



*IEA IETS Annex 19*

*Elektrifizierung der Industrie*

## **Energieszenarien**

**Review bestehender Energieszenarien, Veröffentlichungen & Roadmaps**

**Jänner 2020**

---

**IEA FORSCHUNGS  
KOOPERATION**

*Dieses Projekt wird im Rahmen der IEA-Forschungskooperation im Auftrag des  
Klima- und Energiefonds durchgeführt.*



**=** Bundesministerium  
Verkehr, Innovation  
und Technologie



**Der IEA IETS Annex 19 „Elektrifizierung der Industrie“**

Die Elektrifizierung in ihren verschiedenen Ausprägungen bietet Industriebetrieben Möglichkeiten, auf eine CO<sub>2</sub>-neutrale Produktion umzustellen. Das österreichische Konsortium, bestehend aus Energieinstitut an der JKU, AIT, MU Leoben und AEE INTEC, ist die österreichische Vertretung beim Annex „Elektrifizierung der Industrie“ der IEA (Programm: Industrial Energy-Related Technologies and Systems). Unser breit aufgestelltes Konsortium deckt die vielen Facetten der Elektrifizierung der Industrie ab: direkte Elektrifizierung, Wärmepumpen, Power-to-Hydrogen, Power-to-X, Potenzial- und Systemaspekte. Ziele und Tätigkeiten:

- Unterstützung und Beschleunigung der Einführung der Elektrifizierung in der Prozessindustrie
- Gemeinsame Entwicklung von neuem Wissen und Know-how zur industriellen Elektrifizierung
- Nutzung der Internationalen Netzwerk- und Informationsinfrastruktur
- Nationales Wissen zwischen den Partnern austauschen und verbreiten
- Verbesserung des Verständnisses der Bedingungen, Treiber und Politiken für eine optimale industrielle Umsetzung

**AutorInnen**

<p><b>Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz (Projektleitung)</b> Simon Moser Johannes Lindorfer</p>	
<p><b>AIT Austrian Institute of Technology</b> Gerwin Drexler-Schmid Sophie Knöttner Rene Hofmann</p>	
<p><b>Montanuniversität Leoben Lehrstuhl für Energieverbundtechnik</b> Thomas Kienberger Maedeh Rahnama</p>	
<p><b>AEE – Institut für Nachhaltige Technologien (AEE INTEC)</b> Jürgen Fluch Christoph Brunner Wolfgang Glatzl</p>	

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	4
2	Österreichische Fahrpläne und Studien .....	5
2.1	F&E-Fahrplan Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie.....	5
2.2	F&E-Fahrplan Energieeffizienz in der Lebensmittel- und Textilindustrie.....	6
2.3	Erneuerbare in der Industrie: „Renewables4Industry“ .....	6
2.4	IndustRiES.....	9
2.5	Österreichische Technologie-Roadmap für Wärmepumpen .....	13
2.6	FTI-Roadmap Power-to-Gas für Österreich.....	15
2.7	EnPro – Renewable process heat integration of solar thermal energy and heat pumps in industrial processes.....	16
3	Relevante internationale bzw. branchenbezogene Roadmaps und Studien .....	18
3.1	Eisen- und Stahlindustrie.....	18
3.2	Chemische Industrie.....	21
3.3	Petrochemische Industrie .....	23
3.4	Zementindustrie .....	23
4	Ausgewählte österreichische Energieszenarien.....	26
4.1	Szenario: Vollständige Elektrifizierung der österreichischen Industrie.....	26
4.2	Energiebilanz-basierte Szenarien eines erneuerbaren Energiesystems in Österreich.....	29
4.3	Szenario: Nutzung aller Arten erneuerbarer Energieträger für die Versorgung Industrie ...	32
5	Ausgewählte Forschungspapiere mit österreichischer Beteiligung .....	34

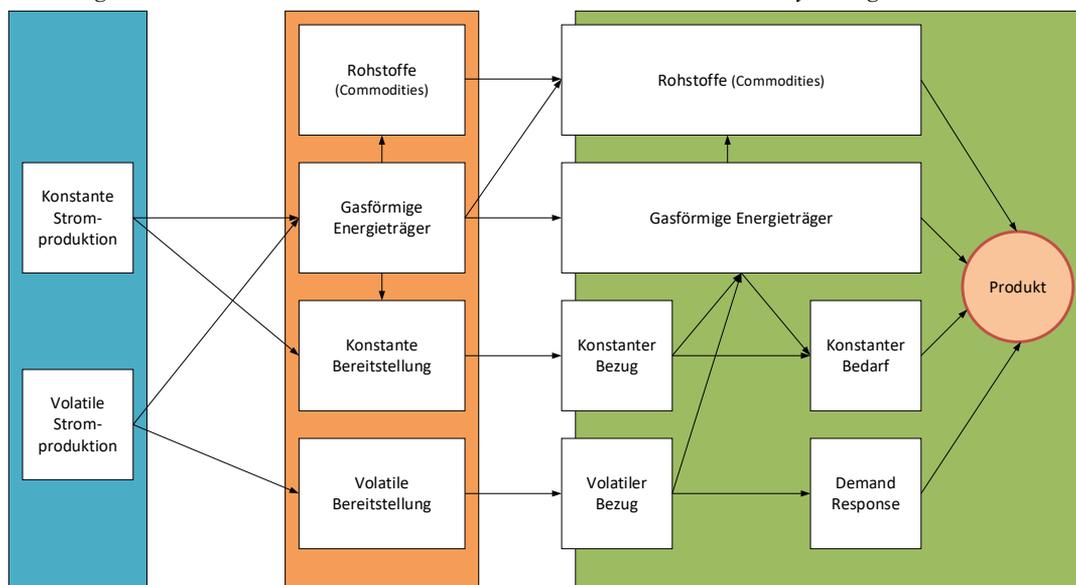
# 1 Einleitung

Task 1 des IETS Annex Proposals 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 Annex vollständig seine Arbeit aufgenommen hat, können in diesem Task die verschiedenen Szenarien für verschiedene Regionen verglichen und an die Ergebnisse der Roadmap angepasst werden.“ In diesem Sinne sieht der Antrag zur österreichischen Beteiligung als Meilenstein 2-1 vor, für Österreich relevante Energieszenarien zu definieren und in dem vorliegenden Papier zu beschreiben. Ebenso wird der Aufgabe des Arbeitspakets 2, Stakeholder einzubinden, nachgekommen (Meilenstein 2-4): Hier ist die Einbindung nationaler Stakeholder zur Ergänzung („provide input“) und Reflexion („consult“) der Ergebnisse bzw. bereits in der laufenden Analyse vorgesehen. Des Weiteren sah Task 2 des Annex Proposals vom Mai 2018 vor, eine „Roadmap 2050“ zu entwickeln. Diese sollte Forschungsthemen, politische Maßnahmen und die Implementierung von Technologien in der Industrie lenken und fokussieren. In diesem Sinne sieht der Antrag zur österreichischen Beteiligung als Meilenstein 3-2 vor, branchenspezifische, für österreichische Stakeholder relevante Studien und Fahrpläne zu sammeln und einzubringen.

