

IEA Industrielle Energietechnologien und Systeme (IETS) Task 21: Dekarbonisierung industrieller Systeme in einer Kreislaufwirtschaft

Arbeitsperiode 2022 - 2024

Berichte aus Energie- und Umweltforschung 48/2026

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 Forschungsk Kooperation“: Mag.^a Sabine Mitter

Autorinnen und Autoren:

Simon Moser, Anja Gahleitner, Hans Böhm, Magdalena Pflügl, Valerie Rodin, Lukas
Zeilerbauer (Energieinstitut an der JKU)

Markus Lehner, Philipp Wolf-Zöllner (Montanuniversität Leoben – VTU)

Josephin Paetzold (AEE - Institut für Nachhaltige Technologien)

Tobias Pröll (BOKU – Universität für Bodenkultur Wien)

Veronika Wilk (AIT Austrian Institute of Technology GmbH)

Ein Projektbericht gefördert im Rahmen von



Linz, 2026. Stand: Jänner 2025

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	6
2 Abstract	9
3 Ausgangslage.....	12
3.1 Basis Projekt in der IEA-Forschungskooperation	12
3.2 IETS TCP	12
3.3 Motivation.....	13
3.4 Ziele des TCP / Ziele auf TCP-Ebene	13
4 Projektinhalt	15
4.1 Inhalte des IETS Task 21	15
4.1.1 Subtask #2: Circular Carbon	16
4.1.2 Subtask #3: Industrielle Symbiose.....	16
4.1.3 Zusammenspiel Subtask #2 und Subtask #3	16
4.1.4 Adaption über Topics	17
4.2 Beitragende/Länder	18
4.3 Österreichischer Forschungsanteil.....	19
4.4 Verwertung durch Projektbeteiligte	20
5 Ergebnisse	21
5.1 Subtask #2: Circular Carbon	21
5.1.1 Aktivität A: Ökobilanz und Energiesystemmodellierung.....	22
5.1.2 Aktivität B: Integration der Kohlenstoffabscheidung in die Industrie.....	29
5.1.3 Aktivität C: Vernetzung mit anderen IETS-Aufgaben und Aufgaben anderer TCPs	32
5.2 Subtask #3: Industrial Symbiosis	34
5.2.1 Aktivität A: Definition und Abgrenzung.....	35
5.2.2 Aktivität B: Beispiele für bewährte Verfahren	36
5.2.3 Aktivität C: Geschäftsmodelle	37
6 Vernetzung und Ergebnistransfer	39
6.1 Nationale und internationale Ergebnisverwertung	39
7 Empfehlungen	41
7.1 Lessons learned & Empfehlungen	41
7.2 Weiterführung in neuen Subtasks im IETS Task 21	42
7.2.1 Herleitung der neuen Subtasks	42
7.2.2 Struktur der neuen Phase.....	43
Tabellenverzeichnis	45
Abbildungsverzeichnis	46
Literaturverzeichnis.....	47
Abkürzungen	48

1 Kurzfassung

Motivation und Forschungsfrage

Energie- und CO₂-Einsparungen insbesondere direkt durch Zirkularität im Bereich des Kohlenstoffs (CCU), und die Ressourcen- und Energieeffizienz durch Industrielle Symbiose sind zwei wesentliche Lösungsansätze zur Dekarbonisierung der Industrie. Auf Ebene des IEA TCP "Industrial Energy Technologies and Systems" wurde auf Bestreben des Klima- und Energiefonds der Task 21 zuerst im Rahmen einer Definitionsphase etabliert und sodann in einer ersten Periode (Subtask 1) seitens Österreich geleitet. Ende 2021 und damit gegen Ende der ersten Periode wurde deutlich, dass die breit gefächerten Aktivitäten eine Aufteilung in zwei Subtasks zulassen, welche dann fokussierte Aktivitäten enthalten. Für die nun abgeschlossene zweite Periode wurden zwei parallellaufende Subtasks definiert:

Subtask 2: CIRCULAR CARBON

- a. LCA- und Energiesystemmodellierung
- b. Integration der CO₂-Abscheidung (Carbon Capture) in die Industrie
- c. Vernetzung

Subtask 3: INDUSTRIELLE SYMBIOSE

- a. Definition und Abgrenzung
- b. Best Practice Examples
- c. Geschäftsmodelle (Business Models)
- d. Vernetzung

Projekthalte und Zielsetzungen

Österreich stellte den Task Manager des Task 21 und war somit für eine erfolgreiche Abwicklung auf IETS-Ebene verantwortlich. Dabei sollten die Ziele des TCPs erreicht werden, welche auf der Vernetzung der Staaten und den daraus resultierenden neuen Erkenntnissen sowie den damit verbundenen bidirektionalen Disseminationstätigkeiten beruhen.

Die Abarbeitung der Aktivitäten (Aktivitäten sind die den Subtasks untergeordneten Punkte a-c bzw. a-d) erfolgte durch die im Voraus definierte Leitung der Aktivität. Um Aktivitäten genauer zu spezifizieren, wurden auch sogenannte gemeinsame Topics ausgearbeitet, welche spezifischer auf einen Bereich der Aktivität eingingen. Jede Aktivität und jedes Topic definierte eine für sich abgeschlossene methodische Vorgangsweise. Diese ist in den jeweiligen ergebnisbezogenen Kapiteln nachzulesen.

Aus österreichischer Perspektive bestand die zentrale Zielsetzung im Austausch zwischen nationaler und internationaler Ebene. Nationale Ergebnisse sollten disseminiert und sichtbar gemacht werden. Internationale Perspektiven sollten den nationalen Stakeholdern zugänglich gemacht werden.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die LCA-Analyse spielt für die Anerkennung und realistische Betrachtung der CO₂-Vermeidung eine relevante Rolle. Das Paper von Zeilerbauer et al. (2024) analysiert die Begrifflichkeiten rund um Circular Carbon, um im Wording klarer zu sein und so robuste Aussagen generieren zu können. Die BOKU setzte mit den italienischen Partnern die Arbeiten zur LCA und deren Illustration mittels Carbon-Sankey-Diagrammen im Bereich der Zementproduktion fort und konnte mit Ferrario et al. (2024) ebenso eine referierte Publikation im Rahmen des IETS Task 21 durchführen. Im Endbericht wird dies ergänzt durch einen Beitrag des AIT zur Darstellung des Stahlsektors in Carbon-Sankey-Diagrammen.

Als Topics im Bereich Circular Carbon wurde als relevant definiert, Wertschöpfungsketten im Bereich CCU/CCS zu identifizieren und ein Stakeholder Mapping durchzuführen. Die Ergebnisse dazu sind ebenso im Endbericht zu finden. Der Fokus der meisten eingebrachten Projekte liegt auf der Abscheidung und industriellen Systemintegration. Das Stakeholder Mapping wurde als Aktivität in der nachfolgenden Periode vorbereitet.

Das Thema Integration von Carbon Capture in industrielle Prozesse wurde fortgesetzt. Zwei Workshops des IETS Task 21, einer organisiert vom Energieinstitut und einer organisiert von der MU Leoben, beide mit starker österreichischer Beteiligung, behandelten die Thematik CCU/CCS. Für den Folgetask wurden Themen wie CO₂-Reinheiten, Abscheideraten etc. als Schwerpunkt definiert. Der nationale Stakeholder-Workshop und die durchgeführte Umfrage zeigen ein hohes Interesse an CO₂-Management-Themen seitens der hard-to-abate Sektoren und ihrer Interessenvertretungen.

Im Bereich des von Schweden geleiteten Industrial Symbiosis Subtasks gab es eine aktive Beteiligung der österreichischen Gruppe. Aufgrund der Überschneidung der teilnehmenden Gruppen der beiden Subtasks wurden die Task-Meetings gemeinsam organisiert. Das Energieinstitut arbeitete gemeinsam mit RISE und SDU an der Definition bzw. Arbeitsdefinition von Industrial Symbiosis, insbesondere um jene Fälle von Kooperationen auszuschließen, die zufällig entstanden und darauf zu fokussieren, wie diese initiiert werden können. Zusätzlich wurde eine österreichische Umfrage durchgeführt, welche den Stellenwert von Industrial Symbiosis und Best Practices illustriert. Das von der SDU geleitete Topic zu bestehenden Tools zur Unterstützung von Industrial Symbiosis wurde vom Energieinstitut mit dem „Zukunftsbild Zentralraum OÖ“ unterstützt.

Im Bereich der Vernetzung mit anderen TCPs ist zu erwähnen, dass aufgrund dessen, dass der IETS Task 21 als einziger im IETS das Thema Carbon Capture behandelt, der Task und das Task Management die Verbindung des IETS TCP zum IEAGHG TCP darstellt und die Kooperation auch fortsetzen und forcieren soll. Auch wurden IEA Bioenergy, IEA Hydrogen und IEAGHG in den genannten Workshops involviert.

Ausblick

Als Projekterfolg ist auch zu sehen, dass die Fortsetzung des IETS Task 21 thematisch und administrativ gesichert werden konnte. Ab April 2024 wurden im internationalen Konsortium und, aus österreichischer Perspektive, unter Bedachtnahme der Interessen der österreichischen Stakeholder, neue Aktivitäten für nachfolgende Subtasks entwickelt. Dabei kamen Erkenntnisse aus den laufenden Arbeiten zur Anwendung. Der Task wurde vom IETS ExCo im November 2024 in „Net-Zero ...“ umbenannt; der Subtask zu Circular Carbon heißt fortan, thematisch fokussierter, *Carbon Capture in Industry*; und der Subtask zu Industrial Symbiosis fokussiert Methoden zur Unterstützung der Symbiose und heißt fortan *Facilitation of Industrial Symbiosis*. Diese Subtask 4 und 5 wurden bereits vom ExCo genehmigt und sind mit 1. Jänner 2025 gestartet. Die Leitungsposition in Form des Task Managements liegt weiterhin bei Österreich. Die neuen Subtasks laufen bis Ende 2027.

2 Abstract

Motivation and research question

Energy and CO₂ savings, particularly directly through carbon circularity (CCU), and resource and energy efficiency through industrial symbiosis are two key approaches to decarbonising industry. At the level of the IEA TCP "Industrial Energy Technologies and Systems" Task 21 was first established as part of a definition phase at the request of the Climate and Energy Fund and then led by Austria in an initial period (Subtask 1). At the end of 2021 and thus towards the end of the first period, it became clear that the wide range of activities would allow a division into two subtasks, which would then contain focussed activities. Two parallel subtasks were defined for the second period, which have now been completed:

Subtask 2: CIRCULAR CARBON

- a. LCA and energy system modelling
- b. Integration of CO₂ capture (carbon capture) in the industry
- c. Networking

Subtask 3: INDUSTRIAL SYMBIOSIS

- a. Definition and delimitation
- b. Best practice examples
- c. Business models
- d. Networking

Project content and objectives

Austria provided the Task Manager for Task 21 and was therefore responsible for successful implementation at IETS level. The aim was to achieve the TCP's objectives, which are based on the networking of countries and the resulting new findings as well as the associated bidirectional dissemination activities.

The processing of the activities (activities are the points a-c or a-d subordinate to the subtasks) was carried out by the pre-defined leader of the activity. In order to specify activities more precisely, so-called common topics were also developed, which dealt more specifically with one area of the activity. Each activity and each topic defined a self-contained methodological approach. This can be found in the respective result-related chapters.

From an Austrian perspective, the central objective was to promote dialogue between the national and international levels. National results were to be disseminated and made visible. International perspectives were to be made accessible to national stakeholders.

Results and conclusions

The LCA analysis plays a relevant role in the recognition and realistic consideration of CO₂ avoidance. The paper by Zeilerbauer et al. (2024) analyses the terminology around circular carbon in order to be clearer in the wording and thus be able to generate robust statements. Together with its Italian partners, BOKU continued its work on LCA and its illustration using carbon Sankey diagrams in the area of cement production and was also able to publish a peer-reviewed paper as part of IETS Task 21 with Ferrario et al. (2024). In the final report, this is supplemented by an AIT contribution on the visualisation of the steel sector in Carbon-Sankey diagrams.

The relevant topics in the area of circular carbon were defined as identifying value chains in the CCU/CCS sector and carrying out stakeholder mapping. The results can also be found in the final report. The focus of most of the projects submitted is on capture and industrial system integration. Stakeholder mapping was prepared as an activity in the subsequent period.

The topic of integrating carbon capture into industrial processes was continued. Two IETS Task 21 workshops, one organised by the Energy Institute and one by the MU Leoben, both with strong Austrian participation, dealt with the topic of CCU/CCS. For the follow-up task, topics such as CO₂ purity, capture rates, etc. were defined as the main focus. The national stakeholder workshop and the survey carried out show a high level of interest in CO₂ management topics on the part of the hard-to-abate sectors and their interest groups.

The Austrian group was actively involved in the Industrial Symbiosis subtask led by Sweden. Due to the overlap between the participating groups of the two subtasks, the task meetings were organised jointly. The Energy Institute worked together with RISE and SDU on the definition or working definition of Industrial Symbiosis, in particular to exclude those cases of co-operation that arose by chance and to focus on how cooperation can be initiated. In addition, an Austrian survey was conducted to

illustrate the importance of industrial symbiosis and best practices. The topic led by the SDU on existing tools to support industrial symbiosis was supported by the Energy Institute with the "Zukunftsbild Zentralraum OÖ".

