

IEA Bioenergy Task 40: Bereitstellung von biobasierten Wertschöpfungsketten

Arbeitsperiode 2022 - 2024

Berichte aus Energie- und Umweltforschung 57/2026

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur,
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:

Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien

Leitung (interimistisch): DI (FH) Isabella Warisch

Kontakt zu „IEA Forschungskooperation“: Mag.^a Sabine Mitter

Autorinnen und Autoren:

Dr. Fabian Schipfer, Prof. Michael Harasek (Technische Universität Wien)

Mag. Judith Buchmaier, Dr. Bettina Muster Slawitsch (AEE INTEC)

Mag. Michael Wild (Wild KG)

Ein Projektbericht gefördert im Rahmen von



Wien, 2026. Stand: Dezember 2024

Rückmeldungen: Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an
iii3@bmimi.gv.at.

Disclaimer:

Dieser Ergebnisbericht wurde von der Fördernehmer:in erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit, Aktualität sowie die barrierefreie Gestaltung der Inhalte übernimmt das Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI) keine Haftung.

Mit der Übermittlung der Projektbeschreibung bestätigt die Fördernehmer:in ausdrücklich, über sämtliche für die Nutzung erforderlichen Rechte – insbesondere Urheberrechte, Leistungsschutzrechte sowie etwaige Persönlichkeitsrechte abgebildeter Personen – am bereitgestellten Bildmaterial zu verfügen.

Die Fördernehmer:in räumt dem BMIMI ein unentgeltliches, nicht ausschließliches, zeitlich und örtlich unbeschränktes sowie unwiderrufliches Nutzungsrecht ein, das übermittelte Bildmaterial in allen derzeit bekannten sowie künftig bekannt werdenden Nutzungsarten für Zwecke der Berichterstattung, Dokumentation und Öffentlichkeitsarbeit im Zusammenhang mit der geförderten Maßnahme zu verwenden, insbesondere zur Veröffentlichung in Printmedien, digitalen Medien, Präsentationen und sozialen Netzwerken.

Für den Fall, dass Dritte Ansprüche wegen einer Verletzung von Rechten am übermittelten Bildmaterial gegen das BMIMI geltend machen, verpflichtet sich die Fördernehmer:in, das BMIMI vollständig schad- und klaglos zu halten. Dies umfasst insbesondere auch die Kosten einer angemessenen rechtlichen Vertretung sowie etwaige gerichtliche und außergerichtliche Aufwendungen.

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts im Rahmen der IEA Forschungsk Kooperation. Es wurde vom Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI) initiiert, um österreichische Forschungsbeiträge zu den Kooperationsprojekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu unterstützen.

Die IEA Forschungsk Kooperationen umfassen eine breite Palette an Energiethemen mit dem Ziel Energiesysteme, Städte, Mobilitäts- und Industriesysteme fit für eine nachhaltige Zukunft bis 2050 zu machen. Auch Themen wie Gendergerechtigkeit oder Ressourcen- und Kreislaufwirtschaftsaspekte werden berücksichtigt.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen und Unternehmen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch die vielen IEA-Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und neue internationale Standards. Auch in der Marktumsetzung konnten richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Daher werden alle Berichte nach dem Open Access Prinzip in der Schriftenreihe des BMIMI über die Plattform nachhaltigwirtschaften.at veröffentlicht.

Inhalt

1 Kurzfassung	8
2 Abstract	10
3 Ausgangslage.....	12
4 Projektinhalt	14
5 Ergebnisse	19
5.1 Die Kreislaufbioökonomie als Systemintegrator.....	21
5.2 Bioraffinerien als Systemintegratoren	23
5.3 Mobilisierungsstrategien für geringwertige, heterogene Biomassereststoffe.....	26
5.4 Workshop zu regionalen Entwicklungsmöglichkeiten in flexiblen Biomassewertschöpfungsnetzwerken	26
5.5 Workshop zu Unsicherheiten und Risiken in Bioökonomienetzwerken.....	28
5.6 Zur Bewertung von Bioökonomiesynergien.....	30
6 Vernetzung und Ergebnistransfer	33
7 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen.....	35
Tabellenverzeichnis	37
Abbildungsverzeichnis	38
Literaturverzeichnis.....	39
Abkürzungen.....	39

1 Kurzfassung

Motivation und Forschungsfrage

Im IEA Bioenergie Task40 Projekt konzentrieren wir uns auf die Rolle von Infrastrukturen und Märkten zur nachhaltigen, leistbaren und zuverlässigen Bereitstellung von Biomasse. In den letzten Jahren verlagerten wir unseren Fokus von internationalem Bioenergiehandel hin zu integrierten Versorgungsnetzwerken im Kontext der Kreislaufbioökonomie. Unsere zentrale Frage lautete: Was genau ist der Mehrwert einer koordinierten und kohärenten, gemeinsamen Planung von Bereitstellungsstrukturen für Lebensmittel, Materialien, Bioenergie, und anderen erneuerbaren Energien?

Ausgangssituation/Status Quo

Die Themen des Task40 in den 2010er Jahren waren internationalen Versorgungsketten, der Handel mit Biomasse und vor allem Märkte für Holzpellets und Biokraftstoffe. Die Versorgungskettenperspektive und -expertise blieb auch in den letzten Jahren unser Hauptaugenmerk. Allerdings richteten wir unseren Blick verstärkt auf lokal verfügbare, niedrigwertige Biomasseressourcen und deren nachhaltige Nutzung. Gleichzeitig wuchs die Erkenntnis, dass lineare Wertschöpfungsketten nicht ausreichen, um die Potenziale der Bioökonomie zu heben, was den Bedarf an flexiblen, integrierten Netzwerken zum Vorschein brachte.

Projekthalte und Zielsetzungen

Um eine neue strategische Ausrichtung des Tasks zu fördern haben wir als österreichischen Delegation die Bioökonomiesynergieninitiative ins Leben gerufen. Mit der BioSyn Initiative versuchten wir Synergien zwischen Bioenergie, Ökosystemdienstleistungen und biobasierten Wertschöpfungsketten zu erfassen. Unser Ziel war es, die Folgen einer stärkeren Systemintegration zu analysieren, Synergieeffekte zu quantifizieren und mögliche Risiken zu identifizieren. Darüber hinaus wurden innovative Technologien und Bewertungsansätze entwickelt, um Bioökonomiesysteme an die Anforderungen von Nachhaltigkeit und Klimaschutz anzupassen.

Methodische Vorgehensweise

Unsere Initiative kombinierte systemische und prozesstechnische Ansätze, unterstützt durch interdisziplinäre Workshops, Fallstudien und wissenschaftliche Publikationen. Besondere Schwerpunkte setzten wir auf der Entwicklung neuer Bewertungsrahmen für Integrationsdynamiken sowie der Analyse von Technologien wie Bioraffinerien und Netzwerken für Biomasseressourcen.

Unsere Methodik basierte auf einer engen Zusammenarbeit mit internationalen IEA Bioenergie Tasks, anderen IEA Technology-Collaboration-Programms und Horizon Europe Projekten.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Mit der BioSyn-Initiative möchten wir einen Paradigmenwechsel in der Bewertung von Bioökonomiesystemen anstoßen. Wir konnten zeigen, dass Systemintegration nicht nur Effizienz steigern und neue Ressourcenflüsse ermöglichen, sondern auch die Zuverlässigkeit und Beständigkeit von nachhaltigen Versorgungsstrukturen sichert und gesellschaftliche Mehrwerte schafft. Unsere Ergebnisse verdeutlichen, dass technische, soziale, und organisatorische Bioökonomieinnovationen die Grundlage für flexible und integrierte Wertschöpfungsnetzwerke bilden können. Gleichzeitig haben wir die Notwendigkeit erkannt, Risiken der Integration, wie kaskadische Fehler nicht zu ignorieren.

Ausblick

Unsere Ergebnisse zeigen, dass die Expertise in der Integrationsfolgenabschätzung zentral sein wird, um komplexe Bioökonomiesysteme erfolgreich zu planen und um integrierte Energie- und Klimaziele zu erreichen. Expert:innen benötigen ein Verständnis für materielle und nicht-materielle Ressourcenflüsse sowie deren Wechselwirkungen in integrierten Netzwerken. Nationale und internationale Strategien müssen darauf abzielen, die Resilienz und Synergien biobasierter Systeme zu optimieren. Der Aufbau entsprechender Kompetenzen und die Entwicklung robuster Bewertungsrahmen sind entscheidend, um den gesellschaftlichen und technologischen Mehrwert der Bioökonomie zu realisieren.

...

2 Abstract

Motivation and research question

In the IEA Bioenergy Task40 project, we focus on the role of infrastructures and markets for the sustainable, affordable and reliable provision of biomass. Over time, we shifted our focus from international bioenergy trade to integrated supply networks in the context of the circular bioeconomy. Our central question was: What exactly is the added value of coordinated and coherent, joint planning of supply structures for food, materials, bioenergy, and other renewable energies?

Initial situation/status quo

The topics of Task40 in the 2010s were international supply chains, the trade in biomass and, above all, markets for wood pellets and biofuels. The supply chain perspective and expertise remained our main focus in recent years. However, we increasingly focused on locally available, low-value biomass resources and their sustainable use. At the same time, the realization grew that linear value chains are not sufficient to leverage the potential of the bioeconomy, which revealed the need for flexible, integrated networks.

Project content and objectives

In order to promote a new strategic direction of the task, we, as the Austrian delegation, launched the Bioeconomy Synergy Initiative. With the BioSyn Initiative, we tried to capture synergies between bioenergy, ecosystem services and bio-based value chains. Our goal was to analyze the consequences of greater system integration, quantify synergy effects and identify possible risks. In addition, innovative technologies and assessment approaches were developed to adapt bioeconomy systems to the requirements of sustainability and climate protection.

Methodological approach

Our initiative combined systemic and process engineering approaches, supported by interdisciplinary workshops, case studies and scientific publications. We placed particular emphasis on developing new assessment frameworks for integration dynamics and analyzing technologies such as biorefineries and networks for biomass resources. Our methodology was based on close cooperation with international IEA Bioenergy Tasks, other IEA Technology Collaboration Programs and Horizon Europe projects.