**Ziel des vorliegenden Papiers ist daher eine Zusammenstellung der für Österreich bzw. österreichische Stakeholder relevanten Fahrpläne, Szenarien und Studien, welchen im Rahmens des Themas *Elektrifizierung der Industrie* Beachtung zu schenken ist.**

Gemäß dem Antrag zur österreichischen Beteiligung am IEA IETS Annex 19 wird 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.

Abbildung 1: Industrie im teilvolatilen Strommarkt. Abb. aus *Renewables4Industry*, Energieinstitut an der JKU.



## 2 Österreichische Fahrpläne und Studien

Im Folgenden werden österreichische Umsetzungs- sowie F&E-Fahrpläne und Studien mit Bezug zur Elektrifizierung der Industrie zusammengefasst. Die Zusammenfassung bietet Interessierten einen raschen Überblick zu den für Österreich vorhandenen Analysen und Literaturquellen.

### 2.1 F&E-Fahrplan Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie<sup>1</sup>

Der F&E-Fahrplan ist im Auftrag des Klima- und Energiefonds entstanden. Die Erstellung erfolgte durch das Energieinstitut an der JKU in Kooperation mit dem AIT. Das Institut für Energietechnik und Thermodynamik der TU Wien sowie Business Upper Austria wurden über Werkverträge beteiligt. Weitere Beiträge wurden vom Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik der Montanuniversität Leoben beigesteuert. Die Erstellung der Roadmap orientiert sich methodisch am „Energy Technology Roadmap Guide“ der IEA. Dieser skizziert einen klaren Ablauf bei der Erstellung und impliziert auch die Methoden der Einbindung der ExpertInnen aus relevanten Industrieunternehmen, dem Anlagenbau und Interessensvertretungen.

Der Status Quo sowie Trends und Entwicklungen wurden in Diskussionspapieren zusammengestellt. Es wurden zwei Workshops durchgeführt: Im ersten wurde gemeinsam mit relevanten Stakeholdern eine Vision für das Jahr 2050 erarbeitet. Im zweiten Workshop wurden sektorspezifisch Forschungsschwerpunkte für bestimmte Technologiefelder identifiziert. Insgesamt wurden bei der Fahrplanerstellung 42 Unternehmen, Institutionen, Fachverbände und Interessensvertretungen eingebunden. Die Sektoren waren

- Eisen/Stahl & Nichteisenmetalle
- Chemie und Petrochemie
- Steine und Erden (inkl. Zement und Glas)
- Papier und Zellstoff

Ziel der Analyse waren die industrieeinternen Produktionsprozesse, nicht jedoch die Energieeffizienz der produzierten Produkte. Es gilt längerfristige Perspektiven, Themenstellungen und Möglichkeiten zu diskutieren. Beim Fahrplan handelt es sich nicht um einen politischen Fahrplan, ebenso wenig soll die technische Machbarkeit überprüft werden oder sollen Energieszenarien entwickelt werden. Im Fokus steht die Formulierung von Zielen für die F&E und die Ableitung von Themenstellungen auf sektoraler Ebene, um die im Fahrplan formulierten Ziele zu erreichen.

Die erarbeitete Vision stellt ein wichtiges Element eines Fahrplans dar und bildet den Zielrahmen aus Sicht der Industrie. Diese Vision – erstellt von den Industriebetrieben – aus dem Jahr 2014 stellt ein starkes Commitment zum Standort Österreich, Kreislaufwirtschaft und Energieeffizienz dar.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Moser, Leitner, Steinmüller (2014): F&E-Fahrplan Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie. Eine Studie erstellt im Auftrag des Klima- und Energiefonds. Wien, November 2014. Web: <https://www.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/6/KLIEN2014FuE-FahrplanEnergieeffizienzinderenergieintensivenIndustrie.pdf> (2019-11-18).

<sup>2</sup> Moser, Leitner, Steinmüller (2014), S.8.

Im Folgenden werden jene identifizierten Forschungsfelder aufgelistet, welche einen Bezug zur *Elektrifizierung der Industrie* aufweisen:<sup>3</sup>

- Ausbau/Weiterentwicklung der EAF-Route (Stahlindustrie)
- Wärmepumpen (Trocknungs- und Batchprozesse, Abwärmenutzung)
- Carbon Capture (Zementindustrie – Relevanz mineralischer CO<sub>2</sub>-Emissionen)
- Wasserstoff als Reduktionsmittel (Stahlindustrie) bzw. Feedstock (Chemie)

## 2.2 F&E-Fahrplan Energieeffizienz in der Lebensmittel- und Textilindustrie

Diese Studie ist als Ergänzung zum 2014 durchgeführten und fertiggestellten F&E-Fahrplan (2.1) anzusehen. Ziel des Energie- und Klimafonds ist die Erweiterung des Fahrplans um die beiden Sektoren Lebensmittel- und Textilindustrie. Der Fahrplan wurde vom Energieinstitut an der JKU Linz in Kooperation mit dem AIT, sowie Business Upper Austria und AEE INTEC erstellt.<sup>4</sup>

Die Vision aus dem Fahrplan 2014 wurde weitgehend bestätigt bzw. keine gravierenden Änderungen reklamiert.<sup>5</sup> Im Folgenden werden jene identifizierten zusätzlichen Forschungsfelder aufgelistet, welche einen Bezug zur *Elektrifizierung der Industrie* aufweisen. Offensichtlich ist, dass Themen der Großindustrie wie z.B. Wasserstoffeinsatz oder Carbon Capture in der Lebensmittel- und Textilindustrie eine untergeordnete Rolle spielen.<sup>6</sup>

- Exergetisch optimierter Einsatz erneuerbarer Energieträger
- Ökologisch, ökonomisch und technisch sinnvolle Kombination aus Abwärmenutzung, solarer Prozesswärme, Wärmepumpe, Speichertechnologien und daraus abgeleitet
- Nutzung exergetisch hochwertiger erneuerbarer Energieträger für u.a. nachhaltige Prozessdampferzeugung, Integration von fluktuierender Stromerzeugung

## 2.3 Erneuerbare in der Industrie: „Renewables4Industry“

Das Projekt *Renewables4Industry - Abstimmung des Energiebedarfs von industriellen Anlagen und der Energieversorgung aus fluktuierenden Erneuerbaren* war eine F&E-Dienstleistung für den Klima- und Energiefonds und wurde vom Konsortium Energieinstitut an der JKU Linz, AIT Austrian Institute of Technology, MU Leoben EVT und AEE INTEC durchgeführt. Wesentliche Ziele des Projekts waren die

- Erstellung einer Strategischen Forschungsagenda (vgl. 2.3.1)
- Erstellung eines Diskussionspapiers mit spezifischen Schwerpunkten (vgl. die folgenden Subkapitel 2.3.2, 2.3.3, 2.3.4)
- Ableitung von (technologie-)politischen Empfehlungen

<sup>3</sup> Moser, Leitner, Steinmüller (2014), S.11ff.