In the area of networking with other TCPs, it should be mentioned that due to the fact that IETS Task 21 is the only one in the IETS to deal with the topic of carbon capture, the task and the task management represent the link between the IETS TCP and the IEAGHG TCP and should also continue and promote cooperation. IEA Bioenergy, IEA Hydrogen and IEAGHG were also involved in the aforementioned workshops.

Outlook

The fact that the continuation of IETS Task 21 was secured both thematically and administratively can also be seen as a project success. From April 2024, new activities for subsequent subtasks were developed in the international consortium and, from an Austrian perspective, taking into account the interests of Austrian stakeholders. Findings from the ongoing work were applied. The task was renamed "Net-Zero ..." by the IETS ExCo in November 2024; the subtask on Circular Carbon is now called *Carbon Capture in Industry*, with a more thematic focus; and the subtask on Industrial Symbiosis focuses on methods to support symbiosis and is now called *Facilitation of Industrial Symbiosis*. Subtasks 4 and 5 have already been approved by the ExCo and started on 1 January 2025. The lead position in the form of task management remains with Austria. The new subtasks will run until the end of 2027.

3 Ausgangslage

3.1 Basis Projekt in der IEA-Forschungskooperation

Das österreichische Klimaministerium BMK unterstützt die Beteiligung eines österreichischen Konsortiums durch Ausschreibung einer F&E-Dienstleistung. Das Konsortium um Energieinstitut an der JKU Linz (Leitung), AEE INTEC, AIT Austrian Institute of Technology und MU Leoben VTU sowie BOKU als gleichberechtigter Werkvertragsnehmer haben in der Ausschreibung 2022 den Zuschlag erhalten. Zentrale Aufgabe gemäß Ausschreibung und Antrag ist es, die auf internationaler Ebene definierten Inhalte zu unterstützen und dabei sicherzustellen, dass es zu einem effektiven Austausch zwischen nationaler und internationaler Ebene kommt. Die Laufzeit des Tasks war von Juli 2022 bis Dezember 2024 (2,5 Jahre).

3.2 IETS TCP

Überschlagsmäßig kann gesagt werden, dass der Industriesektor international, in Europa und auch in Österreich etwa ein Drittel des Energieverbrauchs ausmacht und damit einhergehend etwa ein Drittel der CO₂-Emissionen. Kreislaufwirtschaft, u.a. im Bereich des Kohlenstoffs, und die auf Energieeffizienz und die Nutzung von Erneuerbarer Energie ausgelegte Kooperation von Unternehmen, haben hier also großes Potenzial, einen Beitrag zur Senkung zu liefern.

Das im Jahr 2005 gegründete IETS TCP (Industrielle Energietechnologien und Systeme – Technology Collaboration Programmes) fördert den Austausch von Forschung und Industrie und konzentriert sich auf industrieller Energietechnologien und -systemen verschiedener Industriebranchen. Gemeinsam sollen Lösungen für die unterschiedlichen Industrieprozesse aufgezeigt werden. Hauptthemen sind die Integration erneuerbarer Energien, Nutzung industrieller Abwärme, Bioraffinerien,

Trennungsprozesse sowie CO₂-Abscheidung und -Speicherung. Die unter diesem Technologieprogramm laufenden Tasks befassen sich mit unterschiedlichen Themenschwerpunkten.¹

Task 21 zielt darauf ab, das Thema zirkulärer Kohlenstoff aus der Perspektive der Industrie zu untersuchen, d.h. industrielle Energiesysteme im Kontext einer nachhaltigen, fossilfreien Wirtschaft zu beschreiben und dabei die Ziele beider Konzepte, der Kreislaufwirtschaft und eines nachhaltigen Energiesystems, zu erreichen.

3.3 Motivation

Energie- und CO₂-Einsparungen durch Kreislaufwirtschaft, insbesondere direkt durch Zirkularität im Bereich des Kohlenstoffs (CCU), und die Ressourcen- und Energieeffizienz durch Industrielle Symbiose sind zwei wesentliche Lösungsansätze zur Dekarbonisierung der Industrie. Die Handhabung dieser Themenstellungen in der wissenschaftlichen Theorie (Modellierung, Technologieportfolios, ...) ist unterschiedlich und so auch die Handhabung in der politisch-rechtlichen Praxis. Auf Ebene des IEA TCP "Industrial Energy Technologies and Systems" wurde deshalb auf Bestreben des Klima- und Energiefonds, operativ ausgeführt durch das Energieinstitut an der JKU Linz, der Task 21 zuerst im Rahmen einer Definitionsphase etabliert und sodann in einer ersten Periode (Subtask 1) geleitet.

Ende 2021 und damit gegen Ende der ersten Periode wurde deutlich, dass die Aktivitäten des Subtask 1 breit gefächert sind und viele Teilnehmer/Gruppen anziehen. Um die Aktivitäten inhaltlich und methodisch zu fokussieren, kontaktierte die Task-Leitung alle Gruppen/Teilnehmer und fragte nach ihren Interessen und Projekten, um die möglichen Aktivitäten zu identifizieren. Daraus ergab sich eine Liste von Aktivitäten, die bei mindestens drei Teilnehmenden/Gruppen auf Interesse gestoßen sind. Diese potenziellen Teilaufgaben und Aktivitäten wurden verfeinert und als Inhalte der zweiten Periode genehmigt, vgl. Kapitel 4.

3.4 Ziele des TCP / Ziele auf TCP-Ebene

Ziele des TCP / Ziele auf TCP-Ebene

Ziel ist die fortlaufende Anerkennung der Arbeit und damit die gesicherte Etablierung des von Österreich etablierten IETS Task 21, der in seiner ersten Periode (Subtask 1, im Jahr 2021) viele Teilnehmende /Gruppen gewinnen konnte.

¹ IEA Forschungskoooperation (nd): IEA Industrielle energietechnologien und Systeme (IETS TCP): (<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/technologieprogramme/iets/>) [21.01.2025]

Ziele des Task-21 / unsere Ziele auf Task-21-Ebene

Österreich stellte den Task Manager des Task 21 und war somit für eine erfolgreiche Abwicklung auf IETS-Ebene verantwortlich. Dabei sollten die Ziele des TCPs erreicht werden, welche auf der Vernetzung der Staaten und den daraus resultierenden neuen Erkenntnissen sowie den damit verbundenen bidirektionalen Disseminationstätigkeiten beruhen.

4 Projekthinhalt

4.1 Inhalte des IETS Task 21

Task 21 zielt darauf ab, das Thema Dekarbonisierung der Industrie im Rahmen einer Kreislaufwirtschaft aus der Perspektive der Industrie zu untersuchen, d.h. industrielle Energiesysteme im Kontext einer nachhaltigen, fossilfreien Wirtschaft zu beschreiben und dabei die Ziele beider Konzepte, der Kreislaufwirtschaft und eines nachhaltigen Energiesystems, zu erreichen.

Zirkularität, Effizienz und Erneuerbarkeit werden in einer nachhaltigen Wirtschaft zwangsläufig eine wichtige Rolle spielen. Beide zukünftigen Systeme werden in Wissenschaft und Diskurs selten zusammen betrachtet, obwohl sie interagieren oder sich oft widersprechen.

Kohlenstoff ist ein Schlüsselement in beiden Systemen. Für die industrielle Produktion spielt Kohlenstoff in seinen verschiedenen Formen (Kohlenwasserstoffe) als Rohstoff eine wesentliche Rolle, der kaum ersetzt werden kann. Während die Energienutzung nicht in einen geschlossenen Kreislauf eintreten kann, darf fossiler Kohlenstoff bilanziell nicht freigesetzt werden. Folglich soll Kohlenstoff sowohl im Energie- als auch im Produktsektor zirkuliert werden, wobei ein Kohlestoffkreislauf oder eine zirkuläre Kohlenstoffwirtschaft angestrebt wird.

Ein Ziel der im ersten Jahr von IETS Task 21 durchgeführten Arbeiten war es, sogenannte White Spots zu identifizieren, die als Themenstellung in nachfolgende neue/aktualisierte Subtasks aufgenommen werden sollen. Ende 2021 zeigte sich, dass die durchgeführten Aktivitäten breit angelegt sind und viele Teilnehmer/Gruppen anziehen. Um die Aktivitäten inhaltlich und methodisch zu fokussieren, kontaktierte die Taskleitung alle Gruppen/Teilnehmer und fragte nach ihren Interessen und Projekten, die sie mit potenziellen Aktivitäten verbinden können. Es stand ihnen auch frei, eigene Aktivitäten vorzuschlagen.

Um eine konkrete und gemeinschaftliche Ausarbeitung und einen Austausch zu ermöglichen und die Aktivitäten inhaltlich und methodisch einzugrenzen, wurden die nachfolgenden Subtasks und Aktivitäten entwickelt. Übertragen auf die Logik eines Forschungsprojekts ist ein Subtask das Arbeitsprogramm für eine bestimmte Periode im Rahmen des Tasks, er kann auch als Projekt verstanden werden, und die Aktivität ist ein Arbeitspaket.

4.1.1 Subtask #2: Circular Carbon

- Aktivität A: Ökobilanz und Energiesystemmodellierung
- Aktivität B: Integration der Kohlenstoffabscheidung in die Industrie
- Aktivität C: Vernetzung mit anderen IETS-Aufgaben und Aufgaben anderer TCPs

Der Subtask Circular Carbon beschäftigte sich damit, wie CCU in der LCA-Modellierung abgebildet werden kann, und wie Carbon Capture Technologien in unterschiedlichen Industrien effektiv & effizient etabliert werden können. In Österreich wurde eine Umfrage zur Wahrnehmung von CCU durch Industriebetriebe durchgeführt.

4.1.2 Subtask #3: Industrielle Symbiose

- Aktivität A: Definition und Abgrenzung
- Aktivität B: Beispiele für bewährte Verfahren
- Aktivität C: Geschäftsmodelle
- Aktivität D: Vernetzung mit anderen IETS-Aufgaben und Aufgaben anderer TCPs

Der Subtask Industrielle Symbiose grenzte den Begriff wissenschaftlich-theoretisch ab, um für die Etablierung Best Practice Beispiele zu identifizieren und Business Modelle für Industrielle Symbiose abzuleiten. Hierfür wurden österreichische Beispiele analysiert und mit den Ergebnissen anderer Länder des Task 21 verglichen

4.1.3 Zusammenspiel Subtask #2 und Subtask #3

Subtask 2 konzentrierte sich auf die Integration von Technologien und Systemen zur Kohlenstoffabscheidung in der Industrie sowie auf mögliche technische und techno-ökonomische Wege zur Wiederverwendung des Kohlenstoffs durch CCU. Die Zirkularität des Kohlenstoffs impliziert neue Wertschöpfungsketten und die Zusammenarbeit von bisher unabhängigen Akteuren, was die Integration unter dem Dach einer gemeinsamen Aufgabe mit Industrial Symbiosis erklärt.

Industrielle Symbiose ist ein Ansatz, der darauf abzielt, industrielle Prozesse durch Zusammenarbeit über organisatorische und sektorale Grenzen hinweg effizienter und zirkulärer zu gestalten. Mit Sub-

task 3 erhielt die industrielle Symbiose einen zentralen Platz im Tätigkeitsspektrum des IETS. Aufgrund des Schwerpunkts des IETS sind Energie und Treibhausgasemissionen von zentraler Bedeutung, was die Integration unter dem Dach einer gemeinsamen Aufgabe mit Circular Carbon erklärt.