Results and conclusions

With the BioSyn initiative, we want to initiate a paradigm shift in the assessment of bioeconomy systems. We were able to show that system integration not only increases efficiency and enables new resource flows, but also ensures the reliability and durability of sustainable supply structures and creates social added value. Our results make it clear that technical, social and organizational

bioeconomy innovations can form the basis for flexible and integrated value-creation networks. At the same time, we recognized the need not to ignore risks of integration, such as cascading errors.

Outlook

Our results show that promoting expertise in integration impact assessment is crucial for successfully planning complex bioeconomy systems and integrated energy and climate plans. Experts need an understanding of material and non-material resource flows and their interactions in integrated networks. National and international strategies must aim to optimize the resilience and synergies of bio-based systems. Building appropriate skills and developing robust assessment frameworks are crucial to realizing the social and technological added value of the bioeconomy.

3 Ausgangslage

Das IEA Bioenergy Task40 Vernetzungsprojekt wurde initiiert, um die Rolle von Biomasse in der Energiewende und der Bioökonomie zu stärken und gleichzeitig langfristigen Klima- und Nachhaltigkeitsanforderungen gerecht zu werden. Biomasse bietet das Potenzial, zirkuläre und nachhaltige Wertschöpfungsketten aufzubauen, die nicht nur Energie liefern, sondern auch biobasierte Chemikalien und Materialien erzeugen. Angesichts begrenzter nachhaltiger Ressourcen und der Dringlichkeit von Maßnahmen gegen den Klimawandel liegt die Motivation darin, innovative und praxisnahe Lösungen zu entwickeln, die sowohl ökologisch als auch wirtschaftlich tragfähig sind.

Besonders wichtig ist dabei die Betrachtung von Biomasse im Kontext von CO₂-Märkten, der Finanzierung und politischen Entwicklungen, um sowohl regionale als auch internationale Marktstrukturen zukunftsfähig zu gestalten. Dabei soll Biomasse nicht nur zur Energieversorgung beitragen, sondern auch als Rohstoff für hochwertige Produkte in einer erneuerbaren Kohlenstoffwirtschaft dienen. Das Projekt verfolgt die Vision, den Mehrwert von Biomasse für Klimaschutz und Nachhaltigkeit optimal zu nutzen.

Das Projekt verfolgt das übergeordnete Ziel, die Entwicklung und Umsetzung nachhaltiger, effizienter und wirtschaftlich tragfähiger biobasierter Wertschöpfungsketten zu fördern. Hierbei stehen die folgenden Aspekte im Fokus:

1. **Nachhaltige Nutzung von Biomasse:** Identifikation und Optimierung von Biomasseressourcen, um diese effizient und effektiv einzusetzen, insbesondere im Hinblick auf Energie, biobasierte Chemikalien und Materialien.
2. **Entwicklung von Wertschöpfungsketten:** Gestaltung von bankfähigen und risikoarmen Wertschöpfungsketten, die sowohl regionale als auch internationale Märkte stärken.
3. **Unterstützung der Bioökonomie:** Förderung einer breiteren Nutzung von Biomasse, die gleichzeitig Lebensmittel-, Futtermittel- und Fasermärkte integriert und ein langfristiges Kohlenstoffmanagement sicherstellt.
4. **Reflexion politischer und wirtschaftlicher Rahmenbedingungen:** Untersuchung von Barrieren und Treibern für den Biomasseeinsatz, Analyse der Auswirkungen von Kohlenstoffmärkten und CO₂-Emissionsbudgets auf biogene Energieträger und Dienstleistungen.
5. **Wissenstransfer:** Bereitstellung fundierter Informationen, Analysen und Synthesen für Marktakteure, politische Entscheidungsträger, Finanzinstitute und zivilgesellschaftliche Organisationen, um fundierte Entscheidungen zu unterstützen.

Das Projekt leistet damit einen wichtigen Beitrag zur Transformation hin zu einer kreislaufbasierten Bioökonomie und einer nachhaltigen, erneuerbaren Kohlenstoffwirtschaft.

Österreich ist seit 2009 aktives Mitglied im internationalen Forschungsnetzwerk **IEA Bioenergy Task 40** und hat in den letzten Jahren wesentlich zu einer Vielzahl von Forschungsthemen beigetragen. Die Arbeiten des Netzwerks decken die gesamte Wertschöpfungskette der Biomasse ab –

von der Bereitstellung und Vorbehandlung über Umwandlungstechnologien bis hin zu Anwendungsfällen und Endnutzerthemen.

Entwicklung der Themenschwerpunkte:

Die bisherigen Arbeiten des Netzwerks zeigen eine stetige Weiterentwicklung in den Themenfeldern **Bereitstellung**, **Umwandlung** und **Nutzung** von Biomasse und biogenen Energieträgern:

Bereitstellung: Zu Beginn lag der Fokus auf der Analyse des internationalen Bioenergiehandels (2010) sowie auf Märkten für Holzpellets (2011) und flüssige Biokraftstoffe (2012). Dies spiegelte die damalige Praxis wider, Biomasse überwiegend über einzelne große Lieferanten zu beschaffen, um sie in globalisierten Lieferketten für großtechnische Energieanwendungen bereitzustellen. In den letzten Jahren hat sich der Fokus jedoch stark verändert: Heute stehen Themen wie die Mobilisierung von Waldreststoffen (2016), Biomasse aus Abfallströmen (2019) und die Nutzung lokaler, minderwertiger Biomasse (2022) im Vordergrund. Dies fördert eine diversifizierte und regionale Versorgung.

Umwandlung: Anfangs wurden vor allem Technologien und Märkte für Holzhackschnitzel, Biokraftstoffe und Torrefaktion (2012) betrachtet. Der Fokus hat sich mittlerweile auf fortschrittliche Biokraftstoffe, Biogas und erneuerbare Gase wie Wasserstoff (2022) verschoben. Damit einhergehend werden auch Bioraffinerien und die zukünftigen Nutzungspotenziale von Biomasse erforscht. Diese Entwicklung verdeutlicht den Übergang von mittelgroßen, globalisierten Lieferketten hin zu flexiblen und vielseitigen Netzwerken, die regionale und internationale Verbindungen stärken.

Nutzung: Frühe Arbeiten konzentrierten sich auf Nachhaltigkeitszertifizierungen (2010) und großindustrielle Anwendungen von Biomasse (2013). Die aktuellen Schwerpunkte reflektieren jedoch eine deutlich breitere Perspektive: Der Fokus liegt nun auf Themen wie der kaskadischen Nutzung von Biomasse (2016), der Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (2020), der industriellen Prozesswärme (2021) und der Integration von Synergien in der Bioökonomie (2022). Anstelle von ausschließlich großtechnischen Anwendungen wird Biomasse heute zunehmend auch für kleinere und mittlere Nutzungen eingesetzt, um etwa Dienstleistungen im Bereich der Energieversorgung, der Kohlenstoffbindung und der Kreislaufwirtschaft bereitzustellen.

Alle Ergebnisse und Berichte stehen gratis zum Download zur Verfügung unter <https://task40.ieabioenergy.com/iea-publications/task-40-library/#>

4 Projektinhalt

Darstellung des gesamten IEA-Tasks/Annex:

Das International Energy Agency (IEA) Bioenergy Technologiekollaborationsprogramm (Technology Collaboration Programme - TCP) ist ein inter-, transdisziplinäres und internationales Netzwerk. Forschungseinrichtungen, Industriepartnern und politische Entscheidungsträger:innen nutzen diese Plattform um eine gemeinsame Mission zu verfolgen;

die Entwicklung und den nachhaltigen Einsatz von biobasierten Technologien als Teilbeitrag zur Lösung der gesellschaftliche Kernherausforderungen

Im Vordergrund der IEA Bioenergy TCP Diskussionen steht dabei ein nachhaltiger und fairer Ressourceneinsatz. Treibhausgasbudget, Land, frisch geerntete und residuale Biomasse sind dabei betrachtete natürliche Ressourcen, während Arbeitskraft, Kapital und Wissen anthropogene Ressourcen darstellen, die ebenso eine zentrale Rolle spielen.

Rund um die IEA Bioenergy TCP Mission haben sich im Netzwerk historisch, unterschiedliche Themenschwerpunkte gebildet und in Tasks manifestiert. Die Tasknummerierung erfolgt eher erratisch, wobei technische Tasks mit 30er Zahlen gekennzeichnet sind und systemische Tasks mit 40er Zahlen. Die derzeitig aktiven Tasks sind in *Tabelle 1* gelistet:

Tabelle 1: Aktive Tasks im Triennium 2022-2024

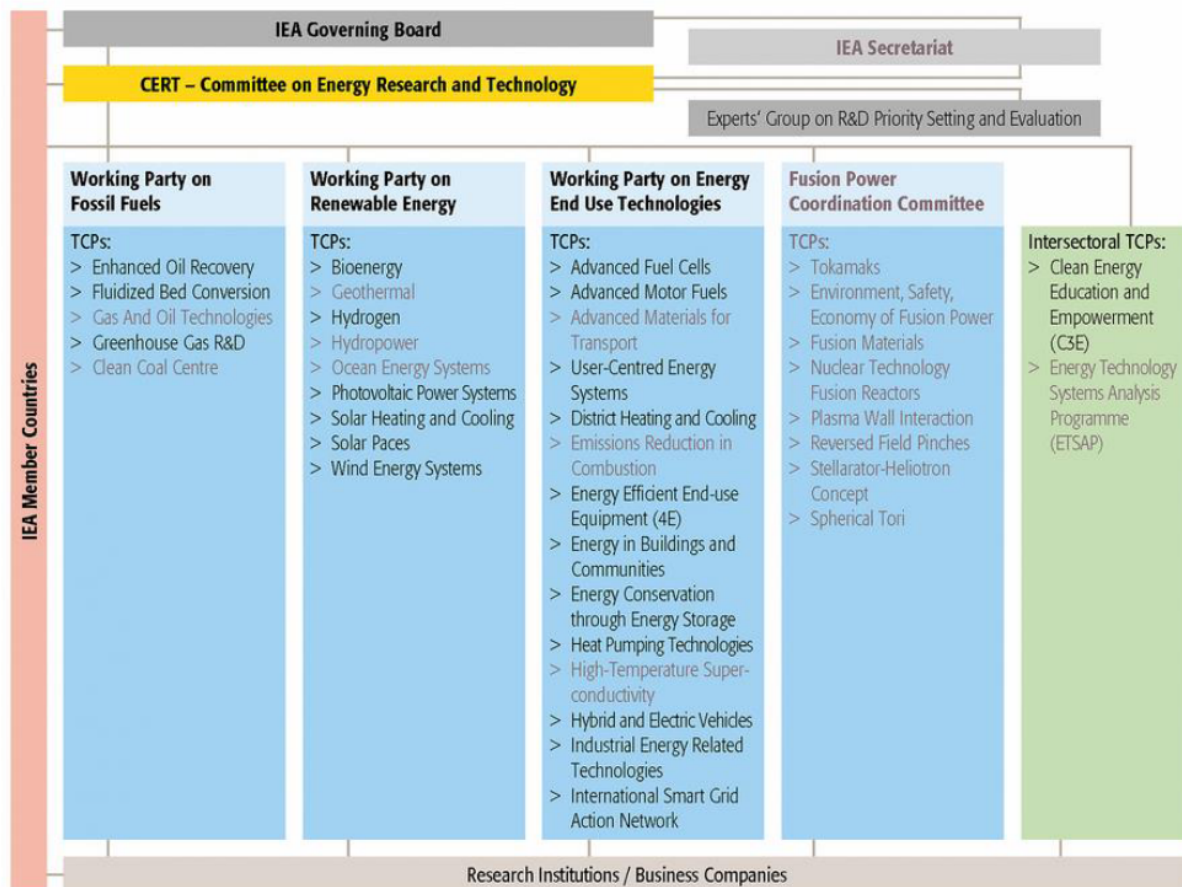
Task	Tasktitel
Task 3-	<i>Fokus auf einzeln Technologien</i>
Task 32	Emissionsreduktion bei der Verbrennung von Biomasse
Task 33	Thermische Vergasung von Biomasse
Task 34	Pyrolyse und Verflüssigung von Biomasse
Task 36	Kreislaufwirtschaft – Energie und Materialrückgewinnung
Task 37	Anaerobe Vergärung und Biogas
Task 39	Fortschrittliche, flüssige Biotreibstoffen
Task 4-	<i>Systemzusammenhänge</i>
Task 40	Bereitstellung von biobasierten Wertschöpfungsketten
Task 42	Bioraffinerien für eine umfassende Bioökonomie
Task 43	Nachhaltige Biomasseversorgung
Task 44	Flexible Bioenergie und Systemintegration
Task 45	Klimawandel und mehrdimensionale Nachhaltigkeit

In den Tasks werden regelmäßig und basisdemokratisch Themenschwerpunkte festgelegt, finanzielle und persönliche Ressourcen für deren Bearbeitung eingeplant, Projektfortschritte und Ergebnisse bei Task-treffen diskutiert. Neben diesen Task internen Projekten kommt es in den letzten Jahren vermehrt auch zu Intertask-Projekten, in denen die gemeinsame Ausrichtung und Zusammenarbeit gefördert wird. Alle laufenden Projekte sowie Projektpublikationen stehen der allgemeinen Öffentlichkeit zum freien Download auf der IEA Bioenergy Homepage zur Verfügung.

<https://www.ieabioenergy.com/>

Das IEA Bioenergy TCP steht außerdem in einem breiteren Verbund mit ähnlichen Netzwerken und im Rahmen der IEA Kollaboration der Mitgliedsländer (siehe *Abbildung 1*). Aktive Zusammenarbeit findet zurzeit mit den TCPs zu den Themen Wasserstoff, Energietechnologiesystemanalyse (ETSAP), Fernwärme und -kälte, fortschrittliche Motortreibstoffe, Windenergie und Treibhausgasforschung statt.

Abbildung 1: Struktur des IEA Netzwerks und TCPs. TCPs ohne österreichische Beteiligung (in 2018) sind in grau dargestellt. Quelle: Projektfabrik Waldhör in (Eggler et al., 2018)



Durch die Teilnahme an den IEA Bioenergy TCPs können internationale Entwicklungen für die strategische Ausrichtung der österreichischen Forschungs-/Technologie und Innovations- (FTI) Politik frühzeitig wahrgenommen und neue Forschungsbereiche in Österreich durch internationale Unterstützung aufgebaut werden. Im Gegenzug erfolgt die Einbringung österreichischer Expertise und Erkenntnisse aus nationalen und EU Projekten in das IEA Forschungsnetzwerk.

Die Zielgruppen für das IEA Bioenergy TCP umfassen neben Universitäten und wissenschaftlichen Einrichtungen sowie Unternehmen im Bereich der Bioökonomie auch politische Entscheidungsträger:innen, Interessenssensvertreter und Bürger:innen die um einen inklusiven, technologieunterstützten, gesellschaftlichen Fortschritt bemüht sind.

Beim IEA Bioenergy Task40 zu biobasierten Wertschöpfungsketten waren in der Berichtsperiode 6 Länder aktive Mitglieder. Der Task wurde vom Deutschen Biomasseforschungszentrum geleitet und brachte Perspektiven aus Österreich, Dänemark, den Niederlande, der Vereinigten Staaten, Deutschland und Schweden zusammen.

Projektziele:

Das Konsortium des IEA Bioenergie Task40 verfolgte mehrere Projektziele, während die Aufgabe der österreichischen Delegation darin lag, die Vielfalt der Themengebiete zu konsolidieren um eine strategische Weiterentwicklung des Tasks zu ermöglichen.

Ziele der Task40 BioSyn (Bioökonomiesynergien) Initiative:

Der Beitrag der österreichischen Delegation war eine breit angelegte Initiative innerhalb des IEA Bioenergy TCP Netzwerkes. Das Ziel war es die lineare Wertschöpfungskettenperspektive des Tasks mit einer Netzwerk Betrachtung zu erweitern um Synergieeffekte zwischen Ökosystem-, Bioenergie-, biobasierte Material- und Nährstoffdienstleistungen besser benennen zu können. Im Gegensatz zu linearen Wertschöpfungsketten, die sich auf die Bereitstellung einer bestimmten Dienstleistung konzentrieren, verbindet ein biogenes Kohlenstoffnetzwerk verschiedene Dienstleistungstypen und ermöglicht eine Kreislauf- und Kaskadennutzung. Aber wie lässt sich diese physische und gesellschaftliche Vernetzungsaktivität darstellen, und wie können wir ihre Vorteile und Gefahren messen und sie besser in die Planung zukünftiger, verstrickter Bioökonomiesektoren berücksichtigen? Diese, und verwandte Fragen konnten wir in der Initiative, in internen Workshops und in wissenschaftlichen Publikationen nachgehen (siehe Ergebnisse).

Weitere Ziele des IEA Bioenergie Task40:

Die BioSyn Initiative konnte dabei auf den Arbeiten und den Ergebnissen der anderen Task40 Mitglieder aufbauen. Der Fokus lag dabei vor allem wiederum auf strategische Entwicklungen, die zurzeit hoch auf der Agenda der Mitgliedsstaaten, innerhalb der IEA Bioenergy TCP aber auch in anderen IEA Technology Collaboration Programmes stehen. Zwei Intertaskprojekte wurden dabei von der deutschen Delegation geleitet:

1. Das Themenfeld „Biobasierte Kohlenstoffsequenzierung, Speicherung und Verwendung“ wurde in der Zusammenarbeit mit mehreren Tasks behandelt. Das Ziel war derzeitige Pläne für kommerzielle BECCUS-Anlagen in Europa und den USA zu sammeln und zu diskutieren, Finanzierungsmechanismen und die detaillierte Gestaltung der politischen Rahmenbedingungen zu verstehen und Klimawandelmitigationseffekte abzuschätzen.
2. Das Themenfeld „Wasserstoff und Bioenergie“ hat erstmals auch die Perspektiven des Wasserstoff-TCPs mit den der Bioenergie-TCPs gekoppelt. Das Ziel war, die zahlreichen Überschneidungspunkte der zugrundeliegenden Technologien und Sektoren aufzuzeigen und mögliche Synergieeffekte für gemeinsame Strategien abzuleiten.

Methoden und Résumé:

Die grundlegende Methode des IEA Bioenergy TCP ist es den Austausch zwischen Expert:innen zu aktuellen Themen konstant zu ermöglichen und zu stärken. Dadurch können vor allem wichtige technische, gesellschaftliche, und ökologische Entwicklungen länder- und disziplinenübergreifend antizipiert werden und Erfahrung und Wissen zu den strategischen Ausrichtungen der Mitgliedsstaaten und der einzelnen Mitglieder geteilt werden. Die Auswirkungen dieses Austausches sind nicht konkret messbar. Teilnehmer:innen nennen hierzu oft eine robustere, langfristige Ausrichtungen ihrer Forschungs- und Arbeitsfelder. Trotzdem ergeben sich meist auch kurzfristig konkrete Ergebnisse, wie wissenschaftliche Publikationen, Berichte, Workshops und Webinars sowie neue Kollaborationen und gemeinsame Projekte. Im nächsten Kapitel wollen wir vor allem auf die Task40 Ergebnisse der österreichischen Delegation eingehen.

...

5 Ergebnisse

Der Zweck der **BioSyn Initiative** war es die zahlreichen Synergieeffekte von Bioenergieversorgungsketten mit anderen Netzwerken zur Mobilisierung, Bereitstellung und (Wieder-)verwertung von Bioökonomieprodukten und -dienstleistungen zu konkretisieren und ihnen einen gemeinsamen Rahmen zu geben.

