

IEA Bioenergie Task 42: Bioraffinerien in der Kreislaufwirtschaft

Arbeitsperiode 2019-2021

M. Mandl, J. Lindorfer, F. Hesser

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

20/2024

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

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

Verantwortung und Koordination:

Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien

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

Autorinnen und Autoren: DI Michael Mandl (tbw Research GesmbH), DI Johannes Lindorfer (Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz), DI Dr. Franziska Hesser (Kompetenzzentrum Holz GmbH)

Wien, 2023

IEA Bioenergie Task 42: Bioraffinerien in der Kreislaufwirtschaft

Arbeitsperiode 2019-2021

DI Michael Mandl
tbw Research GesmbH

DI Johannes Lindorfer
Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz

DI Dr. Franziska Hesser
Kompetenzzentrum Holz GmbH

Wien, Dezember 2022

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



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

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Programm FORSCHUNGSKOOPERATION INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR. Es wurde vom Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) initiiert, um Österreichische Forschungsbeiträge zu den Projekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu finanzieren.

Seit dem Beitritt Österreichs zur IEA im Jahre 1975 beteiligt sich Österreich aktiv mit Forschungsbeiträgen zu verschiedenen Themen in den Bereichen erneuerbare Energieträger, Endverbrauchttechnologien und fossile Energieträger. Für die Österreichische Energieforschung ergeben sich durch die Beteiligung an den Forschungsaktivitäten der IEA viele Vorteile: Viele Entwicklungen können durch internationale Kooperationen effizienter bearbeitet werden, neue Arbeitsbereiche können mit internationaler Unterstützung aufgebaut sowie internationale Entwicklungen rascher und besser wahrgenommen werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch viele IEA Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und auch in der Marktumsetzung konnten bereits richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Publikationsreihe und die entsprechende Homepage www.nachhaltigwirtschaften.at gewährleistet wird.

DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM
Leiter der Abt. Energie und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	7
2	Abstract.....	8
3	Zusammenfassung	9
4	Ausgangslage.....	11
4.1.	Überblick IEA Bioenergy.....	11
4.2.	Bioraffinerien und Kreislaufwirtschaft.....	12
4.2.1.	Umfeld	12
4.2.2.	Herausforderungen	12
4.3.	Stand des Wissens aus Vorarbeiten.....	14
4.3.1.	Techno-ökonomischen Evaluation (TEA) und Lebenszyklusanalyse (LCA)	14
4.3.1.	Technologien und biobasierte Produkte	15
4.3.2.	Bioraffinerie Netzwerk und Internationalisierung.....	15
5	Projekthalt.....	16
5.1.	Ziele des IEA Bioenergy Task 42 Bioraffinerien in der Kreislaufwirtschaft	16
5.2.	Struktur und Partnerländer.....	16
5.3.	Schwerpunkte der Task 42 Aktivitäten im Triennium 2019-21	17
6	Ergebnisse	19
6.1.	Ergebnisse zur TEE- Bewertung von Bioraffinerien	19
6.1.1.	Fallstudien #1 und #2: Vergasung und Methanol/DME-zu-Benzin-Bioraffinerie.....	21
6.1.2.	Fallstudie #3 und #4: Vergasung und Fischer-Tropsch-Synthese zur Herstellung von Benzin- und Dieseleratzstoffen	23
6.2.	Analyse von Barrieren und Anreize für ausgesuchte Bioraffinerien.....	25
6.2.1.	Analyse der Relevanz spezifischer Parameter (Wichtigkeit - Leistung).....	25
6.2.2.	Lignozellulose-Bioraffinerien	25
6.2.3.	Grüne Bioraffinerie	26
6.2.4.	Algen-Bioraffinerie.....	27
6.2.5.	Interpretation der Ergebnisse und Schlussfolgerungen	28
6.3.	Digitaler Bioraffinerie-Atlas	29
6.4.	Berichte zu ausgewählten Themen.....	32
6.4.1.	Globaler Bioraffinerie-Statusbericht	32
6.4.2.	Bericht zur nachhaltigen Nutzung von Lignin	33
6.4.3.	Bericht zur Verwendung von Lignin und alternative und nachhaltigen Kohlenstoffquelle als Ersatz für Kohle in metallurgischen Prozessen	33
6.4.4.	Bioraffinerie-Länderberichte	34
7	Taskarbeit im Allgemeinen.....	35
7.1.	Gruppe der Teilnehmenden Staaten	35
7.2.	Task Fortschrittsstreffen.....	35

8	Vernetzung und Ergebnistransfer	36
8.1.	Vernetzung nationaler Akteur:innen im Themenfeld Bioraffinerie.....	36
8.1.1.	Zielgruppe	36
8.1.2.	Veranstaltungen zur Vernetzung der nationalen Akteur:innen	36
8.1.3.	Informationstransfer mittels Newsletter	36
8.2.	Dissemination von Ergebnissen mittels Webinare und Konferenzbeiträgen	36
8.3.	Nutzen für verschieden Gruppen an Stakeholdern	37
8.4.	Bedeutung der sektorübergreifenden Kooperation und Vernetzung	37
8.5.	Abstimmung der Arbeiten im Task mit dem BMK	38
9	Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen.....	39
9.1.	Schlussfolgerung aus Ergebnissen der Taskarbeit 2019-21	39
9.1.1.	Lignin eine Ressource mit einem breiten Einsatzpotential	39
9.1.2.	Aktueller Status zur Implementierung von Bioraffinerien	39
9.1.3.	Sektorübergreifenden Kooperation sowie Verwertung von Stoffströmen.....	40
9.2.	Ausblick auf die weiteren Arbeiten im IEA Bioenergy Task 42	41
10	Anhang- Übersicht relevanter Dokumente und Informationen - LINKs	46

1 Kurzfassung

Der IEA Bioenergie Task 42 *Bioraffinerien in der Kreislaufwirtschaft* verfolgt das strategische Ziel, die Etablierung von Bioraffinerien voranzutreiben. Bioraffinerien sind Produktionsverfahren, die Biomasse zu einem Spektrum marktfähiger biobasierter Produkte und Energie verarbeiten. Diese kombinierte Herstellung von Produkten und Energie aus Biomasse stellt eine nachhaltige Systemlösung dar, die nicht auf fossile Rohstoffe aufsetzt und somit den Ausstoß klimarelevanter Emissionen wesentlich reduzieren kann. Bioraffinerien unterstützen zusätzlich die Kreislaufwirtschaft, da sie kaskadische Nutzungskonzepte anwenden. So dienen Abfälle eines Herstellungsverfahrens oft als Rohstoff für weitere Verwertungsprozesse.

In der Arbeitsperiode 2019-2021 nahmen die Länder Australien, Dänemark, Deutschland, Irland, Italien, Niederlande, Österreich und Schweden teil. Auf nationaler Ebene wurde der Task 42 durch ein Konsortium bestehend aus tbw research GesmbH, dem Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz und Kompetenzzentrum Holz GmbH (Wood K plus) koordiniert.

Der IEA Bioenergie Task 42 ist eine internationale Plattform zum Themenbereich Bioraffinerie, die zur Vernetzung und zum Informations- und Erfahrungsaustausch dient. Auf nationaler Ebene erfolgt die Vernetzung interessierter Akteur:innen im Zuge von Veranstaltungen. Auf der internationalen Ebene besteht der Task 42 aus einer Expert:innengruppe, welche von den teilnehmenden Staaten beschiedt wird. Im Triennium 2019-21 fanden in Summe zwölf Arbeitsmeetings des Tasks 42 statt. Aufgrund der Reisebeschränkungen sowie der Maßnahmen in Folge der COVID Pandemie wurden diese mehrheitlich via digitaler Konferenzsysteme ausgeführt. Im Task 42 wurden eine Reihe relevanter Themenfelder bearbeitet sowie Berichte und anderer Veröffentlichungen erstellt.

Im Bericht zur nachhaltigen Nutzung von Lignin werden die verschiedenen Technologien zur Ligningewinnung sowie die weiterführenden Prozesse zu Gewinnung von Produkten übersichtlich dargestellt. Ebenso enthalten sind wichtige Referenzen zu ausgesuchten F&E Projekten sowie Technologieimplementierungen (Pilot- und Demoanlagen). Eine weitere Veröffentlichung beschäftigt sich mit der Nutzung von Lignin als möglicher Koksersatz für die Metallerzeugung. Im Global Biorefinery Status Report wurde erstmals der Implementierungsstand von Bioraffinerien auf sehr breitem internationalem Niveau zusammengefasst. Eine Beschreibung ausgewählter Bioraffinerie-Referenzanlagen runden den Bericht ab. Österreich ist mit einem Leuchtturmprojekt vertreten. Die technisch, ökonomisch und ökologische (TEE) Bewertung von Bioraffinerien wird im Task 42 bereits seit der Etablierung durchgeführt. In dieser Arbeitsperiode wurde die TEE-Bewertung von vier verschiedenen Bioraffinerietypen durchgeführt, die alle Pyrolyse oder Vergasungstechnologien anwenden. Als Outputs wurden neben dem Endbericht auch vier spezifische Biorefinery Fact Sheets veröffentlicht. Zusätzlich wurden mittels einer Expert:innenbefragung Barrieren und Anreize zu drei verschiedenen Bioraffiniertypen erhoben und analysiert. Eine umfangreiche Liste relevanter Veröffentlichungen und weiterer Informationsquellen ist diesem Bericht als Anhang beigelegt.

2 Abstract

The IEA Bioenergy Task 42 Biorefineries in a Circular Economy pursues the strategic goal of advancing the establishment of biorefineries. Biorefineries are production processes that process biomass into a range of marketable biobased products and energy. This combined production of products and energy from biomass represents a sustainable system solution that does not rely on fossil raw materials and can thus significantly reduce greenhouse gas emissions. Biorefineries also support the circular economy because they apply cascading utilisation concepts. Waste from a manufacturing process often serves as a raw material for further processes pathways.

In the working period 2019-2021, the countries Australia, Austria, Denmark, Germany, Ireland, Italy, The Netherlands and Sweden participated. At the national level, IEA Bioenergy Task 42 was coordinated by a consortium consisting of tbw research GesmbH, the Energy Institute at Johannes Kepler University Linz and Kompetenzzentrum Holz GmbH (Wood K plus).

The IEA Bioenergy Task 42 is an international platform on the topic of biorefineries that serves for networking and the exchange of information and experience. On the national level, networking of interested stakeholders was carried out through specific events. On the international level, Task 42 consists of a group of experts deployed of the participating countries. In the triennium 2019-21, a total of twelve progress meetings took place. Due to travel restrictions and the measures related to the COVID pandemic, most of these meetings were held via digital conference systems. Within triennium 2019-21 task 42 dealt with a series of relevant biorefinery topics and generated specific reports and other publications.

In a report on the sustainable use of lignin, the various technologies for lignin extraction and the downstream processes for obtaining products are presented in detail. Also, important references to selected R&D projects and technology implementations (pilot and demonstration plants) are included. Another publication deals with the use of lignin as a possible substitute for coke in metal production.

In the Global Biorefinery Status Report, the implementation status of biorefineries was summarised for the first time on a very broad international level. A description of selected biorefinery reference plants completes the report — with Austria providing a Flagship Biorefinery.

The TEE (technical, economic, ecological) assessment of biorefineries has been carried out in Task 42 since it has been established. Throughout the working period, the TEE assessment of four different types of biorefineries was carried out, which apply pyrolysis or gasification technologies. As outputs, four specific biorefinery fact sheets were published in addition to the final report. By means of a survey within a biorefinery expert panel, information on barriers and incentives for three different biorefinery types was collected and analysed.

3 Zusammenfassung

Als Ergebnisse des IEA Bioenergy Task 42 Trienniums 2019-21 wurden eine Reihe von thematischen Berichten erstellt und veröffentlicht. Die im Arbeitsprogramm des Projektvorhabens definierten Ziele und Arbeiten konnten inhaltlich erreicht werden.

Der Bericht zur **Nachhaltigen Nutzung von Lignin** ist sehr umfassend konzipiert. Er beschreibt verschiedene Technologien zur Gewinnung von Lignin sowie weiterführende Prozesse zu dessen Veredelung für verschiedene Produktanwendungen. Neben dem Stand des Wissens zeigt dieser Bericht auch verschiedene ausgesuchte F&E Projekte im Themenfeld auf. Eine übersichtliche Zusammenfassung ausgesuchter Implementierungen (wie Pilot-, Demonstrations- sowie kommerzielle Anlagen) verschaffen einen guten Überblick. Hochwertiges Lignin kann als Koppelprodukt der Zellstoffindustrie hergestellt werden. Dies bedingt allerdings zusätzliche Technologien, welche gegenwärtig noch nicht breit in die industrielle Praxis eingeführt sind.

Der IEA Bioenergy Task 42 hat mit der Veröffentlichung des **Global Biorefinery Status Reports** erstmals versucht, den Implementierungsstand von Bioraffinerien auf internationalem Niveau umfassend darzustellen. Die bisherige Methodik zur Charakterisierung und Beschreibung von Bioraffinerieprozesspfaden wurde entsprechend aktualisiert und neue Technologieplattformen und Prozesspfade sowie Produkte ergänzt. Der Bericht stellt für alle im Task 42 vertretenen Länder den jeweiligen nationalen Bioraffinerie Status im Detail in übersichtlicher und vergleichbarer Weise dar. Eine Auswahl und Beschreibung ausgesuchter Bioraffinerie Referenzanlagen runden den Bericht ab. In einem separaten Kapitel werden spezifische thematische Auswertungen zu Bioraffinerien dargestellt, welche einen schnellen Überblick betreffend der in Bioraffinerien eingesetzten Rohstoffklassen, der angewandten Veredelungstechnologien sowie zu den generierten Produktgruppen geben.

Diese Informationen beruhen auf dem **digitalen Bioraffinerie Atlas Portal**, das vom IEA Bioenergy Task 42 implementiert wurde. Dies ist ein Informationsportal zu Bioraffinerien, das als webbasiertes, interaktiv nutzbares Dash-Board konzipiert ist. Es verfügt über eine spezifische Such- bzw. Abfrage Funktion, welche das Setzen von Filtern erlaubt. So können Abfragen durch Auswahl von Parametern im Bereich der Rohstoffe, Technologien, Produktgruppen, geographischer Lage, Anlagengröße und des „Technology Readiness Level“ (TRL) konkretisiert werden. Das Portal bietet neben der Visualisierung der Datensätze auch einen Download von spezifischen Informationen an. Dieser digitaler Bioraffinerie Atlas ist als „Work in Progress“ zu verstehen und wird auch in Zukunft erweitert werden. Der Einstieg ins Bioraffinerie Portal bedarf keiner speziellen Registrierung und ist über das Internet mittel des Links <http://webgis.brindisi.enea.it/bioenergy/maps.php> möglich.

Die **technisch, ökonomisch, ökologische (TEE) Bewertung von Bioraffinerien** ist seit einigen Jahren ein Schwerpunkt der Arbeit im IEA Bioenergy Task 42. Durch eine konkrete technische, ökonomische und ökologische Quantifizierung, welche nach einer von der österreichischen Vertretung im Task 42 entwickelten Methodik erfolgt, soll der Betrieb von Bioraffinerien konkret beurteilt werden können. Dies ermöglicht einen Vergleich mit fossilen Prozesspfaden, wodurch umweltrelevante Vorteile oder Verbesserungen, im spezifischen der Treibhausgasausstoß, oder über einen einfachen ökonomischen Vergleich einer Referenzanlage nachvollziehbar werden. Im Triennium 2019 – 2021 wurden in Kooperation mit dem IEA Bioenergy Task 33 vier verschiedene Bioraffinerietypen, welche

Vergasungstechnologien anwenden, mittels TEE-Bewertung untersucht und als Fallstudienbericht veröffentlicht. Zusätzlich wurden die Ergebnisse in vier Bioraffinerie Fact Sheets (Steckbrief) zusammengefasst.

Barrieren und Anreize, welche die Umsetzung von Bioraffinerien beeinflussen, wurden untersucht. Dies geschah durch Expert:innenbefragungen über die internationalen Task 42 Vertretungen und darüber hinaus zu drei ausgesuchten Bioraffinerie-Typen, welche als Rohstoffe Lignozellulose, Grünlandbiomasse und Algen einsetzten. Es zeigen sich Tendenzen bei den Unterschieden der wahrgenommenen Leistungsfähigkeit und Wichtigkeit verschiedener sozialer, technischer, ökologischer, ökonomischer und politischer Faktoren entlang der Wertschöpfungskette in Abhängigkeit der technologischen Reife. So zeigen sich Tendenzen, dass bei den weiter entwickelten Bioraffinerie-Typen (wie der lignozellulosischen Bioraffinerie) die politischen Faktoren als besonders wichtig wahrgenommen werden. Bei der Algen Bioraffinerie, welche in der Regel noch nicht so etabliert ist, stehen technologische und ökonomische Faktoren im Vordergrund. Die Ergebnisse sind auf der IEA Bioenergy Konferenz 2021 präsentiert worden.

Im Triennium wurden eine Reihe von **nationalen Bioraffinerie Statusberichten** erstellt, welche den jeweiligen nationalen Status aufzeigen. Als Ergebnis liegen Bioraffinerie- Länderberichte der Staaten Australien, Dänemark, Deutschland, Italien, Niederlande, Österreich und Schweden vor.

Die **Dissemination** und ebenso die Diskussion und Erläuterung der erarbeiteten Ergebnisse sind eine wesentliche Aufgabe im IEA Bioenergy Task. Die Veröffentlichung erfolgt primär über die Internetseite des IEA Bioenergy Task 42 sowie über das österreichische Informationsportal Nachhaltig Wirtschaften - IEA Kooperation.

Im Triennium wurde eine Reihe von **Webinaren** zur Präsentation und Diskussion der Ergebnisse durchgeführt. Diese online-Webinare betrafen die Themen (i) Nachhaltigen Nutzung von Lignin, (ii) Ergebnisse der technischen, ökonomischen und ökologischen Bewertung von Bioraffinerien, (iii) Biobasierte Chemikalien sowie (iv) den Einsatz von Lignin als Kohleersatz in der Metallurgie. Diese Webinare können auch als Stream „nachgehört“ werden.