4.1.4 Adaption über Topics

Die Subtask-Anträge sehen im Wesentlichen vor, dass es eine Verfeinerung der Aufgabenstellungen gibt, um eine gemeinsame Bearbeitung zu ermöglichen. Dem wurde nachgekommen, indem Arbeitsschwerpunkte innerhalb der Aktivitäten gesucht wurden. Insgesamt wurden sechs Topics nominiert und diskutiert. In einer Umfrage wurden die interessantesten Themen ausgewählt:

1. **Dekarbonisierung, Defossilisierung oder was?** *Wie soll der Übergang zur Klimaneutralität heißen?* Task 21 heißt „Dekarbonisierung ...“. Insbesondere wenn der Fokus des Tasks auf der Wiederverwendung von Kohlenstoff und auf industriellen Symbiosen liegt, erscheint die Beseitigung von Kohlenstoff im übertragenen Sinne nicht angemessen. Vor- und Nachteile dieser Formulierung und alternativer Bezeichnungen sind im Fokus. Berücksichtigt wird auch das öffentliche Verständnis, die inhaltliche Richtigkeit, um
 - die optimale Bezeichnung für klimabedingte Maßnahmen rund um CCUS zu klären,
 - die optimale Bezeichnung für die Arbeit in Subtask #2 zu klären und
 - möglicherweise auch den Namen des Tasks für Phase 3 zu überdenken.
2. **Österreichische Umfrage zur Haltung der Unternehmen zu CCUS.** Eine Umfrage zur Bedeutung von Energie- und Nachhaltigkeitsthemen in der Diskussion und der Beratung von Kammern, Institutionen und Interessenvertretungen mit den nationalen Unternehmen. Ziel ist das Verdeutlichen von Schwerpunkten, die neu ansiedelnde und bereits ansässige Unternehmen sowie Berater:innen in Gesprächen setzen. Andere Länder könnten mit ihren Vertretungsorganen eine ähnliche Umfrage durchführen und einen Vergleich ermöglichen.
3. **Liste oder Karte der CCUS Stakeholder:** Fokussierung auf die Akteur:innen im Bereich der Kohlenstoffabscheidung. Wer sind Bedarfsträger, Technologieanbieter, politische Entscheidungsträger? Identifikation von CCU-Akteur:innen und Interessen, um Entwicklungstrends abzuleiten.
4. **Gesellschaftliche Wahrnehmung und Akzeptanz der Nutzung und/oder Speicherung von Kohlenstoffabscheidung und -speicherung:** Die Akzeptanz einer Technologie hat mehrere Dimensionen, darunter die Wahrnehmung verschiedener Gruppen wie Anrainer:innen (Not in my backyard Thematik), die breite Öffentlichkeit, industrielle Bedarfsträger, Forscher:innen, aber auch rechtliche Aspekte.
5. **Neue Wertschöpfungsketten im Zusammenhang mit der Kohlenstoffabscheidung, -nutzung und/oder -speicherung:** In den von den Gruppen für IETS Task 21 nominierten Projekten werden verschiedene innovative CCUS-Wertschöpfungsketten beschrieben. Verschiedene Wertschöpfungs-

fungsketten werden zusammengefasst und bestmöglich verallgemeinert. Ein Ziel liegt auch darin, zu ermitteln, wie der Kohlenstoff in diesen Projekten abgeschieden wird. Task 21 befasst sich mit zirkulärem Kohlenstoff und industrieller Symbiose, daher ist dieses Topic eine perfekte Kombination und eine Methode, um Geschäftsmodelle in der Schnittmenge von Circular Carbon und I.U.S. zu identifizieren.

- 6. Mapping der Werkzeuge und Methoden, die die Industrial-Urban-Symbiosis erleichtern, indem Sie potenzielle Kooperationen identifizieren und potenzielle Vorteile hervorheben:** Es haben sich in den Task-Meetings und Projektdiskussionen unterschiedliche Ansätze zur Hervorhebung von I.U.S.-Potenzialen und zur Erleichterung der I.U.S.-Implementierung abgezeichnet. Auf der Grundlage von Literaturrecherchen und dem Wissen der Teilnehmer:innen des Tasks 21 werden I.U.S.-Förderungstools kartiert.

Thema Nr. 5 „Wertschöpfungsketten“ stieß auf das größte Interesse, gefolgt von Thema Nr. 6 „I.U.S.“. Die meisten Forscher:innen im Subtask „Circular Carbon“ interessieren sich auch für Nr. 1 „Bezeichnung“ und haben einen Cluster für dieses Thema eingerichtet.

4.2 Beitragende/Länder

Folgende Länder haben sich im Laufe der Task-Laufzeit am IETS Task 21 beteiligt:

Tabelle 1: Projektbeteiligte Länder und Organisationen im Rahmen der Laufzeit des IEA Task 21 (Periode 2)

Land	Teilnehmer:innen
Österreich	Energieinstitut an der JKU (Task Management, Subtask #2 Management) AIT Austrian Institute of Technology GmbH Montanuniversität Leoben VTU BOKU Wien AEE INTEC
Schweden	RISE (Subtask #3 Management) (WA3RM)
Dänemark	University of Southern Denmark, SDU Technical University of Denmark, DTU GreenLab Skive

Land	Teilnehmer:innen
Deutschland	Karlsruhe Institute of Technology, KIT
Italien	ENEA Politecnico di Torino
Kanada	Université du Québec à Trois-Rivières, UQTR
Niederlande	TU Delft
Norwegen	SINTEF
Portugal	Universidade de Lisboa
USA	University of Michigan / Global CO ₂ Initiative

4.3 Österreichischer Forschungsanteil

Circular Carbon und Industrielle Symbiose haben internationalen, aber spezifischer europäischen und österreichischen Forschungscharakter. Bei Circular Carbon ist die Handhabung des Auffangens und Wiederverwendens für LCA, aber auch für die rechtswissenschaftliche Anwendung unklar, wodurch Investitionsunsicherheiten bei Unternehmen bestehen; auch die technologische Integration verschiedener Carbon Capture Technologien in den Gesamtprozess, deren zusätzlicher Energiebedarf und deren TRL-Status haben Forschungscharakter (d.h. eine nationale Kurzumfrage im Subtask 2 Circular Carbon, AP4). Bei Industrielle Symbiose haben sich die Teilnehmer:innen darauf geeinigt, den Begriff theoretisch zu hinterfragen und zu klären, Good Practice Examples zu analysieren (sowohl implementierte Umsetzungen, also echte bestehende Kooperationen, als auch die Methoden zur deren Forcierung und Initiation) und die hier zugehörigen oder neuen Business Models zu analysieren. Gerade bei diesen beiden Punkten (Praxisbeispiele und Business Models) wird in Österreich durch Umfragen und Stakeholder-Einbindung der nationale Status Quo eruiert (d.h. zwei nationale Umfragen im Subtask 3 Industrielle Symbiose, AP5).

Zentrale österreichische Aufgaben in der zweiten Periode, die zwei Subtasks (#2 Circular Carbon und #3 Industrial Symbiosis) umfasste, war die Leitung des gesamten Task 21, die Leitung des Subtasks Circular Carbon sowie die inhaltlichen Beiträge zu beiden Subtasks. Aus österreichischer Perspektive bestand die zentrale Zielsetzung im Austausch zwischen nationaler und internationaler Ebene. Nationale Ergebnisse sollten disseminiert und sichtbar gemacht werden. Internationale Perspektiven sollten den nationalen Stakeholdern zugänglich gemacht werden.

4.4 Verwertung durch Projektbeteiligte

Alle projektbeteiligten österreichischen Institutionen haben einen Arbeitsschwerpunkt in den, für die Dekarbonisierung des Energiesystems essenziellen, Bereichen zu CCU/CCS oder Industrial-Urban-Symbiosis.

Tabelle 2: Nutzen und Verwertung seitens der österreichischen Projektbeteiligten

Österreichischer Projektpartner	Verwertung
Energieinstitut an der JKU	Sichtbarkeit durch internationales Task Management Publikation Moser et al., 2022 Publikation Zeilerbauer et al, 2024 Session-Management auf der IETS Conference 2023 Host des internationalen Workshops „Widening the Perspective on Circular Carbon“ am 29.2.2024 Vorträge bei Workshops und Konferenzen
Austrian Institute of Technology	Vorträge bei Workshops und Konferenzen
Montanuniversität Leoben VTU	Host des internationalen Workshops „Carbon Capture Integration“ am 12.9.2024 Vorträge bei Workshops und Konferenzen
BOKU Wien	Publikation Ferrario et al, 2024 Vorträge bei Workshops und Konferenzen
AEE INTEC	Direkte Vernetzungsaktivitäten zu anderen IETS Tasks Sichtbarkeit anlässlich der ISEC Konferenz in Graz 2024

5 Ergebnisse

5.1 Subtask #2: Circular Carbon

Der Subtask Circular Carbon beschäftigte sich damit, wie CCU in der LCA- Modellierung abgebildet werden kann, und wie Carbon Capture Technologien in unterschiedlichen Industrien effektiv und effizient etabliert werden können. In Österreich wurde eine Umfrage zur Wahrnehmung von CCU durch Industriebetriebe aus der Sicht von Institutionen durchgeführt.

5.1.1 Aktivität A: Ökobilanz und Energiesystemmodellierung

Aufgrund der unterschiedlichen Auffassungen über die Begriffe Circular Carbon und CCU und auf welche Weise CCU tatsächlich zur Verringerung der Kohlenstoffemissionen beiträgt, wurde diese Fragen im Rahmen dieser Aktivität aus einer Modellierungsperspektive diskutiert. Zu diesem Zweck wurden zusätzlich die technischen/chemischen Wege der Weiterverwendung des abgeschiedenen Kohlenstoffs analysiert.

In der traditionellen Prozess- (LCA, TEA) und Energiesystemmodellierung wird CO₂ als Emission behandelt, d.h. als gasförmiger Abfall, der die Systemgrenzen über die Luft verlässt. Bisher verursacht dies schlechtestenfalls aufgrund der technischen Behandlung und/oder des ETS einige Kosten. Da jedoch die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen nach wie vor hoch ist, sich der Anfall von CO₂ bei einigen Prozessen nicht vermeiden lässt (z.B. Zement) und Kohlenstoff für viele Industriezweige (z.B. Kohlenwasserstoffe) unabdingbar ist, wurden Technologien zur Kohlenstoffabscheidung und -nutzung (CCU) entwickelt. Während diese Technologien eindeutig ein Potenzial zur Abschwächung des Klimawandels bieten, ist der Beitrag von CCU nach wie vor unklar, und es muss geklärt werden, wie die induzierten/vermiedenen Umweltauswirkungen und der wirtschaftliche Wert/die Kosten zwischen den Akteur:innen in der Wertschöpfungskette, die CO₂ produzieren, handeln, speichern oder nutzen, berechnet und aufgeteilt werden können. Im Hinblick auf Umweltfragen ist vor allem die zeitliche (wie lange ist das CO₂ gebunden?) und aus techno-ökonomischer Sicht die geografische (wo und wie wird das CO₂ freigesetzt/gebunden?) Systemgrenze relevant. Auch die Behandlung des CO₂ als Emission, Abfall oder Produkt entscheidet darüber, wer für ETS-Zertifikate zahlen muss (oder sollte) und wer möglicherweise Gutschriften erhält. Dies steht in engem Zusammenhang mit verschiedenen Versorgungsketten, z.B. dem Chemiemarkt, aber auch aus Sicht des Energiesystems (synthetische Kraftstoffe).

Darüber hinaus wirft die Verwendung von fossilen, erneuerbaren und recycelten Ressourcen die Frage auf, ob CO₂ in der Modellierung je nach seiner ursprünglichen Quelle unterschiedlich behandelt werden sollte. Der derzeitige Rechtsrahmen und die Modellierungsstandards beantworten diese Fragen nur unzureichend, zumal die „faire“ Behandlung von CO₂ je nach CCUS-Route sehr unterschiedlich ist. Auch die Perspektiven der verschiedenen Interessengruppen tragen zur Komplexität des Themas bei. Die Wissenschaft ist bestrebt, der Industrie und den politischen Entscheidungsträgern Lösungswege für die Schaffung einer funktionierenden (Kohlenstoff-)Kreislaufwirtschaft (in technischer, ökologischer, wirtschaftlicher und sozialer Hinsicht) aufzuzeigen. Bislang wurde jedoch noch kein wissenschaftlicher Konsens erreicht.

Daher zielte diese Aktivität darauf ab, den Status quo der Modellierungsstandards zu erfassen, um Trends in Bezug auf die Allokation von CO₂ zu identifizieren.

5.1.1.1 Wissenschaftliches Paper “Circular, avoided, or captured carbon (dioxide)? - A taxonomy approach for life cycle assessment and CO₂ accounting”

Das Energieinstitut an der JKU hat sich mit der Thematik der Ökobilanz beschäftigt und ein **wissenschaftliches Paper** mit dem Titel “Circular, avoided, or captured carbon (dioxide)? - A taxonomy approach for life cycle assessment and CO₂ accounting” im Oktober 2024 veröffentlicht.

[Link zum Paper Zeilerbauer et al. \(2024\)](#)

Die Studie von Zeilerbauer et al. (2024) behandelt die Standardisierung von Begriffen im Bereich der Lebenszyklusanalyse (LCA) und der CO₂-Bilanzierung. Sie identifiziert neun zentrale Begriffe, die in wissenschaftlichen Kontexten häufig mehrdeutig verwendet werden. Ziel ist es, die Transparenz und Genauigkeit von LCA-Studien zu erhöhen, insbesondere im Bereich des Kohlenstoffmanagements.

Die Autor:innen führen eine strukturierte Literaturrecherche durch, um bestehende Definitionen in LCA-Standards, ISO-Normen und europäischen Rechtsdokumenten zu analysieren. Wo keine eindeutigen Definitionen vorliegen, entwickeln sie konsensbasierte Vorschläge. Beispielsweise wird „circular carbon“ als Ansatz definiert, Kohlenstoff in geschlossenen Kreisläufen zu halten, sei es durch Recycling, Wiederverwendung oder Kohlenstoffabscheidung und -nutzung (CCU).