<sup>4</sup> Steinmüller, Moser, Leitner (2016): F&E Fahrplan Energieeffizienz in der Textil- und Lebensmittelindustrie. Eine Studie erstellt im Auftrag des Klima- und Energiefonds. Linz, August 2016. Web: <http://www.energieinstitut-linz.at/v2/wp-content/uploads/2016/12/FE-Fahrplan-Energieeffizienz-in-der-Textil-und-Lebensmittelindustrie.pdf> (2019-11-18).

<sup>5</sup> Steinmüller, Moser, Leitner (2016), S.8.

<sup>6</sup> Steinmüller, Moser, Leitner (2016), S.10ff.

### 2.3.1 Forschungsthemen

An dieser Stelle ist insbesondere auf die Forschungsfelder und die spezifischen Forschungsthemen zu verweisen, wie sie in der im Rahmen von Renewables4Industry erstellten Strategischen Forschungsagenda<sup>7</sup> angeführt sind. Im Zuge der Erstellung der Strategischen Forschungsagenda wurden Forschungsthemen angeführt, welche in Folge zu sechs übergeordneten Forschungsfeldern geclustert wurden. Dabei weisen fast alle einen Bezug zur Elektrifizierung der Industrie auf.

- Nutzung von Niedertemperatur-Potenzialen [Anm.: Relevanz Abwärmenutzung, solare Prozesswärme, Wärmepumpen]
- Bereitstellung erneuerbarer Elektrizität und Speicherung bzw. Nutzung durch Power-to-X für exergetisch hochwertigen Bedarf [Anm.: Relevanz Wasserstoff]
- Bereitstellung weiterer erneuerbarer Energieträger (exergetisch optimiert)
- Speicherung erneuerbarer Energieträger (exkl. Power-to-X)
- Industrielle Prozesse im Hybridnetz [Anm.: Relevanz Wasserstoff & Demand Response]
- Produktionsanpassung für erneuerbare Energieträger und Flexibilität [Anm.: Relevanz Demand Response]

### 2.3.2 Potenzial

2017 hatte Österreich einen Primärenergieverbrauch in der Höhe von etwa 381 TWh. Der Anteil an Erneuerbaren am Primärenergieverbrauch betrug dabei 30 %. Im Rahmen des Projekts Renewables4Industry wurde der derzeitige Primärenergieverbrauch mit den verfügbaren Gesamtpotenzialen<sup>8</sup> an erneuerbarer Energie verglichen. Ziel war es, zu ermitteln, ob, den heutigen Verbrauch vorausgesetzt, eine Deckung mit eigenen Erneuerbaren möglich ist. Diese Potentialstudie stützt sich einerseits auf bereits publizierte Studien, und ergänzt diese andererseits durch eigene Berechnungen. In Summe konnte ein erneuerbares Potential in der Höhe von 219 TWh/a ermittelt werden, welches sich in der Größenordnung mit den anderen verfügbaren, österreichweiten Studien deckt. In dieser Studie wurden die Dachflächen zu jeweils 50 % für solarthermische Nutzung bzw. für Photovoltaik berücksichtigt. In Summe beträgt das Potential als stark fluktuierenden elektrischen Energieträgern (Photovoltaik und Windkraft) etwa 50 TWh/a. Das entspricht 79 % des derzeitigen elektrischen Endenergiebedarfs bzw. etwa 50 % des heimischen, rein erneuerbaren Strompotenzials 2050 (ohne Biomasseverstromung). Bei einem gleichbleibenden Primärenergieverbrauch ist davon auszugehen, dass eine energieautonomen und erneuerbaren Primärenergieaufbringung eine Deckungslücke von zumindest 162 TWh einstellen würde. Bezogen auf den Primärenergiebedarf von 2017 entspricht dies einer Primärenergieeinsparung von etwa 40 %.

Um in einem zukünftigen Energiesystem den Anteil an zu importierenden erneuerbaren Energieträgern möglichst gering zu halten, ist aufgrund der oben erwähnten Potentialsituation zur Deckung des Bedarfs eine höchst ambitionierte Steigerung der Primärenergieeffizienz erforderlich. Um diese Primärenergieeinsparungen zu erreichen, ist beim Design des zukünftigen Energiesystems auf

---

<sup>7</sup> Renewables4Industry (2017a): Strategische Forschungsagenda. Endberichtsteil 1 von 3. Im Auftrag des Klima- und Energiefonds. Linz, September 2017. Web: <http://www.energieinstitut-linz.at/v2/wp-content/uploads/2018/04/Renewables4Industry-Strategische-Forschungsagenda.pdf> (2019-11-14).

<sup>8</sup> Berücksichtigt wurden technische Potentiale. Es sind jene die mithilfe heutiger bekannter Technologie und unter Berücksichtigung sonstiger heutiger nicht-wirtschaftlicher Rahmenbedingungen (Flächenwidmung, Nutzungspfade, etc.) gehoben werden können.

eine Versorgung aller Energiedienstleistungen entsprechend ihres tatsächlich benötigten Exergiebedarfs vorzusehen. Dazu sind Technologien wie Wärmepumpen, Kraft-Wärme-Kopplung oder Abwärmenutzung notwendig. Derartige exergieoptimierte Systeme weisen die höchste Effizienz, bezogen auf die eingesetzte Primärenergie, auf.

### 2.3.3 Demand Response<sup>9</sup>

Maßnahmen zur Flexibilisierung der Prozesse erlauben die Hebung des Potenzials zur Umstellung auf eine erneuerbare und fluktuierende Versorgung und wirken kurz-, mittel- und langfristig und somit in unterschiedlichen Zeithorizonten.

Kurzfristig kann durch Demand Response-Maßnahmen ohne weitgreifende Änderungen in den Erzeugungsrouten in einigen industriellen Prozessen die Flexibilität erhöht werden.

Mittelfristig und langfristig wird die Flexibilität durch verstärkte Sektorkopplung und kaskadische Nutzung der Energieträger, Speicherintegration, Prozessintensivierung, Maßnahmen zur Erhöhung der Primär- und Endenergieeffizienz sowie die Umstellung auf neue Prozesse erhöht. In weiterer Folge können Lastspitzen verringert und geglättet werden, die Prozesse eignen sich besser für eine Versorgung durch Erneuerbare und die Potenziale für die niederexergetische Versorgung durch Solarthermie, Wärmepumpen und Abwärme werden angehoben. Durch diese Maßnahmen ergeben sich neue Demand Response-Potenziale.

