

IEA Industrielle Energietechnologien und Systeme (IETS) Task 19: Elektrifizierung der Industrie

Arbeitsperiode 2019 - 2022

S. Moser, G. Drexler-Schmid,
J. Reiter, T. Kienberger

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

7/2024

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

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

Verantwortung und Koordination:

Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien

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

Autorinnen und Autoren:

Simon Moser, Hans Böhm, Johannes Lindorfer, Andreas Zauner (Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz), Gerwin Drexler-Schmid, Sophie Knöttner, Rene Hofmann (AIT Austrian Institute of Technology), Thomas Kienberger, Christoph Sejkora, Johannes Dock, Maedeh Rahnama (Montanuniversität Leoben – Lehrstuhl für Energieverbundtechnik), Jana Reiter, Jürgen Fluch, Christoph Brunner, Wolfgang Gruber-Glatzl (AEE INTEC)

Wien, 2023

IEA Industrielle Energietechnologien und Systeme (IETS) Task 19: Elektrifizierung der Industrie

Arbeitsperiode 2019 - 2022

Simon Moser, Hans Böhm, Johannes Lindorfer, Andreas Zauner
Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz

Gerwin Drexler-Schmid, Sophie Knöttner, Rene Hofmann
AIT Austrian Institute of Technology

Thomas Kienberger, Christoph Sejkora, Johannes Dock, Maedeh Rahnama
Montanuniversität Leoben – Lehrstuhl für Energieverbundtechnik

Jana Reiter, Jürgen Fluch, Christoph Brunner, Wolfgang Gruber-Glatzl
AEE INTEC

Linz, November 2023

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



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

Vorbemerkung

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

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

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

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

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

Inhalt

Vorbemerkung	5
1 Kurzfassung	8
2 Abstract	10
3 Ausgangslage	12
4 Projektinhalt	13
5 Ergebnisse	16
5.1 Grundlagen zur „Elektrifizierung der Industrie“	16
5.2 Review bestehender Energieszenarien, Veröffentlichungen & Roadmaps	19
5.3 Webinarreihe „Dekarbonisierung der Industrie“	20
5.4 IETS-19 Task-Meeting in Linz: Fokussierung des Transitionsprozesses	22
5.4.1 Wie ist der Status, wenn der Übergang zu einem kohlenstoffarmen System abgeschlossen ist?	24
5.4.2 Wie verläuft der Übergang zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft?	25
6 Ausblick und Empfehlungen	27
6.1 Erkenntnisse und Ausblick aus dem internationalen Subtask 2	27
6.2 Empfehlungen für weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf Task-Ebene ...	28
Abbildungsverzeichnis	30
Literaturverzeichnis	31

1 Kurzfassung

Unter Elektrifizierung der Industrie soll jede Änderung der industriellen Prozesse und der vorgelagerten Energieversorgungskette verstanden werden, welche aus der Umstellung auf erneuerbaren Strom als Primärenergiequelle für die in industriellen Prozessen verwendete Energie resultiert. Ziel der Elektrifizierung der Industrie ist die Reduktion der zurechenbaren CO₂-Emissionen: Die Elektrifizierung industrieller Prozesse leistet, wenn die Versorgung über Strom aus erneuerbaren Quellen erfolgt, einen wesentlichen Beitrag zur CO₂-Emissionsreduktion. Eine Reduktion der CO₂-Emissionen kann natürlich auch über andere erneuerbare Energiequellen oder über den Effizienzpfad erfolgen. Die Elektrifizierung der Prozesse bzw. die elektrische Energiebereitstellung hält aber aufgrund der umfassenden Nutzbarkeit des Energieträgers (inkl. in der indirekten Form von Elektrolyse-Wasserstoff) und der bisherigen Fokussierung der Energiewende auf strombasierte Technologien eine besondere Position inne.

Die Elektrifizierung kann in unterschiedlichen Formen erfolgen. Dies haben Erhebungen im Zuge der internationalen Task-Arbeit bestätigt. Zum einen geht es um die Elektrifizierung durch die stärkere Nutzung strombetriebener Prozesse wie z.B. Pumpen und Antriebe. Der Fokus des Tasks liegt jedoch auf der Prozesswärme. Hier bedeutet die direkte Elektrifizierung die Bereitstellung von Wärme, meist auf Temperaturniveaus über jenen, die heute von Wärmepumpen versorgt werden bzw. zukünftig versorgt werden sollen. Auch auf alternative mechanische Verfahren, z.B. mittels Membranen anstelle von thermischen, wird verwiesen. Elektrisch betriebene Wärmepumpen sind ein weiterer Aspekt der Elektrifizierung, da durch deren Einsatz eine hohe Effizienz gegeben ist und Rest- oder Überschusswärme genutzt werden kann. Des Weiteren kann die Elektrifizierung indirekt erfolgen, über Elektrolyse-Wasserstoff oder Elektrolyse-Wasserstoff-Derivate wie Substitute Natural Gas. Allgemein wurde Power-to-X, auch im Bereich der chemischen Industrie, als Themenstellung erkannt, CCUS wurde auf Ebene des internationalen Tasks aber ausgeklammert, um den Scope nicht zu weit auszudehnen; in den nationalen Arbeiten ist CCUS aber enthalten. Abschließender Aspekt ist die System-bezogene Betrachtung der Elektrifizierung, d.h. vor allem ihre Auswirkung auf das Energie- und insbesondere Stromsystem inkl. Aufbringung, Netzen, Demand Response und Speicherung.

Die internationale Task-Struktur hat sich im Laufe der Teilnahme mehrfach geändert und die österreichische Task-Beteiligung hat effektiv zu deren inhaltlichen Entwicklung beigetragen. Der Task hat nun zwei Subtasks erfolgreich abgeschlossen (Subtask 1 „Mapping of activities“, abgeschlossen im Jahr 2020, und Subtask 2 „Enabling a shared view on system aspects of industrial electrification“, inhaltlich abgeschlossen Anfang 2023 und final freigegeben beim ExCo-Meeting im November 2023. In diesem zweiten Subtask wurden die folgenden inhaltlichen Aktivitäten behandelt:

- Ermöglichung einer gemeinsamen Sicht auf den aktuellen Stand der industriellen Elektrifizierung, sowie

- Ermöglichen einer gemeinsamen Sicht auf die aktuellen Erkenntnisse und Wissenslücken zu Systemauswirkungen, einschließlich Infrastruktur und Sektorkopplung.
- Daneben erfolgten Tätigkeiten zur Vernetzung mit anderen IETS Tasks und IEA TCPs, sowie Schritte zur Fortführung der Task 19-Arbeit.

Die gesamten technischen Potenziale an erneuerbaren Energieträgern in Österreich sind nicht ausreichend, um den aktuellen inländischen Primärenergieverbrauch aller Sektoren zu decken. Aus diesem Grund sollten einerseits alle technischen Potenziale ausgebaut werden und gleichzeitig muss die Primärenergieeffizienz deutlich erhöht werden. Andernfalls sind erneuerbare Energieimporte (z.B. Strom oder Wasserstoff) notwendig, wovon auszugehen ist. Die räumliche Analyse hat gezeigt, dass das erneuerbare Potenzial relativ gleichmäßig in Österreich verteilt ist. Demgegenüber ist der Primärenergieverbrauch insbesondere in den industriellen bzw. urbanen Regionen konzentriert. Die zeitliche Analyse der erneuerbaren Potenziale sowie der derzeitigen elektrischen Last zeigt auf, dass zukünftig insbesondere der saisonale (Sommer – Winter) sowie der tägliche Ausgleich (Tag – Nacht) relevant sein werden. Die zukünftige Infrastruktur muss sowohl diese zeitlichen sowie regionalen Unterschiede ausgleichen. In Zukunft kann Demand Response die öffentliche Energieinfrastruktur bei diesem Ausgleich entlasten. Um eine elektrifizierte industrielle Produktion in großem Maßstab zu erreichen, sind Überlegungen zur Überdimensionierung und Speicherung (bzw. Zwischenproduktlagerung) erforderlich, um Flexibilität anbieten zu können. Eine Umstrukturierung der Branchen, einschließlich der Umstellung auf Batch-Prozesse oder der Beibehaltung kontinuierlicher Prozesse mit Pufferkapazität, ist möglich. Die Häufigkeit hängt vom regionalen Kontext und der Ressourcenverfügbarkeit ab.

Auf internationaler Ebene wird angestrebt, den IETS Task 19 in einem neuen Subtask 3 fortzusetzen. Der Fokus soll dabei eingengt werden, um klarer definierte gemeinsame Arbeiten durchzuführen. Im Entwurf zum Abschlussbericht des internationalen Tasks werden die Aktivitäten Mapping of Industrial Electrification Developments, Deep dive on electrified industrial processes, sowie The role of industrial electrification in industrial decarbonization, vorgeschlagen.