Ein zentraler Aspekt der Studie ist die praktische Anwendung der erarbeiteten Definitionen in Fallstudien. Diese illustrieren die Problematik der Multifunktionalität anhand von Recycling-Szenarien, wie dem mechanischen Recycling von Polyethylen-Abfällen. Hierbei wird gezeigt, wie die Wahl der Methodik (z.B. „avoided Burden“ oder „Recycling-Gutschrift“) die Ergebnisse erheblich beeinflussen kann. Die Autor:innen empfehlen klare und einheitliche Systemgrenzen und Methoden, um diese Auswirkungen zu minimieren.

Die Studie weist zudem auf die Wichtigkeit von Präzision in der Sprache hin, da unklare Begriffe wie „avoided carbon“ oft unterschiedlich interpretiert werden. Begriffe wie „negative emission“ sollten beispielsweise nur verwendet werden, wenn eine tatsächliche Entfernung von CO₂ aus der Atmosphäre durch Technologien wie CCS (Carbon Capture and Storage) erfolgt. Für Begriffe wie „avoided CO₂“ wird eine klare Abgrenzung zwischen technologischen Verbesserungen und Gutschriften aus Substitution empfohlen.

Die Autor:innen schließen mit einem Vorschlag für eine Taxonomie, die dazu beitragen soll, Begriffe konsistent zu verwenden und Fehlinterpretationen zu vermeiden. Die Taxonomie umfasst auch Empfehlungen für die Modellierung und Berichterstattung in LCA-Studien, etwa durch die Berücksichtigung der gesamten Lebensdauer von Produkten und Prozessen.

Die Studie bietet einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Verständlichkeit und Vergleichbarkeit von Studien im Bereich der Nachhaltigkeit und des Kohlenstoffmanagements und hebt die Notwendigkeit hervor, interdisziplinäre Ansätze durch präzise Kommunikation zu stärken

5.1.1.2 Umfrage Wahrnehmung zu Industrieller Symbiose und Carbon Management in Österreich

Nationaler Teil von Aktivität A ist die Befragung von Unternehmen zu Carbon Capture. Die Arbeiten rund um Carbon Capture haben in Österreich im Jahr 2023 stark zugenommen, und so gibt es zahlreiche Aktivitäten auf Forschungs- und Policyebene, wie zum Beispiel die Carbon Management Strategie Österreich. Es gibt außerdem bereits Umfragen u.a. von CCCA und dem Projekt CACTUS. Das AIT hat einen Fragebogen erstellt, mit dem das Meinungsbild und die Einstellung österreichischer Unternehmen aller Größenordnungen und Branchen zu CCUS abgefragt werden soll. Um zu verhindern, dass sich dieser Fragebogen mit den zuvor genannten Aktivitäten überschneidet, wurde der Fragebogen gemeinsam mit MU Leoben und Energieinstitut an der JKU überprüft. Schlussendlich wurde die Entscheidung getroffen, die zentralen Fragestellungen in Kombination mit der I.U.S. Umfrage an Interessenvertreter:innen zu richten.

Das Ergebnis der Umfrage ist zum einen ein Ergebnis von Subtask 2 (Aktivität B) aber auch ein Ergebnis von Subtask 3 (Aktivität B).

Die im Juni 2024 durchgeführte Online-Umfrage analysierte die Bedeutung von Energie- und Nachhaltigkeitsthemen in der Diskussion und Beratung von (Mitglieds)Unternehmen und verdeutlicht die Schwerpunkte, die neu ansiedelnde und bereits ansässige Unternehmen sowie Berater:innen der Industriellenvereinigung, Wirtschaftskammer und Standortagenturen in Gesprächen setzen. Zentrale Aspekte sind die Implementierung von CO₂-Management, Technologien zur CO₂-Abscheidung (Carbon Capture) und unternehmensübergreifende Kooperationen im Bereich der Energieversorgung. Die Umfrage richtete sich an Expert:innen aus Institutionen wie der Industriellenvereinigung, den Wirtschaftskammern und den Landes-Standortagenturen. Diese Expert:innen beraten Unternehmen in den Bereichen Energie- und CO₂-Management, sowie bei der Standortsuche oder -entwicklung.

Ziel der Umfrage war es, den aktuellen Stand und die Verbreitung solcher Ansätze in Österreich zu erfassen. Kooperationen, insbesondere in den Bereichen Strom, Wärme und CO₂-Management, können entscheidend zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Reduktion von Emissionen beitragen. Da diese Art der Zusammenarbeit bisher noch relativ selten ist, wurde untersucht, wie regionale Institutionen solche Kooperationen initiieren und unterstützen können. Dies kann unter anderem durch die Identifikation von Potenzialen, die Förderung der Kontaktaufnahme oder die Begleitung des Implementierungsprozesses geschehen. Die Ergebnisse sollen dazu beitragen, bestehende Geschäftsmodelle für Industrielle Symbiosen zu identifizieren und die Zirkularität des Kohlenstoffs in industriellen Prozessen zu stärken. Zudem liefern die gewonnenen Erkenntnisse Grundlagen für die Entwicklung von Best-Practice-Beispielen.

Insgesamt gingen aus den verschiedenen Institutionen 10 Antworten ein. Dies entspricht durchaus den Erwartungen. Die Umfrageergebnisse liefern eine differenzierte Sicht auf die Prioritäten in der institutionellen Unternehmensberatung hinsichtlich Energie und CO₂-Management. Die Ergebnisse

legen nahe, dass eine gezielte Unterstützung und klarere regulatorische Rahmenbedingungen notwendig sind, um diese Technologien zu fördern.

Wesentliche Erkenntnisse:

1. Themenfokus bei Beratungsgesprächen mit neuen und bestehenden Unternehmen

- Neu ansiedelnde Unternehmen fokussieren sich vor allem auf grundlegende Energieaspekte. Bereits ansässige Unternehmen widmen sich einem breiteren Spektrum von Themen, darunter PV-Potentiale und CO₂-Neutralität.
- Eine ausreichende und günstige Stromversorgung ist für neu ansiedelnde sowie für bereits ansässige Unternehmen von hoher Bedeutung und wird auch von den Berater:innen aktiv angesprochen. Fernwärme und Abwärmenutzung ist für beide von geringerer Bedeutung.
- Die Beratenden besprechen verschiedene Energie- und Infrastrukturaspekte in der Regel häufiger mit bereits ansässigen Unternehmen und auch Kooperationen werden häufiger thematisiert.

2. CO₂-Management und Carbon Capture

- Das Interesse an CO₂-Management und Carbon Capture ist vorhanden, besonders bei bereits ansässigen Unternehmen. Jedoch spielen diese Technologien im Vergleich zu anderen Energiefragen eine geringere Rolle.
- Unternehmen betrachten die Implementierung von CO₂-Abscheidetechnologien als sinnvoll, allerdings erst dann, wenn langfristig verbindliche Rahmenbedingungen existieren und die Technologien in der Praxis erfolgreich demonstriert wurden.

3. Tools und Methoden für die Industrielle Symbiose

- Tools zur Unterstützung von Unternehmenskooperationen im Bereich Energie und CO₂-Management werden bislang nur begrenzt verwendet.

4. Kooperationen im Energiebereich

- Kooperationen im Bereich Energieversorgung, insbesondere bei der Stromversorgung und Abwärmenutzung, funktionieren erfolgreich. Im Bereich CO₂-Management und Carbon Capture besteht noch Verbesserungspotential.

Zusammenfassend zeigt die Umfrage, dass Unternehmen in Österreich an nachhaltigen Energielösungen interessiert sind. Neu ansiedelnde Unternehmen sind primär auf die Sicherstellung der Energieversorgung fokussiert, während bereits ansässige Unternehmen eher an nachhaltigen Technologien interessiert sind. Es besteht jedoch noch Zurückhaltung beim Thema CO₂-Management und Carbon Capture. Um die Nutzung von CO₂-Abscheidungstechnologien zu fördern sind klare regulatorische Rahmenbedingungen erforderlich. Der Ausbau von Kooperationen und die Implementierung von unterstützenden Tools könnte zukünftig einen wichtigen Beitrag zur Dekarbonisierung leisten.

5.1.1.3 CCU- und CCS-Wertschöpfungskette

Das Energieinstitut entwickelte ein Canvas, um potenzielle neue CCU- und CCS-Wertschöpfungsketten zu identifizieren und zusammenzufassen. Dieses Framework ermöglichte eine systematische Bewertung der Wertschöpfungskette und eine umfassende Analyse der Potenziale und Herausforderungen von Carbon Capture.

Das Energieinstitut an der JKU leitete das Topic 5, das sich auf Wertschöpfungsketten im Zusammenhang mit CCU und CCS konzentrierte. Ziel war es, gemeinsam potenzielle neue Wertschöpfungsketten in diesen Bereichen zu identifizieren und zusammenzufassen.

5.1.1.3.1 Methode

Um dies zu erreichen, wurde auf der Grundlage von Literaturrecherchen zu CCU/CCS und Business Model Canvas ein maßgeschneidertes Instrument entwickelt, das die Elemente der Wertschöpfungskette und des Geschäftsmodells kombiniert und auf die verschiedenen Projekte der IETS-21-Projektteilnehmer zugeschnitten wurde. Weil es Wertschöpfungsketten und Geschäftsmodelle betrachtet, kann es auch für Kooperationen (Industrielle Symbiose) im CCU/CCS Bereich angewandt werden und ist daher auch diesem Subtask/Kapitel zuzuordnen.

Der Canvas wurde in drei Hauptabschnitte gegliedert:

New value chains with Carbon Capture Utilization and/or Carbon Capture Storage

(Project) short title	(Project) full title incl short description of the approach to utilize/capture the CO ₂	(Project) Status	Finalization/Project end Year	Country	Website (if available)	Funding source
Carbon Capture - VALUE CHAIN						
SOURCE Information on e.g. • Information on whether biogenic or fossil energy sources • Information on e.g. • Burning of hydrocarbons for power and/or heat generation • Industrial processes/production of building materials • Production of (renewable) fuels • Direct air capture • Liquid fuels used for transportation	CAPTURE Information on e.g. • Capture: via pre-combustion, post-combustion, oxy-fuel, other • Technology: sorbent, solvent-based and membrane separation • Economic and cost drivers • Environmental, safety and risk factors • Technology Readiness Level (TRL)	TRANSPORT Information on e.g. • Pipeline, road, ship and rail options • Economic and cost drivers • Environmental, safety and risk factors	UTILIZATION/STORAGE Information on e.g. • Utilization category (Enhanced oil recovery or enhanced gas recovery, Chemical conversion to feedstock materials, direct synthesis of CO ₂ -based polymers, production of building materials) • Storage type • CO ₂ requirements • Potential abatement effect • Technology Readiness Level (TRL) • Economic and cost drivers • Environmental, safety and risk factors			
GENERAL CONDITIONS of the Business Model						
VALUE PROPOSITIONS • Which problem are we helping to solve? • Value delivered to customer? • Value delivered to the common good? • What bundles of products/services are we offering to each customer segment? • Which customer needs are we satisfying? • Characteristics (like newness, performance, customization, "getting the job done", design, brand/status, price, cost reduction, risk reduction, accessibility, convenience/usability)	KEY ACTIVITIES • What key activities are required by the value propositions? • How could research and development (of new processes) help? • What steps are critical in the implementation of CCU facilities? • What monitoring mechanisms are used? • Are there any particular challenges or technical hurdles that could arise?	KEY RESOURCES • What key resources are required by the value propositions? • What key resources are required regarding finance and investment (e.g. research, development and implementation)? • Types of resources (technological, infrastructure, financial, physical, human)	STAKEHOLDERS • Who are the key partners/key suppliers and what is the motivation for the partnership? Are there any key activities? • What strategies are used to ensure effective partnerships and collaborations? • Are you currently looking for new collaborations and how? • What about the public perception?			
CUSTOMER SEGMENTS • For whom are we creating value? • Who are/should be the most important customers? • What is the type of market in the business environment and their characteristics (mass, niche, segmented, diversified, multi-sided platform)? • What is the market potential/expected demand?	REVENUE STREAMS • For what value are the customers willing to pay? • For what do they currently pay? • Are there license fees for the use of CCU technologies? • Is the process creditable for CO ₂ certification? • Is funding and government support available?	COST STRUCTURE for research/development/implementation/monitoring/maintenance/operating costs • What are the most important cost factors? • Which key resources are the most expensive ones? • Which key activities are the most expensive ones? • How dependent are the production costs on volatile resources and markets?	ADDITIONAL INFORMATION			
MAIN SUCCESSFACTORS • • •		MAIN BARRIERS TO OVERCOME • • •				

Abbildung 1: Canvas Wertschöpfungskette CCU/CCS

- **Projektübersicht:** In diesem Abschnitt werden die wesentlichen Fakten über das Projekt festgehalten.
- **Analyse der Wertschöpfungskette:** Dieser Teil ist das Kernstück des Canvas und widmet sich der Darstellung der Wertschöpfungskette selbst. Die Wertschöpfungskette für Carbon Capture wurde strukturiert und in vier Schlüsselbereiche unterteilt: Quelle, Abscheidung, Transport und Nutzung/Speicherung. Für jeden dieser Bereiche wurden spezifische Fragen gestellt. Dieser Rahmen half dabei, jeden Teil der Wertschöpfungskette systematisch zu bewerten und eine umfassende Analyse des Potenzials und der Herausforderungen im Zusammenhang mit der Kohlenstoffabscheidung zu gewährleisten.
- **Generelle Rahmenbedingungen des Geschäftsmodells:** Hier befasst sich das Canvas mit dem breiteren Kontext, in dem die Wertschöpfungskette agiert, einschließlich der allgemeinen Bedingungen, Erfolgsfaktoren und Haupthindernisse.