Abbildung 2 gibt einen illustrativen Überblick zu den Themen der BioSyn Initiative im Stil eines **Biomassewertschöpfungsnetzwerkes**. Dieses Netzwerk bezieht Rohstoffe aus Wald, Landwirtschaft, und Aquakultur, um diese in Handelswaren zu verarbeiten und diese für die Produktion von Lebensmitteln, Baustoffen, Strom, Raum-, und Prozesswärme, Chemikalien, pharmazeutische Produkte, Kohlenstoffdioxidabscheidung usw. zu nutzen. Das Netzwerk bindet andere erneuerbare Stromquellen, wie Wind-, Sonnen-, und Wasserkraftanlagen mit ein und erfordert die Vernetzung unterschiedlicher Infrastrukturen wie das Stromnetz, Gasnetz, Ölpipelines, CO₂-, und Wasserstoffnetze, Straßen-, Schienen-, Schiffstransport, Wasserversorgung, sowie auch das Internet, gesellschaftliche, und gesellschaftspolitische Netzwerke, Firmen- und Finanznetze. Auch Ökosystemdienstleistungen, Landschaftspflege, Gemeinschaftsaspekte, Naturerfahrungen, und Biodiversität spielen eine wichtige Rolle, für die keine Handelswaren oder menschgemachte Netzwerke vorgesehen sind.

Wärmenetzwerksynthesen mit dieser Definition verwandte Konzepte. Auch die Biologie und Ökosystemforschung untersucht verwandte Konzepte z.B.: im Bezug auf den Auswirkungen des Biodiversitätsverlust auf engmaschig integrierte Futternetze.

Anmerkung 2 unserer Begriffsdefinition gibt nun Aufschluss über mögliche Synergieeffekte einer stärker integrierten Kreislaufbioökonomie. Im Rahmen der BioSyn Initiative und in mehreren Publikationen und Workshops haben wir nun versucht die unterschiedlichen Integrationsdynamiken zu klären, um ihnen schlussendlich einem gemeinsamen Rahmen zu geben.

1. Erste Integrationsdynamik: Ermöglichung eines Ressourcenaustauschs, der ohne Integration so nicht möglich wäre. Ergebnisse zu dieser Dynamik sind eine wissenschaftliche Publikation zu Mobilisierungsstrategien geringwertiger, heterogener Biomasse (Kapitel 5.3) sowie ein Task-übergreifender Workshop zu Versorgungskettennetzwerken (Kapitel 5.4).
2. Zweite Integrationsdynamik: Effizienzsteigerung von Ressourcenflüssen durch den direkten Austausch zwischen mit einander integrierten Elementen, Prozessen oder Systemen. Ergebnisse zu dieser Dynamik wurden vor allem im Hinblick auf Verfahrens- und Prozesstechnik in Bioraffinerien zusammengetragen und diskutiert (Kapitel 5.2).
3. Dritte Integrationsdynamik: Resilienzsteigerung für miteinander integrierte Elemente, Prozesse oder Systeme durch Diversifizierung und Flexibilisierung der Ressourcenflüsse. Ergebnisse zu dieser Integrationsdynamik ergeben sich vor allem aus dem Task-übergreifenden Workshop zu Versorgungskettennetzwerken (Kapitel 5.4) sowie aus einem eigenen Task40 Workshop zu Versorgungskettenrisiken (Kapitel 5.5).

Die Leitung der BioSyn Initiative von der TU Wien, Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und technische Biowissenschaften und vor allem auch die Kollaboration mit Bioraffinerieexpertinnen von AEE Intec ermöglichten erstmals einen interdisziplinären Ansatz zwischen systemischen Bioökonomiebetrachtungen (Kapitel 5.1) und prozesstechnischen Bioraffinerieüberlegungen (Kapitel 5.2). Im Folgenden stellen wir die Teilergebnisse und ihre Quellen mit weiterführende Informationen einzeln vor.

5.1 Die Kreislaufbioökonomie als Systemintegrator

Schipfer, F., Burli, P., Fritsche, U., Hennig, C., Stricker, F., Wirth, M., Proskurina, S., Serna-Loaiza, S., 2024. The circular bioeconomy: a driver for system integration. *Energy Sustainability and Society* 14, 34.
<https://doi.org/10.1186/s13705-024-00461-4>

Für ein eigens für die Projektthemen eingerichteten Sammelband im Springer Journal Energy, Sustainability and Society (Gasteditoren: Fabian Schipfer und Svetlana Proskurina) konnten wir in 2024 das Leitpaper mit den zentralen Ergebnissen des österreichischen Beitrags zum Task40 publizieren.

Die Modellierung von Mensch- und Erdsystemen, die traditionell auf das Zusammenspiel zwischen Energiesystem und Atmosphäre ausgerichtet war, steht vor einem Paradigmenwechsel. Das Mandat des Weltklimarats (IPCC) für umfassende, sektorübergreifende Klimaschutzmaßnahmen verdeutlicht die Notwendigkeit, die Schwächen zu eng gedachter sektoralen Ansätze zu vermeiden. Unsere Studie untersucht die zirkuläre Bioökonomie und betont die komplexen Verflechtungen zwischen Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Aquakultur, technologischen Fortschritten und ökologischem Recycling. Zusammen tragen diese Sektoren wesentlich dazu bei, die Ernährungs-, Material- und Energiebedürfnisse einer wachsenden Weltbevölkerung zu decken. Wir stellen die zentrale Frage, wie diese vielfältigen Sektoren in ein neues Zeitalter eines ganzheitlichen systemischen Denkens und Planens integriert werden können.

Die Grundlage für die Diskussion bildet eine neuartige grafische Darstellung, die statistische Daten zu Ernährung, Materialien, Energieflüssen und Kreislaufwirtschaft umfasst. Diese Darstellung dient der Erstellung eines Inventars von technologischen Fortschritten und Klimaschutzmaßnahmen, die das wirtschaftliche Metabolismussystem in den kommenden Jahrzehnten grundlegend verändern könnten. Im Kontext der drei dominanten Megatrends – Bevölkerungsdynamik, wirtschaftliche Entwicklungen und Klimakrise – betrachten wir die potenziellen Auswirkungen der identifizierten Maßnahmen. Diese fallen in vier Kategorien: Substitution, Effizienz, Suffizienz und Zuverlässigkeit.

Derzeit dominieren Substitutions- und Effizienzmaßnahmen die Systemmodellierung. Die Einbeziehung neuer biobasierter Prozesse und Aspekte der Kreislaufwirtschaft könnte lediglich eine Erweiterung der Systemgrenzen erfordern. Demgegenüber werden Paradigmenwechsel im Systemdesign voraussichtlich auf Suffizienz- und Zuverlässigkeitsmaßnahmen fokussieren. Die wirksame Bewertung von Suffizienzmaßnahmen wird erhebliche Fortschritte in inter- und transdisziplinärer Zusammenarbeit erfordern, vor allem aufgrund ihres nicht-technologischen Charakters. Zudem stellt die Modellierung von Zuverlässigkeit und Resilienz von Transformationspfaden eine neue, vielversprechende Forschungsrichtung dar, die die Bedeutung eines integrierten Netzwerks aus Netzwerken hervorhebt.

Bestehende und neu entstehende Praktiken der zirkulären Bioökonomie können als herausragende Beispiele für Systemintegration dienen. Diese Praktiken ermöglichen die Verknüpfung komplexer Biomasselieferkettennetzwerke mit anderen Netzwerken, darunter ressourcenunabhängige erneuerbare Energien, Wasserstoff, CO₂, Wasser sowie biotische, abiotische und immaterielle Ressourcen. Die Stärkung dieser Verknüpfungen wird politische Entscheidungsträger in die Lage versetzen, Synergien zwischen Systemen, Sektoren und Zielen zu maximieren und Zielkonflikte zu minimieren.

5.2 Bioraffinerien als Systemintegratoren

Während wir in der Leitpublikation (Section 5.1) auf systemischen Aspekte fokussieren, verfolgten wir diesmal und erstmals auch einen prozesstechnischen Ansatz. Dafür sorgte vor allem die Kollaboration zwischen dem TU Wien Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und technische Biowissenschaften (Fabian Schipfer, Sebastian Serna-Loaiza - TU Wien ICEBE) und dem Institut für nachhaltige Technologien (Judith Buchmaier, Bettina Muster-Slawitsch – AEE Intec), das auch im IEA IETS Task11 zu industriellen Bioraffinerien tätig ist. Die Ergebnisse wurden in einem gemeinsamen Workshop am 7 November 2023 vorgestellt und basieren auf den genannten Publikationen.

Meitz S., Muster-Slawitsch B., Lindorfer J. 2023. IEA Industrielle Energietechnologien und Systeme (IETS) Task 11: Industrielle Bioraffinerien. Arbeitsperiode 2020 – 2022 Endbericht.

https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/iea_pdf/schriftenreihe-2023-75-iea-iets-task-11.pdf

Mit dem Ziel, industrielle Bioraffinerien effizienter und nachhaltiger zu gestalten, wurden im Rahmen des IEA IETS Task 11 innovative Ansätze zur kombinierten Bewertung von Energie- und Ressourceneffizienz entwickelt. Aufbauend auf realen Fallstudien, darunter Lignocellulose-Bioraffinerien und biogasbasierte Systeme, wurde eine Methodik erarbeitet, die den gesamten Wertschöpfungsprozess von Rohstoffversorgung über Prozessoptimierung bis hin zu Endprodukten und Nebenströmen berücksichtigt. Ein zentraler Fokus lag auf der Integration emergierender Technologien, der Minimierung von Energieintensität und der Maximierung der Ressourcennutzung.

Die Ergebnisse unterstreichen die zentrale Bedeutung eines breiten Portfolios an Effizienzkriterien, um industrielle Bioraffinerien fundiert bewerten und weiterentwickeln zu können. Während herkömmliche Ansätze häufig auf isolierte Indikatoren wie Energieverbrauch oder Kosten beschränkt sind, erfordert die Komplexität moderner Bioraffinerien eine ganzheitliche Betrachtung. Key Performance Indikatoren (KPIs) wie Treibhausgaseinsparungen, kumulierter Energiebedarf, Ressourcennutzungseffizienz und die effektive Verwertung von Neben- und Abfallprodukten ermöglichen es, Wechselwirkungen zwischen Energie- und Stoffflüssen umfassend zu bewerten. Ein solches erweitertes Effizienzverständnis ist essenziell, um die vielfältigen Synergiepotenziale der Bioraffinerien vollständig auszuschöpfen und ihre Rolle als Kernstücke der Bioökonomie zu stärken. Nur durch die Betrachtung einer breiten Palette an Effizienzkriterien können ökonomische, ökologische und soziale Zielsetzungen gleichwertig adressiert werden.