2 Abstract

Electrification of industry should be understood as any change in industrial processes and the upstream energy supply chain that results from the switch to renewable electricity as the primary energy source for the energy used in industrial processes. The aim of electrifying industry is to reduce attributable CO₂ emissions: The electrification of industrial processes, when supplied with electricity from renewable sources, makes a significant contribution to reducing CO₂ emissions. A reduction in CO₂ emissions can of course also be achieved via other renewable energy sources or via the efficiency path. However, the electrification of processes and the provision of electrical energy holds a special position due to the extensive usability of the energy source (including in the indirect form of electrolysis hydrogen) and the previous focus of the energy transition on electricity-based technologies.

Electrification can take place in different forms. Surveys during the international task work have confirmed this. On the one hand, it is about electrification through the greater use of electricity-powered processes such as pumps and drives. However, the focus of the task is on the process heat. Here, direct electrification means the provision of heat, usually at temperature levels above those that are currently supplied by heat pumps or will be supplied in the future. Reference is also made to alternative mechanical processes, e.g. using membranes etc. instead of thermal ones. Electrically operated heat pumps are another aspect of electrification, as their use ensures high efficiency and residual or excess heat can be used. Furthermore, electrification can occur indirectly, via electrolysis hydrogen or electrolysis hydrogen derivatives such as substitute natural gas. In general, Power-to-X was recognized as an issue, including in the chemical industry, but CCUS was excluded at the level of the international task in order not to expand the scope too far; however, CCUS is included in the national work. The final aspect is the system-related consideration of electrification, i.e. above all its impact on the energy and especially electricity system including generation, networks, demand response and storage.

The international task structure changed several times during the course of participation and the Austrian task participation contributed effectively to its content development. The task has now successfully completed two subtasks (subtask 1 “Mapping of activities”, completed in 2020, and subtask 2 “Enabling a shared view on system aspects of industrial electrification”, content completed in early 2023 and finally released at the ExCo meeting in November 2023. This second subtask covered the following content activities:

- Enabling a common view of the current status of industrial electrification, as well as
- Enabling a common view of current insights and knowledge gaps on system impacts, including infrastructure and sector coupling.
- In addition, activities were carried out to network with other IETS tasks and IEA TCPs, as well as steps to continue the Task 19 work.

The entire technical potential of renewable energy sources in Austria is not sufficient to cover the current domestic primary energy consumption of all sectors. For this reason, on the one hand, all technical potential should be expanded and, at the same time, primary energy efficiency must be significantly increased. Otherwise, renewable energy imports (e.g. electricity or hydrogen) will be necessary, which is to be expected. The spatial analysis has shown that the renewable potential is relatively evenly distributed in Austria. In contrast, primary energy consumption is particularly concentrated in industrial and urban regions. The temporal analysis of the renewable potential and the current electrical load shows that the seasonal (summer - winter) and daily balance (day - night) will be particularly relevant in the future. The future infrastructure must compensate for both these temporal and regional differences. In the future, demand response can relieve the burden on the superior energy infrastructure with this balancing. Achieving large-scale electrified production requires oversizing and storage (or intermediate product storage) considerations. Industry restructuring, including moving to batch processes or maintaining continuous processes with buffer capacity, is possible. The frequency depends on the regional context and resource availability.

At the international level, the aim is to continue IETS Task 19 in a new Subtask 3. The focus should be narrowed in order to carry out more clearly defined joint work. The final report of the international task proposes the activities Mapping of Industrial Electrification Developments, Deep dive on electrified industrial processes, and The role of industrial electrification in industrial decarbonization.

3 Ausgangslage

Als wesentliche Ausgangsparameter sind das Commitment zur Vermeidung des Klimawandels und zum effizienten Energieeinsatz in der Industrie anzusehen: Die Elektrifizierung industrieller Prozesse leistet, wenn die Versorgung über Strom aus erneuerbaren Quellen erfolgt, einen wesentlichen Beitrag zur CO₂-Emissionsreduktion. Gleichzeitig kann der Energieträger-Wechsel zu Strom energetische und wirtschaftliche Effizienzsteigerungen mit sich bringen. Über die betriebswirtschaftlichen Aspekte hinausgehend ist es essenziell, dass die Implikationen für das Energie-System verstanden werden, mit denen Versorgungsunternehmen und Infrastrukturbetreiber konfrontiert sind.

Eine Reduktion der CO₂-Emissionen kann auch über andere erneuerbare Quellen wie Solar- und Geothermie, biogene Brennstoffe oder über den Effizienzpfad erfolgen. Die Elektrifizierung der Prozesse bzw. der Energiebereitstellung hält aber eine besondere Position inne; Gründe dafür sind:

- Die umfassende und weitreichende Nutzbarkeit des Energieträgers Elektrizität, der aufgrund seiner Hochwertigkeit (Exergie) in vielen Prozessen Anwendung finden kann.
- Die bisherige Fokussierung der Energiewende allgemein auf die Aufbringungsseite und spezifisch auf strombasierte Technologien wie zum Beispiel PV und Windkraft.

Studienergebnisse zeigen auch, dass nicht nur die energetische Verwendung eine wesentliche Rolle spielen wird, sondern in einem erneuerbaren Energiesystem auch die nichtenergetisch verwendeten Energieträger erneuerbar bereitgestellt werden müssen (ansonsten gelangt das CO₂ durch Verbrennung oder natürliche Zersetzung am Ende der Lebensdauer wieder in die Atmosphäre). Die Bereitstellung des industriellen Feedstocks wird ebenso beträchtliche Mengen Strom benötigen, v.a. für die über Elektrolyse bereitgestellten Wasserstoff-Mengen.

Unter der Elektrifizierung der Industrie soll jede Änderung der Energieversorgungskette und der industriellen Prozesse verstanden werden, welche aus der Umstellung auf erneuerbaren Strom als Primärenergiequelle für die in industriellen Prozessen verwendete Energie resultiert. Ziel der Elektrifizierung der Industrie ist die Reduktion der zurechenbaren CO₂-Emissionen.

Die Elektrifizierung der Industrie bezeichnet hier selbstredend nicht die allgemeine / erstmalige Lieferung von Elektrizität an die Industrie. Die Elektrifizierung der Industrie umfasst durch den definierten Fokus auf erneuerbaren Strom als Primärenergiequelle auch vorgelagerte Prozesse zur strombasierten Bereitstellung von Energieträgern und Feedstock, also auch betriebsextern erfolgreiches Power-to-Gas oder Power-to-Heat.