Aktuell ist ein als gering einzustufendes Potenzial für Demand Response in industriellen Prozessen festzustellen. Auf Basis der durchgeführten Analysen ist davon auszugehen, dass wahrscheinlich schon aktuell ein höheres, aber nur vor Ort und mit Mitwirkung der Industrie zu analysierendes Potenzial vorliegt. Eine weitere Steigerung des Potenzials ist erstens durch eine Anpassung der Rahmenbedingungen (geeignetes Marktdesign) zu erwarten. Zweitens ist eine weitere, beträchtliche Steigerung des Potenzials durch eine Elektrifizierung von Anlagen und Teilprozessen zu erwarten.

Demand Response ist v.a. über kurze Zeitdauern (Minuten, Stunden, maximal ein Tag) einsetzbar und konkurriert mit Tagesspeichern. Für längere zeitliche Verschiebungen bis zum saisonalen Ausgleich braucht es Speicher.

### 2.3.4 Überblick Energieszenarien

Im Rahmen des Diskussionspapiers von Renewables4Industry wurden drei Energieszenarien entwickelt. Ein Szenario (vgl. 4.1) unterstellt, dass der gesamte Energiebedarf der Industrie eins-zu-eins auf eine Versorgung mit Strom umgestellt wird und untersucht, ob die Bedarfe nach Leistung und Menge durch das österreichische Potenzial gedeckt werden können. Zwei weitere Szenarien analysieren auf Basis von Energiebilanzen erstens eine Elektrifizierung der gesamten Volkswirtschaft sowie zweitens die Umstellung auf alle Arten erneuerbarer Energieträger (beides in 4.2).

---

<sup>9</sup> Renewables4Industry (2017c): Grundlegende Aussagen und technologiepolitische Empfehlungen. Endberichtsteil 3 von 3. Im Auftrag des Klima- und Energiefonds. Linz, Dezember 2017. Web: <http://www.energieinstitut-linz.at/v2/wp-content/uploads/2018/04/Renewables4Industry-Grundlegende-Aussagen-und-technologie-politische-Empfehlungen.pdf> (2019-11-14).

## 2.4 IndustRiES

Die Studie IndustRiES - Energieinfrastruktur für 100% Erneuerbare Energie in der Industrie – entstand 2019 im Auftrag des Klima- und Energiefonds und wurde am AIT durchgeführt.<sup>10</sup>

### 2.4.1 Motivation und Ziel

Der Ausbau bzw. die Optimierung der Energieinfrastruktur in Österreich ist eine unabdingbare Voraussetzung zur Erreichung der Klima- und Energieziele, aber auch zur Erhaltung der Versorgungssicherheit. Die Energiewende wirft Fragen auf, wie vor allem die Energieversorgung in der Industrie durch erneuerbare Energien bereitgestellt werden kann. Aktuell liegt der Erneuerbaren-Anteil für die gesamte Industrie bei 45% bezogen auf den Endenergieverbrauch. Ein Energieträgerwechsel, der mit starkem Fokus auf elektrische Energie verbunden sein wird, stellt auch neue Anforderungen an die existierende Energieinfrastruktur. Dazu zählen neben Erzeugungs- und Netzausbau auch Speichersysteme für entsprechende Flexibilitätsbereitstellung. Die Studie beschreibt eine Perspektive, wie die Energieversorgung der österreichischen Industrie vollständig durch erneuerbare Energien bereitgestellt werden kann, und zeigt auf, was es dazu bedarf. Folgende Fragestellungen sind dabei von zentraler Bedeutung:

- Welche Anforderungen ergeben sich für die einzelnen industriellen Sektoren?
- Welche Energieträger werden aktuell eingesetzt und durch welche können sie ersetzt werden?
- Welcher Energieträger bedarf es und in welcher Höhe?
- Wie können die einzelnen Energiebedarfe gedeckt werden und welche Potenziale gibt es?
- Welche Anforderungen ergeben sich durch räumliche und zeitliche Betrachtungen?

### 2.4.2 Potenziale und Szenarien

Aus bereits durchgeführten Studien wurden Potenziale für Energiebereitstellung aus erneuerbaren Energieträgern in Österreich verglichen und kombiniert. Die gewählten technischen Potenziale der Studie „IndustRiES“ ergaben sich zu insgesamt 231,5 TWh/a und orientieren sich zu einem großen Teil an der Studie „Renewables4Industry“<sup>11</sup>. Für Wasserkraft<sup>12</sup> und Windkraft<sup>13</sup> wurden die Aktualisierungen aus dem Jahr 2018 herangezogen. Das berücksichtigte technische Potenzial für elektrische Energie ergibt 118,9 TWh/a. Die Potenziale liegen bei 51,1 TWh/a für Wasserkraft, 32,7 TWh/a für Photovoltaik, 22,5 TWh/a für Windkraft und 11,7 TWh/a für Biogene. Außerdem finden die aktuellen Erzeugungswerte für die Kategorien Müll und Geothermie ebenfalls Berücksichtigung. Der Gesamtbeitrag liegt etwas unter 1 TWh/a<sup>14</sup>. Das technische Potenzial für thermische Energie ergibt

<sup>10</sup> R. Geyer, S. Knöttner, C. Diendorfer, G. Drexler-Schmid, IndustRiES – Energieinfrastruktur für 100% Erneuerbare Energie in der Industrie, Studie erstellt im Auftrag des Klima- und Energiefonds, Wien, September 2019. Web: [https://www.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/6/Studie\\_IndustRiES-2019\\_RZ.pdf](https://www.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/6/Studie_IndustRiES-2019_RZ.pdf)

<sup>11</sup> Renewables4Industry (2018b): Diskussionspapier zum Projekt Renewables4Industry. Endberichtsteil 2 von 3. Im Auftrag des Klima- und Energiefonds. Linz, Jänner 2018.

<sup>12</sup> M. Fuchs, „Wasserkraftpotenzialstudie Österreich – Aktualisierung 2018“, Pöyry Austria GmbH im Auftrag von Österreichs E-Wirtschaft, Wien, 2018.

<sup>13</sup> S. Moidl und H. Winkelmeier, „Neubewertung des Potenzials zur Nutzung der Windkraft in Österreich bis zum Jahr 2030“, IG Windkraft, St. Pölten, 2018.

<sup>14</sup> Austrian Power Grid AG, „Erzeugung nach Typ“, [Online]. Web: <https://www.apg.at/de/markt/Markttransparenz/erzeugung/Erzeugung%20pro%20Typ> [Zugriff am 12. Juni 2019].