Die entwickelten KPIs bieten daher eine systematische Grundlage, um nicht nur die Effizienz bestehender Technologien zu optimieren, sondern auch die Transformation zu Net-Zero- und Negative-missions-Bioraffinerien voranzutreiben. Sie unterstützen die Integration erneuerbarer Energien, die Kreislaufführung von Ressourcen sowie die Stärkung lokaler Wertschöpfungsketten. Diese Ansätze leisten einen entscheidenden Beitrag, um die Bioraffinerien der Zukunft gleichzeitig wirtschaftlich tragfähig und nachhaltig zu gestalten.

Buchmaier, J., Krامل, S., Eibinger, M., Kaira, G.S., Nidetzky, B., Muster-Slawitsch, B., 2024. Continuous oscillatory flow as process intensification strategy in protein extraction from brewer's spent grain. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification* 200, 109772. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2024.109772>

Ein kontinuierlich arbeitender oszillierender Strömungs-Bioreaktor (COFB) wurde für eine Bioraffinerie-Anwendung entwickelt, gebaut und getestet. Dabei wurde Biertreber (Brewer's Spent Grain, BSG) als Substrat mit hoher Feststoffbeladung ohne Vorbehandlung eingesetzt, um Proteine direkt in einem einfachen und effizienten kontinuierlichen Prozess zu extrahieren. Ziel war es, die Eignung des COFB als Reaktortechnologie für die direkte Umwandlung von BSG zu demonstrieren und das Verfahren vor der anschließenden anaeroben Vergärung zu optimieren.

Die Leistungsfähigkeit des Prozesses wurde anhand der Proteinextraktion bewertet. Nach der Proteinabtrennung wurden die verbleibenden Feststoffe anaerob vergoren, um das Biogaspotenzial zu bestimmen. Das entwickelte Verfahren zeigt, dass der COFB eine effiziente und direkte Umwandlung von BSG ermöglicht, wodurch ein vielversprechender Ansatz für Bioraffinerie-Anwendungen geschaffen wurde, der sowohl Protein- als auch Biogasausbeuten integriert.

Die im Rahmen des Task40 Projektes durchgeführte Fallstudie zur Proteinextraktion aus Brauereitreber (BSG) mittels Continuous Oscillatory Flow Bioreactor (COFB) zeigt eindrucksvoll, wie die kombinierte Bewertung von Energie- und Ressourceneffizienz zur Optimierung nachhaltiger Wertschöpfungsketten beitragen kann. Die COFB-Technologie ermöglicht nicht nur eine direkte und effiziente Proteinsolubilisierung ohne Vorbehandlung, sondern auch die anschließende Verwertung der verbleibenden Feststoffe in der anaeroben Vergärung zur Biogaserzeugung. Diese doppelte Nutzung erhöht die Material- und Energieeffizienz und verdeutlicht, wie eine zirkuläre Bioökonomie durch innovative Technologien realisiert werden kann.

Die Integration des COFB-Ansatzes steht exemplarisch für die Prinzipien der kombinierten Effizienzbewertung: Durch die gleichzeitige Betrachtung von Ressourcen auf Material- und Energieebene wird ein nachhaltiger Kreislauf geschaffen, der wirtschaftliche, ökologische und soziale Vorteile vereint. Die Produktion von Proteinhydrolysaten als hochwertige Inhaltsstoffe eröffnet zusätzliche Marktchancen, während die energetische Verwertung der Gärreste die Energieautarkie von Brauereien stärkt und deren CO₂-Fußabdruck reduziert. Diese Fallstudie zeigt, dass ein breiteres Portfolio an Effizienzkriterien notwendig ist, um die Potenziale solcher Technologien voll auszuschöpfen und die Entwicklung klimapositiver, ressourceneffizienter Lebensmittelsysteme zu fördern. Durch diese Ansätze werden nicht nur Wertstoff- und Versorgungsketten optimiert, sondern auch die Grundlage für langfristig nachhaltige Wertschöpfungsnetzwerke gelegt.

Serna-Loaiza, S., Adamczyk, J., Beisl, S., Miltner, M., Friedl, A., 2022. Sequential Pretreatment of Wheat Straw: Liquid Hot Water Followed by Organosolv for the Production of Hemicellulosic Sugars, Lignin, and a Cellulose-Enriched Pulp. *Waste Biomass Valor* 13, 4771–4784. <https://doi.org/10.1007/s12649-022-01824-8>

In einer zweiten Fallstudie wurde der Organosolv Prozess der TU Wien ICEBE betrachtet. Die vollständige Verwertung der Bestandteile von lignocellulosehaltigen Materialien ist entscheidend für die Nachhaltigkeit von Bioraffinerien. Dabei stellt die gleichzeitige Nutzung von Zellulose, Hemizellulose und Lignin eine besondere Herausforderung dar. Während Zellulose bereits gut erforscht ist, bieten Hemizellulose und Lignin noch ungenutztes Potenzial. Durch eine sequenzielle Vorbehandlung können Zucker- und ligninreiche Fraktionen extrahiert werden, während die verbleibende zellulosereiche Fraktion weiterhin zur Papierherstellung genutzt werden kann.

In dieser Studie wurde Weizenstroh mit einer Kombination aus Flüssig-Heißwasser- und Organosolv-Vorbehandlung behandelt. Die dabei gewonnenen Hemizellulosezucker- und Ligninextrakte wurden charakterisiert und die zellulosereiche Fraktion für die Papierherstellung getestet. Als Machbarkeitsnachweis wurden unterschiedliche Zellstoffmischungen für die Papierproduktion eingesetzt, deren Festigkeit und Belastbarkeit mit herkömmlichen Zellstoffprodukten vergleichbar waren.

Diese Ergebnisse zeigen das Potenzial der Vorbehandlung, Weizenstroh als Ersatz für reine Zellulose in der Papierproduktion einzusetzen. Gleichzeitig können die Hemizellulose- und Ligninextrakte weiterverwertet werden, was die Entwicklung eines Bioraffineriekonzepts unterstützt und die nachhaltige Nutzung von Rohstoffen fördert.

Die kombinierte Bewertung von Energie- und Ressourcennutzung bietet einen Ausgangspunkt, um neue und wichtige Fragestellungen für die Gestaltung nachhaltiger Bioraffinerien zu adressieren. Dabei werden nicht nur die Effizienz von Prozessen, sondern auch die Potenziale und Risiken einer flexiblen Systemgestaltung in den Fokus gerückt. Zu den zentralen Fragen gehören: Welches Produktportfolio ist am vielversprechendsten und für wen? Welchen Wert hat die Fähigkeit, nicht nur ein Produkt, sondern mehrere ($1 + n$) Produkte aus unterschiedlichen Rohstoffen herzustellen? Diese Perspektive ermöglicht die Bewertung von Ressourceneffizienz über verschiedene Kategorien wie Energie, Emissionen und Biomasse hinaus sowie die Berücksichtigung von Unsicherheiten, die durch Natur, Technologie oder Marktgegebenheiten entstehen können.

Darüber hinaus eröffnet die Analyse der „Branching Capacity“ von Bioraffinerien – also ihrer Fähigkeit, flexible und diverse Wertschöpfungspfade zu integrieren – neue Ansätze, um die Vorteile der Systemintegration zu quantifizieren und gleichzeitig systemische Risiken wie Lieferkettenkomplexität zu bewerten. Mit einer systemischen Perspektive können vielversprechende Forschungs- und Entwicklungsstrategien identifiziert werden, die nicht nur ökonomische, sondern auch soziale und ökologische Synergien maximieren. Dies umfasst die Untersuchung von Marktpotenzialen, regionalen Rahmenbedingungen sowie der Fähigkeit, Risiken und Chancen in Mensch- und Erdsystemen zu bewerten. Solche Ansätze fördern die Flexibilität von Bioraffinerien und stärken ihre Resilienz im Kontext der Bioökonomie.

5.3 Mobilisierungsstrategien für geringwertige, heterogene Biomassereststoffe

Schipfer, F., Pfeiffer, A., Hoefnagels, R., 2022. Strategies for the Mobilization and Deployment of Local Low-Value, Heterogeneous Biomass Resources for a Circular Bioeconomy. *Energies* 15, 433. <https://doi.org/10.3390/en15020433>

Mit der Bioökonomiestrategie strebt Europa und auch Österreich an, biobasierte Sektoren zu stärken und auszubauen. Dazu müssen Investitionen in und Märkte für biobasierte Wertschöpfungsketten freigesetzt sowie lokale Bioökonomien in ganz Europa gefördert werden. Die Einhaltung von ökologischen und sozialen Nachhaltigkeitszielen steht dabei an oberster Stelle. Die derzeitigen Strukturen zur Bereitstellung von Biomasse sind jedoch nicht geeignet, die Vielfalt an Biomasserückständen und deren jeweiligen Lieferketten zu bewältigen. Zudem können sie die nachhaltige Versorgung mit Rohstoffen weder ökologisch noch sozial oder wirtschaftlich sicherstellen.

Deshalb stellt sich die zentrale Forschungsfrage, welche Strategien geeignet sind, um lokale, niedrigwertige und heterogene Biomasseressourcen mobilisieren und nutzen zu können. Unsere Arbeit baut auf den Ergebnissen und der Expertise der Mitglieder der IEA Bioenergy Task 40 auf, die sich mit dem internationalen Bioenergiehandel und der aktuellen Bereitstellung sowie Mobilisierungsmaßnahmen von Biomasse beschäftigen. Dabei werden drei Bewertungsebenen betrachtet: der gesetzliche Rahmen, technologische Innovationen und die Schaffung von Märkten. Die Herausforderungen und Chancen, die sich aus diesen Bewertungsebenen ergeben, weisen auf einen gemeinsamen Nenner hin: Die systemische Bedeutung der Stärkung der potenziell letzten verbliebenen primären Wirtschaftssektoren – Forstwirtschaft, Landwirtschaft und Aquakultur – wurde bisher nicht ausreichend quantifiziert.