Zur **Umsetzung der internationalen Vernetzung und des Informationsaustauschs** auf Expertenniveau wurden im Triennium in Summe zwölf Fortschrittsmeetings durchgeführt. Aufgrund der Reiseeinschränkungen der COVID Pandemie waren nur zwei Präsenz-Meetings möglich.

Schlussfolgerungen: Lignin ist eine Ressource mit Zukunftspotential, Technologien zur stofflichen Verwertung sind bereits im Pilot- und Demonstrationsmaßstab verfügbar und in der kommenden Dekade im großen Maßstab zu erwarten. Auf globaler Ebene sind Bioraffinerien derzeit vor allem auf die Herstellung von Energie und Kraftstoffen ausgerichtet. Rückmeldungen seitens nationaler Akteure zeigen auf, dass die Erschließung von Sekundärrohstoffen (z.B. Prozessabfälle aus Verarbeitungsprozessen) als potenzielle Rohstoffe für Bioraffinerien in der Praxis nur sehr schwer möglich ist. Für Sektorenübergreifende Wertschöpfungsketten bedarf es Erleichterung in der Umsetzung und ein Anreizsystem.

Der **Anhang beinhaltet eine Link-Liste**, die als schneller „Wegweiser“ zu den jeweiligen Detailinformationen und spezifischen Berichten dienen kann.

4 Ausgangslage

4.1. Überblick IEA Bioenergy

Die Aufgaben und Ziele der IEA Bioenergy können wie folgt zusammengefasst werden
- Zitat aus der Darstellung der IEA -Forschungskoooperation¹:

„Das Ziel von IEA Bioenergy ist die Förderung des Einsatzes umweltverträglicher und konkurrenzfähiger Bioenergie auf der Basis einer nachhaltigen Nutzung von Biomasse zur Bereitstellung eines substanziellen Beitrags für eine zukunftsfähige Energieversorgung.

Aufgabe von IEA Bioenergy ist es, einen Beitrag zur Beseitigung von umweltbezogenen, institutionellen, technologischen und finanziellen Barrieren für den Einsatz von Bioenergiotechnologien in der Zukunft zu leisten. Im Zentrum stehen dabei die Initiierung, Koordinierung und Förderung von Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprojekten durch internationale Zusammenarbeit und der gezielte Informationsaustausch zwischen Expert:innen aus Forschung, Industrie und Politik in den teilnehmenden Ländern. Diese Strategie soll dazu beitragen, die Entwicklung und Vermarktung von umweltfreundlichen, effizienten und kostengünstigen Bioenergiotechnologien voranzutreiben“.

Die Mitarbeit in der IEA Bioenergy findet auf der operativen Ebene zu ausgesuchten Themenbereichen, den sogenannten Tasks, statt. Gegenwärtig nimmt Österreich an folgenden IEA Bioenergy Tasks aktiv teil:

- IEA Bioenergy Task 32: Biomasseverbrennung und -mitverbrennung
- IEA Bioenergy Task 33: Thermische Vergasung von Biomasse
- IEA Bioenergy Task 37: Energie aus Biogas und Deponiegas
- IEA Bioenergy Task 39: Markteinführung von konventionellen und fortschrittlichen Biotreibstoffen aus Biomasse
- IEA Bioenergy Task 40: Bereitstellung biobasierter Wertschöpfungsketten
- IEA Bioenergy Task 42: Bioraffinerien in der Kreislaufwirtschaft
- IEA Bioenergy Task 44: Flexible Bioenergie und Systemintegration

Die **grundsätzliche Motivation und Ausrichtung** der Aktivitäten in den einzelnen IEA Bioenergy Tasks ist die **internationale Vernetzung und der Informationsaustausch im spezifischen Themenfeld**. Durch die Bearbeitung essenzieller thematischer Herausforderungen, der Zusammenschau nationaler Entwicklungen sowie der Diskussion auf internationaler Expertenebene werden Synergien und Mehrwert für die teilnehmenden Staaten generiert.

¹ <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/technologieprogramme/bioenergie/>

4.2. Bioraffinerien und Kreislaufwirtschaft

4.2.1. Umfeld

Die globale Klimaveränderung, hervorgerufen durch den massiven Ausstoß klimarelevanter Emissionen, erfordert drastische Maßnahmen zur Reduzierung von CO₂ und anderer schädlicher Emissionen fossilen Ursprungs. Neben der Umstellung der Energieversorgung und des Verkehrs auf erneuerbare Quellen ist ebenso eine Umstellung der Konsumgüterproduktion auf erneuerbare Rohstoffe und Energien notwendig. Zusätzlich ist die Etablierung einer Kreislaufwirtschaft, die Verlängerung der Nutzungsdauer von Produkten sowie ein auf Nachhaltigkeit ausgerichtet Konsumverhalten erforderlich.

Bioraffinerien zur Herstellung von Energie und Produkten auf Basis erneuerbarer Ressourcen bilden die Basis einer nachhaltigen, auf geschlossene Stoffkreisläufe ausgerichteten Wirtschaftsweise. Bioraffinerien sind somit Schlüsseltechnologien zur tatsächlichen Entkopplung der Energie- und Verbrauchsgüterproduktion von fossilen Ressourcen. Durch die Substitution fossiler Energieträger und Ressourcen durch erneuerbare Rohstoffe und Energie kann der Ausstoß klimarelevanter Emissionen wesentlich verringert werden. Dadurch entsteht ein wertvoller und substanzieller Beitrag zum Klimaschutz sowie zu einer nachhaltigen Wirtschafts- und Lebensweise.

4.2.2. Herausforderungen

Die grundlegende Herausforderung bei Bioraffinerien liegt darin, aus biogenen Rohstoffen durch möglichst nachhaltige und effiziente Verfahren eine Vielzahl von Produkten zu generieren. Dies umfasst die Herstellung von Energie, Treibstoffen, Bulk-Chemikalien, Materialien, Lebens- und Futtermittel bis hin zum Einsatz in Endprodukten und Konsumgütern.

Somit liegt eine sehr komplexe Ausgangslage vor, welche generell innovative Ansätze zur Nutzung erneuerbarer Ressourcen, die Entwicklung und Umsetzung möglichst energieeffizienter und ressourcenschonender Produktionstechnologien erfordern. Die Herausforderungen für Bioraffinerien sind mannigfaltig. Diese werden im Überblick auf verschiedenen Themenebenen zusammenfassend dargestellt:

Rohstoffe und Logistik

Die Rohstoffe für Bioraffinerien müssen erneuerbar sowie nachhaltig bereitgestellt werden können. Es gilt, rohstoffseitig eine direkte Konkurrenz mit der Produktion von Lebensmittel zu vermeiden. NAWAROs, Nebenströme (z.B. Ernterückstände) aus einer nachhaltigen Landwirtschaft sowie Prozessabfälle aus der nachgeschalteten verarbeitenden Industrie (z.B. Lebensmittel) sind konkrete Rohstoffoptionen für Bioraffinerien. Essenzielle Anforderungen an die Rohstoffbereitstellung für Bioraffinerien sind kurze Transportwege für die Biomasse sowie die Möglichkeit der (saisonalen) Lagerung. Diese Einschränkungen führen in der Regel zu einem in der Höhe begrenzten Rohstoffpotential, da die Rohstoffproduktion in die landwirtschaftliche Ausprägung einer Region zu integrieren ist. Daher sind Bioraffinerien bereits rohstoffseitig hinsichtlich ihrer Größe und Verarbeitungskapazität limitiert und jedenfalls viel kleiner als vergleichsweise fossile Raffinerien.

Neue, nachhaltige Technologien zur Produktion biobasierter Produkte

Die Prozesstechnologien in Bioraffinerien sind meist auf die Verarbeitung spezifischer Rohstoffe ausgerichtet. Das technologische Spektrum ist groß. Es umfasst sowohl chemisch-physikalische, biotechnologische sowie thermische Prozess- und Syntheseverfahren. In der Regel sind die Technologien auf die Gewinnung und Veredelung spezifischer Pflanzeninhaltsstoffen wie Zucker, Stärke, Proteine, Fette & Öle, Lignocellulose ect. ausgerichtet. Prozesstechnologien in Bioraffinerien sind sie nicht universell einsetzbar, da sie nicht unmittelbar auf andere Rohstoffe oder Wertstoffe übertragen werden können. Im Bereich der Produkte von Bioraffinerien haben biobasierte Bulkprodukte und Plattformchemikalien einen besonderen strategischen Stellenwert. Sie können in bereits existierende, weiterführende Produktionsprozesse der Konsumgüterwirtschaft integriert werden. Die komplexen technologischen Herausforderungen liegen in der Entwicklung möglichst robuster, effizienter, weitestgehend abfallfreien und emissionsarmen Bioraffinerieverfahren, welche (wenn möglich) für ein breites Rohstoffspektrum anwendbar sind. Ebenso sollte sich bereits bei kleineren Verarbeitungskapazitäten eine wirtschaftliche Umsetzung realisieren lassen, damit eine regionale Implementierung von Technologien möglich ist.

Wirtschaftlichkeit von Bioraffinerien

Die Erlöse, welche durch Bioraffinerieprodukte am Markt erzielbar sind, ergeben sich in der Regel aus dem Wettbewerb zu vergleichbaren Referenzprodukten, welche auf Basis herkömmlicher, fossiler Rohstoffe erzeugt werden. Durch eine deutliche Reduktion von klimarelevanten Emissionen im Produktionsprozess von Bioraffinerien, kann sich - auf Basis einer international gültige Einpressung der CO₂ Emission - ein wettbewerbsrelevanter monetärer Vorteil ergeben. Dieser Wirkmechanismus hat in der gewärtigen industriellen Produktion bislang keinen relevanten monetären Stimulus für die Etablierung von Bioraffinerien bewirkt. Die Untersuchung und Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Bioraffinerien, insbesondere die Abhängigkeit von konkreten Marktbedingungen, ist eine wesentliche Schlüsselaufgabe, um die Etablierung von Bioraffinerien auf breiter Front voranzutreiben. Es besteht die Hoffnung, dass deutlich steigende Preise für Emissionsrechte in Zukunft einen stärkeren monetärer Anreiz für Bioraffinerien generieren werden.

Positiver Beitrag zum Klimaschutz

Bioraffinerien sollen durch neue, nachhaltige Produktionsweisen eine deutliche Verbesserung der ökologischen Auswirkungen insbesondere eine essenzielle Einsparung klimarelevanter Emissionen erzielen. Daher sind die systematische (qualitative und quantitative) Erfassung und Bewertung ökologischer Effekte von Bioraffinerien erforderlich, um die Verbesserung der Umweltperformance im Vergleich mit fossilen Referenztechnologien darzustellen.

4.3. Stand des Wissens aus Vorarbeiten

Folgend wird der Stand des Wissens aus eigenen Vorarbeiten sowie aus den bisherigen Aktivitäten des IEA Bioenergy Tasks 42 zusammenfassend dargestellt.

4.3.1. Techno-ökonomischen Evaluation (TEA) und Lebenszyklusanalyse (LCA)

Der aktuelle Stand des Wissens basiert auf eigenen Vorarbeiten sowie Erkenntnissen aus nationalen und internationalen Projekten, die sich mit der Methodenentwicklung im Bereich der Techno-ökonomischen Evaluation (TEA) und Lebenszyklusanalyse (LCA) befassen. Dabei hebt sich unsere Forschung durch ein Alleinstellungsmerkmal hervor, da wir insbesondere die Kombination von aggregierten technischen, ökonomischen und ökologischen Key Performance Indikatoren (KPIs) kombinieren und damit ein sehr umfassendes Gesamtbild einer biobasierten Wertschöpfungskette generieren. Wesentlicher Mehrwert entsteht durch die Kombination von ökonomischer und ökologischer Bewertung.

Ökonomische Bewertung: TEA hilft dabei, die wirtschaftliche Rentabilität von biobasierten Produkten und Prozessen zu analysieren, indem es Kosten-Nutzen-Analysen durchführt. Diese Bewertungen sind **entscheidend für die Entscheidungsfindung und die strategische Planung in der Industrie.**

Ökologische Bewertung: LCA bietet eine detaillierte Analyse der Umweltauswirkungen entlang der gesamten Lebensdauer eines Produkts oder einer Dienstleistung. Durch die Bewertung von Emissionen, Energie- und Ressourcenverbrauch trägt sie wesentlich dazu bei, die ökologische Nachhaltigkeit zu verbessern.

Integration von KPIs: Die Verbindung von technischen, ökonomischen und ökologischen KPIs in einer integrierten Analyse kann zu einer verbesserten Einschätzung der Gesamtleistung führen. Diese Art der Analyse ermöglicht es, Synergien und Trade-offs zwischen verschiedenen Leistungsindikatoren zu identifizieren und zu bewerten.

Erkenntnisse und Beispiele aus der aktuellen Forschung zu TEA und LCA

Die bisherigen Ergebnisse unserer Vorarbeiten (Lindorfer, J. et al. (2019) & (2020)) und die Erkenntnisse aus nationalen und internationalen Projekten bieten einen breiten Überblick über den aktuellen Stand der Techno-Ökonomischen Evaluation im Bereich der nachhaltigen Energiegewinnung und Ressourcennutzung (Mahmud, R. et al. (2021) & Miah, J., et al. (2017)). Sie bilden eine solide Grundlage für die weitere Entwicklung und Optimierung von Technologien zur Energieerzeugung und Rohstoffnutzung unter Berücksichtigung ökonomischer, ökologischer und sozialer Aspekte. Im Rahmen der Vorarbeiten der österreichischen Expert:innen wurden verschiedene Methoden zur Techno-Ökonomischen Evaluation entwickelt und angewendet. Diese umfassen unter anderem die Modellierung und Simulation von Prozessen zur Nutzung nachhaltiger Ressourcen sowie die Analyse der ökonomischen und ökologischen Auswirkungen solcher Verfahren. Unsere Forschungsergebnisse zeigen, dass eine ganzheitliche Bewertung der Technoökonomie und -ökologie entscheidend ist, um die Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit von nachhaltigen Technologien zu bewerten.

Im Rahmen des aktuellen Reports wurden Bioraffinerie-Fallstudien, welche Vergasung als Kerntechnologie beinhalten, einer technischen, wirtschaftlichen und umweltbezogenen Bewertung unterzogen. In diesem Zusammenhang wurden folgende Inhalte dokumentiert (Lindorfer, J. et al. (2021)):

- Technologische Ansätze und Kernmerkmale: Die verschiedenen Bioraffinerie-Technologien, einschließlich der Vergasung von Biomasse zu Synthesegas, werden diskutiert. Es werden Fallstudien präsentiert, die qualitative und quantitative Charakterisierungen beinhalten, sowie Primärdaten für spezifische Bioraffinerie-Fälle liefern.
- Ökonomische und ökologische Merkmale: Die Wirtschaftlichkeit und Umweltauswirkungen von Bioraffinerie-Systemen werden analysiert. Dabei werden Aspekte wie die Reduktion von Treibhausgasemissionen und die Effizienz der Ressourcennutzung hervorgehoben.
- Fallstudien und Daten: Es wird eine Methodik zur Bewertung und ein Online-Fragebogen beschrieben, der eingesetzt wurde, um Daten von Stakeholdern zu sammeln, die in die Entwicklung von Bioraffinerien involviert sind.

4.3.1. Technologien und biobasierte Produkte

Im Rahmen des Netzwerk IEA Bioenergy Task 42 entstanden in den letzten Jahren zu ausgewählten Themenstellungen spezifische Bioraffinerieberichte, welche die Nutzung verschiedener Rohstoffe, Verfahren und Technologien zur Herstellung biobasierter Produkte, deren Anwendungsbereiche sowie rechtliche Rahmenbedingungen für biobasierte Produkten abdecken. So wurden beispielsweise die Herstellung und das Produktpotential von

- (i) biobasierten Chemikalien,
- (ii) Natur- und biobasierten Fasern,
- (iii) Proteine für Lebensmittel, Tierfutter und erweiterten Anwendungen sowie
- (iv) rechtliche Rahmenbedingungen zur Klassifizierung biobasierter Produkte

in thematischen Querschnittsberichten zusammengefasst.

Diese Berichte stellen den Stand des Wissens zu Bioraffinerie-Produkten und -Technologien im jeweiligen Kontext dar. Ebenso wird der der aktuelle Stand der Umsetzung und Implementierung spezifischer Bioraffinerien aufgezeigt.

Die Arbeit im IEA Bioenergy Task 42 ist nicht auf die Entwicklung spezifischer Bioraffinerietechnologien fokussiert, sondern führt verfügbare Informationen zusammen und bewertet diese auf Expert:innen-Ebene hinsichtlich ihrer Relevanz.

4.3.2. Bioraffinerie Netzwerk und Internationalisierung

Auf internationaler Ebene haben Initiativen wie die IEA zur Förderung der Bioenergie und anderer erneuerbarer Energietechnologien wichtige Impulse gesetzt. Dabei bietet die Unabhängigkeit einen wesentlichen Vorteil, da sie es uns ermöglicht, unvoreingenommen an Forschungsfragen heranzugehen und innovative Ansätze zu verfolgen.

Erfahrungen aus der bisherigen Mitarbeit im Bioenergy Task 42 haben ebenso gezeigt, dass es durch die internationale thematische Vernetzung gelingt, nationale Forschungsakteur bzw. -initiativen and internationale Aktivitäten anzukoppeln.

5 Projekinhalt

5.1. Ziele des IEA Bioenergy Task 42 Bioraffinerien in der Kreislaufwirtschaft

Der IEA Bioenergy Task 42 besteht bereits seit 2006. Die Etablierung erfolgte auf eine gemeinsame Initiative der Länder Niederlande und Österreich. Seit der Gründung war Österreich im Task 42 vertreten, um so am internationalen Expert:innen-Netzwerk zum Thema Bioraffinerien teilzunehmen sowie einen aktiven Beitrag zu leisten.

