am 20.09.2023)

Umweltbundesamt (2023): Treibhausgas-Bilanz Österreichs 2021. Daten & Grafiken. Online: <https://www.umweltbundesamt.at/news220123/thg-daten-1> (abgerufen am 20.09.2023)

Van der Meijden, C.M., Veringa, H.J., Rabou, L. P. L. M. (2010): The production of synthetic natural gas (SNG): A comparison of three wood gasification systems for energy balance and overall efficiency. In: Biomass and Bioenergy 34.3 (Mar. 1, 2010), pp. 302–311. ISSN: 0961-9534. DOI: 10.1016/j.biombioe.2009.11.001.

Vogel, F. (2016): Hydrothermale Verfahren. In: Kaltschmitt, M., Hartmann, H., Hofbauer, H. (2016): Energie aus Biomasse. 3.Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Abkürzungen

ATJ	alcohol-to-jet
ct	Eurocent
CNG	Compressed Natural Gas
CO ₂ eq.	CO ₂ equivalent
DFB	Zweibettwirbelschicht (dual fluidized bed)
F&E	Forschung und Entwicklung
FT-...	Fischer-Tropsch ...
GJ	Gigajoule
HEFA	Hydroprocessed Esters and Fatty Acids

HTC	Hydrothermale Karbonisierung
HTL	Hydrthermale Verflüssigung
HTG	Hydrothermale Gaserzeugung
HWB	Heiwärmebedarf
g	Gramm
GWh	Gigawattstunde
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
MPa	Megapascal
Mio.	Millionen
Mrd.	Milliarden
MW	Megawatt
MwSt.	Mehrwertsteuer (Umsatzsteuer)
PJ	Petajoule
RM	Raummeter
RME	Rapsmethylester
SAF	Sustainable Aviation Fuel
SNG	Synthetic Natural Gas
SRM	Schüttraummeter
t	Tonne
t-atro	1 Tonne absolut trocken
THG	Treibhausgas
WGS	Wasser-Gas-Shift

Anhang

Qualitative Befragung 2023

BEST arbeitet an einer Studie zur **Darstellung des effektiven Einsatzes von innovativen Bioenergie-technologien im österreichischen Energiesystem der Zukunft**

Biomasse ist in Österreich der wichtigste heimische erneuerbare Energieträger. Laut der Publikation „Energie in Österreich, Zahlen, Daten, Fakten 2022“ hat Bioenergie, hauptsächlich basierend auf holzartiger Biomasse, einen Anteil von 47,5 % an der heimischen Primärenergieerzeugung. Ein Vorteil von Biomasse ist, dass sie speicherbar ist und somit zur Widerstandsfähigkeit erneuerbarer Energiesysteme beitragen kann. Die Fähigkeit von Biomasse, fossile Brennstoffe in der bestehenden Infrastruktur zu ersetzen, und die Vielfalt der möglichen Endenergieträger, machen Biomasse zu einer attraktiven und national verfügbaren Ressource, die zur Dekarbonisierung des Energiesystems beitragen kann. Allerdings ist auch die Ressource „Biomasse“ limitiert. Daher stellt sich die Frage, welche innovativen Konversionstechnologien in welchen Bereichen (Strom - Wärme/Kälte - Mobilität) genutzt werden sollten, um einen möglichst effektiven Bioenergieeinsatz in Österreich zu erreichen.

Ziel der Studie:

Das zentrale Ziel dieser Studie ist es, Möglichkeiten und Strategien **hinsichtlich des effektiven Einsatzes von innovativen Bioenergie-technologien in Österreich aufzuzeigen und zu erarbeiten**. Zu diesem Zweck bitten wir Sie, durch die Beantwortung dieses Fragebogens mit Ihrer Expertise beizutragen.

Um die Anforderungen der DSGVO zu erfüllen, bitten wir Sie **im ersten Block um Ihre Kontaktdaten** und Bestätigung, falls Sie den fertigen **Bericht** zugesendet möchten. Außerdem bitten wir Sie anzukreuzen, ob wir Sie im finalen Bericht namentlich als Expert*in nennen dürfen. Ihre Antworten werden jedenfalls mit den anderen Fragebögen aggregiert und anonymisiert ausgewertet bzw. dargestellt.