Mit der schwindenden Bedeutung anderer primärer Wirtschaftssektoren, wie der Förderung fossiler Brennstoffe und des Bergbaus, ist es nun an der Zeit, den Wert der Angebotsseite einer zirkulären Bioökonomie zu bewerten und aktiv zu fördern. Dieser Wert umfasst unter anderem die Unterstützung strukturell benachteiligter Regionen durch die Schaffung von sinnstiftenden Arbeitsplätzen und Aktivitäten sowie die Stärkung der ressourcendemokratischen Bedeutung ländlicher Gebiete.

5.4 Workshop zu regionalen Entwicklungsmöglichkeiten in flexiblen Biomassewertschöpfungsnetzwerken

Zwischen IEA Bioenergy TCP Tasks 40, 42, 43, 44 & 45 und dem Horizon Europe Branches project Organisiert von Fabian Schipfer & Biljana Kulišić, Editor: Bas Heukels
https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2022/12/BioSyn_Workshop_report_Nov2022_v2.pdf

Die BioSyn-Arbeitsgruppe, initiiert im Rahmen des IEA Bioenergy TCP Task40, veranstaltete am 2. November 2022 einen kollaborativen Workshop mit den Tasks 40, 42, 43, 44 und 45 sowie dem Horizon-2020-Projekt BRANCHES. Ziel des Workshops war es, Synergien in regionalen Biomassen-Wertschöpfungsnetzwerken zu identifizieren, mit einem Schwerpunkt auf der Mobilisierung heterogener, geringwertiger Biomassen für vielseitige Anwendungen in der Bioökonomie. Im Fokus standen Möglichkeiten für kleine und mittelständische Unternehmen (KMUs) der Bioökonomie, regionale Entwicklungsprozesse zu fördern und gleichzeitig Nachhaltigkeitsziele zu verfolgen.

Die Diskussionen betonten die Vorteile flexibler Wertschöpfungsnetzwerke, einschließlich der effizienten Nutzung von Abfall- und Nebenprodukten, sowie der Integration von Post-Ernte-Managementsystemen als alternative Infrastruktur für Biohubs. In einem Fallbeispiel aus der Weinproduktion wurden ökonomische und ökologische Potenziale analysiert, die durch die Mobilisierung von Nebenprodukten erschlossen werden können. Dabei wurde die Umstellung von linearen Lieferketten auf integrierte Netzwerke als „Systemintegration“ charakterisiert, um zusätzliche gesellschaftliche und wirtschaftliche Vorteile zu generieren.

Die Systemintegration im Rahmen der regionalen bioökonomischen Wertschöpfungsnetzwerke birgt zahlreiche Chancen, die durch die Zusammenarbeit zwischen den IEA Bioenergy Tasks 40, 42, 43, 44 und 45 sowie dem BRANCHES-Projekt aufgezeigt wurden. Eine zentrale Erkenntnis ist der Übergang von linearen Lieferketten und Abfallentsorgungssystemen zu flexiblen Wertschöpfungsnetzwerken (Task 40). Dieser Wandel betont die Bedeutung bestehender Infrastrukturen und Netzwerke, um effiziente und nachhaltige Materialflüsse zu fördern. Gleichzeitig ermöglichen Biohubs (Task 43) eine verbesserte Mobilisierung und Diversifizierung von Biomasse, was nicht nur wirtschaftliche Vorteile, sondern auch soziale und ökologische Gewinne auf regionaler Ebene mit sich bringt.

Weitere Potenziale ergeben sich aus der Kombination verschiedener Technologien und Ressourcen. So bietet die Integration von Biorefining und grünem Wasserstoff mit erneuerbaren Energien wie Photovoltaik und Windkraft (Task 42) neue Möglichkeiten, kohlenstoffbasierte Chemikalien nachhaltiger zu produzieren. Dies unterstreicht die Bedeutung sektorübergreifender Ansätze, um Synergien zwischen bio- und energieökonomischen Wertschöpfungsketten zu schaffen. Bioenergie kann zudem als Schlüsselement zur Flexibilisierung von Energiesystemen dienen, insbesondere in Regionen mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien (Task 44). Dies hebt die Relevanz von Energiespeichern und einer übergreifenden Systemintegration hervor. Darüber hinaus zeigen die Tasks auf, dass Klimaschutzmaßnahmen über die bloße CO₂-Reduktion hinausgehen sollten, indem sie breitere Nachhaltigkeitsziele (SDGs) und sektorübergreifende Ansätze adressieren (Task 45).

Diese Erkenntnisse verdeutlichen die Vielzahl an Möglichkeiten, die durch die Systemintegration entstehen, um wirtschaftliche Resilienz, ökologische Nachhaltigkeit und soziale Vorteile zu fördern. Sie unterstreichen die Dringlichkeit, Markt- und Politikrahmen zu gestalten, die die Mehrwerte komplexer bioökonomischer Netzwerke anerkennen und belohnen.

Im Workshop wurden wichtige Kollaborationsmöglichkeiten identifiziert, die in fünf Themenbereiche gegliedert sind: (1) relevante Fallstudien, (2) regionale Perspektiven und KMU-Beteiligung, (3) Entwicklung von Schlüsselindikatoren (KPIs), (4) quantitative Modellierung und (5) Gestaltung von Markt- und Politikrahmen. Genannte Beispiele reichen von der Entwicklung flexibler Bioenergiepraktiken (Task 44) bis hin zur Analyse der Klima- und Nachhaltigkeitseffekte (Task 45).

Die Teilnehmenden bewerteten den Workshop als produktiv und ermutigend. Zukünftige Schritte umfassen die Entwicklung von KPIs zur Messung der Vorteile der Systemintegration, deren Anwendung in Fallstudien und Modellen sowie die Gestaltung von Rahmenbedingungen, die die Mehrwerte flexibler Bioökonomie-Netzwerke honorieren. Dieser Workshop stärkte primär die Zusammenarbeit zwischen den Tasks und schuf eine Grundlage für weiterführende Projekte im aktuellen und kommenden Triennium.

5.5 Workshop zu Unsicherheiten und Risiken in Bioökonomienetzwerken

Dieser Workshop wurde für den IEA Bioenergie Task40 entworfen und während einem physischen Task-Treffen in Utrecht, Niederlande im November 2023 implementiert.

Organisiert von Fabian Schipfer

Die vorgestellten Arbeiten in Kaptiel 5.1-5.4 haben den Versuch gemeinsam, die Vorteile und Gefahren von stärker integrierten Bioökonomiesektoren und Bioraffinerieprozessen abzuschätzen oder relevante Indikatoren zu identifizieren und zu formulieren. Die Arbeiten machten ersichtlich, dass vor allem Kriterien bezüglich Versorgungssicherheit und Resilienz oft unbeachtet bleiben. Um diese Diskussion innerhalb der Task40 zu initiieren, haben wir ein eigenes Workshopformat entworfen, das auf die Expertise der Mitglieder abzielte.

Die zentralen Fragen dieses Workshops waren, welche Unsicherheiten und Risiken sich entlang von Bioenergiewertschöpfungsketten ergeben, und ob ihre Resilienz dadurch gesteigert werden kann, indem Ketten miteinander zu Netzwerken verbunden werden, also der Systemintegrationsgrad dadurch gesteigert wird.

Um einen Überblick zu bekommen, kategorisieren wir Risikoquellen, Arten von Unsicherheiten, und ihren Einfluss auf die Ketten-/Netzwerkglieder Biomasseaufbringung, Vorbehandlungs- und Umwandlungstechnologien, Endnutzer sowie Infrastrukturen inklusive Transport und Speicher.

Identifizierte natürliche Risikoquellenkategorien inkludieren die Atmosphäre (z.B.: Sturm, Hitze), Biosphere (z.B.: invasive Spezies), Hydro/Cryosphäre (z.B.: Starkregen, schmelzender Permafrost) sowie die Geosphere (z.B.: Erdbeben). Die vier anthropogene Risikoquellenkategorien sind die

Technosphäre (z.B.: Unfälle), die Soziosphäre (z.B.: Streiks), Cybersphäre (z.B.: Hackerangriffe) und die Ökonosphäre (z.B.: Preisschwankungen und Finanzkrisen).

Beispiele für jede dieser Risikoquellenkategorien wurden in drei Unsicherheitenarten unterteilt; Unsichere Trends, die oft in strategischen Planungstätigkeiten betrachtet werden, Variabilitäten, die vor allem im flexiblen Betrieb eine Rolle spielen und Extremereignisse, auf das sich klassisches Risiko- und Katastrophenrisikomanagement konzentriert.