Der *IEA Bioenergy Task 42- Biorefining in a Circular Economy* hat das übergeordnete Ziel, einen wesentlichen Beitrag zur Entwicklung und Kommerzialisierung wettbewerbsfähiger, umweltfreundlicher und sozialverträglicher Bioraffinerien zu leisten. In diesem Zusammenhang werden Verfahren und Produktionsweisen forciert, die aus erneuerbaren Rohstoffen möglichst effizient und abfallfrei die verschiedensten Produkte wie Nahrungs- und Futtermittel, Materialien und Bulk-Rohstoffe, Chemikalie und Bioenergie erzeugen.

Der Task 42 ist eine Plattform für die internationale Zusammenarbeit im Themenbereich Bioraffinerien. Durch die Vernetzung unterschiedlichster Akteur:innen (aus Industrie, KMU, öffentlichen Institutionen, NGOs und F&E-Einrichtungen) soll ein aktiver Austausch von Informationen und eine Vernetzung stattfinden, insbesondere zu

- Bioraffinerie-Forschung und -Entwicklung,
- Implementierung von Bioraffinerien (Pilot-, Demonstrationsanlagen) sowie
- relevante Rahmenbedingungen und Politiken.

In diesem Zusammenhang ist die Erfassung, Evaluierung und Analyse von Bioraffinerien auf möglichst breiter internationaler Ebene eine wesentliche Aufgabenstellung.

5.2. Struktur und Partnerländer

Folgende Länder waren im IEA Bioenergie Task 42 im Triennium 2019-2021 vertreten:

Australien, Dänemark, Deutschland, Irland, Italien, die Niederlande, Österreich und Schweden.

Die Leitung des Tasks erfolgte durch die Niederlande, Task Leader Bert Annevelink, Wageningen Research - WUR.

Die Vertretung Österreichs im Task 42 erfolgte durch eine Arbeitsgemeinschaft bestehend aus

- (1) der tbw research GesmbH,
- (2) dem Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz sowie
- (3) der Kompetenzzentrum Holz GmbH

Diese Arbeitsgemeinschaft wurde mit dem Ziel gegründet, ein möglichst breites Spektrum an verschiedenen Expertisen, welche für Bioraffinerien relevant sind, abzudecken.

5.3. Schwerpunkte der Task 42 Aktivitäten im Triennium 2019-21

Folgend werden die im Arbeitsprogramm enthaltenen Schwerpunkte für die Arbeitsperiode 2019-21 vorgestellt:

Arbeitsbereich 1: TEE (technische, ökonomische und ökologische) Bewertung von Bioraffinerien

Das Ziel war es, quantitative, wissenschaftlich fundierte und nachvollziehbare Daten über den technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Mehrwert von Bioraffinerien für eine nachhaltige Co-Produktion von Bioenergie und Bioprodukten zu generieren.

Für dieses Arbeitspaket hat Österreich in der Periode 2019-21 die Leitung übernommen und ist deshalb federführend für die Durchführung der Arbeiten sowie für die Koordination und Erreichung der Meilensteine verantwortlich.

Die Arbeiten bauten auf die bisher im Task 42 durchgeführten Aktivitäten und Erhebungen auf. Die erfolgte Charakterisierung von Bioraffinerien und Verfahrenskonzepten wurde gemäß der im Task 42 entwickelten Methode weitergeführt und insbesondere auf neue „Typen“ und Verfahrenskonzepte angewandt. Der technologische Überblick zu den verschiedensten Bioraffinerieverfahren wurde so aktuell gehalten und im Anlassfall wurde die Methodik entsprechend erweitert. Aufbauend auf den verfügbaren Daten wurde die TEE-Bewertung für ausgewählte Bioraffinerien durchgeführt. Die TEE-Bewertung beinhaltet die (i) technologische Charakterisierung, (ii) die ökologische Bewertung mittels ökologischer Indikatoren (z.B. Treibhausgasemissionsintensität) und die (iii) Beurteilung der Wirtschaftlichkeit mittels einfacher Einnahmen/Ausgaben Vergleiche von Referenzanlagen. Zusätzlich erfolgte eine qualitative Abschätzung von sozialen und gesellschaftlichen Aspekten, welche literaturbasiert durchgeführt wurde.

Arbeitsbereich 2: Monitoring des Einsatzes von Bioraffinerien und des Marktpotenzials, einschließlich der nichttechnischen Barrieren, in der Kreislaufwirtschaft

Barrieren und Anreize für die Marktdiffusion

Ziel war es, die Hindernisse und Anreize für die Verbreitung von Bioraffinerie-Innovationen mittels einer Fallstudie zu erheben und Expert:innenwissen aus verschiedenen Interessengruppen einfließen zu lassen. In der Fallstudie war ebenso die Anwendung verschiedener Foresight-Methoden (z.B. Szenario-Analyse, Importance Performance Analysis, Argument Delphi) vorgesehen.

Berichte zu biobasierten Produkten und deren Märkte

Die Erstellung spezifischer Berichte war im Arbeitsprogramm zu folgenden ausgesuchten Themen vorgesehen:

- Globaler Bioraffinerie-Status Bericht,
- Nachhaltige Lignin Valorisierung, sowie Einsatz von Lignin als Kohleersatz in der Metallurgie
- Implementierung von Bioraffinerien - digitaler Bioraffinerie Atlas

Globaler Bioraffinerie Statusberichts (GBSR)

Das Gesamtziel des Globalen Bioraffinerie Statusberichts ist es, eine wissenschaftlich fundierte Informationsquelle bereitzustellen, die zur Beschleunigung der Umsetzungen von Bioraffinerien und

Produktionsweisen der Kreislaufwirtschaft führen kann. Die Identifizierung von Trends und neue Entwicklungen ist in diesem Zusammenhang relevant. Eine wesentliche Daten- / Informationsquelle sind die Bioraffinerie-Länderberichte, des Tasks 42, welche von den Partnerländern generiert werden. Es werden zusätzliche Erfolgsgeschichten und Fallstudien zu ausgesuchten Bioraffinerien zusammengefasst.

Berichte zur nachhaltigen Nutzung von Lignin

Im Triennium 2019-21 wurde die nachhaltige und stoffliche Nutzung von Lignin in Kooperation mit der COST Action lignocost bearbeitet. Entstanden ist ein sehr umfassender Bericht zum Stand des Wissens im Bereich Lignin. Dieser stellt nicht nur ausgesuchte Technologien und deren Produktmöglichkeiten im Detail dar, sondern gibt auch eine gute Übersicht zu F&E Projekten und fasst wesentliche Pilot- und Demoprojekte zusammen.

Globale Kartierung und Datenbank für Bioraffinerien (digitaler Bioraffinerie Atlas)

In diesem Triennium bestand das Ziel verschiedene Datenquellen sowie bereits durchgeführte thematische Kartierungen anderer Institutionen in eine Bioraffinerie-Datenbank Anwendung einzupflegen. Ziel war es, Bioraffinerien auf möglichst breiter Basis systematisch zu kartieren, um ein interaktives Bioraffinerie-Dashboard zur generieren. Durch Kooperationen mit anderen IEA Bioenergy Tasks, der Europäische Technologie- und Innovationsplattform (ETIP) und dem European Biomass Industry Consortium konnte eine umfangreiche Datenbasis geschaffen werden, welche in den digitalen Bioraffinerie-Atlas einfließen konnte. **Link** zum digitalen Bioraffinerie-Atlas [Biorefinery Webgis Portal \(enea.it\)](https://www.enea.it/en/biorefinery-portal)

Nationale Bioraffinerie-Statusberichte

In der Arbeitsperiode erstellten alle teilnehmenden Staaten mindestens einen nationalen Bioraffinerie-Statusbericht gemäß einer vordefinierten Systematik.

Arbeitsbereich 3: Dissemination und Kommunikation

Die Veröffentlichung der generierten Ergebnisse zählt zu den Kernaufgaben des Tasks 42. Die erzielten Ergebnisse der Taskarbeit (z.B. Berichte) sowie weiterer relevanter Informationen wurden frei zugänglich über die Internetseite des IEA Bioenergie Task 42 veröffentlicht. Zu ausgesuchten Themen wurden auch in wiederkehrenden Intervallen Webinare abgehalten. Die Teilnahme an Workshops oder Konferenzen oder anderen spezifischen Veranstaltungen war ebenso eine wesentliche Disseminationsaktivität des Tasks.

Arbeitsbereich 4: Task 42 als Plattform für Vernetzung und Informationsaustausch im Themenbereich Bioraffinerie

Die Vernetzung nationaler Expert:innen sowie der allgemeine Informations- und Erfahrungsaustausch betreffend Bioraffinerie-Aktivitäten der teilnehmenden Länder sind zentrale Tätigkeitsbereiche des Tasks. Dies erfolgte in Progress-Meetings, welche in regelmäßigen Abständen durchgeführt wurden, um neue Information im Bereich Bioraffinerie zu teilen sowie die laufenden Arbeiten zur organisieren und (Zwischen-) Ergebnisse zu diskutieren.

Auf der nationalen Ebene erfolgte die Einbindung interessierter Akteur:innen mittels Vernetzungsveranstaltungen, welche jährlich wiederkehrend durchgeführt wurden.

6 Ergebnisse

6.1. Ergebnisse zur TEE- Bewertung von Bioraffinerien

Der Task 42 hat im Triennium 2019-21 seine Zusammenarbeit mit den anderen IEA Tasks intensiviert, um durch Kooperation die Aktivitäten im Bereich TEE (technische, ökonomische und ökologische) Bewertung auszubauen. So konnte mit dem IEA-Task 33 Gasification ein gemeinsamer Arbeitsprozess aufgesetzt werden. Es wurden die essenziellen Prozessdaten zu in Summe vier ausgesuchten Bioraffinerie-Prozesspfaden erstellt. Die österreichischen Akteure des Tasks 42 haben in Folge die Bewertung der vier ausgesuchten Bioraffinerietypen anhand der im Task 42 entwickelten Methodik durchgeführt sowie die Ergebnisse entsprechend aufbereitet bzw. zusammengefasst.

Innerhalb des Trienniums 2019-2021 wurden eine Reihe von TEE- Bewertungen von Bioraffinerie Prozesspfaden durchgeführt und die Ergebnisse anhand von Bioraffinerie Fact-Sheets zusammenfassend dargestellt und veröffentlicht.

In Summe wurden vier TEE-Bewertungen in Kooperation mit dem IEA Bioenergy Task 33 erarbeitet, welche alle einen Vergasungsprozess als zentrale Technologie einsetzten. Über die Vergasung kann die als Festbrennstoff vorliegende Biomasse in einen gasförmigen Sekundärbrennstoff umgewandelt werden, der in verschiedenen Nutzungsoptionen wie bspw. der Stromerzeugung, als Kraft- und Treibstoff (Brenngas) oder als Synthesegas für die chemische Synthese effizienter eingesetzt werden kann. Durch die Kombination mit weiteren Prozessen können eine Vielzahl von Produkten, insbesondere Kraftstoffe, Raffineriegas, Polypropylen sowie Strom & Wärme generiert werden. Die Publikationen sind unter IEA-Bioenergy TEE Gasification Final.pdf (ieabioenergy.com) und New factsheets published on Gasification based biorefineries - Task42 (ieabioenergy.com) zu finden.

Die Vergasung ist keine neue Technologie, aber die Vergasung von Biomasse (oder Abfällen) und alle realisierten Hochskalierungen können als innovativ angesehen werden. Insbesondere die unterschiedliche Zusammensetzung des Rauchgases wird in diesem Bereich als technische Herausforderung angesehen. In den Arbeiten des österreichischen Beitrags wurden verschiedene Vergasungstechnologien analysiert, die von der üblichen zweistufigen Vergasung bis hin zu „exotischeren“ Technologien, einschließlich Plasma, reichen. Der jeweilige Entwicklungsgrad dieser Technologien wurden gemäß der TRL-Skala bewertet. Grundsätzlich gibt es Anwendungen mit hohen TRLs (7-8), die eine Vielzahl von Einsatzstoffen abdecken, z.B. klassische Einsatzstoffe wie Hackschnitzel, Pellets, Sägemehl und Getreidestroh, aber auch Siedlungsabfälle und Ersatzbrennstoffe mit niedrigeren TRL-Technologien. Nicht nur die Erzeugung von Wärme, Strom und Synthesegas (und dessen anschließende Verwendung für die Produktion von Biokraftstoffen und/oder Biochemikalien) ist von Interesse, es gibt auch Technologien zur Rückgewinnung von Mineralien wie Phosphor, um die Nutzungseffizienz weiter zu verbessern. Es wurden Fact-Sheets für vier spezifische Bioraffinerieprozesspfade, welche auf die Kerntechnologie „Vergasung“ aufsetzen, erstellt. Der wesentliche Unterschied dieser Typen liegt in der anschließenden Technologie zur Weiterverarbeitung des Synthesegases zu fortgeschrittenen Biokraftstoffen oder chemischen Grundstoffen.

Die Bioraffineriepfade der durchgeführten TEE- Fallstudien sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Die Beschreibung bzw. Typologie erfolgte gemäß der im Task 42 etablierten Systematik benannt, welche die *Anzahl der Plattformen, den Rohstoff, die Produkte und eingesetzten Prozesse* beinhaltet.

Tabelle 1: Bioraffinerie-Typen, welche im Triennium 2019-21 mittels TEE-Bewertung untersucht wurden

TEE-Bewertungen von Bioraffinerien in Kooperation mit Task 33
3- Plattform (Biocrude, Synthesegas, Strom & Wärme) Bioraffinerie zur Verarbeitung von Holzbiomasse zu Kraftstoffen; Raffineriegas, Propylen, Strom und Wärme mittels Flugstromvergasung und DME- Synthese. (Fallstudie #1)
3- Plattform (Biocrude, Synthesegas, Strom & Wärme) Bioraffinerie zur Verarbeitung von Holzbiomasse zu FT- Kraftstoffen; Fischer-Tropsch Treibstoff, Raffineriegas, Propylen, Strom und Wärme mittels Flugstromvergasung und katalytischer Cracking – Reaktion (FCC) und Fischer-Tropsch Synthese. (Fallstudie #2)
3- Plattform (Biocrude, Synthesegas, Strom & Wärme) Bioraffinerie zur Verarbeitung von Holzbiomasse zu FT- Kraftstoffen; Fischer-Tropsch Treibstoff, Raffineriegas, Propylen, Strom und Wärme mittels Flugstromvergasung und Hydro-Cracking Reaktion (HG) und Fischer-Tropsch Synthese. (Fallstudie #3)
3- Plattform (Biocrude, Synthesegas, Strom & Wärme) Bioraffinerie zur Verarbeitung von Holzbiomasse zu Kraftstoffen; Raffineriegas, Propylen, Strom und Wärme und Wachse mittels Flugstromvergasung und Methanol Synthese. Fallstudie #4)

Die finale Veröffentlichung der Fact Sheets erfolgte im Oktober 2022. Kurz zuvor wurde auch ein technischer Bericht, welcher die Methodik und die Ergebnisse der TEE- Bewertung dieser Bioraffinerieprozesspfade aufzeigt, veröffentlicht. In diesem Kontext wird darauf verwiesen, dass die zentrale Technologie der Dual-Fluid Wirbelschichttechnologie eine vor allem an der TU-Wien entwickelte Technologie ist, welche auch in einer Demonstrationsanlage in Wien umgesetzt wurde.

Es wird hier ebenso angeführt, dass im Triennium 2019-21 im Feb 2020 weitere 4 Biorefinery Fact Sheets veröffentlicht wurden (Tabelle 2). Die Bearbeitung dieser Prozesspfade wurde maßgeblich im Triennium zuvor durch die BIEGE durchgeführt, allerdings wurde die Finalisierung und Veröffentlichung im Triennium 19-21 abgeschlossen. Diese Fact Sheets betreffen Bioraffinerie Prozesspfade, welche mittels Fermentationsprozess Biopolymere (PLA; PHB) oder Bioethanol herstellen, oder einen neuen Prozess (Ligno-Boost) für die Schwarzlaugenverwertung aus der Zellstoffgewinnung beschreiben.

Tabelle 2: Bioraffinerie – Typen deren TEE- Bewertungsergebnisse im Feb 2020 veröffentlicht wurden

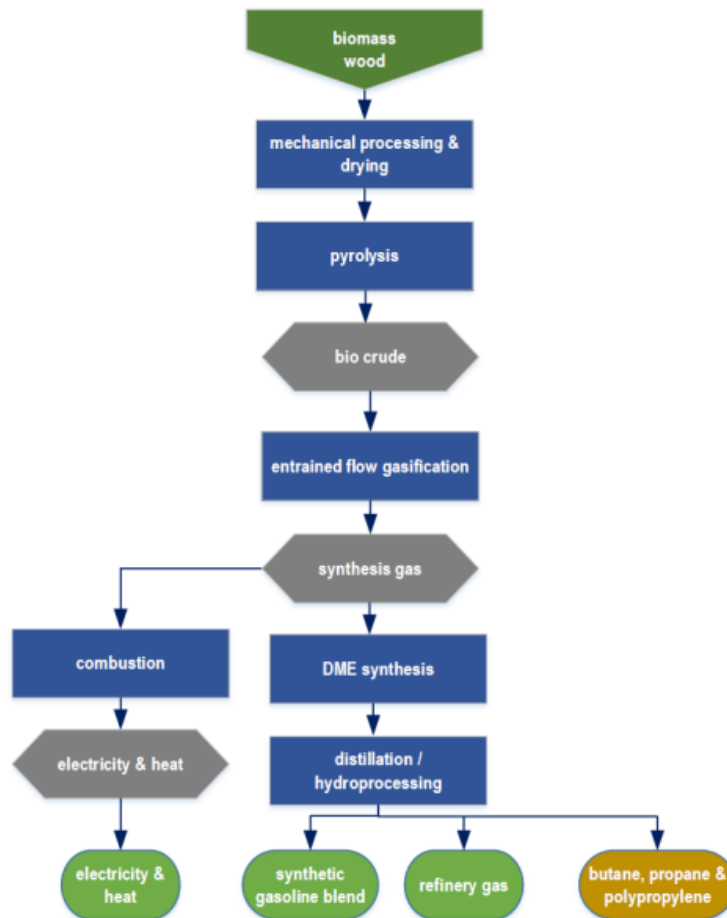
TEE- Bewertungen von Bioraffinerien, welche im letzten Triennium, erstellt wurden, allerdings erst im Feb 2020 veröffentlicht wurden.
2- Plattform Bioraffinerie (C6 Zucker, Fette) zur Herstellung von Biopolymeren (PLA) und Tierfutter aus Abfällen der Lebensmittelindustrie
2- Plattform Bioraffinerie (C5&C6 Zucker, Lignin) zur Herstellung von Bioethanol und Strom & Wärme aus den Rohstoff Maisstroh
2- Plattform Bioraffinerie (C5&C6 Zucker, Biogas) zur Herstellung von Biopolymeren (PHB- Polyhydroxybutyrate) und Strom & Wärme aus Zuckerrübe oder Zuckerrohr
1- Plattform Bioraffinerie (Schwarzlauge) zur Herstellung von Zellstoff, Lignin und Energie aus Holzhackgut

Alle genannten technischen Berichte zu TEE-Bewertung sowie die einzelnen Biorefinery Fact Sheets sind als Download verfügbar. Es wird auf die umfassende Link-Liste im Anhang verwiesen.