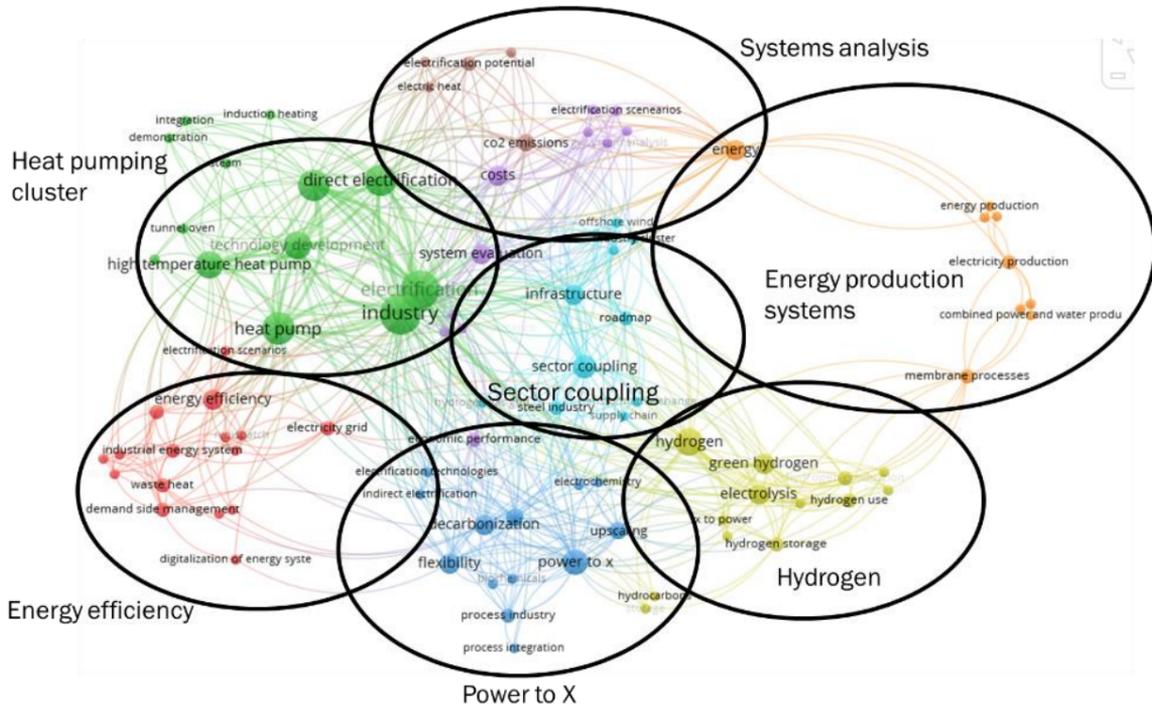
4 Projektinhalt

Das IEA-Technologiekollaborationsprogramm Industrielle Energietechnologien und Systeme (IETS) widmet sich dem Thema Energienutzung in der Industrie. Im Zentrum stehen die Zusammenarbeit Industrie-relevanter Forschungsdisziplinen, die Vernetzung innerhalb von Industriesektoren zu Querschnittstechnologien sowie der Informations- und Wissenstransfer zwischen Expert:innen aus Industrie, Wissenschaft und Politik. IETS befasst sich mit F&E-Aspekten von industriellen Energietechnologien und -systemen. Der Fokus liegt auf Energieeffizienz in der Industrie in unterschiedlichen Branchen wie Zellstoff und Papier, Eisen und Stahl, Zement und Chemie, sowie auf intersektoralen Lösungen für unterschiedliche Industrieprozesse. Neben der Zusammenarbeit industrierelevanter Forschungsdisziplinen erfolgt eine Vernetzung innerhalb von Industriesektoren und zu Querschnittstechnologien sowie Informations- und Wissenstransfer zwischen Expert:innen aus Industrie, Wissenschaft und Technologiepolitik.

Der produzierende Sektor macht 30% des Endenergieverbrauchs aus und ist für etwa 30% der österreichischen CO₂-Emissionen verantwortlich. Somit ist ein hohes Potential für die Senkung des Energieverbrauchs und der Emissionen durch Energieeffizienz und den vermehrten Einsatz von Erneuerbaren Energien gegeben.

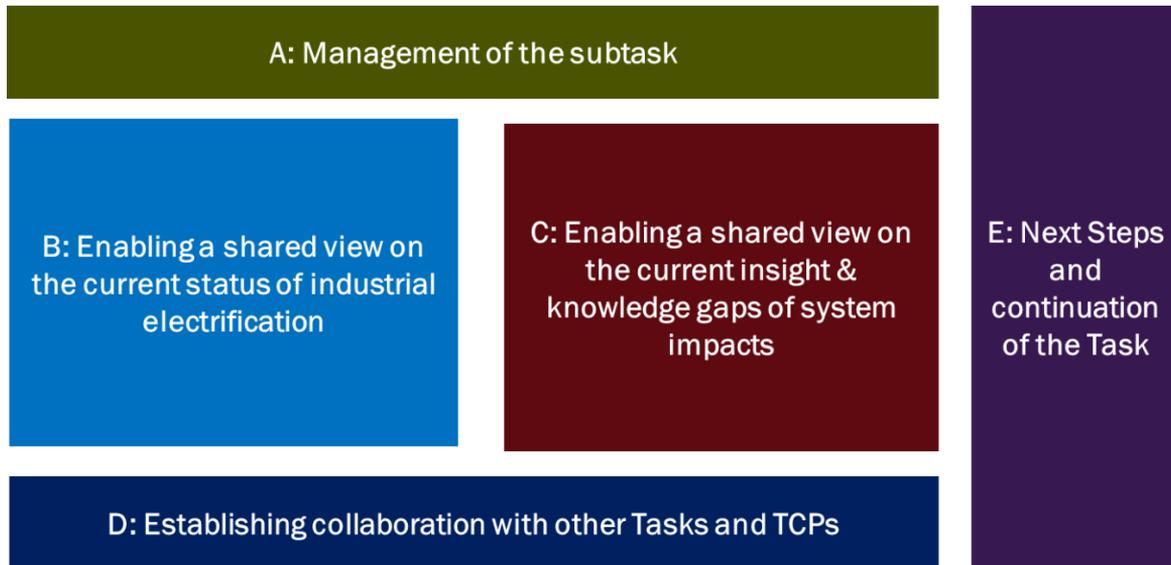
Dieser IETS Task 19 wurde ursprünglich bei einem Workshop auf der 12. IEA Heat Pump Conference vorgeschlagen, bei dem Expert:innen von TCP-HPT und TCP-IETS das Potenzial von Electrification und Power2Heat diskutierten. Ausgangspunkt der Diskussion war die Wärmepumpentechnologie für die industrielle Elektrifizierung und für die erhöhte Flexibilität der erneuerbaren Stromversorgung, berichteten tenCate et al im ersten Task Proposal aus dem Jahr 2018. Aufbauend auf dieser Diskussion wurde der Anwendungsbereich des Tasks von „Power-to-Heat“ ausgeweitet auf den gesamten Bereich der industriellen Elektrifizierung. Um erneuerbare Energien sinnvoll mit der Industrie zu verbinden, werden völlig neue Energieversorgungsketten entstehen, die alle drei Modalitäten direkte Stromversorgung, Prozesswärme und „Moleküle“ (z.B. Wasserstoff, SNG) adressieren. Auf Basis dieses Task Proposals erfolgte die österreichische Beteiligung, wie vorgesehen über vier Jahre. Jedoch folgten nach diesem ersten Task Proposal weitere, welche den Fokus des Tasks veränderten, idealerweise erfolgte dies im Sinne der österreichischen Beteiligung. Im Jahr 2020 wurde sodann der Subtask 1 „Mapping of activities“ durchgeführt, welcher die Aktivitäten und Überschneidungen der Gruppen der potenziell teilnehmenden Länder analysierte und auch eine generelle Analyse der Thematik durchführte.

Abbildung 1: Netzwerkanalyse der in IETS Task 19 eingebrachten und diskutierten Projekte. Abbildung übernommen aus dem Entwurf zum Endbericht des Subtask 2 (Moncada und West, kom-mend).



Subtask 2 des IETS Task 19 war in fünf sogenannte „Aktivitäten“ unterteilt. Aktivität A fokussierte auf die Verwaltung des Inhalts und der Formalitäten des Tasks. Aktivität B konzentriert sich auf den Austausch von Erkenntnissen aus aktuellen Entwicklungen in der Elektrifizierung. Aktivität C konzentriert sich auf den Austausch von Erkenntnissen zu Systemaspekten der industriellen Elektrifizierung. Die beiden Aktivitäten B und C bildeten den Kern des Subtask 2 und aus der Diskussion in Workshops sind Themen wie Technologieentwicklung, Systemanalyse, Flexibilität, Prozessintegration, Infrastruktur und Sektorkopplung hervorgegangen. Aktivität D umfasste gemeinsame Aktivitäten mit verschiedenen TCPs der IEA, während sich Aktivität E auf die Festlegung der Fortsetzung in einem Subtask 3 konzentrierte.

Abbildung 2: Arbeitspaket-Übersicht in der Form, wie der Subtask 2 auf internationaler Ebene final durchgeführt wurde.



Auf nationaler Ebene wurden primär zwei Papiere erstellt, welche eine solide Basis, Übersicht und Zusammenfassung der Situation der Elektrifizierung wiedergeben.

- Das Basispapier „Dekarbonisierung der Industrie“, als Basis für die gemeinsame Arbeit des österreichischen Konsortiums und als Orientierung für die österreichischen Stakeholder, in dem die Elektrifizierung der Industrie in ihrer gesamten Breite (Power-to-Heat, direkter Stromeinsatz, Speicherbedarf, Power-to-Gas, Power-to-Product) beschrieben und die Systemimplikationen dargestellt wurden.
- Ziel des Papiers „Energieszenarien“ war eine Zusammenstellung der für Österreich bzw. österreichische Stakeholder relevanten Fahrpläne, Szenarien und Studien, welchen im Rahmen des Themas Elektrifizierung der Industrie Beachtung zu schenken ist.