Die Kategorien wurden grafisch aufbereitet und die Task40 Expert:innen wurden gebeten in Gruppen ausgewählte Versorgungsketten im Hinblick auf ihre Risiken zu diskutieren. Zusammenfassend können wir folgenden Erkenntnisse ableiten:

1. Risikobetrachtungen spielen zwar in der Projektentwicklung und vor allem in der Finanzierung eine wichtige Rolle, oft liegt der Fokus jedoch zu stark auf Bioenergieanlagen selbst, während diversen Versorgungskettenrisiken zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt wird. In 2021 wurden erste Risikobewertungsprotokolle für landwirtschaftliche Reststoffe, Energiepflanzen und Holzbiomasse in einem Projekt vom Task40 Mitglied Idaho National Laboratory entwickelt, die in Zukunft für eine ganzheitliche Betrachtung genutzt werden sollten. Siehe hier: <https://bioenergylibrary.inl.gov/BSCR/Home.aspx>
2. Systemintegration, bzw. die Verbindung von Versorgungsketten zu Bioökonomienetzwerken wird selbst als eine Resilienz- und Anpassungsmaßnahme verstanden. Moderne Umwandlungstechnologien können unterschiedliche Biomassefraktionen (z.B.: von verschiedenen landwirtschaftlichen Betrieben sowie aus dem Wald) und Reststoffe unterschiedlicher Qualitäten einsetzen um daraus mehr als ein Produkt (z.B.: Strom, Wärme, Biomethan, Dünger) zu generieren. Die „Portfoliodiversifizierung“ steigert die Resilienz.
3. Es erscheint zielführend, unsichere Trends, Variabilitäten und Extremereignisse in der Bioökonomienetzwerkplanung gemeinsam zu betrachten. Diversifizierte Input- und Output-Portfolios, breite Systemgrenzen für unterschiedliche Ressourcenflüsse und flexible Umwandlungstechnologien können nicht nur dafür sorgen, dass die negativen Auswirkungen von Extremereignissen besser abgefedert werden können, sondern sorgen auch dafür, dass Schwankungen, wie sie zum Beispiel durch Photovoltaik und Windkraft im Stromsystem ausgelöst werden, effizienter und robuster ausgeglichen werden können. Die Trendflexilität ergibt sich daraus, dass zum Beispiel Biomassevergasungstechnologien erst für die Bereitstellung von Gebäudewärme genutzt werden und bei sinkender Wärmenachfrage aber mit wenig Aufwand auf Biomethanproduktion umgestellt werden können.
4. Integrierte Systeme und Bioökonomienetzwerke führen allerdings wiederum zu eigenen Risiken, die in ihrer Planung mitgedacht werden müssen. Kaskadische Fehler, das heißt negative Auswirkungen auf ein System, oder auf eine Versorgungskette können sich auf andere Systeme und andere Versorgungsketten ausbreiten.

5.6 Zur Bewertung von Bioökonomiesynergien

Ein gemeinsamer Bewertungsrahmen für die untersuchten Integrationendynamiken birgt in erster Linie die Chance politischen und wirtschaftlichen Entscheidungsträger:innen auf die, oft recht komplexen Vorteile von fortschrittlichen Bioökonomiesektoren und Bioraffinerieprozessen aufmerksam zu machen. Ein gut fundierter Rahmen kann die Herausforderung erleichtern, klar den Mehrwert, zum Beispiel von der Biomethanproduktion aus Abfällen und Nebenprodukten der Waldwirtschaft, oder von kleinen, dezentralen, von Weinbauern gemeinschaftlich verwalteten Bioraffinerien zur innovativen Reststoffverwertung auf den Punkt zu bringen.

Ein Ergebnis der BioSyn Initiative ist der Vorschlag zur Bewertung von Synergieeffekten der Bioökonomie bereits bestehende Bewertungsrahmen aus der Ökologie heranzuziehen. Die Zwischenstaatliche Plattform für Biodiversität und Ökosystemdienstleistungen (IPBES) definiert und kategorisiert die Beiträge der Natur zum menschlichen Wohlergehen. Während es sich hier Dienstleistungen der Biosphäre handelt, ist die Ähnlichkeit ihrer Kategorisierung mit den potentiellen Leistungen von stärker miteinander integrierten technologischen Elementen, Prozessen, und Systemen besonders auffallend. Die, in weiterer Folge beschriebenen Ähnlichkeiten, führen uns zum Schluss, dass fortschrittliche Bioökonomiesektoren und Bioraffinerieprozesse vor allem dazu dienen können, die Beiträge der Natur zum menschlichen Wohlergehen zu imitieren und zu verstärken. Dieser systemische Biomimikry-Ansatz mag in erster Linie sehr abstrakt erscheinen, es lassen sich jedoch klare Erkenntnisse und Handlungsempfehlungen daraus ableiten.

Die Beiträge der Natur zum menschlichen Wohlergehen (Natures contribution to people, IPBES):

Die Beiträge der Natur zum menschlichen Wohlergehen umfassen eine breite Palette von regulierenden, materiellen und nicht-materiellen Leistungen.

1. **Zu den regulierenden Funktionen** zählen die Schaffung und Erhaltung von Lebensräumen, die Bestäubung und Samenverbreitung, die Regulierung der Luftqualität sowie des Klimas durch die Bindung und Freisetzung von Treibhausgasen. Auch die Regulierung der Ozeanversauerung und die Steuerung der Menge und Qualität von Süßwasser gehören dazu, ebenso wie der Schutz und die Bildung von Böden, die Eindämmung von Naturgefahren und extremen Ereignissen sowie die Kontrolle schädlicher Organismen wie Schädlinge und Krankheitserreger.
2. **Materielle Beiträge der Natur** umfassen die Bereitstellung von Energie, etwa durch biobasierte Brennstoffe, Nahrungs- und Futtermittel aus landwirtschaftlichen, aquatischen oder wildlebenden Quellen sowie Materialien und genetische Ressourcen für industrielle, medizinische oder ästhetische Anwendungen.
3. **Nicht-materielle Beiträge** beinhalten inspirierende und lehrreiche Erfahrungen, die durch den Kontakt mit der Natur Wissen, Kreativität und technologische Innovationen fördern können. Zudem bieten natürliche Umgebungen physische und psychologische Vorteile wie Erholung und Heilung und stiften Identität und soziale Bindung. Schließlich trägt die Natur

durch ihre Fähigkeit, zukünftige Optionen für Lebensqualität zu bewahren, wesentlich zur langfristigen Resilienz der Gesellschaft bei.

Die Beiträge der Bioökonomie zum menschlichen Wohlergehen (Bioeconomy contribution to people categorised by the IEA Bioenergy Task40 initiative):

Fortschrittliche Ansätze der Bioökonomie, insbesondere im Bereich der Bioraffinerien, haben das Potenzial, die positiven Beiträge der Natur systematisch zu imitieren und sogar zu verstärken.

1. **Balanzierende Beiträge** können durch technologische Innovationen wie Recyclingprozesse, Abwasserbehandlung und Kohlenstoffbindung weiter gestärkt werden. Besonders hervorzuheben sind hybride Ansätze und spatiotemporale Netzwerke, die eine dynamische Anpassung und Steuerung der Bioökonomiesysteme erlauben. Indem sie natürliche Prozesse nachahmen, tragen fortschrittliche biotechnologische Systeme dazu bei, die Widerstandsfähigkeit gegenüber extremen Umweltbedingungen zu erhöhen und Synergieeffekte zwischen biologischen und technologischen Komponenten zu nutzen.
2. **Materielle Vorteile** können durch die Nutzung von Reststoffen zur Produktion von Bioenergie oder die Bereitstellung von Proteinen, Düngemitteln und Medikamenten erreicht werden.
3. Gleichzeitig schaffen solche Prozesse **nicht-materielle Mehrwerte**, wie die Förderung regionaler Netzwerke, die Diversifizierung von Akteuren oder die Schaffung neuer Identitäten und Lernmöglichkeiten, die eine stärkere Verbindung zur Natur ermöglichen. Durch die flexible und dezentrale Nutzung von Infrastruktur entstehen zusätzliche Optionen, um bestehende Ökosystemleistungen zu ergänzen und zu optimieren.

Aus den BioSyn Ergebnissen und dem Biomimikry-Ansatz für einen gemeinsamen Bewertungsrahmen können wir nun konkrete Handlungsempfehlungen für die IEA Bioenergy TCP Mitglieder, sowie für systemische und prozesstechnische Bioökonomieplaner:innen ableiten:

- Bioökonomiesektoren und Aktivitäten wie Bioraffinerien bieten vielfältige Integrationsmöglichkeiten. Ihre Vorteile können jedoch oft nur mit den komplexen Zusammenhängen erklärt werden, die sich durch die Integration ergeben.
- Der erste Schritt um diese Vorteile zu bewerten, die wir als Synergien bezeichnen, ist es einen Überblick über die, miteinander integrierten Ressourcenflüsse zu schaffen. Dafür müssen unterschiedliche Energieflüsse, Materialflüsse und nicht-greifbare Ressourcen wie Arbeitskraft betrachtet werden.
- Anhand dieser Systemintegrationsbetrachtung müssen Planer:innen nun die Folgen der Systemintegration abschätzen. Mögliche Folgen inkludieren die (1) Schaffung von neuen Ressourcenflüssen sowie (2) die Steigerung der Gesamteffizienz von unterschiedlichen Ressourcenflüssen, (3) nicht-materielle Mehrwerte wie Partizipationsmöglichkeiten für diverse Akteure, und (4) eine verstärkte Resilienz der miteinander integrierten Elemente, Systeme und Prozesse.

- Klassische techno-ökonomische Bewertungen, wie sie auch zur Bewertung von (Energie-)produktionstechnologien zum Einsatz kommen haben oft zu stark limitierte Systemgrenzen, unterteilen viele materielle und nicht-greifbare Ressourcenflüsse in interne und externe Faktoren, oder inkludieren keine expliziten Leistungsindikatoren für die Beständigkeit oder Zuverlässigkeit des Gesamtprozesses und ihrer Teilkomponenten. Klassische techno-ökonomische Bewertungen unterschätzen dadurch die Chancen und Vorteile von fortschrittlichen, teilweise recht komplexen Biökonomieaktivitäten oft kategorisch.
- Die Natur liefert drei Kategorien an Beiträgen zum menschlichen Wohlergehen, die nicht miteinander vergleichbar sind, aber den gleichen Stellenwert haben. Diese Beiträge ergeben sich durch die Evolution bedingte engmaschige Vernetzung von diversen Ökosystemelementen miteinander. Ökosystemdiversität und integrierte Ökosysteme können Bioökonomieplaner:innen als Vorbilder dienen um eine gut durchdachte, anthropogene Systemintegration voranzutreiben. Dafür ist es aber entscheidend, den materiellen Vorteilen, nicht-materiellen Vorteilen und den balanzierenden/regulierenden Beiträgen ebenfalls einen gleichen Stellenwert einzuräumen, auch wenn sich diese Beiträge nicht in einem gemeinsamen Leistungsindikator zusammenbringen lassen.