Der Canvas wurde so detailliert wie möglich ausgefüllt, um einen umfassenden Überblick über das gesamte Spektrum der CCU- und CCS-Wertschöpfungsketten zu geben. Insgesamt gingen Antworten zu 13 verschiedenen CCU-Projekten für das Canvas ein. Entsprechend der unterschiedlichen Rollen der antwortenden Teilnehmer:innen in den einzelnen Projekten decken die Antworten verschiedene Perspektiven ab, was es nicht immer ermöglicht, spezifische Entscheidungen hinsichtlich der zugrunde liegenden (oder vorgeschlagenen) Geschäftsmodelle darzustellen und nachzuvollziehen. Darüber hinaus decken die einzelnen Projekte nicht notwendigerweise die gesamte CCU-Wertschöpfungskette ab.

5.1.1.3.2 Wesentliche Erkenntnisse

Quelle: Hinsichtlich der Kohlenstoffquellen, die für die CCU-Pfade in den verschiedenen Wertschöpfungsketten in Betracht gezogen werden, wurde festgestellt, dass entweder Abgas-CO₂ aus schwer abbaubaren Industrien als relevante Quelle angesehen wird, oder biogener Kohlenstoff, der hauptsächlich aus der Fermentation von Biomasse stammt. CO₂ aus Verbrennungsprozessen, insbesondere im Energiesektor, ist weniger relevant, und wenn, dann konzentriert es sich auf die Verbrennung von Biomasse oder Abfall, d.h. auf (teilweise) biogenen Kohlenstoff. Direkte Luftabscheidung (DAC) wird als Option betrachtet, jedoch nur, wenn die Entwicklung einer solchen Technologie im Mittelpunkt des beschriebenen Projekts stand, und wird weniger als primäre Quelle angesehen. Im Allgemeinen zeigten die Antworten, dass die Herkunft des für den CCU-Prozess verwendeten CO₂ weniger im Fokus steht. Die generelle Verfügbarkeit geeigneter Kohlenstoffströme wird als eine Voraussetzung angesehen, was bedeutet, dass das Vorhandensein einer geeigneten Infrastruktur und eines Marktes von gewisser Relevanz für den Aufbau geeigneter CCU-Wertschöpfungsketten ist.

Abscheidung: Dieser Prozess steht häufig im Mittelpunkt aktueller (Forschungs-)Projekte. Die Verfügbarkeit entsprechender Märkte wird für die künftige Implementierung vorausgesetzt. Es werden fast ausschließlich Abscheidungsmethoden für Post-Combustion-Gasströme aus Industrie- oder Energieerzeugungsprozessen eingesetzt. Darüber hinaus werden meist etablierte Abscheidungstechnologien mit entsprechend hoher technologischer Bereitschaft (TRL) eingesetzt, wie Aminwäsche, Membranabscheidung oder Druckwechselabsorption (PSA). Andere Technologien, einschließlich DAC, werden als Technologien mit niedrigem TRL betrachtet und sind daher eher Gegenstand individueller Entwicklung als dass sie als wesentliche Technologie für den Aufbau von CCU-Wertschöpfungsketten angesehen werden. Abgesehen von der zweckgebundenen Nutzung wird die Abscheidung von CO₂ aus dem Ausgangsstrom oft nicht als notwendig erachtet. Dies wird insbesondere bei biogenen Quellen gesehen. Entweder enthält das CO₂-reiche Abgas bereits Anteile des CCU-Endprodukts, wie z.B. Biogas, das unter Verwendung von Wasserstoff zu synthetischem Erdgas (SNG) weiterverarbeitet wird, ohne den Methangehalt vorher abzutrennen. Oder Biomasse wird in ein Synthesegas umgewandelt, das direkt für den endgültigen Syntheseprozess weiterverwendet werden kann. Dies hängt jedoch weitgehend von der wirtschaftlichen Optimierung sowie von der Kompatibilität der Synthesegaszusammensetzung mit dem/den Zielprodukt(en) ab.

Transport: Die Antworten zeigten, dass im Rahmen der gegebenen Forschungsprojekte das abgeschiedene bzw. benötigte CO₂ hauptsächlich in Gasflaschen per LKW transportiert wird, soweit der Transport notwendig ist. Für zukünftige Anwendungsszenarien ziehen die meisten Befragten jedoch die Implementierung von eigenen Pipelines in Betracht. Darüber hinaus stehen insbesondere bei der Nutzung biogener Kohlenstoffquellen Konversionsprozesse in unmittelbarer Nähe zur CO₂-Erzeugung (abgetrennt oder als Teil eines Synthesegases) im Vordergrund, was folglich nur kurze Transportwege per LKW oder lokale Rohrleitungen erfordert.

Nutzung- und Speicherung: Hinsichtlich der Nutzung des CO₂ zeigten die Antworten eine relativ deutliche Präferenz für Kraftstoffe und Basischemikalien. Insbesondere die Erzeugung von Methan

und Methanol wird als vielversprechender Weg für CCU angesehen. Auch die Versorgung des Luftfahrtsektors mit nachhaltigen Flugtreibstoffen (SAF) aus abgeschiedenem Kohlenstoff wird als gangbarer Weg angesehen. Neben einigen einzelnen Grundchemikalien wie Aceton scheint die direkte Produktion von höherwertigen Chemikalien, wie z.B. Polymeren, weniger im Fokus der aktuellen Wertschöpfungsketten zu stehen, was wahrscheinlich mit den noch niedrigen TRLs der entsprechenden Prozesse zusammenhängt. Für alle genannten Verwertungswege wird jedoch Wasserstoff als zusätzlicher Rohstoff benötigt, wenn er nicht als Teil der verwendeten Synthesegase bereitgestellt wird, was auch als ein wichtiger Kostentreiber für den gesamten CCU-Prozess angesehen wird, der die Kosten des Endprodukts bestimmt. Die dauerhafte Speicherung von CO₂ im Sinne von CCS wurde in keinem der 13 Projekte in den Antworten als untersuchter Weg erwähnt. Auch wenn dies aufgrund der Tatsache, dass die meisten Antworten von österreichischen Partnern kamen, wo CCS derzeit nicht erlaubt ist, etwas verzerrt sein mag, zeigt dies doch, dass die Nutzung von CO₂ als Rohstoff einen bedeutenden Stellenwert in den aktuellen Aktivitäten zur Klimaneutralität hat. Darüber hinaus wird die Speicherung von CO₂ nach wie vor als Zwischenspeicherung betrachtet, um die Zeiten von Emission und Nutzung zu entkoppeln.

Zusammenfassend kann man sagen, dass:

- Die derzeitigen Projekte gehen davon aus, dass eine angemessene CO₂-Versorgung für künftige großtechnische Anwendungen vorhanden ist. Daher müssen im Vorfeld geeignete Märkte organisiert werden.
- Ausgehend von den jüngsten Projekten steht die Produktion von Basischemikalien und Kraftstoffen im Mittelpunkt der aktuellen Forschung. Daher wird der größte Wert von CCU in der chemischen Industrie und im Verkehrssektor gesehen.
- CO₂ wird derzeit meist vor Ort verwertet oder in kleinen Mengen in Flaschen transportiert. Für eine großtechnische Nutzung muss im Vorfeld eine entsprechende Infrastruktur geplant und realisiert werden.
- Neben der schwer abbaubaren Industrie steht CO₂ aus biogenen Quellen, vor allem in höheren Konzentrationen, im Fokus. Daher sollte neben dem Ausbau dieser Quellen auch die CO₂-Abscheidung in Betracht gezogen werden.

5.1.2 Aktivität B: Integration der Kohlenstoffabscheidung in die Industrie

Diese Aktivität beschäftigt sich mit der technologischen und techno-ökonomischen Untersuchung der Herkunft der Abgasströme und ihrer Qualität, CO₂-Abtrennungstechnologien, Optionen für die Zwischenspeicherung und unmittelbare Herstellung des Kohlenwasserstoffs vor Ort, Integration dieser Systeme in das industrielle System (nach Branchen), z. B. die Auswirkungen auf den Energieverbrauch, die Nutzbarkeit der Abwärme usw., resultierende Konzentrationen/Reinheiten.

5.1.2.1 Sankey-Diagramm Zementindustrie: wissenschaftliches Paper Ferrari, Pröll, Stendardo, Lanzini (2024) „Cost and environmentally efficient design of an absorption-based post-combustion carbon capture unit for industry applications“

Die Kohlenstoff-Sankey-Diagramme für bestimmte Industriezweige werden von der italienischen Beteiligung in Kooperation mit der BOKU entwickelt. In Subtask 1 wurde ein Sankey für die Zementindustrie eingeleitet. Dies wurde im Subtask 2 verfeinert und das **wissenschaftliches Paper** „Cost and environmentally efficient design of an absorption-based post-combustion carbon capture unit for industry applications“ veröffentlicht.

[Link zum Paper Ferrario et al. \(2024\).](#)

Die Publikation wendet Sankey Diagramme an, um Kohlenstoff-Flüsse darzustellen. Dies erfolgt exemplarisch für die Zementindustrie, für welche unterschiedliche Möglichkeiten der CO₂ Reduktion bzw des Auffangens von CO₂ (CCUS) analysiert werden.

Technologien zur Kohlenstoffabscheidung und -speicherung wie Carbon Capture Utilization and Storage (CCUS) stellen vielversprechende Lösungen zur Verringerung der CO₂-Emissionen aus der Schwerindustrie und von hard-to-abate Industrien dar. Die Zementindustrie verursacht etwa 6-7 % der weltweiten anthropogenen CO₂-Emissionen. Eine starke Reduzierung der Emissionen in der Zementindustrie zu erreichen, ist eine besondere Herausforderung. Etwa 70 % des Zements besteht aus Klinker, der in speziellen Öfen hergestellt wird. Außerdem stammen mehr als 60 % der CO₂-Emissionen eines modernen Klinkerofens aus der Kalzinierung der Rohstoffe und nur etwa 40 % aus Verbrennungsprozessen. Aus diesem Grund wird die Einführung von CCUS-Technologien als notwendig erachtet, um die Emissionen in der Zementindustrie nahezu auf null zu reduzieren. Die Kohlenstoffabscheidung nach der Verbrennung (Post Combustion Carbon Capture, PCCC) wird als besonders vielversprechend angesehen, da sie in bestehenden Anlagen nachgerüstet werden kann und sowohl die Prozess- als auch die Verbrennungsemissionen reduzieren kann, was zu einer Verringerung der CO₂-Emissionen am Schornstein der Anlage um etwa 80-90 % führt. Allerdings reicht die alleinige Integration der PCCC nicht aus, um eine Netto-Null-Emissionsbilanz zu erreichen, vor allem wenn die CO₂-Emissionen nach einem Lebenszyklusansatz berücksichtigt werden, d. h. sowohl die Emissionen am Schornstein der Anlage als auch die mit dem Produktionsprozess verbundenen vorgelagerten Emissionen (Brennstoff- und Rohstoffgewinnung und -transport, Stromerzeugung und andere).

In der wissenschaftlichen Arbeit wird der Entwurf eines kosteneffizienten Zementwerks untersucht, das mit einem auf Absorption basierenden Post-Combustion Carbon Capture (PCCC)-System unter Verwendung einer wässrigen Wasser-Amin-Lösung integriert ist. Es wird ein Systemlayout zur Minimierung der CO₂-Emissionen und des Energieverbrauchs vorgestellt, und die Dimensionierung von Absorber und Stripper der PCCC-Einheit wird optimiert, um die Kosten für vermiedenes CO₂ zu senken. Die ökologischen und wirtschaftlichen Leistungen des Prozesses werden unter verschiedenen Bedingungen bewertet. Die CO₂-Emissionen können um 66-87 % gesenkt werden, je nach dem für die Dampferzeugung verwendeten Brennstoff und der Analysegrenze. Der Primärenergieverbrauch

pro vermiedenem CO₂ liegt bei 5,5-7,3 MJ/kgCO₂, und die Kosten pro vermiedenem CO₂ reichen von 56-57 €/tCO₂. Bei einer Gate-to-Gate Betrachtung, einschließlich CO₂-Transport und -Speicherung, werden die Kosten je nach Szenario auf 74,5-124 €/tCO₂ geschätzt.

5.1.2.2 Sankey-Diagramm Stahlindustrie - erste Ausarbeitung

Zusätzlich wurden die Arbeiten an einem Sankey für die Stahlindustrie begonnen. Die Ausarbeitungen und ersten Ergebnisse basieren auf dem Paper von *Daniela D. Leibetseder, Philipp Moser, Christoph Zauner, Michael Schwaiger, Renewable fuels for decarbonizing industrial furnaces: A techno-economic assessment of different Power-to-X concepts, INFUB-14, Algarve, Portugal, 2 - 5 April 2024*.