Im internationalen Task wurden vier österreichische Projekte als Diskussionsbasis eingebracht:

- LEAP - Low Pressure Steam Heat Pump: <https://www.nefi.at/en/project/leap/>
- DSM_OPT - Demand Side Management: Operational optimization of industrial energy systems: <https://www.evt-unileoben.at/de/forschung/dsm-opt>
- EDCSproof - Energy Demand Control System – PROcess Optimization For industrial low temperature systems: <https://www.nefi.at/en/project/edcsproof/>
- UpHyl + II - Upscaling of green hydrogen for mobility and industry: <https://www.wiva.at/project/uphy-i-ii/?lang=en>

5 Ergebnisse

In der Beschreibung der Ergebnisse wird auf die vier Kernaktivitäten und -resultate des IETS Task 19 Bezug genommen. Diese sind:

- Grundlagen zur Elektrifizierung der Industrie, wie sie im Deliverable „Basispapier“ beschrieben wurden,
- ein Review bestehender Energieszenarien, Veröffentlichungen und Roadmaps, als Zusammenstellung der für Österreich bzw. österreichische Stakeholder relevanten Fahrpläne, Szenarien und Studien,
- die hinsichtlich Teilnehmer:innen-Anzahl äußerst erfolgreiche sechsteilige Webinarreihe „Dekarbonisierung der Industrie“ während der Covid19-Zeit.
- die Ergebnisse zur Diskussion über den abgeschlossenen und die Prozesse des laufenden Übergangs zur einer kohlenstoffarmen Wirtschaft im Rahmen des Workshops in Linz.

5.1 Grundlagen zur „Elektrifizierung der Industrie“

Als Basis für die gemeinsame Arbeit des österreichischen Konsortiums im IEA IETS Task 19 „Elektrifizierung der Industrie“ und als Orientierung für die österreichischen Stakeholder erfolgte die Ausarbeitung eines thematischen Fundaments, in dem die Elektrifizierung der Industrie in ihrer gesamten Breite (Power-to-Heat, direkter Stromeinsatz, Speicherbedarf, Power-to-Gas, Power-to-Product) beschrieben und die Systemimplikationen dargestellt wurden.

Weil das Basispapier von den angeführten Autor:innen geschrieben wurde und dieser publizierbare Endbericht eine Übersicht über die Tätigkeiten darstellt, werden die nachfolgenden Textteile aus der Kurzfassung und Einleitung des Dokuments übernommen, die zugehörigen Quellenverweise sind ebendort zu finden. Das Basispapier (Moser et al. 2020a) ist zu finden auf <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/publikationen/iea-iets-annex-19-basispapier-elektrifizierung-der-industrie.php>.

Ziel war es, das Thema „Elektrifizierung der Industrie“ in seiner Breite darzustellen und dabei auch die erweiterten Prozessaspekte (Oxyfuel & Carbon Capture) sowie Systemimplikationen (Erneuerbare-Energie-Potenziale, Demand Response, Infrastruktur-Ausbaubedarf etc.) darzustellen. Die dem Papier zugrundeliegende Methode ist die Literaturrecherche, wobei aufgrund der Zusammenstellung des Konsortiums stark auf Basis von Vorstudien zu den angeführten Themenbereichen gearbeitet werden konnte. Diese sind thematisch einschlägig und daher essenzielle Grundlage für das Basispapier.

Unter der Elektrifizierung der Industrie soll jede Änderung der industriellen Prozesse und der vorgelagerten Energieversorgungskette verstanden werden, welche aus der Umstellung auf erneuerbaren Strom als Primärenergiequelle für die in industriellen Prozessen verwendete Energie resultiert. Ziel der Elektrifizierung der Industrie ist die Reduktion der zurechenbaren CO₂-Emissionen. Die Elektrifizierung industrieller Prozesse leistet, wenn die Versorgung über Strom aus erneuerbaren Quellen erfolgt, einen wesentlichen Beitrag zur CO₂-Emissionsreduktion. Über potenziell positive energetische und wirtschaftliche Aspekte hinausgehend ist es essenziell, die Implikationen für das Energiesystem zu verstehen, mit denen Versorgungsunternehmen und Infrastrukturbetreiber konfrontiert sind. Eine Reduktion der CO₂-Emissionen kann auch über andere erneuerbare Energiequellen oder über den Effizienzpfad erfolgen. Die Elektrifizierung der Prozesse bzw. die elektrische Energiebereitstellung hält aber aufgrund der umfassenden Nutzbarkeit des Energieträgers und der bisherigen Fokussierung der Energiewende auf strombasierte Technologien eine besondere Position inne.

Industrielle Produktions- und Prozessschritte werden in Grundverfahrensschritte (Unit Operations) unterteilt, die je nach eingesetzter Technologie unterschiedliche Potenziale für die Elektrifizierung aufweisen. In Anbetracht der limitierten Verfügbarkeiten erneuerbaren Stroms sind diese Strategien einer exergetischen Optimierung/Prüfung zu unterwerfen. Dazu zählen die Entwicklung und Adaptierung bestehender Unit Operations (Potenzialsteigerung) ebenso wie die Anwendung, Entwicklung und Implementierung neuer Prozesstechnologien für die optimierte Nutzung verfügbarer und erneuerbarer Nieder- und Mitteltemperaturwärme für die Entlastung des Strombedarfs.

Strombasierte (Wärme-)Prozesse können in einigen Fällen effizienter und wirtschaftlicher sein als die auf fossilen Brennstoffen basierenden Technologien. Die Elektrifizierung mildert die Emissionen aber nur dann, wenn Strom ohne CO₂-Emissionen erzeugt wird und wettbewerbsfähig ist (d.h. auch zum Einsatz kommt). Industrielle Hochtemperaturwärme mit mehr als 500 °C wird in Österreich heute insbesondere in den energieintensiven Subsektoren benötigt. In Österreich ist die Eisen- und Stahlindustrie jene mit dem größten Anteil an elektrischer Hochtemperaturwärmeaufbringung. Zwar für Österreich nicht relevant, jedoch international Stand der Technik, ist die Schmelzflusselektrolyse zur Herstellung von Primäraluminium. In der Glasindustrie wird elektrische Energie für den Betrieb kleinerer, diskontinuierlich betriebener Öfen bis ca. 100 t Tagesleistung eingesetzt.

Prozesswärmebereitstellung in der Industrie erfolgt in der Regel über Wärmeträgermedien, wie z.B. Heißwasser, Dampf oder auch Thermoöl, oder über Direktbefeuerung der Prozesse. Häufig eingesetzte Methoden zur elektrifizierten Dampf- bzw. Heißwassererzeugung sind Elektrokessel (bis ca. 130 °C), Elektrodenkessel (bis ca. 250 °C) sowie kombinierte Anlagen aus Elektrodenkessel und Heizschwert (bis knapp 400 °C). Vorteile solcher Anlagen zur Wärmebereitstellung sind die stufenlose Erzeugung (Minimallast 0%), höhere Wirkungsgrade (98%) im Vergleich zu brennstoffbefeuerter Dampf- und Heißwassererzeugung (bis zu 90%) sowie das schnelle An- und Abfahrverhalten.

Durch Weiterentwicklung der Wärmepumpentechnologie in den letzten Jahren ist mittlerweile auch die Realisierung von höheren Temperaturen (150-160°C) spruchreif. Im Gegensatz zu den zuvor beschriebenen Anlagen, wird die Prozesswärme mit Wärmepumpen nicht ausschließlich über die Umwandlung mit elektrischem Strom bereitgestellt, sondern einer (Abwärme-)Quelle entnommen.

Wasserstoff findet in unterschiedlichen Industriebranchen Verwendung. Das mengenmäßig größte Potenzial für die Nutzung von erneuerbarem (mittels Elektrolyse erzeugtem) Wasserstoff liegt derzeit in der Mineralölindustrie und der chemischen Industrie (Ammoniak- und Methanolproduktion). In Zukunft besteht auch in der Eisen- und Stahlindustrie ein großes Potenzial an erneuerbarem Wasserstoff, wenn die Roheisenerzeugung auf Direktreduktion umgestellt wird. Die übrigen industriellen Anwendungen zusammen haben zurzeit einen eher geringen Anteil von etwa 2 % am Gesamtwasserstoffbedarf der Industrie. Jedoch kann bei diesen (Nischen-)Anwendungen auch jetzt schon der Wasserstoffbedarf durch am Markt verfügbare Elektrolyseure abgedeckt werden.

Industriell günstig verfügbarer Sauerstoff ist ein wesentlicher Treiber zum verstärkten Einsatz von Oxyfuel-Verbrennungstechnik. Bei der Oxyfuel-Technologie wird reiner Sauerstoff anstatt Luft für die Verbrennung von Brennstoffen herangezogen, was eine Reihe an Vorteilen mit sich bringt. Sauerstoff wird heute industriell über Luftzerlegung erzeugt. Luftzerlegungsanlagen sind elektrische Verbraucher, die heute Bandlasten darstellen. Werden geeignete Sauerstoffspeicher bereitgestellt, ist zukünftig ein verstärkt flexibler Betrieb denkbar, insbesondere um kurzfristige Residuallasten abzudecken. Zukünftig wird elektrolytisch erzeugter Wasserstoff an Bedeutung gewinnen, als Koppelprodukt entsteht Sauerstoff.