6.1.1. Fallstudien #1 und #2: Vergasung und Methanol/DME-zu-Benzin-Bioraffinerie

In diesen Fallstudien werden Möglichkeiten für die Integration von Vergasungssystemen mit weiteren Verarbeitungs- und Aufbereitungsprozessen für die Herstellung synthetischer Biokraftstoffe untersucht. Der holzartige Rohstoff wird zunächst durch ein Schnellpyrolyseverfahren in ein „Biocrude“ umgewandelt. Der Biocrude wird dann mit Dampf vergast, um daraus ein Produktgas zu erzeugen, das gereinigt und konditioniert werden muss, um ein Gemisch aus CO und H₂ (Synthesegas / Syngas) zu erhalten. Das Synthesegas wird anschließend über ein katalytisches Reaktionssystem in Methanol (Fallstudie 1) oder Dimethylether (DME) (Fallstudie 2) umgewandelt (Methanolsynthese / DME-Synthese). Durch weitere Raffinationsschritte werden hochwertiges synthetisches Benzin sowie die Nebenprodukte Butan, Propan und Polypropylen gewonnen.

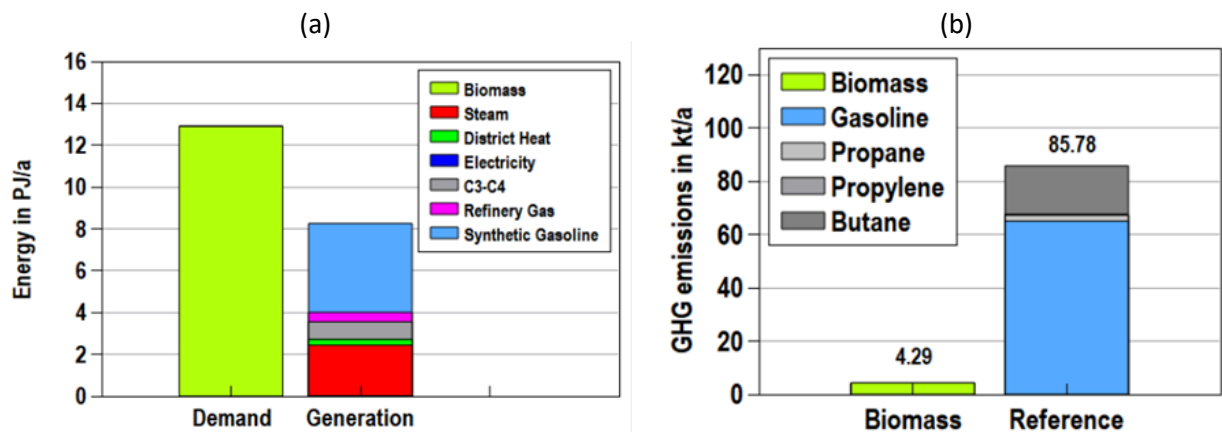
Abbildung 1: Grundlegendes Flussdiagramm der Vergasungs- und DME-Prozesse für hochwertigen Benzinkraftstoff (Quelle: Lindorfer et al., 2022)



Die Gesamtenergieeffizienz des DME-Pfades beträgt 67 %. Im Benzinprodukt sind 34 % des Energieinputs enthalten. Die Energieeffizienz des Methanol-Prozesspfades erreicht einen höheren Gesamtwirkungsgrad von 87 % (von der Vergasung bis zum Endprodukt), allerdings sind nur 29 % der eingesetzten Energie im Benzinprodukt enthalten.

Beide Bioraffineriesysteme erzielen unter optimalen technologischen Bedingungen und bei nachhaltiger Rohstoffbeschaffung eine gesamte Treibhausgaseinsparung von mehr als 95 % im Vergleich zu einem fossilen Referenzsystem. Als Referenzsystem dient ein Raffinationsprozess, welcher denselben Brennstoff- und Produktausstoß aus fossilen Rohstoffen herstellt.

Abbildung 2: Ergebnisse der TEE- Bewertung hinsichtlich Energieeffizienz und Treibhausgasemissionen betreffend der Bioraffinerie mit Vergasungs- und DME-Prozessen für hochwertigen Benzinkraftstoff (Quelle: Lindorfer et al., 2022)



6.1.2. Fallstudie #3 und #4: Vergasung und Fischer-Tropsch-Synthese zur Herstellung von Benzin- und Dieseleratzstoffen

In diesen beiden Fallstudien werden Möglichkeiten für die Integration von Vergasungssystemen mit weiteren Verarbeitungs- und Aufbereitungsprozessen für die Herstellung synthetischer Biokraftstoffe untersucht. Der holzartige Biomasserohstoff wird zunächst durch ein Schnellpyrolyseverfahren in ein „Biocrude“ umgewandelt. Der Biocrude wird dann mit Dampf vergast, um Produktgas zu erzeugen, das gereinigt und konditioniert werden muss, um ein Gemisch aus CO und H₂ (Synthesegas / Syngas) zu erhalten. Das Synthesegas wird anschließend über ein katalytisches Reaktionssystem in rohe FT-Produkte umgewandelt (Fischer-Tropsch-Synthese). Die hochwertigen synthetischen Endprodukte Benzin und Diesel werden durch Raffinerieveredelung dieser FT-Produkte über katalytische Crackreaktionen (FCC) (Fallstudie #3) oder ein Hydrocracker-Reaktionssystem (HG) (Fallstudie #4) gewonnen.

Die Gesamtenergieeffizienz beider Pfade liegt bei etwa 79 % (von der Vergasung bis zu den Endprodukten). Im FCC-Fall sind 46 % der eingesetzten Energie in den Benzin- und Dieselprodukten enthalten, im HG-Fall sind es 42 %.

Beide Systeme erzielen unter optimalen technologischen Bedingungen und bei nachhaltiger Rohstoffbeschaffung Treibhausgaseinsparungen von rund 97 % im Vergleich zu einem fossilen Referenzsystem, das den gleichen Brennstoff- und Produktausstoß liefert.

Abbildung 3: Grundlegendes Flussdiagramm von Vergasungs- und FT-Prozessen (mit FCC-Verarbeitung) für hochwertiges Benzin und Diesel (Quelle: Lindorfer et al., 2022)

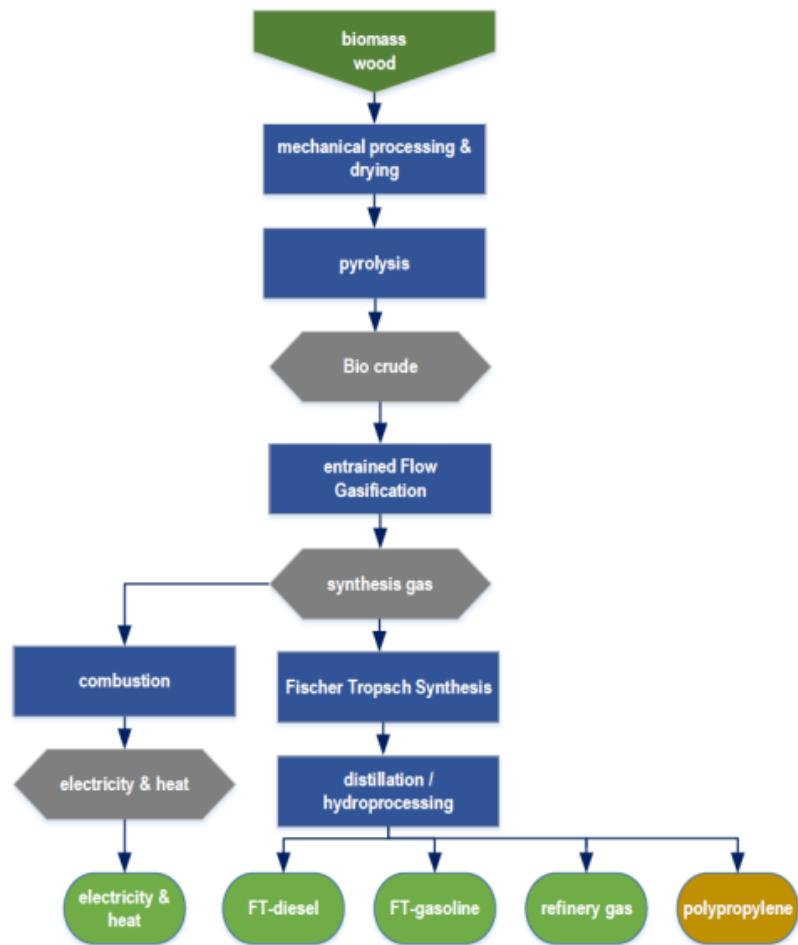
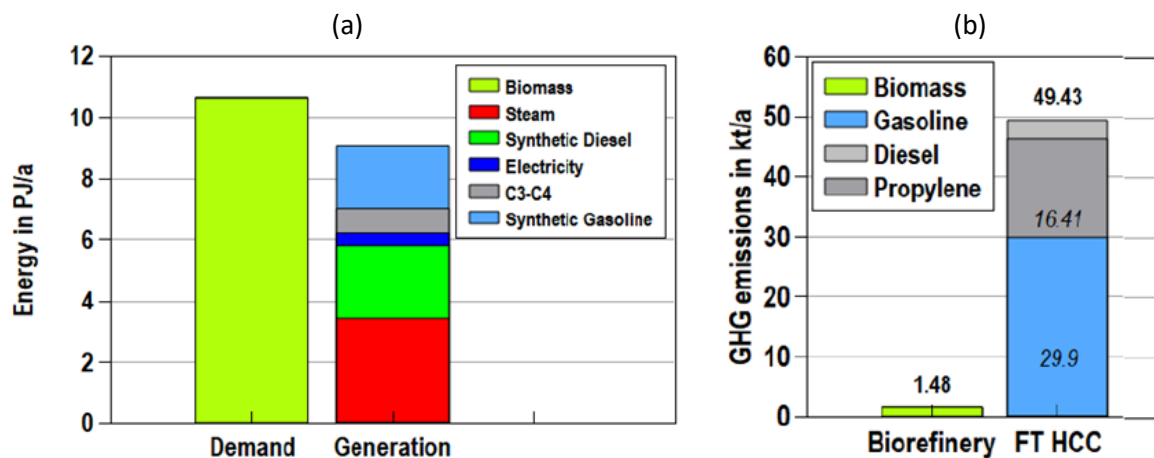


Abbildung 4: Ergebnisse der TEE- Bewertung hinsichtlich (a) Energieeffizienz und (b) Treibhausgasemissionen betreffend der Bioraffinerie mit Vergasungs- und FT-Prozessen (mit FCC-Verarbeitung), (Quelle: Lindorfer et al., 2022)



6.2. Analyse von Barrieren und Anreize für ausgesuchte Bioraffinerien

Technische Barrieren von Bioraffinerien sind mit dem bestehenden Marktumfeld verbunden und werden beispielsweise von Wettbewerbern, Kunden, gesellschaftlichen Erwartungen und Politik geprägt. Angesichts verschiedener Bioraffineriekonzepte, ihrer Zielmärkte und ihrer unterschiedlichen technologischen Reife ist davon ausgehen, dass sich die Barrieren für die jeweilige Kommerzialisierung der Technologien unterscheiden. Es ist daher von Vorteil, systematisches Wissen über das Marktumfeld, technologische Entwicklung und andere interdisziplinäre Aspekte (z.B. Umwelt- und gesellschaftliche Akzeptanz) zu erheben und auszuwerten, um etwaige Barrieren für die Markteinführung neuer Bioraffinerietechnologien frühzeitig zu erkennen und entsprechend zu berücksichtigen.

6.2.1. Analyse der Relevanz spezifischer Parameter (Wichtigkeit - Leistung)

Um Erkenntnisse über spezielle Aspekte einer breiteren Kommerzialisierung zu gewinnen, wurde eine Wichtigkeits-Leistungsanalyse (IPA aus dem Englischen Importance Performace Analysis) von Bioraffinerien durchgeführt, die lignozellulosehaltige, grüne sowie Algenbiomasse aufschließen. Die IPA wurde ursprünglich im Marketing entwickelt, um herauszufinden, welche Produktattribute Kund:innen als wichtig empfinden und wie sie das Leistungsniveau bewerten. Die durchgeführte Studie zeigt ein Missverhältnis der Bewertung von Wichtigkeit (importance) und Leistung (performace) von Barrieren auf, welche für die Kommerzialisierung relevant sind. Dies zeigt eine Auswertung und Analyse der Rückmeldungen auf, welche mittels einer Umfrage unter 70 internationalen Expert:innen auf dem Gebiet der Bioraffinerieforschung erhoben wurde. Die Expert:innen wurden gefragt, wie wichtig (von 1 sehr unwichtig bis 5 sehr wichtig) sie die Faktoren Rohstoffversorgung, Verarbeitung/Umwandlung, Anwendbarkeit von Raffinaten und Co-Substanzen, Nachfrage nach Bioprodukten und Dimensionen von Politik, Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt für eine breite Kommerzialisierung der grünen/algen/lignozellulosischen Bioraffinerien bewerten. Sie wurden zusätzlich gebeten, die aktuelle Leistung (von 1 sehr schlecht bis 5 sehr gut) dieser Faktoren im Zusammenhang mit lignozellulose / grünen / Algen-Bioraffinerien im kommerziellen Maßstab zu bewerten. Darüber hinaus wurden sie gebeten, die relevantesten spezifischen Kommerzialisierungsbarrieren in Bezug auf Politik, Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt entlang der Wertschöpfungskette zu erläutern.

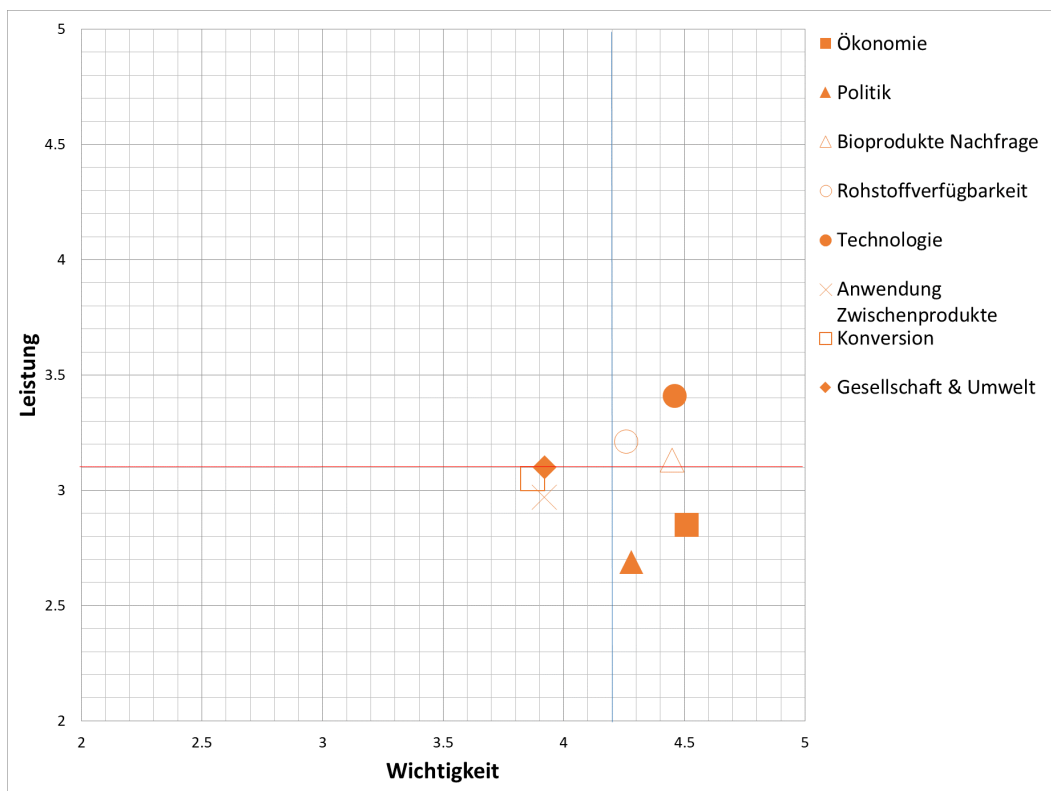
6.2.2. Lignozellulose-Bioraffinerien

Die lignozellulose Bioraffinerie, welche auf der Zellstoffaufschlussindustrie aufbaut, kann im Rahmen dieser Untersuchung als ausgereiftestes Bioraffineriekonzept charakterisiert werden. Die Analyse zeigt die allgemeine Tendenz zu Bewertungen mit hoher Wichtigkeit bei relativ geringer Leistung. Das wahrgenommene Leistungsniveau ist jedoch im Allgemeinen gut (siehe Abbildung 5). Es sollten Ressourcen investiert werden, um die derzeitige Politik und die wirtschaftliche Leistung kommerzieller Bioraffinerien zu verbessern, die niedriger als ihre Wichtigkeit eingestuft wurden. Es wurde festgestellt, dass die Politik in Bezug auf das Rohstoffangebot, die Nachfrage nach Bioprodukten, die Wirtschaft sowie die Gesellschaft und die Umwelt eine geringe Leistung erbracht hat, wie z. B. die Notwendigkeit spezifischerer Waldbewirtschaftungsvorschriften, ökologisch orientierter Steuersysteme oder CO₂-Preissysteme für fossilbasierte Produkte, die darauf abzielen, die Nachfrage nach Bioprodukten zu fördern. Geringe Wirtschaftsleistung im Zusammenhang mit:

1. Rohstoffversorgung aufgrund volatiler Rohstoffpreise
2. Verarbeitung/Umwandlung aufgrund ineffizienter Technik
3. und die Nachfrage nach Bioprodukten aufgrund der geringen Bereitschaft, mehr für Bioprodukte zu bezahlen, wurde festgestellt.