Wir bedanken uns für Ihre Bemühungen und Ihre Kooperation und freuen uns darauf, mit Ihrer Hilfe einen attraktiven Bioenergie-technologie Bericht schaffen zu können, welcher auch Ihnen einen großen Nutzen bringen soll. **Wir bitten Sie um Retournierung Ihres Fragebogens bis 31.08.2023, da die Ergebnisse auch in Ihrem Sinne ehest möglich präsentiert werden sollen.**

Mit freundlichen Grüßen

Christa Dißauer
Marilene Fuhrmann
Christoph Strasser

Fragebogen zur Erfassung des effektiven Einsatzes von innovativen Bioenergietechnologien im österreichischen Energiesystem der Zukunft
Erfassungszeitraum 01.06.2023 bis 31.08.2023

Name der Organisation:	
Anschrift (Str., Nr., PLZ, Ort):	
Name Kontaktperson:	
Tel. Nr. Kontaktperson:	
E-Mail-Adr. Kontaktperson:	
<p>Schutz von Personendaten: Mit Ihrer Einwilligung geben wir Ihre Firmenanschrift inklusive Namen der Kontaktperson an das Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) weiter und führen Ihren Namen unter den befragten Expert*innen im Bericht an. Ihre Angaben werden jedenfalls aggregiert und anonymisiert dargestellt.</p>	
<p><input type="checkbox"/> ja, leiten Sie die Firmenadresse mit Nennung der Kontaktperson an das Ministerium weiter</p> <p><input type="checkbox"/> leiten Sie lediglich die allgemeine Firmenadresse ohne Kontaktperson an das Ministerium weiter</p> <p><input type="checkbox"/> die Nennung unserer Organisation soll gänzlich unterbleiben, wir wünschen keine Informationen</p>	
<p><input type="checkbox"/> ja, Sie dürfen mich im Bericht als befragten Experten/befragte Expertin anführen</p> <p><input type="checkbox"/> ich möchte im Bericht nicht namentlich genannt werden</p>	

Einleitung

Folgende Abbildung zeigt das Net-Zero-Emission (NZE) Szenario der IEA, mit dem Netto-Null CO₂ Emissionen in 2050 erreicht werden sollen (siehe IEA Net Zero by 2050 – A Roadmap for the Global Energy Sector)

Abbildung siehe Seite 57 in https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf.

Demnach wird im Jahr 2050 die Bioenergie 18% zur globalen Energieversorgung beitragen.

Die nachstehende Abbildung stellt weitere Details zur Unterteilung der Bioenergie laut „Net Zero by 2050 Roadmap“ dar und zeigt somit ein Szenario der Entwicklung der modernen Bioenergie in unterschiedlichen Bereichen. Beim „Traditional use of biomass“ ist im Wesentlichen das Kochen an offenen Feuerstellen gemeint. Das hat in Österreich keine Relevanz, weltweit jedoch immer noch (für ca. 2 Milliarden Menschen im Jahr 2020).

Abbildung siehe Seite 77 in https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf.

Demnach wird sich der Einsatz von „Modern solid bioenergy“ bis 2050 global im Vergleich zu 2020 mehr als verdoppeln auf ca. 60 EJ. Der „Traditional use of biomass“ soll bereits bis zum 2030 verschwinden.

Trifft die dargestellte Entwicklung Ihrer Einschätzung nach auch für Österreich zu oder gibt es hier andere Prioritäten? Um diese Frage zu erörtern, werden im Folgenden Fragen zu spezifischen Technologien mit Relevanz in Österreich gestellt. Bitte beantworten Sie diese für den österreichischen Markt.

A) Blick in die Zukunft – Thermische Konversion (Verbrennung, thermische Gaserzeugung, Pyrolyse, hydrothermale Umwandlung)

1. Wie wird sich die Rolle der thermochemischen Konversion und der Markt für deren Produkte (Strom, Wärme, Treibstoffe wie FT Kerosin, grünes Gas inkl. BioH₂, Biokohle, ...) Ihrer Einschätzung nach in den nächsten 10 Jahren entwickeln?

2. Welche Akteure und treibenden Kräfte stehen hinter dieser Entwicklung?

3. Welche Maßnahmen zur Steigerung der Marktdiffusion sollten umgesetzt werden?

4. Wie beurteilen Sie die zukünftige Entwicklung der Preise für feste (holzbasierte, landwirtschaftliche, etc.) Biobrennstoffe?