Carbon Capture ist eine stromverbrauchende Technologie, welche im Rahmen der Intention der „Elektrifizierung der Industrie“, nämlich der Vermeidung von CO₂-Emissionen, relevant ist. Die Umwandlung von CO₂ aus industriellen Prozessen und erneuerbarem Wasserstoff im Sinne von Carbon Capture and Utilization führt zu synthetischen Kohlenwasserstoffen wie Methan, Methanol, Benzin, Diesel, Kerosin, etc. Die große Bedeutung von Carbon Capture liegt in einer erweiterten Perspektive der Sicherung der Rohstoffbasis und Ressourceneffizienz der Industrie.

Die gesamten technischen Potenziale an erneuerbaren Energieträgern in Österreich sind nicht ausreichend, um den aktuellen inländischen Primärenergieverbrauch aller Sektoren zu decken. Aus diesem Grund sollten einerseits alle technischen Potenziale ausgebaut werden und gleichzeitig muss die Primärenergieeffizienz deutlich erhöht werden. Andernfalls sind erneuerbare Energieimporte (z.B. Strom oder Wasserstoff) notwendig. Die räumliche Analyse hat gezeigt, dass das erneuerbare Potenzial relativ gleichmäßig in Österreich verteilt ist. Demgegenüber ist der Primärenergieverbrauch insbesondere in den industriellen bzw. urbanen Regionen konzentriert. Die zeitliche Analyse der erneuerbaren Potenziale sowie der derzeitigen elektrischen Last zeigt auf, dass zukünftig insbesondere der saisonale (Sommer – Winter) sowie der tägliche Ausgleich (Tag – Nacht) relevant sein werden. Die zukünftige Infrastruktur muss sowohl diese zeitlichen sowie regionalen Unterschiede ausgleichen. In Zukunft kann Demand Response die öffentliche Energieinfrastruktur bei diesem Ausgleich entlasten.

Auflistung der Kernaussagen:

- Die Elektrifizierung stellt ein wesentliches Element zur Dekarbonisierung der Industrie dar.
- Die heimischen **Potenziale für Strom sind beschränkt**; Elektrifizierung kann nicht der alleinige Pfad der Dekarbonisierung sein, eine exergieorientierte Energienutzung ist unumgänglich.
- Aus der Elektrifizierung leiten sich zusätzliche **Anforderungen an die Infrastruktur** ab (Realisierung des Erneuerbaren-Potenzials; Leitungen, Kurz- und Langzeit-Speicher für Strom, Gas und Wärme).
- Die Palette an **Technologien der Elektrifizierung** reicht von Technologien, die Stand der Technik sind, bis zu Technologien nahe der Grundlagenforschung. Der Forschungsbedarf bleibt gegeben, eine reine Umsetzungsorientierung ist unzureichend.

5.2 Review bestehender Energieszenarien, Veröffentlichungen & Roadmaps

Das IETS Task Proposal vom Mai 2018 sah die Diskussion der Energieszenarien und Energiepolitik der unterschiedlichen teilnehmenden Länder vor: „Dieser Task zielt darauf ab, alle Informationen und Studien der verschiedenen Mitgliedstaaten über technologische Fahrpläne, regionale Lösungen und Politiken zur Erfassung der Ähnlichkeiten und Unterschiede zu sammeln. Wenn der Task vollständig seine Arbeit aufgenommen hat, können im Rahmen dieser Aufgabe die verschiedenen Szenarien für verschiedene Regionen verglichen und an die Ergebnisse der Roadmap angepasst werden.“ In diesem Sinne sah der Antrag zur österreichischen Beteiligung vor, für Österreich relevante Energieszenarien zu definieren und in einem Papier zu beschreiben. Ebenso wird der Aufgabe nachgekommen, Stakeholder einzubinden. Der Antrag zur österreichischen Beteiligung sah des Weiteren vor, branchenspezifische, für österreichische Stakeholder relevante Studien und Fahrpläne zu sammeln und einzubringen.

Ziel des Papiers „Energieszenarien“ war daher eine Zusammenstellung der für Österreich bzw. österreichische Stakeholder relevanten Fahrpläne, Szenarien und Studien, welchen im Rahmen des Themas „Elektrifizierung der Industrie“ Beachtung zu schenken ist. Gemäß dem Antrag zur österreichischen Beteiligung am IEA IETS Task 19 wurde das Thema „Elektrifizierung der Industrie“ im weiteren Sinne verstanden: dies bedeutet, dass neben den Prozessanwendungen (direkte elektrische Prozesse, Wärmepumpen) auch vorgelagert umgewandelte, strombasierte Energieträger wie Wasserstoff und der Einsatz von Elektrizität zur Emissionsreduktion Beachtung finden, sowie Maßnahmen der Integration (Demand Response) und das Gesamtpotenzial für erneuerbaren Strom und erneuerbare Energie.

Aufgrund der intensiven Weiterentwicklung der Themen der Elektrifizierung und Dekarbonisierung der Industrie sind weitere Teile der damaligen Ergebnisse nicht mehr aktuell. Insbesondere die Szenarien der New Energy For Industry Vorzeigeregion und die F&E-Dienstleistung „Transformlndustry“ für den Klima- und Energiefonds, zu finden unter

<https://www.nefi.at/de/dekarbonisierungsszenarien> und <https://projekte.ffg.at/projekt/4176705>, haben hier entscheidend zum Fortschritt beigetragen.

Das Papier „Energieszenarien - Review bestehender Energieszenarien, Veröffentlichungen & Roadmaps“ (Moser et al. 2020b) ist zu finden auf https://nachhaltigwirtschaften.at/re-sources/iea_pdf/IEA-IETS-19_Energieszenarien.pdf.

5.3 Webinarreihe „Dekarbonisierung der Industrie“

Aufgrund des auf internationaler Ebene erst langsam startenden Tasks und den fehlenden persönlichen Meetings in der Covid19-Zeit, wurde in Abstimmung mit dem Klima- und Energiefonds durch das österreichische Projektteam des IETS Task 19 eine Webinarreihe initiiert und organisiert. Im Zentrum stand erstens die Kooperation der relevanten österreichischen Akteur:innen, wodurch bei der Durchführung mit der Industriellenvereinigung, der Wirtschaftskammer und Österreichs Energie kooperiert wurde. Zweitens stand die internationale Repräsentation der Vorzeigeregionen im Vordergrund des IETS Task 19, wodurch insbesondere auf dessen Projekte aufgebaut wurde. Zu den Präsentator:innen der Workshops gehörten u.a. Elvira Lutter, Theresia Vogel, Simon Moser, Dieter Drexel, Karl-Heinz Leitner, Thomas Kienberger, Horst Steinmüller, Rene Hofmann, Martina Ammer-Grausgruber, Joachin Gorre, Dieter Kolhanek, Stephan Bauer, Darja Markova, Christoph Brunner, Jürgen Fluch, Veronika Wilk, Gerwin Drexler-Schmid, Klaus Matheis-Weiß, Lukas Lippert, Beat Wellig, Sophie Knöttner, Verena Halmschlager, Eduard Pleschutznic, Katharina Meidinger, Roman Geyer, Bernd Windholz, Johannes Dock, Wolfgang Hribernik, und Stefan Puskas.

Die Dekarbonisierung der Industrie stellt eine wirtschaftliche und technologische Herausforderung für den einzelnen Betrieb, aber auch für die Gesellschaft dar. Die Umstellung auf Strom oder Wasserstoff wird oftmals als Lösungsstrategie genannt. Doch wie dekarbonisiert man effektiv? Wo sind welche Energieträger zielführend? Hauptsache erneuerbar, Effizienz egal? Wo gibt es Synergien der verschiedenen Ansätze? Gibt es ausreichende Mengen Erneuerbarer Energie und wie erreichen sie die Industrie? In der sechsteiligen Webinar-Reihe wurde den relevanten Fragestellungen nachgegangen und Einblick in die Vorzeigeregionen „NEFI – New Energy for Industry“ und „WIVA P&G – Wasserstoffinitiative Vorzeigeregion Austria Power & Gas“ gegeben. Jedes Webinar war einem anderen Schwerpunkt gewidmet. Die Webinare im Rückblick:

- 29.10.2020 Dekarbonisierung der Industrie – Ziele, Übersicht, Rahmen: Die Gesellschaft braucht die Industrie, wir brauchen sie hier in Österreich und Europa, und für die Zukunft brauchen wir auch das klare Ziel ihrer Dekarbonisierung. Innovation spielt hier die zentrale Rolle: die Umsetzung neuer Prozesse muss Hand in Hand gehen mit dem grundlegenden Wandel des Energiesystems.
- 05.11.2020 Wie grün kann Wasserstoff die Industrie machen? Die Bedeutung von Wasserstoff als kohlenstofffreier Energieträger und Reduktionsmittel in der Industrie nimmt zu. Österreich hat diese Thematik bereits vor Jahren erkannt. Im 2. Teil der Webinar-Reihe zu

„Dekarbonisierung der Industrie“ widmen wir uns Lösungsansätzen im WIVA-Schwerpunkt Industrie und geben einen Impuls zu Chancen, Potentialen und konkreten Umsetzungsprojekten.