In der Veröffentlichung wird ein Hubbalkenofen mit einer durchschnittlichen Leistung von 15 MW betrachtet, der Brammen auf 1200-1300°C für weitere Verarbeitungsschritte aufwärmt. Analysiert wird die Verwendung von synthetischem Erdgas, das durch Elektrolyse erzeugt wird, und von abgeschiedenem CO₂ aus dem Rauchgas des Ofens.

5.1.2.3 Internationaler Workshop zu 'Carbon Capture Integration'

Am 12. September 2024 fand ein, von der Montanuniversität Leoben organisiertes, internationales Webinar zum Thema „Carbon Capture in der Industrie“, mit mehr als 50 Teilnehmer:innen, statt. Sieben Vertreter:innen aus Industrie und Forschungseinrichtungen präsentierten vor den internationalen Expert:innen und gaben einen aktuellen Einblick in den Stand der Technik bei den Technologien zur Kohlenstoffabscheidung in Bezug auf den Technology Readiness Level (TRL), den Energie- und Kostenbedarf sowie über die derzeitigen Einschränkungen bei der Realisierung anstehender Projekte. Darüber hinaus wurden die Aspekte der Nutzung und/oder Speicherung des abgeschiedenen CO₂ sowie regulatorische Fragen behandelt. Insgesamt wurden bei diesem Networking-Event die folgenden drei Themen behandelt:

Thema I: Kohlenstoffabscheidung im Industriesektor

- Best-Practice-Beispiele
- Langjährige Erfahrungen
- Fallstudien und Vergleich von Technologien
- Unterschiede zwischen verschiedenen Industriesektoren (z. B. Zement, Eisen und Stahl, Abfallverbrennung)
- synergetische Integration der Kohlenstoffabscheidung in die bestehende industrielle Infrastruktur

Thema II: Zukunftskonzepte

- neu entstehende Technologien
- In Vorbereitung befindliche Entwicklungsprojekte
- Energiebedarf und CAPEX/OPEX - aktuelle Zahlen und ihre künftige Entwicklung

Thema III: Kohlenstoffabscheidung aus verschiedenen Perspektiven

- Sichtweise des Anlagenherstellers vs. Betreiber
- CO₂-Qualität für Transport und Nutzung
- Anforderungen an Regelungen (Zertifikate, Handel, Überwachung, rechtliche Verantwortung)

Detaillierte Informationen zum Workshop sind im Final Subtask #2 Report (Moser, Simon et al. 2024) Kapitel 4.5 zu finden.

5.1.3 Aktivität C: Vernetzung mit anderen IETS-Aufgaben und Aufgaben anderer TCPs

Das Thema des IETS Task 21 ist breit gefächert und überschneidet sich zum Teil mit der Arbeit in vielen anderen IETS-Tasks und anderen IEA TCPs. Um den Austausch von Informationen zu ermöglichen und eine Möglichkeit zu schaffen, gemeinsame Aktionen wie z. B. Workshops abzuhalten, die von gegenseitigem Nutzen sind, beschäftigt sich diese Aktivität damit.

5.1.3.1 Internationaler Networking Workshop

Am Donnerstag, den 29. Februar 2024, nahmen mehr als 40 Expert:innen online am IETS Task 21 Subtask 2 Circular Carbon Workshop mit dem Thema „Widening the perspective on Circular Carbon: from potentials to practical experience“ teil. Der Workshop war ein sehr erfolgreicher Auftakt zu den Netzwerkaktivitäten, da er auf großes Interesse stieß.

Es war der erste Workshop der Initiative und wurde als internationale Netzwerkveranstaltung konzipiert, um dem Publikum und den zwölf Referenten einen umfassenden Überblick über verschiedene Aktivitäten der Circular Carbon-Landschaft zu geben und mögliche Kooperationen zu identifizieren. Der Workshop wurde von der Leitung von Subtask 2, dem Energieinstitut an der JKU, in Zusammenarbeit mit dem C-CED Projekt und den Querschnittsaktivitäten von IEAGHG, IEA Hydrogen und IEA Bioenergy organisiert.

Die Präsentationen erläuterten die im Projekt/Task/TCP geleistete Arbeit, den Schwerpunkt, die wichtigsten identifizierten Hindernisse für CCU, die Erfolgsfaktoren und Anforderungen für die zukünftige Umsetzung und die potenzielle Interaktion der Ergebnisse mit anderen Tasks/TCPs/Projekten.

Generell kann festgehalten werden, dass es kaum widersprüchliche Ergebnisse gab und es einige thematische Überschneidungen gibt, die über die verschiedenen Tasks oder Projekte hinausgehen, was die Vernetzung umso wichtiger macht. Die verschiedenen Präsentationen und Projekte haben gezeigt, dass folgende Schlussfolgerung gezogen werden kann:

- Die begrenzte Verfügbarkeit von „leicht zu erfassenden“ CO₂-Quellen deutet auf eine potenzielle Einschränkung bei der vollständigen Ausschöpfung der Kapazität von CCU hin.
- Darüber hinaus stellt die aktuelle Regulierungs- und Marktlandschaft Hürden dar, die CCU wirtschaftlich unrentabel machen.
- Es besteht jedoch Optimismus hinsichtlich des technologischen Fortschritts, mit der Erwartung, dass bedeutende Erkenntnisse im Laufe der Zeit zu erheblichen Senkungen der CCU-Produktkosten führen werden.
- Zusammengefasst verdeutlichen diese Punkte die Komplexität, die mit der Ausweitung von CCU-Initiativen verbunden ist, und betonen gleichzeitig die Bedeutung von Innovation und regulatorischer Anpassung für die Ausschöpfung des vollen Potenzials.

Detaillierte Informationen zum Workshop sind im Final Subtask #2 Report (Moser, Simon et al. 2024) Kapitel 4.9 zu finden.

5.1.3.2 Sonstiges

5.1.3.2.1 Webinar „Carbon Capture in der Industrie“

Am 12. September 2024 fand ein, von der Montanuniversität Leoben organisiertes, internationales Webinar zum Thema „Carbon Capture in der Industrie“, mit mehr als 50 Teilnehmer:innen, statt (siehe Kapitel 5.1.2.3).

5.1.3.2.2 IETS Konferenz, Session zu Task 21

Auf der **IETS Konferenz** die von 9.-11. Mai 2023 in Göteborg stattfand, wurde neben anderen IETS Tasks auch dem IETS Task 21 eine eigene Session am 10. Mai gewidmet. Insgesamt nahmen 109 Expert:innen an der Konferenz teil. Moderiert wurde die Session „Carbon Circularity and Industrial Symbiosis“ von Valerie Rodin. Neben einer Vorstellung der beiden Subtask und der Aktivitäten wurden zwei Key Note-Vorträge und zwei Elevator Pitches zu den Themen der Tasks präsentiert. Diese umfassten:

- Der Umgang mit zirkulärem Kohlenstoff in Theorie und/oder Politik
- Ein Geschäfts- und Finanzierungsmodell für industrielle Symbiose
- das Konzept des „zirkulären Kohlenstoffs“ als Mitigation-Strategie für die petrochemische Industrie
- Kohlenstoffbilanzen von Schwerindustrien und ihre potenziellen CCUS-Ansätze auf der Grundlage eines Cradle-to-Gate-Ansatzes

Die Conference Proceedings sowie die Präsentationen wurden auf der IEA-Industry Homepage veröffentlicht ([Link zu den Conference Proceedings](#)).

5.1.3.2.3 ISEC Konferenz 2024, Graz

Am 10. und 11. April 2024 nahmen die Mitglieder des IETS Task 21 an der 3. International Sustainable Energy Conference (ISEC) in Graz teil. Drei unserer Kolleginnen und Kollegen – Andrea Ramirez, Veronika Wilk und Hans Böhm – übernahmen dabei eine aktive Rolle und hielten eine Präsentation. Grace Zheng Ma und Elin Wallin präsentierten ein Poster.

5.1.3.2.4 Bilateraler Austausch

Auch gab es einige **bilaterale Austausche**, wie zB. mit dem IEAGHG TCP. In einer Web-Konferenz wurde sich über das Thema Kohlenstoffabscheidung, -nutzung und -speicherung (CCUS) ausgetauscht. Weiterer Austausch mit anderen TCPs oder anderen Initiativen (z.B. Mission Innovation) fand mit dem IEA Bioenergy, dem IEA Hydrogen und der Globale CO₂-Initiative statt.

5.1.3.2.5 Editorial „Circular carbon systems and processes“

Im Rahmen des Subtasks 2 wurde ein **Paper/Editorial zum Thema „Circular carbon systems and processes“** im Magazin Frontiers in Sustainability am 3. November 2022 veröffentlicht.

Moser, S., Stendardo, S., Luisetto, I., Lanzini, A., & Oboirien, B. (2022). Circular carbon systems and processes. Frontiers in Sustainability, 3, 1060723. [Link zum Paper Moser et al. \(2022\)](#).

Kreislaufwirtschaft und nachhaltige Energiesysteme sind zentrale Elemente eines nachhaltigen Wirtschaftssystems. Allerdings entwickeln sich diese Konzepte parallel und oft getrennt, weshalb das Konzept des "Circular Carbon" die Schnittstellen zwischen beiden analysiert und koordiniert. Im Kontext des Pariser Abkommens und des Green Deals der EU wird die Relevanz von Circular Carbon deutlich, um CO₂-Emissionen durch zirkuläre Technologien zu reduzieren. Eine einheitliche Definition des Begriffs fehlt noch, da verschiedene Experten unterschiedliche Ansätze vertreten. Die Bioökonomie interagiert dabei mit dem Kohlenstoffkreislauf, etwa durch Kohlenstoffspeicherung und -nutzung. Fortschritte in der Dekarbonisierung erfordern neue Technologien und deren Evaluierung für die Marktakzeptanz. Zahlreiche wissenschaftliche Beiträge zu diesem Thema, wie zur zirkulären Bioökonomie und innovativen Prozessen zur CO₂-Nutzung, zeigen vielversprechende Ansätze.

5.2 Subtask #3: Industrial Symbiosis

Die industrielle Symbiose unterstützt die Klimaneutralität der Industrie durch die Wiederverwendung ehemaliger industrieller Abfallströme und führt dadurch zu Energieeinsparungen in der Produktion. Durch die Zusammenarbeit werden Emissionen vermieden. Das Recycling oder die Wiederverwendung von Endprodukten steht nicht im Fokus dieses Subtasks.

Der Subtask Industrielle Symbiose grenzte den Begriff wissenschaftlich-theoretisch ab, um für die Etablierung Best Practice Beispiele zu identifizieren und Business Modelle für Industrielle Symbiose abzuleiten. Hierfür wurden österreichische Beispiele analysiert und mit den Ergebnissen anderer Länder des Task 21 verglichen.

5.2.1 Aktivität A: Definition und Abgrenzung

Von industrieller Symbiose gibt es eine Vielzahl an Definitionen, einige davon sind auch etabliert. Dennoch war es in den Analysen der IETS Task 21 im Jahr 2021 nicht möglich, sie allein anhand der Definitionen klar von anderen, üblichen Geschäftsaktivitäten von Industrieunternehmen abzugrenzen. Ziel dieser Aktivität war es, die industrielle Symbiose als Konzept zu diskutieren, die Definitionen zu klassifizieren und eine (aus den oben genannten Gründen einschränkende) Arbeitsdefinition für diese Unteraufgabe festzulegen.

5.2.1.1 Delimitation des Begriffs Industrial Symbiosis

Ziel dieser Aktivität war die Abgrenzung des Begriffs Industrielle Symbiose für die Arbeiten im IETS-21. Erstens geht es darum, zufällig entstandene Kooperationen zwischen Unternehmen davon abzugrenzen, dass es eigentlich im Forschungsinteresse ist, wie man diese Kooperation extern initiieren bzw. ermöglichen kann. Zweitens gibt es im IETS TCP selbst viele Aktivitäten, welche das Thema Industrielle Symbiose mitbetrachten; mit diesen soll es zu keiner Vermischung kommen; insbesondere Überschneidungen mit IETS-11 Biorefineries (dort wurde ein Subtask zu Industriellen Symbiose in/zwischen Bioraffinerien geplant) und dem IETS-15 Waste Heat (dort wird eine Aktivität zu Industrieller Symbiose im Bereich industrieller Abwärme durchgeführt) sollten vermieden werden. Der auf IETS genehmigte Subtask-Text definierte daher bereits eine Vielzahl von Ausnahmen und Grenzen.

Das Energieinstitut war Aktivitätsleiter im Bereich der Definition/Delimitation von Industrieller Symbiose. Daher wurde in Abstimmung mit dem Subtask-Leiter RISE eine Definition erarbeitet, und auch die University of Southern Denmark SDU als wichtiger Partner im Subtask 3 wurde beratend hinzugezogen. Es wurde, aufbauend auf den in Subtask 1 (Vorperiode) analysierten Definitionen aus der Literatur die Problemstellungen abgeleitet. Auf Basis einer Empfehlung wurde sodann eine gemeinsame, konsolidierte Abgrenzung des Begriffs vorgenommen. Es wurde als Nichtziel erkannt, eine neue Definition von Industrial Symbiosis (als eine weitere zu den über 100 identifizierten) zu entwickeln. Im Wesentlichen baut die Definition auf den Abgrenzungen des Subtask Proposals auf.