112,6 TWh/a. Es setzt sich zusammen aus 59,9 TWh/a für biogene Brenn- und Treibstoffe sowie 46,0 TWh/a für Umgebungswärme. Zusätzlich wurde die Annahme getroffen, dass die aktuellen Energieträger Brennbare Abfälle mit 3,4 TWh/a sowie Fernwärme mit 3,2 TWh/a weiterhin zur Verfügung stehen<sup>15</sup>.

Für den Umstieg auf eine dekarbonisierte Energieversorgung der Prozesse wurden anhand der ermittelten Datengrundlage die drei **Szenarien Basis, Effizienz** und **Umbruch** definiert. Bei der Szenarienentwicklung wurden insbesondere die jeweiligen Prozessanforderungen, Nutzkategorien sowie mögliche Technologieoptionen berücksichtigt. Ebenso wurde auf die Potenziale der erneuerbaren Energien und mögliche und sinnvolle Einsatzgebiete eingegangen. Die drei Szenarien stellen unterschiedlich ambitionierte Zielerreichungen dar, wobei das Umbruch-Szenario auch die Verfahrensumstellung des Sektors Eisen- und Stahlerzeugung auf Direktreduktion mit Wasserstoff beinhaltet, da aktuell in der Energieversorgung der Stahlerzeugung Koppelprodukte aus vorgelagerten Prozessen, wie der Kokerei oder dem Hochofenprozess, als Endenergieträger eingesetzt werden. Eine entkoppelte Dekarbonisierung von Energieversorgung und Prozess ist somit hier nicht realisierbar.

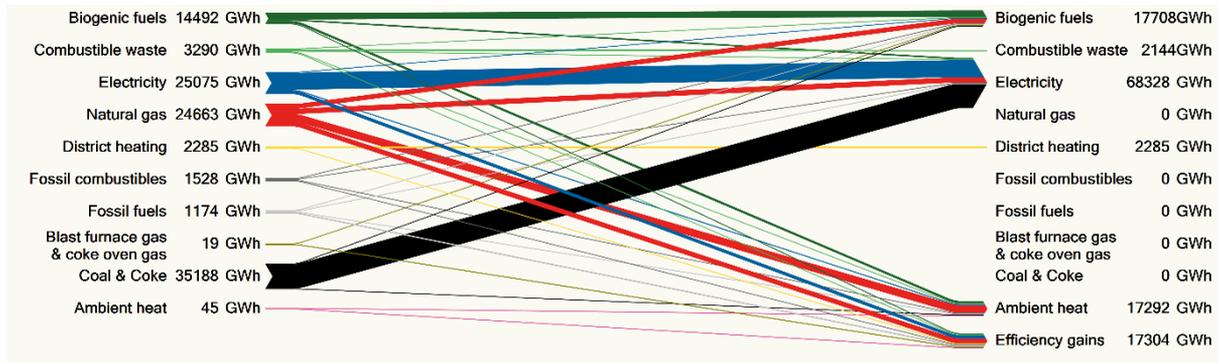
### 2.4.3 Ergebnisse

Die Szenarien weisen eine Bandbreite des Endenergieverbrauchs von 82 (Effizienz) bis 108 TWh (Umbruch) auf (vgl. 94 TWh im Jahr 2017). Dabei zeigt sich eine zunehmende Verschiebung hin zu elektrischer Energie, vor allem im Umbruch-Szenario (Abbildung 2.1). Im Basis- und Effizienz-Szenario spielen auch die biogenen Brenn- und Treibstoffe eine wichtige Rolle, ihr Anteil ist etwa doppelt so hoch im Vergleich zum Status quo. Mit zunehmendem Einsatz von Wärmepumpen gewinnt auch der Energieträger Umgebungswärme, beispielsweise aus industrieller (Hochtemperatur-)Abwärme, Solarthermie, Geothermie, o.ä., an Stellenwert. Die Ergebnisse zeigen weiters, dass mit den in Österreich zur Verfügung stehenden Potenzialen an erneuerbaren Energien in allen Szenarien der industrielle Endenergieverbrauch bilanziell gedeckt werden kann. Die Potenziale reichen aber nicht aus, um die restlichen Sektoren Verkehr, Öffentliche und Private Dienstleistungen, Private Haushalte und Landwirtschaft zu decken, welche insgesamt weitere 220 TWh nachfragen. Dabei ergibt sich eine Deckungslücke je nach Szenario in der Höhe von 71 bis 97 TWh. Dieser Bedarf muss durch Importe gedeckt werden.

---

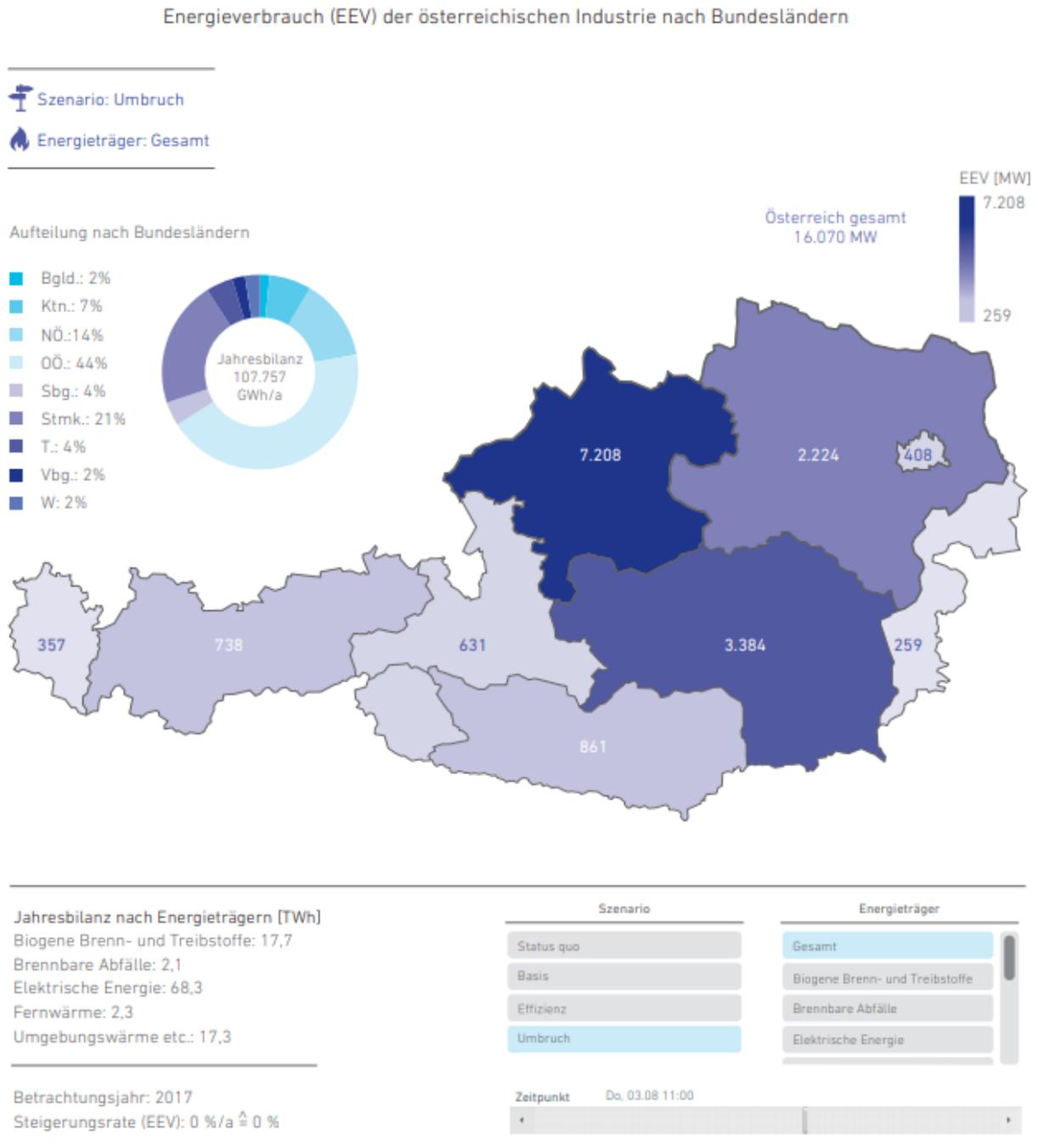
<sup>15</sup> STATISTIK AUSTRIA, „Energiebilanzen“, STATISTIK AUSTRIA – Bundesanstalt Statistik Österreich, 2019 [Online]. Web: [https://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/energie\\_umwelt\\_innovation\\_mobilitaet/energie\\_und\\_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html](https://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html) [Zugriff am 21.Jänner 2019]