- 12.11.2020 Industrielle Abwärmenutzung leicht gemacht: Industrielle Abwärmenutzung ist ein Kernbestandteil in der Dekarbonisierung und der Erreichung der gesetzten Klimaziele. Im Gegensatz zu mittelfristigen Lösungen mit hohem Forschungs- oder Investitionsbedarf werden den Betrieben hier einfache und sowohl technisch als auch wirtschaftlich sinnvolle Lösungen und Umsetzungen angeboten. Interessiert? Hier kommen die Lösungen.
- 19.11.2020 Betriebsoptimierung neu gedacht: Nutzung sämtlicher Abwärmepotenziale und Flexibilitäten: Aktuell sowie zukünftig stellen die geänderten Rahmenbedingungen in der Energiewirtschaft, verbunden mit der Erreichung der Klimaziele, Betreiber von industriellen Anlagen vor neue Herausforderungen. In dieser Session bekommen Sie einen Einblick über die Nutzung von Abwärmepotenzialen und Flexibilitäten.
- 26.11.2020 Direkte Elektrifizierung und Demand-Side-Management in der Industrie: Anwendungsbeispiele und infrastrukturelle Fragestellungen: In der Vorzeigeregion NEFI – New Energy for Industry werden in Zusammenarbeit mit innovativen Produktions- und Technologieerzeugungsunternehmen Schlüsseltechnologien für die Dekarbonisierung der Industrie entwickelt und demonstriert. Lernen Sie konkrete Umsetzungsbeispiele kennen und profitieren Sie von den Erfahrungen von Vorreitern.
- 03.12.2020 Net Zero Emission Industry Austria 2040: Die klimaneutrale industrielle Produktion ist möglich: Die Forschung zeigt für alle Branchen Technologien und Pfade auf, wie dies zu erreichen ist. Die neue Initiative NetZero2040 des Klima- und Energiefonds stellt diese Vorreiterbetriebe ins verdiente Rampenlicht und unterstützt sie bei ihren nächsten Schritten zur klimaneutralen Produktion.

Abbildung 3: Partner:innen der sechsteiligen Webinarreihe „Dekarbonisierung der Industrie“, welche das zentrale Disseminationselement in Österreich darstellte.



5.4 IETS-19 Task-Meeting in Linz: Fokussierung des Transitionsprozesses

Im Jahr 2022 kam es zu einem tatsächlichen internationalen Austausch. Zentral waren dabei die österreichischen Workshops im ersten Halbjahr (online, 26.4.2022 in Kooperation mit NEFI) und das Task-Treffen in Linz im Oktober 2022 (dieser Subtask C-Workshop war auch das erste physische Aufeinandertreffen aller Task-Teilnehmer:innen). Dieses Event war von einer äußerst positiven Stimmung geprägt, mit einer Freude, sich endlich zu persönlich zu treffen und mit der Aussicht, in dieser Zusammensetzung auch weiter kooperieren zu können.

Abbildung 4: Ankündigung des öffentlichen Teils des IETS 19 Workshops, welcher im Oktober 2022 in Linz stattgefunden hat. Quelle: NEFI/AIT.



IETS Task 19 Workshop: Electrification of Industry

Oktober, 14 2022 09:15 - 12:00, Linz, Austria



In the framework of the international NEFI Conference - New Energy for Industry 2022

Um umfassende Einblicke in die systemischen Folgen der Elektrifizierung und teilweisen Flexibilisierung industrieller Prozesse zu gewinnen, fand im Oktober 2022 ein Workshop in Linz statt. An diesem Workshop nahmen Expert:innen aus verschiedenen teilnehmenden Gruppen im Rahmen des IETS Task 19 teil. Der Workshop umfasste moderierte Diskussionen. Die Teilnehmer:innen führten einen intensiven Meinungsaustausch über die Elektrifizierung des Industriesektors und die daraus resultierenden Auswirkungen auf die Infrastruktur und die Energiesysteme im Allgemeinen durch und verdeutlichten dabei den komplexen Zusammenhang zwischen Industrie und Energiesektor. Der Workshop war in zwei Teile gegliedert. Der erste Teil bestand aus Projektpräsentationen der Teilnehmer:innen, während der zweite Teil aus Diskussionen zu offenen Fragen rund um das Thema Infrastruktur und Sektorenkopplung bestand. Abschließend fand am letzten Tag eine Einbindung in die NEFI Konferenz statt, wo eine öffentliche Präsentation von mehreren Projekten des Task 19 durchgeführt wurde.

Der folgende Text basiert auf Textteilen des Entwurfs zum Endbericht zum IEA IETS Task 19, Subtask 2, verfasst von den Autor:innen Jonathan Moncada (Task Manager) und Kira West, The Netherlands Organisation for Applied Scientific Research – TNO (Moncada and West, kommend).

In zwei getrennten Sitzungen fanden offene Diskussionen statt, die sich auf zwei Hauptaspekte konzentrierten:

- Wie ist der Status, wenn der Übergang zu einem kohlenstoffarmen System abgeschlossen ist?
- Wie verläuft der Übergang zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft?

5.4.1 Wie ist der Status, wenn der Übergang zu einem kohlenstoffarmen System abgeschlossen ist?

Die Diskussion in dieser Sitzung konzentrierte sich auf den Status eines abgeschlossenen Übergangs zu einem kohlenstoffarmen System. Ein Hauptaugenmerk lag dabei auf der Frage, welche Branchen dabei elektrifiziert werden sollten.

Unter den Teilnehmer:innen herrschte Konsens darüber, dass Branchen wie Lebensmittel, Kunststoffe, Zement, Ammoniak und sogar Stahl elektrifiziert werden sollten. Es blieb jedoch ungewiss, ob die Elektrifizierung für alle Branchen notwendig war, was zu Diskussionen über die verschiedenen Formen der Elektrifizierung führte, die in Betracht gezogen werden sollten.

Die Elektrifizierungsmethoden waren unterschiedlich: Einige Branchen würden sich für die direkte Elektrifizierung, vor allem durch den Einsatz von Wärmepumpen entscheiden, während andere wasserstoffbasierte Ansätze erforschten. Diese Divergenz führte zur zweiten Frage: Ermittlung von „No-Regret“-Maßnahmen, die während des Übergangs ergriffen werden könnten. Wärmepumpen wurden in diesem Zusammenhang als wichtige „No-Regret“-Maßnahme hervorgehoben. Darüber hinaus gab es eine Diskussion über die Entwicklung eines Wasserstoff-Backbones und die Notwendigkeit der Wasserstoffspeicherung als wesentliche Infrastruktur zur Stabilisierung der Energieversorgung sowohl für die Industrie als auch für den Energiesektor. Es wurde erwartet, dass dieser Infrastrukturausbau erhebliche Investitionen erfordern würde.

Darüber hinaus wurde erkannt, dass das Stromnetz erhebliche Verbesserungen erfordern würde, um seine Kapazität zu erhöhen und den erwarteten erheblichen Anstieg der Stromnachfrage zu bewältigen. Die Einschränkungen der aktuellen Netzinfrastruktur könnten möglicherweise langfristige Elektrifizierungsstrategien in der Industrie behindern.

Die Teilnehmer:innen betonten außerdem, wie wichtig es sei, die Schwerindustrie innerhalb von Industrieclustern zu berücksichtigen und die industrielle Symbiose zu ermöglichen, die im Zuge der Elektrifizierung entstehen könnte. Dazu gehörte die Analyse der Temperaturunterschiede und die Bewertung der Machbarkeit der Implementierung von Wärmepumpen im Vergleich zu wasserstoffbasierten Systemen.

Eine wichtige Erkenntnis aus den Diskussionen war das Potenzial für Hybridlösungen, die neben der Elektrifizierung auch verschiedene erneuerbare Energiequellen integrieren. Obwohl das Ziel nicht unbedingt darin bestand, die Industrie zu 100 % zu elektrifizieren, wurde die Elektrifizierung als Alternative zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen angesehen und betont, dass sie andere erneuerbare Energiequellen wirksam ergänzen sollte.