Die Abhängigkeit der Faktoren wird deutlich und unterstreicht die Notwendigkeit, die umgesetzten Maßnahmen aufeinander abzustimmen.

Abbildung 5: Wichtigkeits-Leistungs-Matrix bezieht sich auf Daten für lignozellulose Bioraffinerien. Rote Linie: mittlerer Leistungswert, blaue Linie: mittlerer Wichtigkeitswert (Quelle: Hilz, 2021)

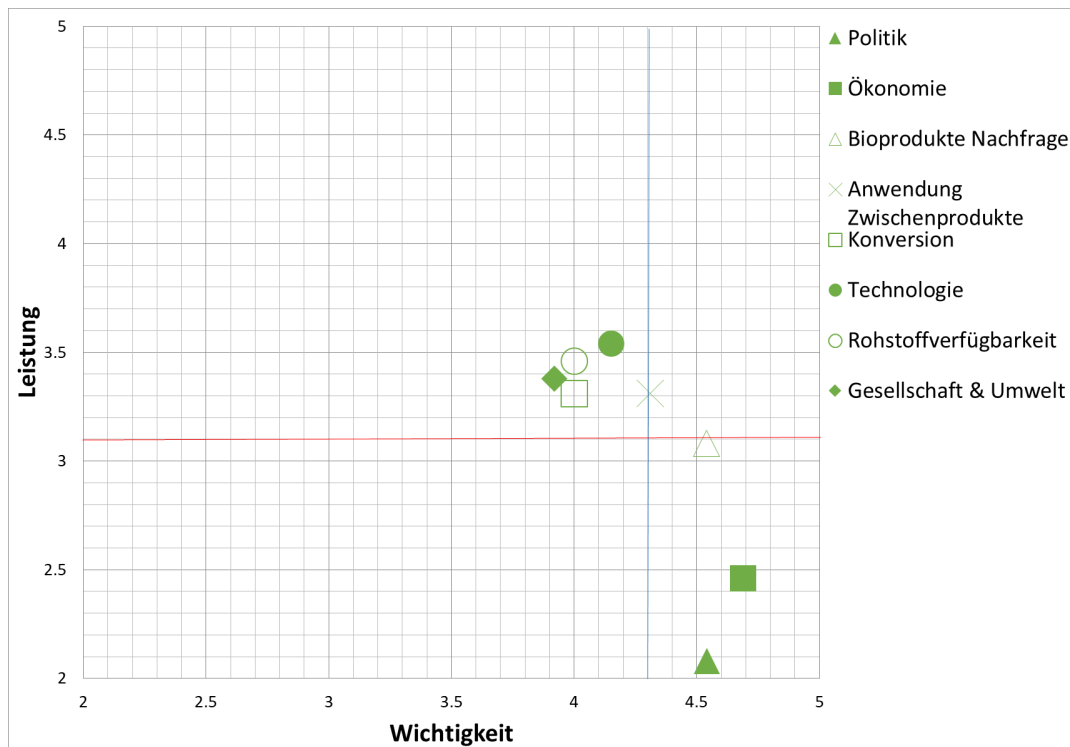


6.2.3. Grüne Bioraffinerie

Die Analyse zeigt ähnliche mittlere Leistungs- und Wichtigkeitswerte wie die der lignozellulose Bioraffinerie. Zu sehen ist jedoch eine Tendenz zu niedrigeren Leistungsbewertungen von politischen und wirtschaftlichen Faktoren mit gleichzeitig höherer Bedeutung (siehe Abbildung 6).

Wirtschaftliche Fragestellungen waren mit ineffizienten Umstellungsprozessen und damit unausgereifter, komplizierter Technik und fehlender Investitionsbereitschaft verbunden. Die Spezifizierung der wirtschaftlichen Dimension der Bioproduktenachfrage kann mit den gemeldeten niedrigen wirtschaftlichen Werten von Produkten aus grünen Bioraffinerien und billigen importierten Futtermitteln wie Sojabohnenfutter erklärt werden, die die Wettbewerbsfähigkeit grüner Bioraffinerieprodukte unterdrücken. Insbesondere im Hinblick auf das Rohstoffangebot zeigt die Umfrage die Nachfrage nach Maßnahmen zur Verbesserung der Unterstützung für nachhaltige Rohstoffe und Landwirtschaft auf und stellt eine Verbindung der Politik zur gesellschaftlichen und ökologischen Dimension her.

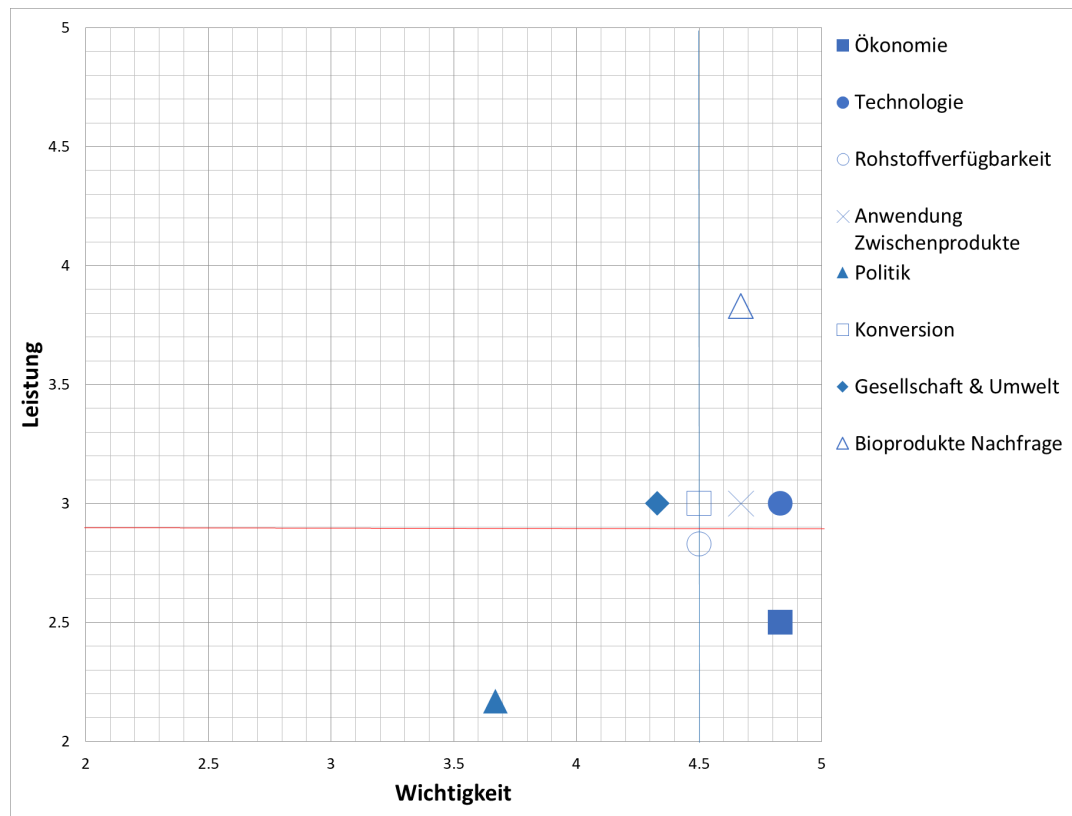
Abbildung 6: Wichtigkeits-Leistungs-Matrix bezieht sich auf Daten für grüne Bioraffinerien. Rote Linie: mittlerer Leistungswert, blaue Linie: mittlerer Wichtigkeitswert (Quelle: Hilz, 2021)



6.2.4. Algen-Bioraffinerie

Algen-Bioraffinerien können im Rahmen dieser Untersuchung als neuestes Bioraffineriekonzept charakterisiert werden. Zu sehen sind höhere mittlere Wichtigkeitswerte, aber niedrigere mittlere Leistungsbewertungen im Vergleich zu den zuvor diskutierten Bioraffineriekonzepten. Auch hier zeigen die wirtschaftlichen Faktoren für die Kommerzialisierung die größte Lücke zwischen wahrgenommener Bedeutung und Leistung. Insbesondere die hohen Investitionskosten und Kosten für den Rohstoffanbau wurden als Probleme in der wirtschaftlichen Dimension genannt. In Bezug auf gesellschaftliche und ökologische Fragen wurden Bedenken hinsichtlich der Nachhaltigkeit von Anbautechnologien hervorgehoben. Darüber hinaus wurde berichtet, dass die Verfügbarkeit geeigneter Technologien ein Hindernis für die Kommerzialisierung darstellt. Politiken wurden am häufigsten als spezifische Kommerzialisierungsbarrieren für die anderen Faktoren genannt, obwohl die Kategorie "Politik" für eine breite Kommerzialisierung im Vergleich zu anderen Faktoren eher weniger wichtig war (siehe Abbildung 7).

Abbildung 7: Wichtigkeits-Performance-Matrix bezieht sich auf Daten für Algen-Bioraffinerien. Rote Linie: mittlerer Leistungswert, blaue Linie: mittlerer Wichtigkeitswert (Quelle: Hilz, 2021)



6.2.5. Interpretation der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Analyse des Verhältnisses von wahrgenommener Wichtigkeit und Leistung verschiedener Faktoren der Kommerzialisierung kann als Leitfaden für die Politikentwicklung und Investitionsstrategien dienen. Die Messung von Wichtigkeit und Leistung und die berechnete Wichtigkeits-Leistungslücke zeigen die aktuelle Wahrnehmung im Forschungsumfeld in Bezug auf die Prävalenz spezifischer Einflussbereiche, die den Kommerzialisierungsprozess von Bioraffinerien beeinflussen. Da alle Faktoren im Allgemeinen als wichtig eingestuft wurden, sollten Faktoren, denen eine relativ geringe Bedeutung und hohe Leistung beigemessen wurde, nicht fälschlicherweise als Ausschlusskriterium für weitere Entwicklungen interpretiert werden.

Unabhängig von den analysierten Bioraffineriekonzepten legt diese Untersuchung nahe, dass politische Maßnahmen zur Transformation des Marktumfelds erforderlich sind, die dann die verschiedenen wirtschaftlichen Aspekte nutzen. Der Wettbewerbsvorteil von Ölraffinerien aufgrund jahrzehntelanger Förderung, Effizienzsteigerung, Skalierung, Marktbildung usw. baut auf Marktverzerrungen auf, da die mit dieser Technologie verbundenen Umweltschäden nicht vom Verursacher bezahlt werden. Es sei denn, das Marktumfeld wird nicht ausgeglichen, indem z.B. die externen Kosten im Zusammenhang mit Umweltschäden durch die Nutzung fossiler Ressourcen und den Ausstoß von CO₂ dargestellt werden, unabhängig davon, welches Bioraffineriekonzept mit dieser Kommerzialisierungsbarriere zu kämpfen hat.

6.3. Digitaler Bioraffinerie-Atlas

Im Laufe des Trienniums 2019-21 wurde die Implementierung des **digitalen Bioraffinerie-Atlas** weiter vorangetrieben und zu einem öffentlich leicht zugänglichen Informationsportal weiterentwickelt. Der Einstieg ins Bioraffinerie-Portal bedarf gegenwärtig keiner speziellen Registrierung und ist uneingeschränkt über das Internet möglich:

<http://webgis.brindisi.enea.it/bioenergy/maps.php>

Die nun vorliegende Version ist als interaktives, webbasiertes Dash-Board verfügbar, das auf eine umfassende Datenbank zugreift. Nutzer:innen können durch das Setzen von Filtern, welche aus einem Parameterkatalog auswählbar sind, Datenbankabfragen bzw. entsprechende Visualisierungen weiter spezifizieren. Für die Filterfunktion stehen eine Reihe von Parametern zur Verfügung, welche in Tabelle 3 als Parametermatrix zusammengefasst sind.

Auf Basis der ausgewählten Parameter kann das Bioraffinerie-Dashboard auch eine Karte sowie eine automatisierte Liste der Bioraffinerien erstellen. Über eine Schnittstelle kann die Auswahl bzw. Liste auch exportiert werden.

Dieser digitale Bioraffinerie-Atlas ist als Work in Progress zu verstehen und wird auch in Zukunft weiter aktualisiert und erweitert werden. Die Visualisierung der Bioraffinerien zeigt auch deutlich, dass Bioraffinerien primär in den USA und in Europa implementiert wurden bzw. dass aus anderen Regionen keine spezifischen Daten dazu vorliegen bzw. erhoben werden konnten.

Auf Produkt-Ebene betrachtet, produziert eine überwiegende Mehrheit der Bioraffinerien Energie als Hauptprodukt, welche in Abbildung 9 als grüne Datenpunkte dargestellt sind. Dies sind vor allem Bioethanol-Bioraffinerien in den USA.

Der Bioraffinerie-Atlas wird auch in Zukunft weiter ausgebaut. Eine besondere Herausforderung ist die Aktualisierung dieser Datensätze. Die österreichischen Akteur:innen werden bei den nationalen Netzwerkveranstaltung auch aktiv dazu eingeladen, hierbei selbst mitzuwirken. Das Bioraffinerie-Portal wird in Zukunft einen eigenen Interaktionsmodus anbieten, damit Nutzer:innen direkt an der Aktualisierung der Daten mitarbeiten können.

Abbildung 8: Screenshot des digitalen Bioraffinerie-Atlas (Quelle: BioRefinery Plant Portal²)

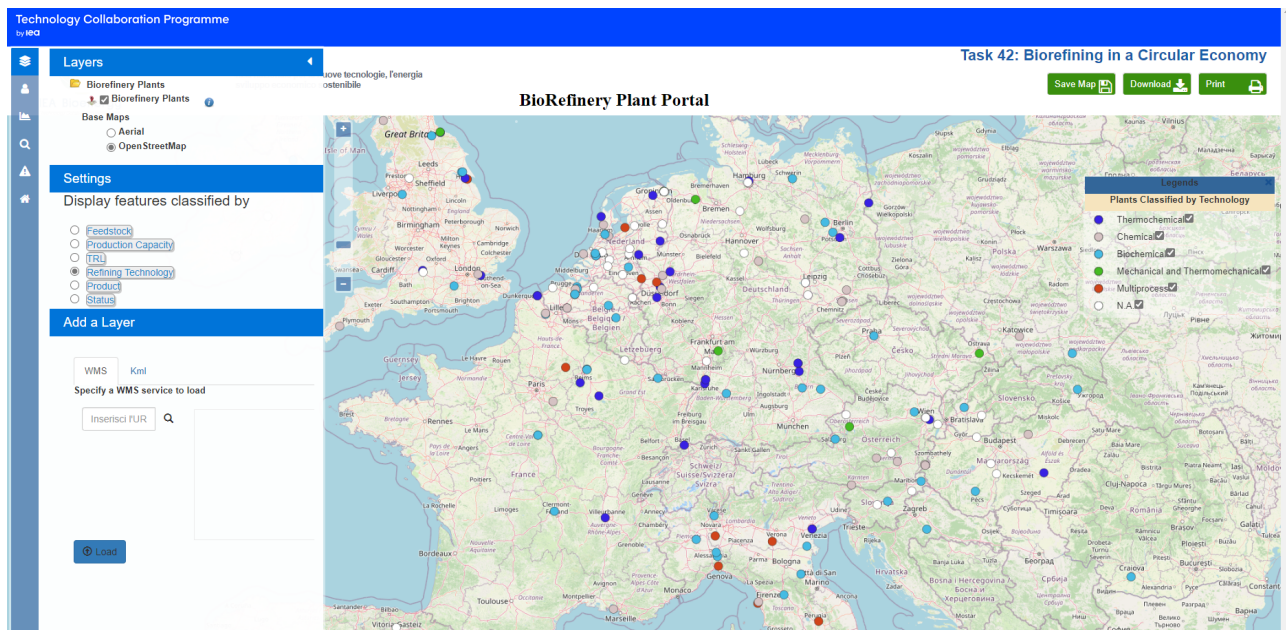
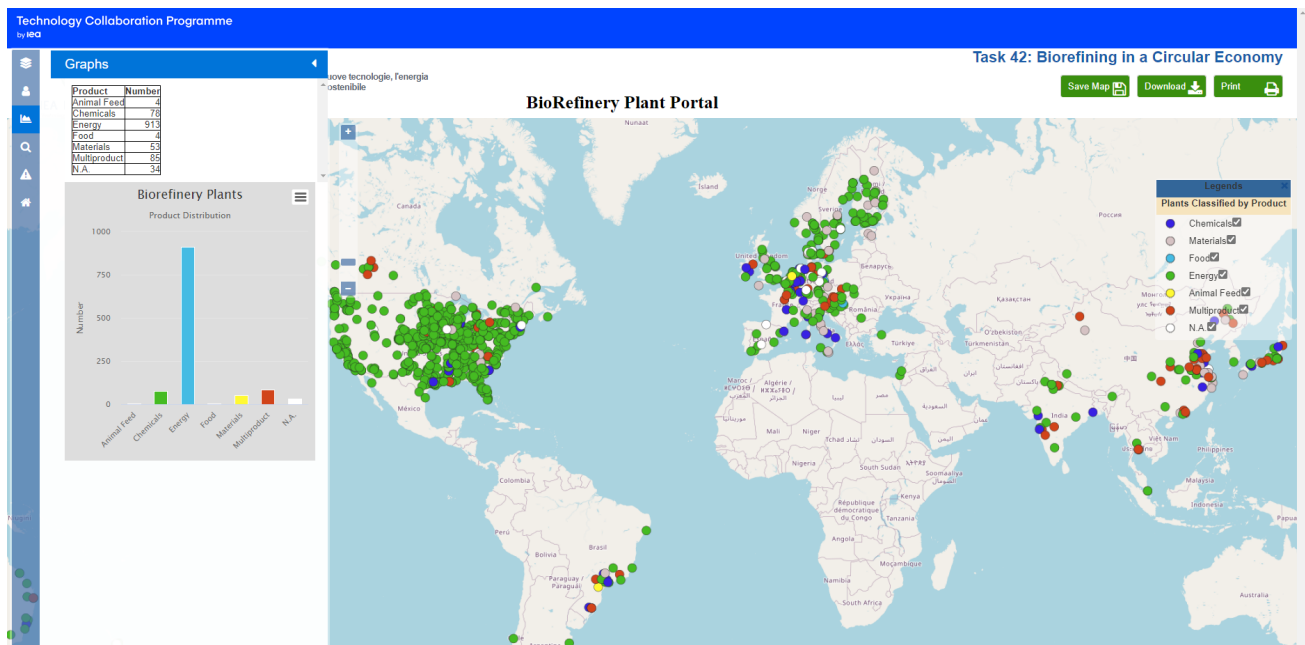