Tatsächlich wirkt die erforderliche Delimitation laut Task Proposals stark einschränkend. Arbeiten außerhalb des Bereichs CO₂/CCUS waren kaum möglich. So wurde dies taskintern und mit dem ExCo diskutiert und man entschied sich, für die weitere Task-Arbeit in den Folgeperioden (Subtask 5) auf diese Einschränkungen zu verzichten. Die Arbeit soll themenoffen sein, sodass man von anderen Bereichen lernen kann. Konkret soll es auch um die Facilitation gehen, also keine zufällig oder "normal" entstandenen B2B Kooperationen mehr beinhalten.

5.2.1.2 Abstimmung mit anderen Projekten über das Verständnis von Industrial Symbiosis

Im Subtask erfolgte eine Abstimmung mit anderen Projekten, insbesondere mit einem durch den Subtask-Lead RISE initiierten Workshop im November 2024. Ziel der Abstimmung aus Sicht des ö. Konsortiums war vor allem, die Nutzung des Begriffs Industrial Symbiosis nochmals zu prüfen, insbesondere wie sehr der Begriff mit den teils sehr restriktiven Definitionen der vorangegangenen Literaturrecherche zusammenpasst. Es stellte sich heraus, dass der Begriff quasi für jede Art von die Umweltsituation verbessernden Industrie B2B Kooperationen verwendet wird. Insbesondere die (hohen) Ansprüche der etabliertesten Definitionen, wie dass mindestens drei Güter zwischen zwei Firmen gehandelt werden müssen, werden klar nicht erfüllt. In der Praxis sind die theoretischen Ansprüche also nicht gegeben.

5.2.2 Aktivität B: Beispiele für bewährte Verfahren

Industrielle Symbiose ist ein Konzept, für das praktische Beispiele verfügbar sind, aber es gibt auch viele laufende Entwicklungen. Beispiele praktischer Arbeit aus bestehenden Symbiose-Netzwerken, die in den Rahmen dieser Unteraufgabe passen, z.B. in Bezug auf den Facilitation-Prozess, Bewertungen, technische Lösungen, werden identifiziert, zusammengefasst und diskutiert. Aktuelle neue Entwicklungen in der Forschung wurden identifiziert, zusammengefasst und diskutiert, z.B. im Hinblick darauf, wie relevante Forschung in gute Praxis umgesetzt werden kann. Die Aktivität dient dazu Best Practice Beispiele für die Entwicklung und den Betrieb von auf Nachhaltigkeit ausgerichteten industriellen Symbiose-Netzwerken aufzuzeigen.

5.2.2.1 Umfrage in Österreich zum Vorhandensein und der Wahrnehmung von Industrial Symbiosis

Für Österreich galt es, eine Umfrage auszuarbeiten. Nachdem sich die Umfrage im Bereich Carbon Capture / Circular Carbon als komplex erwies, wegen parallellaufenden Umfragen in anderen österreichischen Projekten, wurde entschieden, die Umfragen zusammenzulegen. Insbesondere geschah dies auch deshalb, weil die Ansprechpartner:innen die gleichen sein sollten, nämlich institutionelle Vertreter:innen von Industrie bzw. Branchen: um vorhandene Umfragen nicht zu wiederholen und die Stakeholder nicht zu vergraulen, wurden die IV und ihre Landesstellen, die WKO und deren Landesstellen, sowie die Standortagenturen der Länder interviewt. Insgesamt bestand also ein maximales Potenzial von ca. 30 Antworten. Es wurde aufgefordert, die Umfrage intern an die für Energie/CO₂ zuständigen Personen weiterzuleiten, was auch erreicht wurde und womit ein Überblick über die aktuelle Situation zu industrieller Symbiose gewonnen werden konnte. 10 Personen aus dem Kreis der obengenannten Institutionen beantworteten die Umfrage.

Es ist festzustellen, dass eine Forcierung von Energie- oder CO₂-bezogenen (v.a. lokalen) Kooperationen im Wesentlichen kein zentrales Thema in Österreich ist. Wenige Best Practice Beispiele

konnten genannt werden. Ein konkretes Beispiel für Industrielle Symbiose war der INKOBÄ (Interkommunale Betriebsansiedelung) Gewerbepark Bad Leonfelden. Mit diesem wurde ein Interview geführt und die Möglichkeiten und bisherigen Überlegungen/Umsetzungen (Abwärmenutzung, Wärmeversorgung, Strom-Energiegemeinschaft) diskutiert.

Zusätzliche Informationen befinden sich auch im Kapitel 5.1.1.2.

5.2.2.2 Definition von Topics für den Subtasks in der Rolle des Task Management

Bereits in den Subtask Proposals wurde angemerkt, dass eine weitere Spezifizierung der Arbeitsinhalte und Arbeitsmethoden erforderlich sein wird. Die geplanten Aktivitäten und Subaktivitäten skizzierten einen Möglichkeitenraum, den es auf Basis der während der Task-Laufzeit involvierten internationalen Partner und deren Projekte zu befüllen galt. Dementsprechend wurden gemeinsam für den Themenbereich Circular Carbon und Industrial Symbiosis spezifische Topics definiert, welche von mehreren Partnern als interessant erkannt wurden. Damit sollte eine weitere Bearbeitung gesichert werden. Insgesamt wurden 6 Topics definiert, 3 davon wurden mittels Abstimmung gewählt und sollten bearbeitet werden.

Das dem Subtask 3 zuzuordnende Topic behandelt die "Industrial Symbiosis Facilitation Tools": "Industrielle Symbiose ist ein Konzept, das die effiziente Nutzung von Ressourcen, Abfallreduzierung und die Zusammenarbeit zwischen Industrien fördert, um eine nachhaltigere und zirkulärere Wirtschaft zu schaffen. Es können verschiedene Tools eingesetzt werden, um das Bewusstsein zu schärfen und das Potenzial für die Umsetzung aufzuzeigen. Die verschiedenen Tools, die zur Sensibilisierung und zum Aufzeigen des Potenzials für industrielle Symbiose zur Verfügung stehen, befassen sich unter anderem mit Aspekten wie Ressourcenkartierung, LCA/Footprinting, Stakeholder-Engagement, politischer Unterstützung und Wirtschaftlichkeitsrechnung. Durch den Einsatz dieser Tools können Unternehmen die Vorteile der Zusammenarbeit besser verstehen und fundierte Entscheidungen für den Übergang zu nachhaltigeren und zirkuläreren industriellen Praktiken treffen." Diese dem Topic zugrundeliegende Synopsis wurde ebenso vom Energieinstitut ausgearbeitet, die weitere Behandlung des Topics erfolgte durch die SDU.

Beiträge zu den Ausarbeitungen der SDU waren u.a. das Zukunftsbild Zentralraum OÖ.

5.2.3 Aktivität C: Geschäftsmodelle

Industrielle Symbiosen stehen vor verschiedenen Hürden und Herausforderungen, darunter technische, wirtschaftliche und regulatorische Barrieren. Um ihre Umsetzung zu fördern, ist es entscheidend, erfolgversprechende Geschäftsmodelle aufzuzeigen, die wirtschaftliche Vorteile und nachhaltige Effekte verdeutlichen. Ein strukturiertes Risikomanagement kann zudem helfen, Unsicherheiten

zu minimieren und Vertrauen bei Unternehmen zu schaffen. Durch die Darstellung praxisnaher Lösungen und erfolgreicher Fallbeispiele lassen sich Anreize setzen, um die Akzeptanz und Umsetzung industrieller Symbiosen in der Praxis zu steigern.

5.2.3.1 Industrial Symbiosis als Form der CCU/CCS Value Chains

Generell wurden seitens Energieinstitut die Ideen der Topics zu Kurzbeschreibungen ausformuliert. Subtask-übergreifend wurde auch das Thema der CCUS Value Chains bearbeitet und aufbereitet (Energieinstitut und AIT mit Inputs der weiteren Partner). Dies wurde aufgrund des Fokus und dem Subtask-Lead des Energieinstituts im Subtask 2 ebendiesem zugeordnet.

6 Vernetzung und Ergebnistransfer

6.1 Nationale und internationale Ergebnisverwertung

Im Rahmen der Phase 2 war auch die Veröffentlichung wissenschaftlicher Erkenntnisse und die breite Dissemination von Forschungsergebnissen essenziell.

Dafür wurden **drei wissenschaftlichen Paper** ausgearbeitet und veröffentlicht:

- Die LCA-Analyse spielt für die Anerkennung und realistische Betrachtung der CO₂-Vermeidung eine relevante Rolle. Das Paper von Zeilerbauer et al. (2024) analysiert die Begrifflichkeiten rund um Circular Carbon, um im Wording klarer zu sein und so robuste Aussagen generieren zu können.
Lukas Zeilerbauer, Valerie Rodin, Stefan Puschnigg, Hannah Aster, Stella Danner, Argjenta Veseli, Christian Paulik, and Jörg Fischer: "Circular, avoided, or captured carbon (dioxide)?-A taxonomy approach for life cycle assessment and CO₂ accounting." Carbon Management 15.1 (2024). <https://doi.org/10.1080/17583004.2024.2408285>
- Die BOKU setzte mit den italienischen Partnern die Arbeiten zur LCA und deren Illustration mittels Carbon-Sankey-Diagrammen im Bereich der Zementproduktion fort und konnte mit Ferrario et al. (2024) ebenso eine referierte Publikation im Rahmen des IETS Task 21 durchführen. Ferrario, Daniele, Pröll, Tobias, Stendardo, Stefano, & Lanzini, Andrea: Cost and environmentally efficient design of an absorption-based post-combustion carbon capture unit for industry applications. Chemical Engineering Journal, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.152900>
- Moser, Simon, Stendardo, Stefano, Luisetto, Igor, Lanzini, Andrea, & Oboirien, Bilainu: Circular carbon systems and processes. Frontiers in Sustainability, 3, 2022. <https://doi.org/10.3389/frsus.2022.1060723>

Auf der **IETS Konferenz** die von 9.-11. Mai 2023 in Göteborg stattfand, wurde neben anderen IETS Tasks auch dem IETS Task 21 eine eigene Session am 10. Mai gewidmet. Am 10. und 11. April 2024 nahmen die Mitglieder des IETS Task 21 an der **ISEC Konferenz 2024** in Graz teil. Drei unserer Kolleginnen und Kollegen übernahmen dabei eine aktive Rolle und hielten eine Präsentation, zwei Kolleginnen präsentierten ein Poster.

Das Thema Integration von Carbon Capture in industrielle Prozesse wurde fortgesetzt. **Zwei Workshops** des IETS Task 21, mit starker österreichischer Beteiligung, behandelten die Thematik CCU/CCS. Zu den teilnehmenden Institutionen zählten unter anderem das Energieinstitut an der JKU, die Montanuniversität Leoben, K1-MET GmbH, Andritz AG und die RAG, die mit Fachvorträgen und Diskussionsbeiträgen maßgeblich zur inhaltlichen Gestaltung der Veranstaltungen beitrugen. Andere österreichische Projektpartner und weitere Stakeholder nahmen an der Veranstaltung teil.

Österreichische Industriebetriebe sowie relevante Interessenvertretungen der österreichischen Industrie wurden aktiv in das Projekt eingebunden. Dies erfolgte durch die Einholung von Letters of Intent (LOI), die gezielte Teilnahme an Workshops sowie durch direkte bilaterale Gespräche mit den jeweiligen Akteur:innen. Im Zuge des Projekts wurde auch eine Umfrage sowie Interviews mit relevanten Stakeholdern durchgeführt. Das Thema „Stakeholder-Mapping“ wurde als wichtiger Aspekt für österreichische Stakeholder identifiziert und in das Arbeitsprogramm des Projekts aufgenommen. Die Projektmitarbeiter:innen, insbesondere Univ.-Prof. Tobias Pröll und Univ.-Prof. Markus Lehner, waren aktiv bei zahlreichen Veranstaltungen zum Thema CCUS in Österreich vertreten. Durch Vorträge und Teilnahme an Diskussionsrunden konnten wertvolle Impulse für das Projekt gewonnen werden. Die nationale Ergebnisverwertung spielt eine zentrale Rolle bei der breiten Umsetzung von Forschungsergebnissen in der Industrie und der politischen Entscheidungsfindung.

Die in 7.2 dargestellten Subtasks-Proposals sind ebenfalls als Ergebnis anzusehen.

7 Empfehlungen

7.1 Lessons learned & Empfehlungen

Zeilerbauer (2024) weisen auf den Begriff Dekarbonisierung im Namen des Task hin. Dekarbonisierung bedeutet, dass (fossiles) CO₂ nicht in die Atmosphäre entlassen wird. Der Begriff steht aber oftmals in der Kritik, weil er mehrdeutig ist und eben auch den Verzicht auf Kohlenstoff in Prozessen oder allgemein auf den Verzicht auf kohlenstoffhaltige Energieträger (wie Bioenergie) implizieren kann. Auf Basis dieses Hinweises hat das IETS ExCo die Bezeichnung des Tasks 21 auf Net-Zero geändert.