Abbildung 2.1: Verschiebung der Energieträger im Umbruch-Szenario, Zugewinne vor Allem im Bereich Elektrizität, Umgebungswärme (Abwärme) und Effizienzmaßnahmen



Die räumliche Auflösung ist durch die zur Verfügung stehende Datenbasis auf Bundeslandebene definiert. Darüber hinaus wurden den jährlichen Energieverbräuchen stündliche Lastprofile hinterlegt, wodurch Erzeugung und Nachfrage von Strom, aber auch der Bedarf aller anderen Energieträger, detailliert miteinander verglichen wurden. Abgeleitet wurden Aussagen über minimale und maximale Leistungsbedarfe sowie Unter- und Überdeckungen und in weiterer Folge zu möglichen Speicher- bzw. Importbedarfen. Für elektrische Energie ergibt sich eine Unterdeckung zwischen 1,9 (Effizienz) und 7,1 TWh (Umbruch) für Gesamtösterreich. Dieser Bedarf kann also nicht direkt mit den vorhandenen Erneuerbaren-Potenzialen gedeckt werden. Außerdem verdoppelt sich die berechnete Höchstlast der Industrie im Umbruch-Szenario mit 14,6GW um mehr als das Doppelte gegenüber dem Status quo (6,3GW). Im Vergleich dazu lag die Höchstlast im öffentlichen Stromnetz in Österreich im Jänner 2017 bei 10,6 GW. Daraus resultiert, dass die berechnete Höchstlast der Industrie im Umbruch-Szenario um 38% höher ist als die derzeitige Höchstlast im öffentlichen Stromnetz.

Abbildung 2.2 - Visualisierung des Tools IndustRiES, das im Rahmen der Studie zur Visualisierung der zeitlich aufgelösten, regionalen Nachfrage und Erzeugung nach Energieträger entwickelt wurde<sup>16</sup>



<sup>16</sup> Grafik: R. Geyer, S. Knöttner, C. Diendorfer, G. Drexler-Schmid (2019)

## 2.4.4 Empfehlungen

Folgende energiepolitische Empfehlungen wurden basierend auf den Studienergebnissen formuliert:

- **Verstärkter und sofortiger Ausbau an erneuerbaren Energien und integrierter europäischer Energieinfrastrukturen**, um die Versorgungssicherheit und im Sinne eines gesamtwirtschaftlichen Optimums zu gewährleisten. Dazu sind Erhaltung und Ausbau von integrierten, europaweit vernetzten Energieinfrastrukturen notwendig. Ebenso ist, aufgrund des steigenden Bedarfs an Flexibilität in entsprechende Technologien (Speicher, Power to Gas, regelbare Kraftwerke, etc.) zu investieren.
- Im zukünftigen Energiesystem werden Industrieunternehmen als Prosumer verstärkt aktiv eingebunden sein und flexibel auf Änderungen reagieren und somit einen Beitrag zur Aufrechterhaltung der Versorgungssituation leisten. Dazu bedarf es der **Erfassung neuer Kopplungsstellen zwischen den Energiesektoren**. Aufgrund der großen Bandbreite der Prozesse ergeben sich neue Schnittstellen und Synergien zwischen Strom, Gas und Wärme/Kälte. Im Sinn der Effizienz und Brennstoffausnutzung ist es sinnvoll die unterschiedlichen Energiedomänen miteinander zu vernetzen und gemeinsame Pläne zu entwickeln.
- Für eine umfassende Planung müssen **örtliche und zeitliche Verteilung potentieller erneuerbaren Energien Einspeisung detaillierter erfasst** werden. Die Studie zeigt die stärksten Veränderungen des Strombedarfs im Raum Linz und Raum Leoben/Mürztal. Hingegen liegen viele Erneuerbaren-Potenziale wie z.B. die Windkraft in Ostösterreich bzw. die Wasserkraft in Alpenregionen. Für die Infrastrukturplanung ist eine detaillierte Datengrundlage ein entscheidender Erfolgsfaktor.

Folgende FTI-politische Handlungsempfehlungen wurden abgeleitet:

- Technologieentwicklung zur Erhöhung der Energieeffizienz in der Industrie
- Großflächige Demonstratoren zur Validierung von Technologien und Systemlösungen
- Erweiterung der statistischen Datengrundlage und Einführung eines Potenzialkatasters für erneuerbaren Energien und Abwärme
- Modellierung zur Ableitung von Szenarien und Rahmenbedingungen für eine integrierte Energieinfrastrukturentwicklung

## 2.5 Österreichische Technologie-Roadmap für Wärmepumpen

### 2.5.1 Motivation und Ausgangssituation

Die Einhaltung ambitionierter Klima-, Energie- und Umweltziele verlangt den Umbau der Energieversorgung in ein weitgehend CO<sub>2</sub>-freies, effizientes und erneuerbares Energiesystem, wobei Wärmepumpen einen beachtlichen Beitrag leisten können (siehe Abbildung 2.1, Nutzung von 17 TWh Umgebungs- und Abwärme). Die Anwendungsfelder der Technologie reichen von der umweltschonenden Beheizung und Kühlung von Gebäuden, zur optimierten Wärme- und Kältebereitstellung mittels thermischer Netze bis hin zum effizienten Energieeinsatz in Industrie- und Gewerbeunternehmen. Des Weiteren können sie eine wichtige Rolle beim Lastmanagement in zukünftigen intelligenten elektrischen Netzen spielen. In der vorliegenden nationalen

Technologieroadmap<sup>17</sup> werden auf Basis der Stärken der nationalen Wärmepumpenbranche Szenarien der Marktentwicklung in Österreich in verschiedenen Einsatzfeldern der Technologie entwickelt und der damit verbundene technologische Forschungs- und Entwicklungsbedarf bis 2030 aufgezeigt. Auch konkrete Handlungsempfehlungen für Politik, Anwender, Industrie sowie Forschung und Entwicklung werden abgeleitet, um eine möglichst breite Marktdurchdringung von Wärmepumpen in Österreich zu forcieren.