Abbildung 9: Screenshot des Bioraffinerie-Atlas: Visualisierung von Bioraffinerien gemäß des produzierten Hauptproduktes (Quelle: BioRefinery Plant Portal²)



² <http://webgis.brindisi.enea.it/bioenergy/maps.php>; gewählter Bildausschnitt

Tabelle 3: Matrix zur Charakterisierung von Bioraffinerien im digitalen Bioraffinerie-Atlas

Hauptparameter	Untergruppe -1	Untergruppe -2
Rohstoff	Primäre Biomasse	Aquatische Biomasse, Lignozellulosen von Ackerfrüchten; Lignozellulosen Holz/Wald; Ölfrüchte, Stärke -Pflanzen, Zucker-Pflanzen
	Sekundäre Rohstoffe	Biomasse von Mikroben; Rückstände aus Landwirtschaft; Rückstände aquatische Biomasse, Rückstände aus Waldwirtschaft, Rückstände aus Natur- & Landschaftspflege, Rückstände aus Holzindustrie, Rückstände aus Recycling biobasierter Produkte, Andere organische Rückstände
	Multi- Rohstoff	
	Nicht verfügbar	
Produkte	Chemikalien	Zusatzstoffe, Agrochemikalien, Chemische Grundstoffe, Katalysatoren & Enzyme; Farbstoffe, Schmiermittel, Aromen & Düfte, Farben & Lacke, Lösemittel, Tenside, Pharmaka, Kosmetika, Nahrungsergänzungsmittel
	Energie	Strom, Wärme, Kraftstoff, Kühlmittel, Andere
	Materialien	Verbundstoffe, Fasern, organische Düngemittel, Polymerer, Klebstoffe, Sonstige Materialien
	Tierfutter	
	Lebensmittel	
	Multi- Produkt	
	NA- Nicht bekannt	
Technologien	Biochemischer Prozess	aerobe Umwandlung, anaerobe Umwandlung, enzymatischer Prozess, Fermentation, Insekten -basierend Umwandlung, andere biochemische Umwandlung
	chemischer Prozess	Katalytisch, Veresterung, Hydrierung, chemischer Aufschluss, Hydrolyse, Methanisierung, Dampfreformation, Wasserelektrolyse, Wassergas-Shift; sonstige chem. Umwandlung
	mechanisch & thermomechanisch Prozess	Extraktion, Mechanischer Aufschluss, Fraktionierung, Trennverfahren, Mischung, Andere mechanisch & thermomechanisch Prozesse
	thermo-chemische Prozesse	Verbrennung, Vergasung, Hydrothermale Verflüssigung, Pyrolyse, Torrefikation & Carbonisierung, überkritische Konversion, andere thermo-chemische Prozesse
	Multi-prozess	
	NA- Nicht bekannt	
Ort	Auswahl eines Staates	
TRL - Technology Readiness Level	Auswahl des TRL TRL 1-3: Forschung TRL 3-5: Pilotanlage TRL 6-7: Demonstration TRL 8: Erstumsetzung – Kommerziell TRL 9: Kommerziell	
	NA- Nicht bekannt	
Produktionskapazität	Auswahl der Kapazitäten 10-29 Tt/a; 30-59Tt/a; 60-99 Tt/a; 100-999Tt/a; mehr als 1000Tt/a;	
	NA- Nicht bekannt	
Operativer Status	Nicht aktiv; geplant, im Bau, auf Hold, In Betrieb...	
	NA- Nicht bekannt	

6.4. Berichte zu ausgewählten Themen

Der IEA Bioenergy Task 42 erstellt in den Arbeitsperioden jeweils zu ausgesuchten Themenfeldern fachspezifische Berichte, die auf spezifische Bioraffinerieprodukte bzw. -klassen oder -technologien fokussieren. Die Zielgruppe dieser Publikationen ist *nicht* die jeweilige Expert:innen-Riege des Fachbereiches sondern die allgemein interessierte Leser:innenschaft, welche im Themenfeld relevante Informationen sucht. Gerade im thematisch sehr breiten Fachgebiet der Bioraffinerien stellen fachspezifische Berichte eine wertvolle Bereicherung und Ergänzung dar, um die eigene Expertise in neuen relevanten Themenbereichen zu erweitern.

Die spezifischen Berichte des IEA Bioenergy Task 42 sind in englischer Sprache verfasst, um eine möglichst breite internationale Dissemination zu ermöglichen.

Für das Triennium 2019-22 wurden zu folgenden Themen spezifische Berichte erstellt und publiziert:

- 1) Globaler Bioraffinerie Status Bericht („Global biorefinery status report 2022“)
- 2) Nachhaltige Nutzung von Lignin („Sustainable lignin valorization“)
- 3) Lignin und andere nachhaltige Kohlenstoffquellen als Ersatz für Kohle in metallurgischen Prozessen („Alternative sustainable carbon sources as substitutes for metallurgical coal“)

6.4.1. Globaler Bioraffinerie-Statusbericht

Der Globale Bioraffinerie-Statusbericht („**Global biorefinery status report 2022**“) soll einen Überblick über die jüngsten Entwicklungen in Sachen Bioraffinerie geben. Er basiert in erster Linie auf einer Zusammenfassung von Daten und Informationen aus den Task 42 Bioraffinerie-Länderberichten, die von Vertreter:innen der Partnerländer erstellt werden. Diese Informationen werden qualitativ um wichtige Bioraffinerie-Initiativen in anderen Ländern außerhalb von Task 42 erweitert. Es sind Informationen zu der Anzahl an Bioraffinerien, Typen, Rohstoffe, Technologien, Produkte usw. zu finden. Der Bericht hat als Ziel, eine wissenschaftlich fundierte Quelle bereitzustellen, die dazu beitragen soll, die Etablierung von Bioraffinerien im Zuge der Kreislaufwirtschaft zu beschleunigen. Dies geschieht zum Beispiel durch die Identifizierung von Trends und neuen Entwicklungen. Die wichtigsten technischen und nicht-technischen Hindernisse, sowie Lösungen zu deren Überwindung, werden ebenso behandelt. Der Bericht erläutert das im Task 42 entwickelte Klassifizierungssystem von Bioraffinerien und veröffentlicht wesentliche Erweiterungen der Systematik, die auch neuere Technologien berücksichtigen.

Der weltweite Stand hinsichtlich der Implementierung von Bioraffinerien wird anhand einiger grundlegenden Charakteristika (Rohstoff, Technologien, Plattformen und Produktgruppen) im Überblick dargestellt. Diese Auswertung wurden auf Basis des digitalen Bioraffinerie-Atlas erstellt.

Erfolgsgeschichten und Fallstudien, sowie eine Liste bewährter Verfahren, von denen man für die weitere Einführung von Bioraffinerien auf dem Markt lernen kann, runden den Bericht ab. Konzepte, die hinter verschiedenen Bioraffinerien stehen, werden erläutert und tragen so zu einem besseren Verständnis bei. Aus Österreich wurde die Bioraffinerie der AGRANA Stärkeproduktion in Pischelsdorf an der Donau als wichtiges Referenzprojekt aufgenommen.

6.4.2. Bericht zur nachhaltigen Nutzung von Lignin

Um der weiten Verbreitung sowie dem großen Nutzungspotential von Lignin gerecht zu werden, enthält der Bericht „**Sustainable lignin valorization**“ detaillierte und umfassende Informationen zu seiner Gewinnung, Veredelung und Anwendung. Lignin ist je nach biologischem Ursprung und seiner Prozessierung chemisch verschieden aufgebaut und besitzt daher auch unterschiedliche Eigenschaften. Diese haben in weiterer Folge Einfluss auf seine möglichen Einsatzgebiete. Diesem breiten Spektrum wird im Bericht mittels eines detaillierten Überblickes von verfügbarem technischem Lignin inklusive Fokus auf neuartige Lignine Rechnung getragen. Wichtigen chemischen Analysen zur Charakterisierung von Ligninen wird ein eigenes Unterkapitel gewidmet. Um bestehende Hürden in der nachhaltigen Nutzung von Lignin überwinden zu können, ist interdisziplinäre Forschung und der Aufbau von Expert:innen-Netzwerken unerlässlich. Diese hohe Bedeutung wird im Bericht durch die Vorstellung ausgewählter F&E-Projekte und Forschungs-Netzwerke unterstrichen. Ein weiterer Schwerpunkt wird schließlich auf Lignin-basierte Produkte und deren Märkte gelegt. Es wird der Einsatz für verschiedenste Polymerwerkstoffe, potenzielle elektrochemische Anwendungen, BTX, Treibstoffen und Karbonfasern im Detail erläutert und anhand von angemeldeten Patenten deren Marktreife sowie deren Forschungsstand analysiert. Abschließend werden wissenschaftliche Arbeiten aufbereitet, die sich auf technischer und ökonomischer Basis mit der Verwertung von Lignin für verschiedenste Produkte auseinandersetzen. Ergebnisse werden in tabellarischen Übersichten dargestellt und ein Optimierungsproblem beispielhaft erläutert.

Zusammenfassend geht aus dem Bericht hervor, dass die Nutzung von Lignin in den letzten Jahren rasch zugenommen hat, allen voran die Nutzung als makromolekularer Stoffstrom. In nächster Zukunft wird der Integration von Lignin als Rohstoff für „nachhaltigen Treibstoff“ für den Luftfahrtsektor (SAF) in bestehende Öl-Raffinerie Infrastrukturen gute Chancen eingeräumt. Es wird erwartet, dass Technologien für Bioraffinerien höhere Technologie-Reifegrade erreichen und sich so die Verfügbarkeit von technischen Ligninen erhöhen wird. In der Anwendung als Karbonfaser wird ebenso ein wichtiger zukünftiger Markt von Lignin gesehen. Die Autor:innen empfehlen der Forschung sich kurzfristig vor allem auf die kaskadische Nutzung der am meisten verfügbaren technischen Ligninen zu konzentrieren, um höchste Wertschöpfung und somit ökonomische Realisierbarkeit zu erreichen. Auf längere Sicht ist die Entwicklung von neuartigen Anwendungen wie z. B. Nanopartikel und innovativen Bioraffinerie-Konzepten sowie deren techno-ökonomischer Beurteilung von Bedeutung. Begleitend ist ein tiefes Verständnis für die chemische Struktur von Lignin unerlässlich, um standardisierte Produkte mit definierten Eigenschaften zu erhalten.

6.4.3. Bericht zur Verwendung von Lignin und alternative und nachhaltigen Kohlenstoffquelle als Ersatz für Kohle in metallurgischen Prozessen

Der Bericht „**Alternative sustainable carbon sources as substitutes for metallurgical coal**“ beleuchtet vor allem die vielversprechende Verwendung von Lignin als teilweisen Ersatz für fossiles Koks. Dies hätte nicht nur Vorteile in Bezug auf eine Emissionsreduktion, sondern würde auch die Ökonomie der Bioethanol-Produktion basierend auf lignozellulosischen Rohstoffen verbessern. In der Einleitung wird vor allem auf die grundlegende Problematik des hohen Bedarfs an Koks und den damit einhergehenden hohen CO₂-Emissionen in der globalen Stahlerzeugung eingegangen. Es werden die drei im Bericht untersuchten alternative Kohlenstoffquellen (Compact Discs (CDs), Macadamia Nussschalen und Lignin von Bioethanolanlagen) beschrieben und das generelle Potential evaluiert. Es wird dargelegt, dass bei einem Szenario in dem 10 % des Benzinbedarfs durch

Bioethanol ersetzt werden würde, potenziell 20 % der Kohle welche global für metallurgische Prozesse benötigt wird, durch Lignin gedeckt werden könnte. Begleitende positive ökonomische Effekte werden anhand eines Rechenbeispiels untermauert. Im darauffolgenden, experimentellen Teil werden schließlich neben der Methodik der Brikettierung, die chemische Charakterisierung der alternativen Rohstoffe beschrieben. Ergebnisse der Untersuchungen der thermischen Abbaubarkeit sowie die Eignung für die Reduktion von Eisenoxid werden detailliert präsentiert. Zusammengefasst zeigen die untersuchten Materialien teils vielversprechende Ergebnisse. Die Autoren sind allerdings auch der Ansicht, dass es eine umfassende Studie braucht, die alle Möglichkeiten und Hürden aufgezeigt, um zukünftig einen Teil der benötigten fossilen Kohle in der Stahlindustrie mittels alternativer Kohlenstoffquellen ersetzen zu können.

6.4.4. Bioraffinerie-Länderberichte

Im Triennium wurden eine Reihe von Bioraffinerie-Länderberichten (Bioraffinerie Country Reports) erstellt, welche den jeweiligen nationalen Status aufzeigen. Als Ergebnis liegen Länderberichte folgender Staaten vor:

- Australien (Mai 2021),
- Dänemark (Jul. 2022),
- Deutschland (Jul. 2022 und Dez. 2019),
- Italien (Mai 2021 und Mrz. 2019),
- Niederlande (Jun. 2022, Apr. 2019),
- Österreich (Mrz. 2021, Apr. 2019),
- Schweden (Apr. 2020)

Leider liegt zu Irland, welches ebenso im Task 42 vertreten ist, bis dato kein nationaler Bioraffinerie-Statusbericht vor. Alle Bioraffinerie-Länderberichte wurden gemäß einer vereinbarten Gliederung erstellt, damit eine gute Vergleichbarkeit erreicht wird.

7 Taskarbeit im Allgemeinen

Eine wesentliche Zielsetzung der IEA Bioenergy ist, die internationale Kooperation und den Informationsaustausch zu einem Themenbereich zu fördern sowie daraus positive Auswirkungen und Wechselwirkungen mit nationalen Akteur:innen zu erzielen.

7.1. Gruppe der Teilnehmenden Staaten

Im Triennium 2019-21 waren folgende Staaten im Task 42 vertreten bzw. haben die nationalen Repräsentanten die Arbeiten aktiv vorangetrieben.

- 1) Australien,
- 2) Dänemark,
- 3) Deutschland,
- 4) Die Niederlande – Koordinator (Task Leader),
- 5) Irland,
- 6) Italien,
- 7) Österreich (Co- Taskleader)
- 8) Schweden.

Im Vergleich zum vorhergehenden Triennium konnte Schweden als neues Mitglied gewonnen werden, die USA schieden im Triennium 2019-21 allerdings aus dem Task aus.

Allerdings ist ein großes Interesse anderer Länder an den Aktivitäten und den Ergebnissen des Tasks 42 seitens zu verzeichnen. Die Anzahl der Teilnehmerländer hat direkte Auswirkungen auf die Arbeit der Tasks. Einerseits kann ein größeres Netzwerk aus Expert:innen verschiedenster Nationen bessere Ergebnisse generieren, andererseits steigt das Arbeitsbudget mit zunehmender Teilnehmeranzahl an.

7.2. Task Fortschrittstreffen

Die Organisation sowie Diskussion der Arbeiten des Tasks erfolgt in sogenannten Fortschrittstreffen (Progress Meeting). Diese sind als 1–2-tägige Treffen organisiert, welche in einer Art Rotationsprinzip in den jeweiligen Teilnehmerländern abgehalten werden.

Im Triennium 2019-21 wurden in Summe zwölf Fortschrittstreffen durchgeführt, allerdings waren durch die COVID Pandemie und den damit verbundenen Einschränkungen, nur zwei Treffen als Präsenztreffen möglich.

Die Durchführung von online Arbeitstreffen des Tasks 42 hat sich grundsätzlich bewährt. Der Wegfall von längeren An- und Abreisen zu Meetings wurde als positiv beurteilt, insbesondere die Anreise in/aus anderen Kontinenten (Australien). Aus gegenwärtiger Sicht wird die Praxis mit online Besprechungen oder hybriden Task 42 Treffen in Zukunft weiterhin relevant sein.

Allerdings sollen auch in Zukunft zumindest einmal pro Jahr Präsenzmeetings durchgeführt werden, damit auch weiterhin eine direkte Interaktion und Informationsaustausch mit anderen Akteuren:innen möglich wird (z.B. Workshops, Konferenzen, Exkursionen).