5. Wie können sich rechtliche Rahmenbedingungen künftig direkt und indirekt auf die Entwicklung dieser Technologie auswirken (z.B. Förder- oder Nachhaltigkeitsrichtlinien)?

6. Sonstige Anmerkungen

B) Blick in die Zukunft – Biochemische Konversion (Biogas)

1. Wie wird sich die Rolle der biochemischen Konversion und der Markt für Biogas Ihrer Einschätzung nach in den nächsten 10 Jahren entwickeln?
 - Wird nach wie vor Strom und Wärme erzeugt werden oder wird sich die Produktion eher auf Biomethan verlagern?

2. Welche Akteure und treibenden Kräfte stehen hinter dieser Entwicklung?

3. Welche Maßnahmen zur Steigerung der Marktdiffusion sollten umgesetzt werden?

4. Wie beurteilen Sie die zukünftige Entwicklung der Preise für diverse Substrate?

•
5. Wie können sich rechtliche Rahmenbedingungen künftig direkt und indirekt auf die Entwicklung dieser Technologie auswirken (z.B. Entwurf für das Erneuerbare-Gase-Gesetz)?

6. Sonstige Anmerkungen:

C) Blick in die Zukunft – Integration von Bioenergie ins Energiesystem

1. Wie wird sich der Markt insgesamt in Hinblick auf die Integration von Bioenergie in das Energiesystem in den nächsten 10 Jahren entwickeln?
 - Wird Biomasse z.B. eher für die Stromerzeugung oder für die Produktion von Biome-
than/BioSNG im Gasspeicher verwendet?
 - Wie wird sich der dezentrale Einsatz (z.B. feste Biomasse für Kleinfeuerungen um das
Stromnetz an kalten/finsternen/windstillen Tagen zu entlasten) von Biomasse entwi-
ckeln?

2. Welche Akteure und treibenden Kräfte stehen hinter dieser Entwicklung?

3. Welche Maßnahmen zur Steigerung der Marktdiffusion sollten umgesetzt werden?

4. Wie können sich rechtliche Rahmenbedingungen direkt und indirekt auf die gesamte Entwicklung des Bioenergiesektors auswirken?

5. Sonstige Anmerkungen

D) Blick in die Zukunft – Thema Nachhaltigkeit

1. Wie wird sich die Relevanz von Nachhaltigkeitsaspekten im Bereich der Bioenergie in den nächsten 10 Jahren entwickeln?

2. Welche Akteure und treibenden Kräfte stehen hinter dieser Entwicklung?

3. Welche Maßnahmen zur Absicherung der Sachlichkeit in der Nachhaltigkeitsdebatte sollten ergriffen werden?

4. Wie können sich rechtliche Rahmenbedingungen auf Nachhaltigkeitsaspekte bzw. die Nachhaltigkeit von Bioenergie auswirken?

5. Sonstige Anmerkungen

E) Welche Forschungsfragen sollten in den nächsten 10 Jahren im Bereich der Bioenergie in Österreich verfolgt bzw. gefördert werden? Bitte kreuzen Sie an, als wie wichtig Sie die spezifischen Forschungsfelder einschätzen (1=nicht wichtig, 5=sehr wichtig, 0=keine Angabe).

1. Alle Technologien betreffend

Bewertung aus österr. Sicht: 1=nicht wichtig bis 5=sehr wichtig, 0=keine Angabe						
	1	2	3	4	5	0
Erweiterung des Rohstoffspektrums der Bioenergietechnologien, um eine größere Vielfalt an Nutzpflanzen, Rückständen und Abfällen einzubeziehen						
Optimierung von Sammlung und Transport von Biomasse, insbesondere Reststoffen						
Verbesserung der Katalysatoren in verschiedenen Verarbeitungsschritten im Hinblick auf eine höhere Robustheit und Langlebigkeit						
(Weiter-)Entwicklung neuer Technologien zur Herstellung von Bioenergiezwischenträgern und Biokraftstoffen						
Optimierung von Wertschöpfungsketten, um wichtige Zukunftsmärkte wie Schifffahrt, Luftfahrt und Hochtemperaturwärme für die Industrie mit Energie auf Biomassebasis versorgen zu können						