## 2.5.2 Ergebnisse

Im Rahmen der Wärmepumpen-Roadmap wurden folgende vier Hauptanwendungs- bzw. Innovationsbereiche „Wärmepumpen für Wohn- und Nichtwohngebäude“, „Wärmepumpen in Smart Electric Grids“, „Wärmepumpen in thermischen Netzen“ und „Wärmepumpen für Industrieprozesse“ bearbeitet.

Die Integration von Wärmepumpen in Industrieprozesse befanden sich 2016 trotz des großen technischen Potenzials noch in einer sehr frühen Diffusionsphase, die aufgrund der geringen nationalen Absatzzahlen 2016 noch keine seriöse Trendabschätzung erlaubt hat. Dabei lagen die größten Hemmnisse bei der Marktdiffusion von Industrierärmepumpen im informatorischen Bereich. Der Bekanntheitsgrad der technischen Möglichkeiten und der wirtschaftlich umsetzbaren Anwendungspotenziale sind bei den relevanten Akteuren gering. Die Vernetzung der Akteure ist in einem sehr frühen Stadium, wobei die Dokumentation und Verbreitung einer größeren Zahl von nationalen „Good Practise“ Beispielen in diesem Bereich ein wichtiger Schritt wäre.

Rahmenbedingungen wie z.B. der Anstieg der Erneuerbaren in der Elektrizitätsversorgung und die erweiterten technischen Möglichkeiten der Technologie durch die Verfügbarkeit neuer Kältemittel bieten der nationalen Wärmepumpenbranche einen weiten Bereich für Innovationen und neue Märkte. Die Forschungs- und Entwicklungsthemen bis 2030 sollen Umsetzung von Musterlösungen und Pilotanlagen in ausgewählten Branchen und Prozessen, die Entwicklung verbesserter Industrierärmepumpen für höhere Nutzungstemperaturen und die Erarbeitung neuer Konzepte für Industrierärmepumpen umfassen.

Wärmepumpen gelangten in den letzten Jahren immer stärker in den Fokus von Power-to-Heat und Lastflexibilisierungsmaßnahmen. Seitens der nationalen Wärmepumpenbranche wurden dafür „Smart Grid Ready“ Wärmepumpen entwickelt und auf den Markt gebracht. Die Wärmepumpenindustrie ist damit für diese Anwendungen bereits gerüstet. Der Handlungsbedarf liegt im Moment bei den Netzbetreibern und Energieversorgern. Für eine breite Anwendung von Wärmepumpen in Smart Electric Grids bedarf es zum einen eines Ausbaus von Smart Electric Grid Technologien, zum anderen sind seitens der Netzbetreiber und Energieversorger offene Fragen zur physikalischen Schnittstelle und zum Informationsaustausch zu klären sowie geeignete Markt- und Geschäftsmodelle zu entwickeln.

Im Rahmen der in der Roadmap berechneten Szenarien können bis 2030 durch den Einsatz von Wärmepumpen Nettoeinsparungen der Treibhausgasemissionen um Faktor 5,4 erhöht werden im Vergleich mit dem Referenzjahr 2015. Das entspräche einer Einsparung von mehr als 3 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>e<sup>18</sup> führen. Einen besonderen Stellenwert nehmen dabei Industrierärmepumpen

---

<sup>17</sup> Hartl, Biermayr, Schneeberger, Schöfmann (2016): Österreichische Technologie-Roadmap für Wärmepumpen. Berichte aus Energie- und Umweltforschung. BMVIT. Wien. August 2016. Web: [https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/nw\\_pdf/1608\\_endbericht\\_oesterreichische\\_technologieroadmap\\_fuer\\_waermepumpen.pdf?m=1469661515](https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/nw_pdf/1608_endbericht_oesterreichische_technologieroadmap_fuer_waermepumpen.pdf?m=1469661515)

<sup>18</sup> Kohlenstoffdioxidäquivalent (CO<sub>2</sub>e)

ein, die trotz vergleichsweise geringer Stückzahlen einen wesentlichen Beitrag zur Gesamtbilanz erbringen.

### 2.5.3 Empfehlungen

Abgeleitete Empfehlungen (F&E, anreizorientiert, normativ und informatorisch) im Bereich des industriellen Einsatzes von Wärmepumpen mit Anbindung in einem Smart Electric Grid sind unter anderem:

- Förderung von Technologieentwicklung der Industriewärmepumpe bis zu einer Nutzungstemperatur von 155 °C zur Abwärmennutzung und Prozessintegration.
- Ergänzung des Maßnahmenkatalogs im Sinne des Energieeffizienzgesetzes in Hinblick auf Wärmepumpen in industriellen Prozessen.
- Entwicklung und Implementierung technologieneutraler bundeseinheitlicher Marktanzreizprogramme.
- Weiterentwicklung eines bundeseinheitlichen regulatorischen Rahmens für Netzentgelte für unterbrechbare Tarife.
- Förderung von Informationsveranstaltungen im Bereich Industriewärmepumpen zu branchenspezifischen Musterlösungen und Fördermöglichkeiten.