Auch die Rolle von Biomasse in Kombination mit der Elektrifizierung wurde diskutiert, wobei Überlegungen dazu angestellt wurden, ob Biomasse als Rohstoff möglicherweise besser geeignet ist als die Verwendung von Wasserstoff und wie die Wechselwirkung zwischen Wasserstoff und Biomasse die Gesamtkohlenstoffeffizienz von Systemen verbessern könnte.

Flexibilität und Speicherung wurden als entscheidende Komponenten zur effizienten Deckung des Energiebedarfs identifiziert, insbesondere wenn Energie in unterschiedlichen Formen und in unterschiedlichen Zeiträumen bereitgestellt werden muss. Auch steuerliche Anreize für die CO₂-Abscheidung in einigen Regionen wie den USA wurden als potenzielle Konkurrenz für Elektrifizierungsbemühungen genannt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es zwar ein klares Ziel gibt, Industrien im Rahmen eines kohlenstoffarmen Systems mittels Elektrifizierung umzustellen, es bestehen jedoch weiterhin einige Herausforderungen und Unsicherheiten. Dazu gehören der Bedarf an Infrastrukturentwicklung, Netzverbesserungen, die Berücksichtigung der Schwerindustrie und die Definition von Leistungsindikatoren für den Erfolg der Elektrifizierung. Darüber hinaus bleiben die Rolle von Wasserstoff und die erforderliche Forschung für Hybridsysteme und indirekte Elektrifizierung im weiteren Verlauf des Übergangs Schwerpunkte.

5.4.2 Wie verläuft der Übergang zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft?

Die Diskussion in der zweiten Sitzung konzentrierte sich auf den komplizierten Übergang zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft, insbesondere auf seine Relevanz für den Industriesektor. Eines der zentralen Themen war die entscheidende Rolle der Politik bei der Steuerung dieses Übergangs.

Langfristige politische Strategien einschließlich Akzeptanz- und Finanzierungsmechanismen gelten als wesentlich für eine erfolgreiche Dekarbonisierung. Darüber hinaus wurden die Entwicklung von Roadmaps zur Elektrifizierung und die Einführung einer CO₂-Besteuerung als integrale Bestandteile des Transformationsprozesses hervorgehoben. Die Dringlichkeit der Elektrifizierung wurde angesichts aktueller Bedenken hinsichtlich der Energiesicherheit, die sich aus politischen Entwicklungen ergeben, betont. Der Mangel an politischen Impulsen kann jedoch schnelle Fortschritte behindern.

Bei der Frage, ob der Übergang einer globalen, lokalen oder regionalen Perspektive folgen sollte, wurde anerkannt, dass der Kontext eine wichtige Rolle spielt. Die Elektrifizierungsdynamik wird maßgeblich von lokalen Faktoren beeinflusst, wie zum Beispiel dem Vorhandensein reichlich vorhandener Wasserkraftressourcen in Schweden, die im Vergleich zu Regionen mit unterschiedlichen Energieprofilen zu erheblichen und stabilen Strommengen beitragen können.

Die Diskussion drehte sich auch um die Notwendigkeit neuer Importrouten, um der Energiewende Rechnung zu tragen. Als entscheidende Überlegungen wurden die Diversifizierung der Importrouten und die Identifizierung der jeweils relevantesten Routen hervorgehoben. Es wurde auf die Bedeutung von Importrouten hingewiesen, insbesondere wenn erneuerbare Energien kostenmäßig wettbewerbsfähig sind. Zu den Vorschlägen gehörte die Einführung höherer Zölle auf Kohlenwasserstoffe und der Druck auf die Hersteller, Emissionsreduktionsziele zu erreichen.

Das Eingehen von Risiken und das Lernen aus anfänglichen Fehlern wurden als wesentliche Elemente auf dem Weg zur Dekarbonisierung identifiziert, was die Notwendigkeit von Personen unterstreicht, die bereit sind, innovativ zu sein und zu experimentieren.

Darüber hinaus wurde der Übergang als zeitaufwändiger Prozess anerkannt, der die Entwicklung von Möglichkeiten, Experimente und den Wissensaufbau erfordert. Als besondere Herausforderung wurde der Mangel an qualifiziertem Personal in diesem Bereich hervorgehoben, was den Bedarf an Arbeitskräften mit Fachkenntnissen in den Bereichen Elektrifizierung und nachhaltige Technologien unterstreicht.

Die Bedeutung des Netzausbaus wurde erwähnt, insbesondere im Hinblick auf die Bedenken im Zusammenhang mit der Elektrifizierung. Es wurde auch die Notwendigkeit erwähnt, das Stromnetz durch ein Wasserstoffnetz zu ergänzen.

Die Diskussion betonte den Einsatz erneuerbarer Energien, warf jedoch Fragen zur Landnutzung und gesellschaftlichen Akzeptanz der Elektrifizierung auf. Um Akzeptanz und Widerstandsfähigkeit zu gewährleisten, wurde die Diversifizierung der Energiequellen und -routen befürwortet.

Hochtemperatur-Wärmepumpen erhielten positive Aufmerksamkeit und forderten umfassende politische Unterstützung. Chancengleichheit für große und kleine Produzenten auf dem Weg zur Elektrifizierung wurde als entscheidend erachtet. Ein interdisziplinärer Ansatz wurde hervorgehoben, da anerkannt wurde, dass Soziologen eine Rolle bei der Gestaltung der gesellschaftlichen Akzeptanz der Elektrifizierung spielen.

Hervorgehoben wurden die effektive Kommunikation und Visualisierung von Informationen sowie die Notwendigkeit einer Zusammenarbeit zwischen Stromerzeuger:innen und -nutzer:innen, um den Übergang voranzutreiben. Die Nutzung von selbst erzeugtem Strom wurde gefördert, wodurch die Abhängigkeit vom Stromnetz verringert wurde. In der Diskussion ging es um Stabilität, Flexibilität und Pufferkapazität im Kontext der Elektrifizierung. Die Integration hybrider Systeme und mehrerer Dekarbonisierungspfade wurde als entscheidend für einen erfolgreichen Übergang angesehen.

6 Ausblick und Empfehlungen

6.1 Erkenntnisse und Ausblick aus dem internationalen Subtask 2

Die internationalen Task-Ergebnisse wurden stark von der österreichischen Beteiligung mitentwickelt. Textteile wurden verfasst und dem internationalen Task zur Dokumentation bereitgestellt. Der folgende Text basiert wiederum auf Textteilen des Entwurfs zum Endbericht zum IEA IETS Task 19, Subtask 2, verfasst von den Autor:innen Jonathan Moncada (Task Manager) und Kira West, The Netherlands Organisation for Applied Scientific Research – TNO (Moncada and West, kommend).

Initiativen zur industriellen Elektrifizierung umfassen ein breites Themenspektrum, weisen jedoch eine erhebliche Vernetzung auf. Ein wesentlicher Teil dieser Initiativen fällt in drei Kernthemen des Tasks 19: Technologieentwicklung, Systemanalyse und Auswirkungen, Infrastruktur und Sektorkopplung. Zu diesen Themen gehören die Erforschung des Zusammenspiels zwischen Energiesektor und Industrie, direkte Elektrifizierung mit Schwerpunkt auf Wärmepumpentechnologie und indirekte Elektrifizierung durch Wasserstoff für Energie- und Rohstoffanwendungen.

Es ist von entscheidender Bedeutung, die externen Faktoren und Systembedingungen zu verstehen, die die Technologieentwicklung beeinflussen. Die Hochtemperatur-Wärmepumpentechnologie erweist sich als entscheidend für die direkte Elektrifizierung, während sich die Rolle von Wasserstoff in der Industrie auf Anwendungen wie die Rohstoff- und Chemieproduktion konzentriert. Bei der Bewertung von Elektrifizierungstechnologien sollte die Bewältigung technischer Komplexität Vorrang vor der Berücksichtigung der wirtschaftlichen Leistung und der Treibhausgasemissionen haben. Speicher und Flexibilität sind für den erfolgreichen Technologieeinsatz von entscheidender Bedeutung.

Eine genaue Energiekartierung und eine maßgeschneiderte Technologieauswahl sind für eine erfolgreiche industrielle Elektrifizierung von größter Bedeutung. Die Bedeutung von Hochtemperatur-Wärmepumpen unterstreicht ihre Rolle bei der Dekarbonisierung der Industrie. Die Erforschung von Hybridlösungen, die verschiedene Elektrifizierungstechnologien kombinieren, ist vielversprechend, insbesondere wenn Wärmepumpen integriert sind. Zu den Herausforderungen gehören Lücken in der Technologieentwicklung für Anwendungen über 100 °C, Systemintegration, räumliche Einschränkungen und die Gewährleistung einer konsistenten Stromversorgung.