8 Vernetzung und Ergebnistransfer

8.1. Vernetzung nationaler Akteur:innen im Themenfeld Bioraffinerie

8.1.1. Zielgruppe

Im Bereich der Vernetzung sowie Dissemination von Ergebnissen und Berichten hat der IEA Bioenergy Task 42 eine typische Zielgruppe. Es sind Personen, welche ein grundsätzliches Interesse an Bioraffinerien sowie nachhaltigen Produktionsprozessen in einer Kreislaufwirtschaft haben und im Themenbereich bereits über ein gewisses Grundwissen verfügen. Jedenfalls ist für das Verständnis der Berichte kein Expert:innenwissen erforderlich.

8.1.2. Veranstaltungen zur Vernetzung der nationalen Akteur:innen

Um den Austausch von Informationen zwischen dem Task 42 und den nationalen Akteur:innen herzustellen sowie eine Vernetzung auf nationalem Niveau zu erreichen, wurden zwei Vernetzungsveranstaltungen durchgeführt. Bei diesen Veranstaltungen wurden Ergebnisse, welche im Task 42 erarbeitet wurden, den Teilnehmenden präsentiert. Zusätzlich haben nationale Akteure:innen die Möglichkeit in Kurzpräsentationen eigene Aktivitäten im Bereich der Forschung und Entwicklung oder betreffend Umsetzung und Betrieb von Bioraffinerien darzustellen.

Im Triennium wurden zwei Vernetzungsveranstaltungen mit nationalen Akteur:innen durchgeführt

- 15.01.2020 Vernetzungstreffen Bioraffinerie an der BOKU Wien
- 16.06.2021 Vernetzungstreffen Bioraffinerie – online-Veranstaltung

Die Veranstaltungen sind durch eine Veranstaltungsrückschau dokumentiert. Weitere Unterlagen zu den Präsentationen siehe Link-Liste im Anhang.

8.1.3. Informationstransfer mittels Newsletter

Im Zuge des Trienniums wurde eine Reihe von Newslettern zum IEA Bioenergy Task erstellt und digital mittels eigenem Verteiler disseminiert. Ab 2020 wurden die Newsletter der einzelnen IEA Bioenergy Tasks auf Wunsch des BMK zu einem gemeinsamen Newsletter zusammengeführt, welcher fortan vom Kompetenzzentrum BEST erstellt und verbreitet wird. Die Links zu den Newslettern sind im Anhang (Link-Liste) enthalten.

8.2. Dissemination von Ergebnissen mittels Webinare und Konferenzbeiträgen

Rückblickend wurden im Triennium 2019-21 vom IEA Bioenergy Task 42 eine Reihe von Webinaren gestaltet, welche von IEA Bioenergy organisiert und beworben wurden. Diese Webinare sind auch weiterhin online verfügbar.

In folgender Liste sind die Webinare des IEA Bioenergy Task 42 zusammengefasst:

- Webinar nachhaltige Nutzung von Lignin (Nov. 2021)
- Webinar Lignin und anderer nachhaltigen Kohlenstoffquellen als Ersatz für Kohle in der Metallurgie (May 2020)
- Webinar Biobased Chemicals – a 2020 status update (March 2020)
- Webinar Technische, ökonomische und ökologische Beurteilung von Bioraffinerien (Jul. 2019)

Der Task 42 hat im Rahmen der IEA Bioenergy Conference 2021 eine eigene Session zum Thema Industrielle Symbiose und Bioraffinerien in der Kreislaufwirtschaft gestaltet, welche ebenso als Stream verfügbar ist.

8.3. Nutzen für verschieden Gruppen an Stakeholdern

Die Ergebnisse erlauben primär den nationalen Stakeholdern die Einordnung bzw. den Vergleich der eigenen Aktivitäten in ein internationales Umfeld. In diesem Zusammenhang sind vor allem

- die Dokumentation von Best Practice Bioraffinerie-Fallbeispielen und
- die Darstellung des aktuellen Entwicklungsstandes von Bioraffinerietechnologien besonders bedeutsam.

Davon können Akteur:innen im Bereich von angewandter F&E sowie Industriebetriebe, welche grundsätzlich an der Implementierung von Bioraffinerietechnologie interessiert sind, profitieren. Ein Nutzen für die Allgemeinheit oder für die Bürger:innen ist nur „indirekt“ über einen volkswirtschaftlichen Nutzen oder mittels Reduktion von klimarelevanten Gasen im Zuge der Umstellung auf eine nachhaltige Produktionsweise zu erwarten.

8.4. Bedeutung der sektorübergreifenden Kooperation und Vernetzung

In den letzten beiden Jahren hat unsere Gesellschaft im Zuge der COVID Pandemie und der ergriffenen Maßnahmen sehr eindrucksvoll erleben können, wie wichtige der persönliche Austausch sowie der Kontakt zu anderen Personen ist. Wirtschaft ist in gewisser Weise angewandtes Sozialwesen, somit sind Kommunikation und Kooperation sowie Informationsaustausch und Vernetzung essentielle Prozesse. Vor allem dann, wenn etwas Neues entstehen soll.

Die Entwicklung von Technologie und Produkten wird meist von Akteur:innen aus Forschung und Entwicklung in Kooperation mit der Wirtschaft vorangetrieben, um für spezifische Anwendungen oder Märkte Innovationen bereitzustellen. Im Bereich der Forschung und Implementierung von Bioraffinerien wird allerdings der typische Fokus auf ein spezifisches Wirtschaftssegment aufgebrochen und es bedarf eine sektorenübergreifende Innovation und Kooperation.

Wird mit dem Ziel, die eingesetzten Ressourcen möglich nachhaltig und effizient zu nutzen, eine neue Wertschöpfungskette etabliert oder diese entsprechend erweitert, so kommen neue Technologien zur Anwendung, um bisher ungenutzte Stoffströme (Prozessabfälle) zu verwerten. Dadurch wird das Produktportfolio durch zusätzliche Koppelprodukte erweitert. Diese Koppelprodukte sind meist

anderen Wirtschaftssektoren zugeordnet und unterliegen daher anderen Märkten bzw. Marktmechanismen.

So verfügt ein Lebensmittelhersteller, welcher in seiner Produktion auch organische Prozessnebenströme (Abfall) generiert, eben nicht über Technologien und Erfahrungen, um z.B. via Fermentation daraus eine Bulk-Chemikalie für andere Zielmärkte herzustellen. Somit ist eine derartige Innovationsaufgabe grundsätzlich von der Etablierung einer betrieblichen Kooperation mit anderen Wirtschaftsbetrieben sowie -sektoren abhängig.

Im Zusammenhang mit der kaskadischen Nutzung von Rohstoffen können Prozessnebenströme, die bei der Produktion eines Produktes anfallen, als Sekundärrohstoffe für einen nachgeschalteten Veredelungsprozess zur Verfügung stehen. Eine derartige Stoffstromwirtschaft wird durch Anpassungen im Abfallwirtschaftsgesetz grundsätzlich unter gewissen Prämissen möglich. Akteur:innen berichten allerdings, dass im Zusammenhang mit der Erschließung von potentiellen Sekundärrohstoffen wesentliche rechtliche sowie administrative Hürden bestehen. Somit ergeben sich rechtliche Herausforderungen, die in Folge auch bei Erlangung einer behördlichen Bewilligung neuer Verwertungskonzepte entscheidend sind.

Im Zusammenhang mit der Implementierung von Bioraffinerien ergeben sich grundlegende neue Herausforderung für Akteur:innen in den Bereichen F&E, Wirtschaft, Landwirtschaft sowie Politik & Verwaltung. Der sektorenübergreifenden Kooperation fällt hierbei eine Schlüsselrolle zu. Damit eine Kreislaufwirtschaft gelingen kann, bedarf es in der Abfallwirtschaft einen Paradigmenwechsel vom Ziel der „geregelten“ Entsorgung in Richtung Ressourcenkreislauf sowie Zulassung von Sekundärrohstoffen. Die öffentliche Verwaltung & Politik kann hierbei als „Enabler“ wichtige Beiträge zur Etablierung einer nachhaltigen Produktion von Gütern sowie den schonen Umgang mit wertvollen Ressourcen leisten.

8.5. Abstimmung der Arbeiten im Task mit dem BMK

Das Arbeitsprogramm für die Arbeitsperiode 2019-21 war von Beginn an mit dem BMK abgestimmt. Der entsprechende Fortschritt wurde dem BMK in Arbeitsbesprechungen dargestellt sowie aktuelle Themen aus der operativen Taskarbeit besprochen.

9 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

9.1. Schlussfolgerung aus Ergebnissen der Taskarbeit 2019-21

9.1.1. Lignin eine Ressource mit einem breiten Einsatzpotential

Der Report *Nachhaltige Nutzung von Lignin* gibt einen sehr guten Überblick zum gegenwärtigen Stand der Technik sowie zum zukünftigen Potential als Rohstoff für weitere Produkte. Allerdings wird dieses Potential nicht unmittelbar, sondern nur schrittweise zu erschließen sein. Es bedingt die Umsetzung neuer Prozesstechnologien im Bereich der Zellstoffproduktion, um die Eigenschaften bzw. Zusammensetzung des Lignins zu verbessern, damit neue alternative Produktanwendungen möglich werden. Ob neue alternative Anwendungen für Lignin und damit verbunden neue Erlöse als Anreiz für den tatsächlichen Umbau dieses Industriesegments ausreichen, ist gegenwärtig offen. Die Verwertung von Lignin zur Bereitstellung von Prozessenergie in der Zellstoffindustrie sowie die Nutzung von Lignin als Rohstoff neuer Produkte sind an sich kontroverse Zielsetzungen. Eine kombinierte Lösung, welche eine teilweise Auskoppelung des Lignins für Produkte ermöglicht, wäre ein realistischer erster Einstieg in dieses Technologiesegment. Jedenfalls sind alternative Prozesstechniken der Zellstoffindustrie große Hoffungsgebiete einer biobasierten Kreislaufwirtschaft.

9.1.2. Aktueller Status zur Implementierung von Bioraffinerien

Der IEA Bioenergy Task 42 hat ein kontinuierliches Monitoring im Bereich Bioraffinerien als eine Kernaktivität verankert. Dazu wurde über die Jahre die Basis für einen digitalen Bioraffinerie-Atlas geschaffen, welcher nun als digitales webunterstütztes Dash-board zur Verfügung steht. Die Beschaffung sowie Aktualisierung grundlegender Daten betreffend Implementierung von Bioraffinerien sind keine leichte Aufgabe, somit hat auch die im Task 42 geschaffene Datenbank eine gewisse Unschärfe. Die bisherigen Ergebnisse zeigen allerdings ein deutliches Bild. Die tatsächliche Implementierungsrate von Bioraffinerien ist gering bzw. überschaubar, die Anzahl von Pilot- und Demoprojekten ist entsprechend groß. Bioraffinerien sind jedenfalls nicht in der tatsächlichen Produktion von Gütern und Energien angekommen und sie sind somit immer noch „mehr Wunsch als Wirklichkeit“. Ein tatsächlicher Aufbruch in Richtung neuer, prozessintegrierter Produktionsweisen sowie konkrete Umsetzung einer biobasierten Wirtschaft ist (noch) nicht ersichtlich.

Dieses Bild unterstreicht jedoch die wichtige Rolle von Pilot- und Demoprojekten, damit ein tatsächlicher Eintritt neuer Technologien in die Praxis aufgegleist werden kann. *Der Weg entsteht im Gehen* - somit sind Pionierprojekte ein wichtiger Indikator für die weitere Entwicklung von Technologie und Orientierungspunkt für die Wirtschaft. Dem Instrument der Technologieförderung kommt hier eine essenzielle Rolle zu, um einen Brückenschlag neuer Technologien und Betriebsweisen in die betriebliche Praxis aufzugleisen. Ohne großzügige Förderung, welches das wirtschaftliche Risiko bei der ersten Implementierung abfedert, sind wenig Impulse zu erwarten.

Damit Demoprojekte keine singulären Leuchttürme der Innovation bleiben sind weitere pro-aktiv wirkende Anreizsysteme erforderlich, welche attraktive wirtschaftliche Rahmenbedingungen für nachfolgende Akteur:innen bereitstellen. Auf dieser Ebene sind nationale aber auch EU-weit wirkende Beihilfensysteme zu etablieren. Dies bedingt eine Strategie und konkrete Maßnahmen seitens der Politik. Die Implementierung neuer nachhaltiger Technologien und Wirtschaftsweisen ist kein Selbstläufer, sondern ein zartes Pflänzchen, welche für die weitere gute Entwicklung eine entsprechende Nachsorge bedarf.

Im Abschlussbericht des IEA Bioenergy Task 42 betreffend des letzten Trienniums 2016-19 wurden für die Segmente Industrie / Wirtschaft, Forschung & Entwicklung sowie Politik eine Reihe von Herausforderungen und Empfehlungen definiert. Diese gelten weiterhin uneingeschränkt und es wird an dieser Stelle nochmals darauf verwiesen.

9.1.3. Sektorübergreifenden Kooperation sowie Verwertung von Stoffströmen

Die Erschließung neuer Wertschöpfungsketten, welche mehrere Wirtschaftssegmente miteinander verknüpfen, ist eine Schlüsselaufgabe der Kreislaufwirtschaft und der kaskadischen Nutzungen von Rohstoffen. Dabei kommt auch der Nutzung und Weiterverarbeitung von Sekundärrohstoffen - z.B. Prozessnebenströme eines Verarbeitungsbetriebes - eine entscheidende Rolle zu. Betriebliche Prozessnebenstoffströme, deren direkte Umwandlung in ein Produkt nicht „gelingt“ und dessen man sich entledigen möchte, fallen gegenwärtig eindeutig unter das Abfallwirtschaftsgesetz. Ein Aufgriff und eine weitere Verarbeitung der Sekundärrohstoffe zu Produkten ist entsprechend schwierig. Erfahrungen aus der betrieblichen Praxis zeigen im Bereich der behördlichen Zulassung von Sekundärrohstoffen und der Weiterverarbeitung zu Produkten gegenwärtig große Hürden für neue Verwertungskonzepte auf. Damit eine Kreislaufwirtschaft gelingen kann, muss auch die öffentliche Verwaltung ihre Schlüsselrolle erkennen und nutzen, damit ein Paradigmenwandel von der Abfallentsorgung zum Ressourcenkreislauf auf gesellschaftlicher und betrieblicher Ebene umgesetzt werden kann.

Es wird der Vorschlag unterbreitet, dass eine eigene behördliche Anlaufstelle geschaffen wird, welche sich um essenzielle Fragestellungen in diesem Bereich beschäftigt, insbesondere

- (a) Zulassung von Produktionsnebenströmen bzw. Produktionsabfällen als Sekundärrohstoffe (Ausnahmeregelung zur Klassifizierung als Abfall)
- (b) Zulassung sowie Inverkehrbringung neuer biobasierter Produkte, die aus alternativen (noch nicht etablierten) Rohstoffen hergestellt werden.
- (c) Neue wirtschaftliche bzw. betriebliche Kooperationsmodelle zwischen den Segmenten Landwirtschaft und dem produzierenden Gewerbe. Beide unterliegen gegenwärtig unterschiedlichen gesetzlichen Rahmenbedingungen. Eine sektorenübergreifende Kooperation wird dadurch nicht unterstützt.

Für die Etablierung einer sektorübergreifenden Wertschöpfungskette sind nicht nur neue technische Lösungen sowie Geschäftsmodelle zu entwickeln, es bedarf auch einer Anpassung und Harmonisierung gesetzlicher Vorgaben im Gewerberecht sowie Zulassungsverfahren, damit dies einfacher gelingen kann. Für die Implementierung neuer betrieblicher Ansätze in Richtung Kreislaufwirtschaft wird einer *unterstützenden, behördlichen Begleitung* große Relevanz zugeschrieben. Dieses große aktivierende Potential ist bislang ungenutzt.

9.2. Ausblick auf die weiteren Arbeiten im IEA Bioenergy Task 42

Für das Triennium 2022-24 hat der IEA Bioenergy Task 42- Biorefining in a Circular Economy folgende Arbeitsbereiche definiert:

- 1) Weiterführung der **Aktivitäten im Bereich der TEE- Bewertung von Bioraffinerien**, um systematisch weitere konkrete Datensätze zu nachhaltigen Bioraffinerietechnologien zu generieren. Auf Basis der Bewertungsergebnisse sollen die Vorzüge insbesondere betreffend geringere GHG-Emissionen im Vergleich zu fossilen Referenzszenario erhoben werden. Die Ergebnisse dazu sollen als Fallbeispiele als *Biorefinery fact sheets* veröffentlicht werden. Diesen Themenbereich werden die österreichischen Akteure auch weiterhin federführend im Task 42 übernehmen.
- 2) Die Untersuchungen zu bestehenden **Barrieren und Anreizen**, welche sich auf die **Implementierung von Bioraffinerien** auswirken, sollen systematisch ausgeweitet werden. In diesem Zusammenhang sollen auf weitere Technologiesegmente fokussiert werden.
- 3) Der entwickelte **digitalen Bioraffinerie-Atlas** sowie das interaktives digitales Dashboard soll **ausgebaut** werden. Dabei liegt der Schwerpunkt in der Aktualisierung der Datensätze, Konkretisierung der verfügbaren Informationen sowie deutliche Erhöhung der in der Datenbank enthaltenen beschreibenden Bioraffinerie-Datensätzen.
- 4) Erstellung eines **Status Report zu Grünen Bioraffinerien**, welche grasartigen sowie Leguminosen Biomasse als Rohstoff einsetzen. Diese Aktivitäten sollen wichtige Demoprojekte, das Produktportfolio sowie ein Potential für nachhaltige Versorgung mit Protein aufzeigen. Dieses Thema ist auch für Österreich sehr relevant, insbesondere im Segment biozertifizierter Produkte.
- 5) Erstellung eines **Berichts zu Bioraffinerien, welche Power-to-X Technologien anwenden**. Die Herstellung von Grünen Wasserstoff, mittels nachhaltig produzierten Stroms, stellt auch für Bioraffinerien eine wichtige Kerntechnologie dar. In diesem Bericht wird versucht dieses Potential näher zu quantifizieren und einen Ausblick auf Technologie und Implementierung zu wagen.
- 6) Die Erstellung bzw. Aktualisierung der **nationalen Bioraffinerie-Statusberichte** wird weiterhin eine Aktivität im Task 42 sein. Somit wird auch der Bioraffinerie-Status in Österreich sowie in anderen Teilnehmerländern als aktualisierter Statusbericht vorliegen.
- 7) Die **Dissemination von Ergebnissen** der Taskarbeit ist eine kontinuierliche und essenzielle Aufgabe. Diese wird nicht nur vom Task selbst, sondern auch von der IEA Bioenergy gesamt sowie über die österreichische Plattform „Nachhaltig Wirtschaften“ geschehen.