2. Thermochemische Konversion (Verbrennung, Verflüssigung, Gaserzeugung)

Bewertung aus österr. Sicht: 1=nicht wichtig bis 5=sehr wichtig, 0=keine Angabe						
	1	2	3	4	5	0
Anpassung kleiner bis mittlerer Verbrennungsgeräte wie Öfen, Kessel und Fernwärmesysteme, um schädliche Emissionen von Partikeln, organischen Verbindungen und NOx zu reduzieren						
„Downsizing“: Entwicklung und Implementierung von kleinen und Mikro-KWK Anlagen						
Verbesserung der Vergasungs- und Hydrothermal-/Pyrolysereaktorstrukturen, um mit Rohstoffen mit höherem Aschegehalt umzugehen						
Anpassung an erhöhte Mengen an flüchtigen Stoffen und einen höheren Grad an Heterogenität der Rohstoffe bei der Verwendung von Abfällen und Reststoffen als Einsatzstoffe						
Entwicklung kleiner, modularer Vergasungseinheiten für den dezentralen Einsatz						

3. Biochemische Konversion (anaerobe Gaserzeugung)

Bewertung aus österr. Sicht: 1=nicht wichtig bis 5=sehr wichtig, 0=keine Angabe						
	1	2	3	4	5	0
Verbesserung der Vorbehandlungsmethoden für Rohstoffe, insbesondere für Fermentationsprozesse						
Optimierung der mikrobiellen Zusammensetzung zur Fermentation						
Verbesserung der Gärrestaufbereitung zur Herstellung von Düngemitteln						
Entwicklung neuartiger Stämme zur wirtschaftlichen Herstellung von Kohlenwasserstoffen oder langkettigen Fettalkoholen aus Zuckern						
Entwicklung von Technologien zur Aufwertung des Ligningehalts in Lignozellulose-Rohstoffen						

4. Integration in Energiesysteme

Bewertung aus österr. Sicht: 1=nicht wichtig bis 5=sehr wichtig, 0=keine Angabe						
	1	2	3	4	5	0
Integration von Bioenergie und Biokraftstoffen in bestehende Industrien wie Zellstoff- und Papierindustrie sowie (Bio-)Raffinerien						
Entwicklung von Konzepten zur Ausschöpfung des Potenzials der Bioenergie zur Stabilisierung des Stromnetzes und zur Kopplung der Sektoren Strom, Wärme und Verkehr						
Entwicklung von Technologien zur Kohlenstoffabscheidung und -speicherung, die an die Größe von Bioenergieanlagen angepasst sind						

5. Sozio-ökonomische Aspekte

Bewertung aus österr. Sicht: 1=nicht wichtig bis 5=sehr wichtig, 0=keine Angabe						
	1	2	3	4	5	0
Verbesserung des Verständnisses der öffentlichen Akzeptanz von Bioenergieanlagen und des Widerstands gegenüber Bioenergie-technologien						
Bereitstellung von Richtlinienentwürfen, insbesondere für die Handhabung von Nachhaltigkeitszertifizierungen						

Befragte Expert*innen:

- **Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Reinhard Haas**, Technische Universität Wien, Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe, Energy Economics Group (TU Wien EEG)
- **Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Tobias Stern**, Universität Graz, Institut für Umweltsystemwissenschaften
- **Dipl.-Ing. Dina Bacovsky**, BEST - Bioenergy and Sustainable Technologies GmbH, aktuell Vorsitzende des Exekutivkomitee von IEA Bioenergy
- **Christoph Pfemeter**, Geschäftsführer des österreichischen Biomasseverband, aktuell auch Präsident von Bioenergy Europe
- **Dipl.-Ing. Dr. nat. techn. Bernhard Drogg**, BEST - Bioenergy and Sustainable Technologies GmbH, Area Manager für Biochemische Technologien, Mitglied im IEA Bioenergy Task 37 – Energy from Biogas
- **MR Dipl.-Ing. Gottfried Lamers**, BMK, Abteilung VI/7 – Förderinstrumente für innovative Klima- und Energietechnologien
- **MR (ESB) Dipl.-Ing. Dr. techn. Wolfgang Jank**, BMK, Abteilung VI/5 – Erneuerbare Energie Erzeugung

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