Elektrische Heizkessel und Wärmepumpen sorgen für Flexibilität, insbesondere bei langfristigen Anforderungen. Investitionen mit hohem Kapitalaufwand, beispielsweise in der Stahlproduktion, erfolgen in der Regel mit der Zielsetzung eines durchgehenden Betriebs, was zu Problemen mit der Bereitstellung von Flexibilität führt. Die Nutzung der Industrie als Batterie für den Energie-Redispatch könnte zur Dekarbonisierung des Energiesystems beitragen. Fortschrittliche Automatisierungs- und Optimierungstools sind unerlässlich, erfordern jedoch Kenntnisse vor Ort, technisches Fachwissen und realistische Erwartungen. Zur Aufrechterhaltung groß angelegter Prozesse ist eine

erhebliche Pufferkapazität erforderlich, die jedoch den Einsatz neuartiger Systeme einschränken kann. Die Identifizierung von Kompromissen ist von entscheidender Bedeutung, da die Flexibilität zwischen den Branchen erheblich variieren kann. Bei der Bewertung der Flexibilität besteht nach wie vor eine Lücke zwischen Top-down- und Bottom-up-Ansätzen.

Um eine industrielle aber flexible Produktion in großem Maßstab zu erreichen, sind Überlegungen zur Überdimensionierung und Lagerung erforderlich. Eine Umstrukturierung der Branche, einschließlich der Umstellung auf Batch-Prozesse oder der Beibehaltung kontinuierlicher Prozesse mit Pufferkapazität, ist möglich. Die Häufigkeit hängt vom regionalen Kontext und der Ressourcenverfügbarkeit ab. Es ist wichtig, die Lücke zwischen Top-Down- und Bottom-Up-Ansätzen zu schließen. Die Wirtschaftsleistung bestimmt oft die Wahl der Technologie und weist auf die potenzielle Notwendigkeit politischer Interventionen hin.

Die Entwicklung der Infrastruktur, insbesondere der Strom- und Wasserstoffnetze, bleibt von entscheidender Bedeutung. Innovationen wie Demand Side Management (DSM) und sektorspezifische Projekte sind entscheidend für die Optimierung des Energieeinsatzes und den Aufbau wasserstoffbasierter Infrastruktur. Der Übergang zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft erfordert öffentliche Akzeptanz, solide Richtlinien und eine fundierte Entscheidungsfindung. Die Bedeutung der Berücksichtigung lokaler Faktoren und verschiedener Energiequellen, der Förderung von selbst erzeugtem Strom, der Gewährleistung von Netzstabilität und -flexibilität sowie der Integration verschiedener Dekarbonisierungspfade darf nicht unterschätzt werden. Die Hochtemperatur-Wärmepumpentechnologie erweist sich als robuste und weithin akzeptierte Maßnahme zur Umsetzung der Elektrifizierung in der Industrie.

6.2 Empfehlungen für weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf Task-Ebene

Im Einklang mit den gemeinsamen Bemühungen und Erkenntnissen aus den Meetings wurde im Rahmen des Endberichts an das IETS Executive Committee seitens des Task Management ein Vorschlag zur Fortsetzung des Tasks 19 in einem Subtask vorgeschlagen, mit den nachfolgenden Aktivitäten.

- Aktivität 1. Kartierung industrieller Elektrifizierungsentwicklungen
- Aktivität 2. Tiefer Einblick in elektrifizierte Industrieprozesse
- Aktivität 3. Die Rolle der industriellen Elektrifizierung bei der industriellen Dekarbonisierung

Aus Sicht des österreichischen Konsortiums sind die folgenden Themenstellungen hervorzuheben, welche sich in den Arbeitsinhalten der genannten Aktivitäten eingliedern sollten:

Elektrifizierung in den **Roadmaps/Szenarien**: Es zeigt sich, dass sich aufgrund der starken technischen und politischen Entwicklungen der letzten Jahre eine Vielzahl neuer Erkenntnisse ergaben, darunter die Entwicklung von Transformationsszenarien hin zu einer klimaneutralen Gesellschaft

bzw Wirtschaft. Aus österreichischer Sicht sind hierzu insbesondere die Dekarbonisierungsszenarien des „NEFI - Lab der Vorzeigeregion New Energy For Industry“ zu nennen, sowie die Szenarien der F&E-Dienstleistung „TransformIndustry“ im Auftrag des Klima- und Energiefonds. Es könnte verglichen werden, welche Branchen bzw welche Teilprozesse in Österreich als elektrifiziert angenommen werden, und wie dies in den Roadmaps und Szenarien anderer Länder gesehen wird. Für den Bereich Elektrifizierung (Strom-Direktnutzung, Wärmepumpe, Wasserstoff) wäre der IEA IETS Task 19 prädestiniert, auch weil IEA IETS Task 20 „Roadmaps“ aktuell pausiert.

Transitionsprozess zum Roadmap-Status: Es ist zu beobachten, dass die finalen Zustände gemäß der Roadmaps und Szenarien von den Entwicklungen teils divergieren. Insbesondere im Jahr 2022, bei hohen Preisen und Unsicherheiten auch im Stromsektor, zeigte sich aus Sicht der Autor:innen keine nennenswerte Tendenz zu einer langfristig orientierten Umstellung mittels Elektrifizierung. Eine Erörterung des Transitionsprozesses aus technologischer, wirtschaftlicher und politischer Perspektive unter Einbringung der Sichtweise unterschiedlicher Länder wäre eine effektive Fortführungsmöglichkeit.

Industrielle Technologie- und Systemeingliederung von **Hochtemperaturwärmepumpen und Wasserstoff**: Hochtemperaturwärmepumpen und Wasserstoff sind die technologischen Fokus-Punkte der im IETS Task 19 involvierten Gruppen. Diese Themen können durch weiterführenden Austausch vertieft und die Aspekte der Eingliederung in das industrielle und Energiesystem weiter erörtert werden.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Netzwerkanalyse der in IETS Task 19 eingebrachten und diskutierten Projekte. Abbildung übernommen aus dem Entwurf zum Endbericht des Subtask 2 (Moncada und West, kommend).	14
Abbildung 2: Arbeitspaket-Übersicht in der Form, wie der Subtask 2 auf internationaler Ebene final durchgeführt wurde.	15
Abbildung 3: Partner:innen der sechsteiligen Webinarreihe „Dekarbonisierung der Industrie“, welche das zentrale Disseminationselement in Österreich darstellte.....	22
Abbildung 4: Ankündigung des öffentlichen Teils des IETS 19 Workshops, welcher im Oktober 2022 in Linz stattgefunden hat. Quelle: NEFI/AIT.	23

Literaturverzeichnis

Simon Moser, Hans Böhm, Johannes Lindorfer, Andreas Zauner, Gerwin Drexler-Schmid, Sophie Knöttner, Rene Hofmann, Thomas Kienberger, Christoph Sejkora, Johannes Dock, Jürgen Fluch, Christoph Brunner, Wolfgang Gruber-Glatzl (2020): Basispapier Elektrifizierung der Industrie. Bericht im Rahmen der österreichischen Beteiligung am IEA IETS Task 19, Linz, Jänner 2020. Im Internet verfügbar unter https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/iea_pdf/iea-iets-annex-19-industrial-electrification-basispapier-2020.pdf (2023-11-26).

Simon Moser, Hans Böhm, Johannes Lindorfer, Andreas Zauner, Gerwin Drexler-Schmid, Sophie Knöttner, Rene Hofmann, Thomas Kienberger, Maedeh Rahnama, Jürgen Fluch, Christoph Brunner, Wolfgang Gruber-Glatzl (2020): Energieszenarien - Review bestehender Energieszenarien, Veröffentlichungen & Roadmaps. Bericht im Rahmen der österreichischen Beteiligung am IEA IETS Task 19, Linz, Jänner 2020. Im Internet verfügbar unter https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/iea_pdf/IEA-IETS-19_Energieszenarien.pdf (2023-11-26).

Jonathan Moncada, Kira West (kommend): TASK XIX: ELECTRIFICATION IN INDUSTRY, Subtask 2 fFinal Report, kommend.

Andreas ten Cate, Onno Kleefkens, Sigrid Bollwerk, Soledad van Eijk (2018): New annex proposal. Industrial Electrification – Industrial transition through large-scale renewable energy. Version 2.0, 18. Mai 2018.

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

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

+43 800 21 53 59

servicebuero@bmk.gv.at

bmk.gv.at