Literaturverzeichnis

- Annevelink Bert, Chavez Lesly, Van Ree Rene, Gursel Iris, Bell Geoff, Mandl Michael, Lindorfer Johannes, Hesser Franziska, Stern Tobias, Mussatto Solange, Stichnothe Heinz, Leahy J.J, De Bari Isabella, Motola Vincenzo, Giuliano Aristide, De Jong Ed, Mossberg Johanna, Shmorhun Mark: Global biorefinery status report 2022. In IEA Bioenergy Task 42 (Hrsg.) 2022
- De Jong Ed, Stichnothe Heinz, Bell Geoff, Jorgensen Henning, De Bari Isabella, Van Haveren Jacco, Lindorfer Johannes: Bio-Based Chemicals -A 2020 Update. In IEA Bioenergy Task 42 (Hrsg.) ISBN 978-1-910154-69-4 (pdf version), 2020
- Hedeler, B., Lettner, M., Schwarzbauer, P., Stern, T., Hesser, F. (2020): Strategic decisions on knowledge development and diffusion at pilot and demonstration projects: An empirical mapping of actors, projects and strategies in the case of circular forest bioeconomy. In Forest Policy and Economics, doi: 10.1016/j.forpol.2019.102027, 2020
- Hilz Xavier; Analysis and Comparison of Drivers and Barriers for Developing Biorefinery Systems; Masterarbeit an der Karl-Franzens Universität Graz, 2021
- Lettner, M., Hesser, F., Hedeler, B., Schwarzbauer, P., Stern, T: Barriers and incentives for the use of lignin-based resins: Results of a comparative importance performance analysis. In Journal of Cleaner Production, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.120520, 2020
- Lindorfer Johannes, Lettner Miriam, Hesser Franziska, Fazeni Karin, Rosenfeld Daniel, Annevelink Bert, Mandl Michael: Technical, Economic and Environmental Assessment of Biorefinery Concepts- Developing a practical approach for characterisation. In IEA Bioenergy Task 42 (Hrsg.) ISBN: 978-1-910154-64-9, 2019
- Lindorfer, J., Fazeni-Fraisl, K., Annevelink, B., (2021) Technical, ecological and economic assessment of biorefinery cases, IEA Bioenergy Annual Report 2020, pp.7-22, <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2021/04/IEAB-Annual-Report-2020.pdf>
- Lindorfer, Johannes; Zeilerbauer Lukas; Jitka Hrbek: Technical, Economic and Environmental (TEE) Assessment of Integrated Biorefineries; Gasification based biorefinery case studies. In IEA Bioenergy Task 42 & Task 33 (Hrsg.), 2022
- Mastrolliti S., Borsella S., Giuliano A., Petrone M.T., De Bari I., Gosselink R., Van Erven G., Annevelink E., Triantafyllidis K.s., Stichnothe H., Storz H., Lange H., Bell G.: Sustainable lignin valorization- Technical lignin, processes and market development. In IEA Bioenergy (Hrsg.) ISBN: 979-12-80907-01-1, 2021
- Mahmud, R., Moni, S., High, K., & Carbajales-Dale, M. (2021). Integration of techno-economic analysis and life cycle assessment for sustainable process design – A review. Journal of Cleaner Production, 317, 128247. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.128247>.
- Miah, J., Koh, S., & Stone, D. (2017). A hybridised framework combining integrated methods for environmental Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing. Journal of Cleaner Production, 168, 846-866. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.08.187>.

Sahajwalla Veena, Maroufi Samane, Bell Geoffrey, Bell Philip, De Bari Isabella: Alternative sustainable carbon sources as substitutes for metallurgical coal. In IEA Bioenergy Task 42 (Hrsg.), 2019

<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/technologieprogramme/bioenergie/> (abgerufen 12.12.2022)

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Grundlegendes Flussdiagramm der Vergasungs- und DME-Prozesse für hochwertigen Benzinkraftstoff (Quelle: Lindorfer et al., 2022)	22
Abbildung 2: Ergebnisse der TEE- Bewertung hinsichtlich Energieeffizienz und Treibhausgasemissionen betreffend der Bioraffinerie mit Vergasungs- und DME-Prozessen für hochwertigen Benzinkraftstoff (Quelle: Lindorfer et al., 2022)	23
Abbildung 3: Grundlegendes Flussdiagramm von Vergasungs- und FT-Prozessen (mit FCC-Verarbeitung) für hochwertiges Benzin und Diesel (Quelle: Lindorfer et al., 2022)	24
Abbildung 4: Ergebnisse der TEE- Bewertung hinsichtlich (a) Energieeffizienz und (b) Treibhausgasemissionen betreffend der Bioraffinerie mit Vergasungs- und FT-Prozessen (mit FCC-Verarbeitung), (Quelle: Lindorfer et al., 2022)	24
Abbildung 5: Wichtigkeits-Leistungs-Matrix bezieht sich auf Daten für lignozellulose Bioraffinerien. Rote Linie: mittlerer Leistungswert, blaue Linie: mittlerer Wichtigkeitswert (Quelle: Hilz, 2021)	26
Abbildung 6: Wichtigkeits-Leistungs-Matrix bezieht sich auf Daten für grüne Bioraffinerien. Rote Linie: mittlerer Leistungswert, blaue Linie: mittlerer Wichtigkeitswert (Quelle: Hilz, 2021)	27
Abbildung 7: Wichtigkeits-Performance-Matrix bezieht sich auf Daten für Algen-Bioraffinerien. Rote Linie: mittlerer Leistungswert, blaue Linie: mittlerer Wichtigkeitswert (Quelle: Hilz, 2021)	28
Abbildung 8: Screenshot des digitalen Bioraffinerie-Atlas (Quelle: BioRefinery Plant Portal)	30
Abbildung 9: Screenshot des Bioraffinerie-Atlas: Visualisierung von Bioraffinerien gemäß des produzierten Hauptproduktes (Quelle: BioRefinery Plant Portal ²)	30

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bioraffinerie-Typen, welche im Triennium 2019-21 mittels TEE-Bewertung untersucht wurden	20
Tabelle 2: Bioraffinerie – Typen deren TEE- Bewertungsergebnisse im Feb 2020 veröffentlicht wurden	21
Tabelle 3: Matrix zur Charakterisierung von Bioraffinerien im digitalen Bioraffinerie-Atlas	31

Abkürzungsverzeichnis

Abk.	Abkürzung
BGBI.	Bundesgesetzblatt
FT	Fischer-Tropsch
NAWARO	Nachwachsender Rohstoff
usw.	und so weiter
TRL	Technology Readiness Level
TEE	Technical, Economic and Environmental

10 Anhang- Übersicht relevanter Dokumente und Informationen - LINKs

Übersicht relevanter **Berichte, Dokumente und Informationen** betreffend *IEA Bioenergy Task 42- Biorefining in a Future BioEconomy*, für die Arbeitsperiode 2019-2021

Thematische Berichte		
	Alternative sustainable carbon sources as substitutes for metallurgical coal (Dec. 2019)	https://task42.ieabioenergy.com/publications/alternative-sustainable-carbon-sources/
	Technical, Economic and Environmental Assessment of Biorefinery Concepts: Developing a practical approach for characterisation (July 2019)	https://task42.ieabioenergy.com/publications/tee-2019/
	Bio-Based Chemicals – A 2020 Update (Feb 2020)	https://task42.ieabioenergy.com/publications/bio-based-chemicals-a-2020-update/
	Sustainable lignin valorization Technical lignin, processes and market development (Oct. 2021)	https://task42.ieabioenergy.com/publications/sustainable-lignin-valorization/
	Barriers and incentives for the market diffusion of biorefineries in a circular economy	https://task42.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/10/2022/04/WP2_BiorefineryCasestudy.pdf
	Global Biorefinery Status Report (July 2022)	https://task42.ieabioenergy.com/publications/global-biorefinery-status-report-2022/
	Technical, Economic and Environmental (TEE) Assessment of Integrated Biorefineries- Gasification based biorefinery case studies (Oct. 2022)	https://task42.ieabioenergy.com/publications/tee-assessment-gasification/
Bioraffinerie Länder Berichte		
	- Country Report Austria (2019) - Country Report Austria (3/2021)	IEA Bioenergy Task 42: Country Report Austria - Februar 2019 - IEA Forschungsk Kooperation (nachhaltigwirtschaften.at) https://task42.ieabioenergy.com/publications/austria-country-report-2021/
	- Country Report Germany (12/2019; 7/2022) - Country Report The Netherlands (4/2019; 6/2022) - Country Report Denmark (7/2022) - Country Report Italy (3/2019; 5/2021) - Country Report Sweden (4/2020) - Country Report Australia (5/2021)	https://task42.ieabioenergy.com/document-category/country-reports/

Biorefinery Fact Sheets

Biorefinery Fact Sheet Veröffentlichung Okt 2022	3-PLATFORM (BIOCRUDE, SYNTHESIS GAS, ELECTRICITY & HEAT) BIOREFINERY USING WOOD BIOMASS FOR GASOLINE, REFINERY GAS, PROPYLENE, ELECTRICITY & HEAT, WITH ENTRAINED FLOW GASIFICATION AND DME SYNTHESIS	https://task42.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/10/2022/11/IEA-Task-42_TEE_fact-sheet_gasification_DME.pdf
	3-PLATFORM (BIOCRUDE, SYNTHESIS GAS, ELECTRICITY & HEAT) BIOREFINERY USING WOOD BIOMASS FOR FT-DIESEL, FT-GASOLINE, REFINERY GAS, PROPYLENE, ELECTRICITY & HEAT, WITH ENTRAINED FLOW GASIFICATION AND CATALYTIC CRACKER REACTION SYSTEM (FCC) & FISCHER-TROPSCH SYNTHESIS	https://task42.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/10/2022/11/IEA-Task-42_TEE_fact-sheet_gasification_FT_FCC.pdf
	3-PLATFORM (BIOCRUDE, SYNTHESIS GAS, ELECTRICITY & HEAT) BIOREFINERY USING WOOD BIOMASS FOR FT-DIESEL, FT-GASOLINE, REFINERY GAS, PROPYLENE, ELECTRICITY & HEAT, WITH ENTRAINED FLOW GASIFICATION AND HYDROCRACKER REACTION SYSTEM (HG) & FISCHER-TROPSCH SYNTHESIS	https://task42.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/10/2022/11/IEA-Task-42_TEE_fact-sheet_gasification_FT_HG.pdf
	3-PLATFORM (BIOCRUDE, SYNTHESIS GAS, ELECTRICITY & HEAT) BIOREFINERY USING WOOD BIOMASS FOR GASOLINE, REFINERY GAS, PROPYLENE, ELECTRICITY & HEAT, WAXES WITH ENTRAINED FLOW GASIFICATION AND METHANOL SYNTHESIS	https://task42.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/10/2022/11/IEA-Task-42_TEE_fact-sheets_gasification_MeOH.pdf
Biorefinery Fact Sheet Veröffentlichung Feb 2020	2-PLATFORM (C6 SUGAR, LIPIDS) BIOREFINERY TO PRODUCE THE BIOPOLYMER PLA & ANIMAL FEED FROM FOOD WASTE	https://task42.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/10/2020/02/2-platform-C6-sugar-lipids-biorefinery-to-produce-the-biopolymer-PLA-animal-feed-from-food-waste.pdf
	2-PLATFORM (C5&C6 SUGARS, LIGNIN) BIOREFINERY TO PRODUCE BIOETHANOL, ELECTRICITY & HEAT FROM CORN STOVER	https://task42.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/10/2020/02/2-platform-C5C6-sugars-lignin-biorefinery-to-produce-bioethanol-electricity-heat-from-corn-stover.pdf
	2-PLATFORM (C5&C6 SUGARS, BIOGAS) BIOREFINERY TO PRODUCE THE BIOPOLYMER POLYHYDROXYBUTYRATE (PHB), ELECTRICITY & HEAT FROM SUGAR BEET OR SUGAR CANE	https://task42.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/10/2020/02/2-platform-C5C6-sugars-biogas-biorefinery-to-produce-the-biopolymer-Polyhydroxybutyrate-PHB-electricity-heat-from-sugar-beet-or-cane.pdf
	1-PLATFORM (BLACK LIQUOR) BIOREFINERY TO PRODUCE PULP, LIGNIN AND ENERGY FROM WOOD CHIPS	https://task42.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/10/2020/02/1-platform-black-liquor-biorefinery-to-produce-pulp-lignin-and-energy-from-wood-chips.pdf

Aktivitäten zur Vernetzung der Akteur:innen / Networking / Workshops national		
Stakeholder Vernetzungs-veranstaltungen	2020: Nationales Vernetzungstreffen Akteure Bioraffinerie, BOKU Wien (15.1.2020) 2021: Nationales Vernetzungstreffen Akteure Bioraffinerie - online (16. Juni 2021)	https://nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/veranstaltungen/2020/20200115-iea-bioenergie-task-42-nationales-stakeholder-vernetzungstreffen.php https://tbwresearch.org/iea-bioenergy-task-42-rueckblick-nationales-vernetzungstreffen-juni-2021-praesentationen/
Nationale Newsletter	• Newsletter 1/2019 • Newsletter 2/2019 Der eigenen nationale Newsletters des Task 42 wurde 2020 in einen gemeinsamen Newsletter (Editor BEST) überführt.	https://nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/publikationen/iea-bioenergy-task-42-newsletter-2019-1.php IEA Bioenergy Task 42: Newsletter 2/2019 - IEA Forschungskooperation (nachhaltigwirtschaften.at)

Beiträge zur Internationale Vernetzung von Stakeholdern mittels Webinare		
Online Webinare	• Biobased chemicals – a 2020 status update (10/3/2020)	IEA Bioenergy Task 42: Webinar "Biobased chemicals - a 2020 status update" - IEA Forschungskooperation (nachhaltigwirtschaften.at)
	• Technical, Economic and Environmental Assessment of Biorefineries" (Juli 2019)	IEA Bioenergy Task 42: Webinar "Technical, Economic and Environmental Assessment of Biorefineries" (2019) - IEA Forschungskooperation (nachhaltigwirtschaften.at)
	• Lignin and other sustainable carbon sources as metallurgical coal substitutes (30/4/2020)	https://task42.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/10/2020/05/Alternative-sustainable-carbon-sources-as-substitutes-for-metallurgical-coal-Webinar-Bioenergy-Australia-30-April-2020.pdf
	• Biobased Chemicals - a 2020 status update	https://task42.ieabioenergy.com/publications/webinar-biobased-chemicals-2020/
	• Integration of gasification processes in biorefineries, IEA Bioenergy Webinar, 30th of June 2022	https://www.ieabioenergy.com/blog/publications/iea-bioenergy-webinar-integration-of-gasification-processes-in-biorefineries
Newsletter International	• Newsletter 4, Juli 2019 • Newsletter, May 2020 LignoCOST	IEA Bioenergy Task 42: Newsletter #4, Juli 2019 - IEA Forschungskooperation (nachhaltigwirtschaften.at) IEA Bioenergy Task 42: LignoCOST-Newsletter, May 2020 - IEA Forschungskooperation (nachhaltigwirtschaften.at)

Beiträge zu Konferenzen und wissenschaftlicher Output		
Konferenz- beiträge	IEA Bioenergy Conference 2021 online; session 8; (06/12/2021) Industrielle Symbiose und Bioraffinerien in einer Kreislaufwirtschaft; <i>Barriers and incentives for the market diffusion of biorefineries in a circular economy</i>	https://www.ieabioenergyconference2021.org/agenda_session/industrial-symbiosis-and-biorefineries-in-a-circular-economy/ https://www.ieabioenergyconference2021.org/wp-content/uploads/2021/12/10-03_HESSER.pdf
	Task 42 Biorefining in a Circular Economy - The premium of sustainable recovery?, Key Note Lindorfer, J.; Ökobilanzwerkstatt, 22.-24. September 2021, Online.	https://task42.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/10/2021/10/20210924_SESSION6_Lindorfer_KEYNOTE_IEA-Task-42.pdf
Diplomarbeiten	- Hilz (2021) Analysis and Comparison of Drivers and Barriers for Developing Biorefinery Systems; Masterarbeit an der Karl-Franzens Universität Graz - Kopp (2021): Die Rolle der Transaktionskosten beim Wechsel zu bio-basierten Chemikalien - eine explorative Studie unter Verwendung eines paarweisen Vergleichs. Masterarbeit and der Universität für Bodenkultur, Wien	
Wissen- schaftliche Publikationen	- Chebaeva, N., Lettner, M., Wenger, J., Schögl, JP., Hesser, F., Holzer, D., Stern, T. (2021). Dealing with the eco-design paradox in research and development projects: The concept of sustainability assessment levels. J CLEAN PROD. 2021; 281, 125232 - Lettner, M., Hesser, F., Hedeler, B., Schwarzbauer, P., Stern, T (2020). Barriers and incentives for the use of lignin-based resins: Results of a comparative importance performance analysis. Journal of Cleaner Production, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.120520 - Hedeler, B., Lettner, M., Schwarzbauer, P., Stern, T., Hesser, F. (2020). Strategic decisions on knowledge development and diffusion at pilot and demonstration projects: An empirical mapping of actors, projects and strategies in the case of circular forest bioeconomy. Forest Policy and Economics, doi: 10.1016/j.forpol.2019.102027	

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