6 Vernetzung und Ergebnistransfer

Die Zielgruppe der **IEA Bioenergie Task40 BioSyn** Initiative war in erster Linie das Technology Collaboration Programme und der Task selbst. Die Teilergebnisse und die dadurch abgeleiteten Erkenntnisse werden jedoch über diesen Endbericht und über die Kanäle der Projektpartner (Homepages, LinkedIn, Konferenzbeiträge, Projektkooperationen) an weitere Zielgruppen herangetragen.

Die Projektergebnisse zur Systemintegration in der Bioökonomie haben sowohl auf nationaler als auch internationaler Ebene eine immense Bedeutung und vielfältige Anwendungsbereiche. Die gemeinsame Betrachtung der Systemintegrationsaspekte im Rahmen von IEA Bioenergy fördert die Harmonisierung und Weiterentwicklung von Standards, Normen sowie politischen Strategien. National können diese Ergebnisse die Bioökonomiestrategien stärken, indem sie neue Ansätze für die Nutzung von Biomasse und die Integration innovativer Technologien wie biogene Kohlenstoffmanagementsysteme oder flexibler Bioökonomiesysteme entwickeln. Gleichzeitig könnte ein internationales Rahmenwerk für die Systemintegration eine Plattform zur Förderung der Zusammenarbeit zwischen Ländern, insbesondere im Hinblick auf grüne Technologien wie Wasserstoff, flexible Biogassysteme und multifunktionale Landschaftsnutzung bieten.

Die Relevanz der Projektergebnisse wird durch die geplanten Arbeitspunkte der IEA Bioenergy Tasks unterstrichen. Task 32 (Biomasseverbrennung) untersucht hybride Bioenergieheizsysteme, während Task 33 (Biomassevergasung) sich auf die Herstellung von Treibstoffen, Chemikalien, Biokohle und die Netzstabilisierung konzentriert. Task 34 widmet sich der thermochemischen Verflüssigung mit Schwerpunkt auf dezentraler Pyrolyse und der Nutzung von Flüssigkeiten, Gasen und Feststoffen. Task 36 untersucht die Verwertung organischer Abfälle, und Task 37 bewertet die Co-Benefits von Biogassystemen. Weiterhin analysiert Task 39 Synergien zwischen Biokraftstoffen und Power-to-Liquid-Technologien, und Task 40 befasst sich von nun an auch verstärkt mit der Resilienz von Wertschöpfungsketten.

Zusätzlich fokussiert Task 42 auf die soziale Lebenszyklusanalyse und die systemische Perspektive von Bioraffinerien, während Task 43 soziale und sozioökonomische Auswirkungen der Biomassebereitstellung untersucht. Task 45 konzentriert sich auf multifunktionale Landschaften und Biodiversitätseffekte. Task 44 ist direkt mit der Systemintegration verknüpft und untersucht die Integration von Elektrizitäts- und Wärmesektoren, die Produktion von Treibstoffen und Chemikalien sowie systemweite Auswirkungen.

Inter-TCP-Koordinationsgruppen und inter-task Synergien betonen die Bedeutung der Zusammenarbeit über verschiedene Tasks und Programme hinweg. Das Intertask Wasserstoff-Bioenergieprojekt beispielsweise zielt auf Synergien zwischen grünem Wasserstoff und biobasierten Wertschöpfungsketten ab. Das BECCUS-Projekt 2.0 widmet sich dem Management biogenen Kohlenstoffs. Weiters verfolgt seit März 2024 eine Inter-TCP-Koordinationsgruppe die Flexibilität und Systemintegration in mehreren TCPs, um die verschiedenen Ansätze zusammenzuführen.

Durch diese umfassenden Verknüpfungen können die Ergebnisse nicht nur auf nationaler Ebene durch die Entwicklung von Standards und Gesetzesänderungen verwertet werden, sondern auch internationale Zusammenarbeit fördern. Dies ist entscheidend, um nachhaltige Bioökonomiesysteme zu etablieren, die auf Flexibilität, Resilienz und Effizienz aufbauen und die globalen Nachhaltigkeitsziele (SDGs) unterstützen, und dadurch zum menschlichen Wohlergehen beitragen.

7 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

Schlussfolgerungen und Ausblick:

Die, von der österreichischen Delegation geleiteten **Task40 BioSyn-Initiative**, sowie auch die Inter-taskprojekte zu den Themenschwerpunkten Sequenzierung von biogenen Kohlenstoff und zu Wasserstoff-Bioenergie Interaktionen erfüllten eine zentrale Synthesaufgabe für die zahlreichen und diversen Aktivitäten zwischen den IEA Bioenergie TCP Tasks und mit anderen Technology-Collaboration-Programmes. Die dadurch gewonnenen Erkenntnisse und etablierten Kooperationen stellen eine strategische Grundlage für die Ausrichtung und Weiterführung der IEA Bioenergie Tasks dar.

Der Task40 wird von nun an verstärkt auch Versorgungskettenrisiken und den Beitrag von Bioökonomienetzwerken zur Steigerung der Versorgungssicherheit und gesellschaftlichen Resilienz betrachten. Die Systemintegrationsperspektive rückt durch den relativ jungen Task44 in den Vordergrund. Während der Task44 in den ersten sechs Jahren seiner Laufzeit auf die Flexibilitätsbereitstellung fokussierte, werden durch die Übernahme der internationalen Taskleitung durch das Internationale Institut für Angewandte Systemanalyse (IIASA) und Fabian Schipfer nun auch verstärkt den, in BioSyn definierten Integrationsdynamiken Aufmerksamkeit geschenkt. Zahlreiche geplanten Vorhaben der anderen IEA Bioenergie Tasks, TCPs und inter-TCP Koordinationsgruppen adressieren ebenfalls Integrationsaspekte (siehe Kapitel 6). Die Ergebnisse der **Task40 BioSyn-Initiative** könnten dadurch zu einem Grundpfeiler für kohärentere, effizientere, und robustere, internationale erneuerbare Energie-, Bioenergie-, und Bioökonomieentwicklungen werden.

Empfehlungen für die österreichische Teilnahme an den IEA Bioenergy TCPs:

Mit der erstmaligen österreichischen Leitung von drei Tasks, inklusive des Task44 (Flexibility und Systemintegration), Task33 (Biomassevergasung) und Task36 (Biogas) besteht in den nächsten Jahren die Chance für Österreich eine Vorreiterrolle in der Planung und Umsetzung von gut integrierten Bioökonomiestrategien einzunehmen. Um nun jedoch das Momentum bestmöglich zu nutzen, das sich durch die verstärkten Anstrengungen ergeben hat, die sich in den Ergebnissen der Task40 BioSyn-Initiative widerspiegeln, empfehlen wir eine Weiterführung und Ausfinanzierung der österreichischen Task40 Mitgliedschaft sowie eine zusätzliche Unterstützung und Förderung im Falle von internationalen Task-Leitungen.

Empfehlungen für die österreichische FTI-Politik:

Allgemeiner empfehlen wir in der Forschung, Technologieentwicklung, und Innovation verstärkt auf Integrationsaspekte zu achten. Bioökonomie FTI als Systemintegrationstreiber anzuerkennen bedeutet ihren Mehrwert nicht auf Effizienzsteigerungen ausgewählter Ressourcenflüsse zu limitieren. Der Paradigmenwandel würde auch bedeuten, bereits oft angemerkte nicht-materiellen

gesellschaftlichen Folgen die sich vor allem durch die Partizipation von vielfältigen Akteuren entlang von Wertschöpfungsketten und in weit verzweigten Bioökonomienetzwerken ergeben in das Rampenlicht zu rücken. Ebenso wichtig ist jedoch auch die regulierenden Effekte einer komplexen Bioökonomie bezüglich ökologischer, ökonomischer, sozialer, und technischer Zuverlässigkeit und Beständigkeit anzuerkennen und dafür umfassende Bewertungs- und Antizipationsmethoden zu entwickeln. Um diese Balanzierungskapazitäten besser zu verstehen und einzusetzen bedarf es in Zukunft zusätzliche Anstrengungen in der Forschung, Technologieentwicklung und Innovation. Zusammengefasst können wir der FTI-Politik empfehlen zusätzliche Möglichkeiten zu schaffen um „Integrationsfolgenabschätzung“ als ein eigenständiges Fachgebiet in Österreich zu etablieren. Während das österreichische Energiesystem und die österreichische Wirtschaft durch die geographischen und geopolitischen Gegebenheiten von vornherein starke Integrationsgrade aufweisen, werden unsere Klimaziele und nachhaltigen Entwicklungsziele nur durch die Mobilisierung von Synergieeffekten und eine geplante Vermeidung von Zielkonflikten und Integrationsrisiken erreichbar sein. Um intelligente Integrationsstrategien zu entwickeln und ihre Folgen abzuschätzen werden wir ein Heer an interdisziplinären Integrator:innen benötigen. Die bisherigen Investitionen in Bioökonomieexpertise könnten sich dabei bezahlt machen, da es sich bei der Bioökonomieplanung im Grunde um ein Integrationsthema handelt, wie wir in dem vorliegenden Bericht zeigen konnten.

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Aktive Tasks im Triennium 2022-2024</i>	14
---	----

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: <i>Struktur des IEA Netzwerks und TCPs. TCPs ohne österreichische Beteiligung (in 2018) sind in grau dargestellt. Quelle: Projektfabrik Waldhör in (Eggler et al., 2018)</i>	16
Abbildung 1: Illustration von ausgewählten relevanten Aspekten einer integrierten Kreislaufbioökonomie. Quelle: eigene Darstellung.....	20

Literaturverzeichnis

Sie finden alle Literaturquellen direkt im Fließtext.

Abkürzungen

Abk.	Abkürzung
BioSyn	Bioeconomy Synergies Initiative
IEA	Internationale Energieagentur
TCP	Technology Collaboration Programme
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
FTI	Forschungs-/Technologie und Innovations
BECCUS	Sequenzierung, Speicherung und Verwendung von biogener Kohlenstoff
KPI	Key-performance Indicator - Schlüsselkennzahlen