Zeilerbauer et al. (2024) empfehlen des Weiteren, die betrachteten Themen so konkret wie möglich zu bezeichnen und begrifflich abzugrenzen. Circular Carbon wurde als nicht scharf abgrenzbare Begrifflichkeit identifiziert. In der Praxis des Tasks 21 bzw. des Subtasks 2 war auch ersichtlich, dass sich dadurch zB Überschneidungen zum biologischen Kohlenstoffkreislauf ergaben. Auch Recycling zum frühen Auffangen und Im-Kreislauf-führen des Kohlenstoffs wurde oftmals mit-impliziert. Im Fokus wäre die CO₂-Abscheidung in der Industrie, ggf. in Kraftwerken. Der Nachfolger des Subtasks 2, Subtask 4, wurde daher hinsichtlich des Wordings möglichst zielgenau mit „Carbon Dioxide Capture in Industry“ benannt.

CO₂-Abscheidung und CO₂-Management spielen in ansässigen Industrien eine Rolle. Innovative Beispielprojekte sind vorhanden. Zum Zeitpunkt der Umfrage bestand aber die Ansicht, dass Zurückhaltung bei der großskaligen Implementierung herrsche, solange nicht klare regulatorische Rahmenbedingungen gegeben sind.

Die Analyse der Wertschöpfungsketten zeigt, dass die derzeitigen Projekte davon ausgehen, dass eine angemessene CO₂-Versorgung für künftige großtechnische Anwendungen vorhanden ist. Daher müssen im Vorfeld geeignete Märkte organisiert werden und Infrastrukturen vorhanden sein. Ausgehend von den jüngsten Projekten steht die Produktion von Basischemikalien und Kraftstoffen im Mittelpunkt der aktuellen Forschung. Daher wird der größte Wert von CCU in der chemischen Industrie und im Verkehrssektor gesehen.

Ferrario et al. (2024) zeigen, dass selbst bei Carbon Capture relevante CO₂-Mengen in die Atmosphäre entweichen werden. Um Net-Zero zu erreichen, sind andere Maßnahmen hinzuzuziehen. Die Analyse der Wertschöpfungsketten zeigt, dass neben den hard-to-abate Industrien CO₂ aus biogenen Quellen, vor allem in höheren Konzentrationen, im Fokus steht bzw. stehen soll. Daher sollte neben dem Ausbau der biogenen Quellen auch die CO₂-Abscheidung bei diesen stärker in Betracht gezogen werden. Die internationalen Workshops ergeben auch, dass CCS Geschäftsmodelle an Langfristigkeit orientiert sind: CCUS aus Bioenergie (BECCUS) wird als sicherer eingestuft als fossile industrielle Quellen.

Bei der Industriellen Symbiose ist es theoretisch, auf Basis ihrer identifizierten Definitionen, nicht klar, ob auch zufällig als bilaterale Kooperation entstandene Effizienzsteigerungen oder Ressourceneinsparungen als solche gelten (sollen). Die Task-Arbeit leitet her, dass der Forschungs- und gesellschaftliche Fokus darauf liegen sollte, Industrielle Symbiose zu unterstützen. Der Nachfolger des Subtasks 3, Subtask 5, wurde daher hinsichtlich des Wordings möglichst zielgenau mit „Facilitation of Industrial Symbiosis“ benannt.

Industrielle Symbiose ist manchmal/selten Gesprächsthema bei bestehenden Unternehmen, bei neu ansiedelnden Unternehmen quasi gar nicht, ergibt die durchgeführte Umfrage. Manchmal werden Tools zur Findung von Kooperationen eingesetzt, einmal wird sogar auf ein in der Umfrage nicht näher spezifiziertes KI-Tool verwiesen. Grundsätzlich kann der Themenstellung Industrial-Urban-Symbiosis insgesamt aber deutliches Ausbaupotenzial attestiert werden – als Thema in Beratungen und hinsichtlich der eingesetzten Tools, um diese zu identifizieren, zu initiieren und zu implementieren.

7.2 Weiterführung in neuen Subtasks im IETS Task 21

In der Periode 2 wurden mit "Circular Carbon" und "Industrial Symbiosis" 2 Subtasks parallel durchgeführt. Im Zuge dieser Subtasks wurden seit Beginn des Q2/2024 neue, gemeinsame Arbeitsschwerpunkte für die nächste Periode gesucht.

7.2.1 Herleitung der neuen Subtasks

Basierend auf ersten Diskussionen und einem moderierten Brainstorming während des Task-Meetings in Graz im April 2024 wurde eine mögliche Struktur der Subtasks und Aktivitäten erarbeitet, die Inhalte, Methoden und Verantwortlichkeiten für Periode 3 umfasste. Anschließend erfolgte eine Feedbackrunde, auf deren Grundlage ein zweiter Entwurf erstellt wurde. Ein Subtask-Entwurf wurde erarbeitet und in einem ExCo-Meeting diskutiert. Der finale Entwurf wurde an das IETS Sekretariat und zeitgerecht die ExCo-Mitglieder übermittelt. Nach sorgfältiger Prüfung erhielten wir die endgültige ExCo-Genehmigung für die Fortsetzung. Die Erkenntnisse aus den österreichischen

Aktivitäten im Subtask 2 führten auch zum Vorschlag der Namensänderung vom IETS Task 21 zu „Net-zero [statt Decarbonization] industrial processes in a circular economy framework“.

Für die neuen Subtasks wurde:

- (i) eruiert, wo aktuell besonders erfolgreich gearbeitet wird, um diese Tätigkeiten fortsetzen zu können,
- (ii) wo neue Themengebiete mit Überschneidungen (d.h. Kooperationsmöglichkeiten) zwischen den internationalen Teilnehmer:innen bestehen.

Die Struktur der neuen Phase ist zu einem hohen Anteil aus österreichischen Anliegen/Interessen und Kompetenzen hervorgegangen. Die österreichischen Stakeholder sind an unserem Task interessiert, die neuen Task-Inhalte sind von den Interessen der österreichischen Stakeholder übernommen und vom österreichischen Team in die neue Struktur eingebracht worden.

7.2.2 Struktur der neuen Phase

Subtask 4: Carbon Dioxide Capture in Industry (EI-JKU)

- ☐ Activity 4.A: Comparison of national perspectives on CCUS (EI-JKU)
 - Subactivity 4.A.1: CO2 management strategies
 - Subactivity 4.A.2: National legal provisions on carbon dioxide capture, utilization, and storage
- ☐ Activity 4.B CCU Value Chains and Stakeholder Database (AIT)
- ☐ Activity 4.C Integration of carbon dioxide capture in industry (MU Leoben)
- Activity 4.D Networking with other IETS Tasks and other TCPs' Tasks

Subtask 5: Facilitation of Industrial Symbiosis (RISE)

- ☐ Activity 5.A Portfolio of Industrial Symbiosis Facilitation tools (SDU)
- ☐ Activity 5.B Broadening the perspectives on Implementing technologies for Industrial Symbiosis (RISE)
- Activity 5.C Networking with other IETS Tasks and other TCPs' Tasks (RISE)

Dabei wird auf die im Task-21 eingeführten Systemgrenzen geachtet, um die Arbeit zu fokussieren und klare Trennlinien zu anderen IEA-TCPs oder IETS-Tasks zu ziehen. Dadurch entsteht aber auch ein USP für Task-21.

Carbon Capture und Industrielle Symbiose haben internationalen, aber spezifischer europäischen und österreichischen Forschungscharakter.

Für Österreich ist die Activity 4.B. CCU Value Chains and Stakeholder Database im Fokus. Der Lead ist dem AIT zugeteilt, aber hier unterstützen v.a. Energieinstitut an der JKU Linz und Biobase GmbH

besonders. Es geht um die Erhebung der neuen Wertschöpfungsketten und den zugehörigen Stakeholdern. Diese werden gesammelt, was mittels Templates und/oder Umfragen passiert. Die österreichischen Ergebnisse können mit den Ergebnissen anderer Länder verglichen werden.

Ebenso hochrelevant ist die Activity 5.A Portfolio of Industrial Symbiosis Facilitation tools. Diese wurde im Subtask 3 seitens des Energieinstituts initiiert und unter Leitung der SDU/DK weiterbearbeitet. Für Österreich ist es relevant, wie Industrielle Symbiose konkret unterstützt werden kann, durch Bewusstseinsbildung, Kontakthanbahnung, Erstellungsbegleitung etc. durch "facilitating third parties", zB IV, WKO oder Standortagenturen (vgl. LOI-Gebende).

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Projektbeteiligte Länder und Organisationen im Rahmen der Laufzeit des IEA Task 21 (Periode 2)	18
Tabelle 2: Nutzen und Verwertung seitens der österreichischen Projektbeteiligten	20

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Canvas Wertschöpfungskette CCU/CCS	27
---	----

Literaturverzeichnis

Fornell, Rickard et al. Final Subtask #3 Report. IEA IETS Task XXI Decarbonizing Industrial Systems in a circular economy framework. 2024.

Ferrario, Daniele, Pröll, Tobias, Stendardo, Stefano, & Lanzini, Andrea: Cost and environmentally efficient design of an absorption-based post-combustion carbon capture unit for industry applications. Chemical Engineering Journal, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.152900>

Moser, Simon, Stendardo, Stefano, Luisetto, Igor, Lanzini, Andrea, & Oboirien, Bilainu: Circular carbon systems and processes. Frontiers in Sustainability, 3, 2022. <https://doi.org/10.3389/frsus.2022.1060723>

Moser, Simon et al. Final Subtask #2 Report. IEA IETS Task XXI Decarbonizing Industrial Systems in a circular economy framework. 2024.

Leibetseder, Daniela Doris ; Moser, Philipp ; Zauner, Christoph et al.: Renewable fuels for decarbonizing industrial furnaces: A techno-economic assesement of different Power-to-X concepts. Proceedings of the 14th European Conference on Industrial Furnaces and Boilers (INFUB-14). editor / S. Caillat ; N. Fricker ; A. Reis ; O. Senneca ; V. Scherer. Algarve, Portugal, 2024.

Zeilerbauer, Lukas, Valerie Rodin, Stefan Puschnigg, Hannah Aster, Stella Danner, Argjenta Veseli, Christian Paulik, and Jörg Fischer: "Circular, avoided, or captured carbon (dioxide)?-A taxonomy approach for life cycle assessment and CO₂ accounting." Carbon Management 15.1 (2024). <https://doi.org/10.1080/17583004.2024.2408285>

<https://iea-industry.org/news/now-available-proceedings-from-the-conference/> (abgerufen am 23. Jänner 2025; 16:18)

<https://iea-industry.org/app/uploads/Conference-proceedings-final.pdf> (abgerufen am 23. Jänner 2025; 16:18)

<https://iea-industry.org/news/available-for-download-energy-future-in-industry-presentations/> (abgerufen am 23. Jänner 2025; 16:18)

<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/technologieprogramme/iets/> (abgerufen am 21. Jänner 2025; 16:00]

Abkürzungen

AIT	Austrian Institute of Technology
AP	Arbeitspaket
BMK	Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie
CaPEX	Capital Expenditure/Investitionsausgaben
C-CED	Carbon – Cycle Economy Demonstration
CCS	Carbon Capture and Storage
CCU	Carbon Capture and Utilization
CHP	Combined Heat and Power
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DAC	Direct Air Capture/Direkte Luftabscheidung
DHC	District Heating and Cooling
EBC	Energy in Buildings and Communities
EI-JKU	Energieinstitut an der JKU
ExCo	Executive Committee
F&E	Forschung und Entwicklung
FFG	Forschungsförderungsgesellschaft
FTI	Forschung, Technologie und Innovation
I.U.S.	Industrial and urban Symbiosis
IEA	Internationale Energieagentur
IEAGHG	IEA-Forschungs- und Entwicklungsprogramm für Treibhausgase
IETS	Industrial Energy-Related Technologies and Systems
INKOBA	Interkommunale Betriebsansiedelung
IS	Industrielle Symbiose
ISEC	International Sustainable Energy Conference
IV	Industriellenvereinigung

JKU	Johannes Kepler Universität
LCA	Lebenszyklusanalyse
LKW	Lastkraftwagen
LOI	Letter of Interest
NEFI	New Energy for Industry
NIMBY	Not in my Backyard
OÖ	Oberösterreich
OpEx	Operational Expenditure/Betriebskosten
PCCC	Post Combustion Carbon Capture
PSA	Pressure Swing Adsorption/Druckwechsel-Absorption
RISE	Research Institutes of Sweden
SAF	Sustainable Aviation Fuel
SDU	Southern Denmark University
SHC	Solar Heating and Cooling
SNG	Synthetic natural gas
TCP	Technology Collaboration Programme
TEA	Techno-Economic Assessment
TRL	Technology Readiness Levels/Technologie-Reifegrad
WKO	Wirtschaftskammer Österreich