## 2.6 FTI-Roadmap Power-to-Gas für Österreich

Die chemische Speicherung der elektrischen Energie in Form von gasförmigen Stoffen wie Methan oder Wasserstoff (Power-to-Gas) weist spezifische Vorteile gegenüber anderen Speichertechnologien auf, wie die Möglichkeit der Langzeitspeicherung von Energie in der bestehenden Gasinfrastruktur, die Möglichkeit zur Speicherung hoher Energiekapazitäten, die Verlagerung des Energietransports oder die Bindung von Kohlendioxid usw. Die FTI-Roadmap (Forschung, Technologie und Innovation) wurde vom Energieinstitut an der JKU Linz unter Einbindung führender nationaler ExpertInnen für das BMVIT erstellt.<sup>19</sup>

Elektrolyse-Wasserstoff oder synthetisches Methan können auf vielfältige Weise zur Wärme- bzw. Stromproduktion, als Kraftstoffe oder als Brenn- und Rohstoffe in der Industrie eingesetzt werden. Power-to-Gas ermöglicht somit nicht nur im Strom- sondern auch im Transport- und Industriesektor einen höheren Anteil Erneuerbarer und trägt damit potentiell zur Reduktion der Treibhausgasemissionen bei.<sup>20</sup> Der Einsatz von erneuerbarem Wasserstoff aus Power-to-Gas in der Industrie weist ebenfalls ein enormes Reduktionspotential für Primärenergie und Treibhausgasemissionen auf, da die derzeit üblichen Wasserstoff-Produktionstechnologien vorwiegend fossile Rohstoffe wie Kohle, Erdöl oder Erdgas einsetzen.<sup>21</sup> Ebenfalls erwähnt wird die Bereitstellung von Kohlenstoffen für die Methanisierung.<sup>22</sup>

Die Roadmap geht auf die Möglichkeiten des Einsatzes als Rohstoff in der Industrie ein. Sie zitiert eine Quelle aus 2004, wonach international 50 Mio. t/a in der Industrie genutzt werden. Wasserstoff wird

<sup>19</sup> Tichler et al. (2014): FTI-Roadmap Power-to-Gas für Österreich. BMVIT Berichte aus Energie- und Umweltforschung 50/2014. Web: [https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/nw\\_pdf/1450\\_fti\\_roadmap\\_power\\_to\\_gas.pdf](https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/nw_pdf/1450_fti_roadmap_power_to_gas.pdf) (2019-11-14).

<sup>20</sup> Tichler et al. (2014), S.22.

<sup>21</sup> Übernommen aus Tichler et al. (2014), S.27.

<sup>22</sup> Tichler et al. (2014), S.35.

derzeit überwiegend als Rohstoff für die chemische Industrie oder in der Materialverarbeitung eingesetzt. Beispiele sind die Herstellung von Aldehyden und Ketonen, hochfesten Polyäthylenen und Polypropylenen, Alkoholen aus Aldehyden und Ketonen, Chlorkohlenwasserstoff usw. Weiters kommt Wasserstoff z.B. zum Einsatz bei der Methanolsynthese, Hydrierung von Ölen und Fetten, oder als Hilfsstoff in der Elektronik und Halbleiterindustrie.<sup>23</sup>

Die Roadmap geht in ihren Empfehlungen vor allem auf das vorgelagerte System der Bereitstellung und Verarbeitung von Wasserstoff (Methan, Methanol, etc.) ein. Industrielle Systeme als Nutzer bzw. „Prosumer“ des Wasserstoffs und dessen Abwandlungen, sowie notwendige technologische Neuerungen, sind in den Empfehlungen nicht enthalten.<sup>24</sup>

## 2.7 EnPro – Renewable process heat integration of solar thermal energy and heat pumps in industrial processes

Wärmepumpen und Solarthermie zählen zu den Schlüsseltechnologien zur Bereitstellung erneuerbarer thermischer Energie und können einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung der Klimaziele leisten. In industriellen Prozessen werden diese Technologien allerdings nur bedingt kombiniert und exergetisch optimiert eingesetzt. Dafür wurde im Projekt ein Leitfaden entwickelt, der zur weiteren Verbreitung von Wärmepumpen und Solarthermie in der Industrie dienen soll. Er richtet sich an interessierte, potentielle Anwender, die mehr erneuerbare Prozesswärme in ihren Betrieb bringen möchten, sowie an Planer, Industrieanlagenbauer und Hersteller von Solarthermieanlagen und Wärmepumpen. Das Projekt zeigt, wie Solarthermie und Wärmepumpen in Industrieprozesse integriert werden können, und welche Kriterien und Parameter bei der Identifikation und Bewertung von Integrationskonzepten wichtig sind. Das EnPro-Tool, mit dem der individuelle Nutzen der hier vorgestellten Maßnahmen und Konzepte abgeschätzt werden kann, ergänzt die Projektergebnisse. Wichtig zu beachten sind die technischen Grundlagen von Wärmepumpen und Solarthermie: (i) die wichtigsten technischen Begriffe, (ii) der Stand der Technik, (iii) die Einsatzmöglichkeiten und (iv) die Grenzen der Technologien. Der erste Schritt hin zur erneuerbaren Prozesswärme ist die Analyse der energetischen Ausgangssituation des Betriebes. Dabei muss geklärt werden, wie Energie bereitgestellt und wofür Energie eingesetzt wird. Aufbauend auf dem Ist-Stand muss der Energieeinsatz auf Prozessebene so weit wie technisch und ökonomisch sinnvoll reduziert werden. Mögliche Ansätze sind die Anpassung von Prozessparametern und die geeignete Auswahl von energieeffizienten Prozesstechnologien nach dem Stand der Technik. Der nächste Schritt ist die Evaluierung der Systemoptimierung. Dabei geht es vor allem um die Wärmeintegration. Es werden potentielle Wärmequellen (Prozessabwärme, Anlagenabwärme) mit Wärmesenken über Wärmetauscher verknüpft. Dann kann der optimierte Energiebedarf mit erneuerbarer Prozesswärme abgedeckt werden. Es wurden sechs Integrationskonzepte entwickelt, die beschreiben, wie Solarthermie, Wärmepumpen und deren Kombinationen in einen Betrieb integriert werden können, um erneuerbare Prozesswärme bereitzustellen. Zur Entscheidungsfindung, welche Technologie und welches Konzept für einen Betrieb besonders gut geeignet sind, dienen ein Kriterienkatalog und ein Entscheidungsbaum, sowie Beispiele.

---

<sup>23</sup> Übernommen aus Tichler et al. (2014), S.43.

<sup>24</sup> Tichler et al. (2014), S.

Eine direkte Ableitung aus dem Projekt ist, dass die Kombination von erneuerbaren Technologien für den niedrigen und mittleren Temperaturbereich ein Schlüssel für die Dekarbonisierung des industriellen Energiesystems ist. Durch die Adressierung dieses Bereichs erhöht sich das Potential erneuerbaren Stroms zur Abdeckung des exergetisch hochwertigen Bedarfs. Für die Identifizierung sinnvoller lokaler und globaler Optima aus der Kombination der genannten Technologien, ergänzt um Speicher, PV, PVT und Abwärmenutzung wurde im Mai 2019 ein D-A-CH-Projekt unter der Führung von AEE INTEC u.a. mit den Partnern (AIT, TU Wien – IET) gestartet.

## 3 Relevante internationale bzw. branchenbezogene Roadmaps und Studien

Ein Ziel der österreichischen Beteiligung am Annex 19 ist das Einbringen und Vergleichen der bestehenden nationalen Roadmaps sowie der von österreichischen Stakeholdern<sup>25</sup> unterstützten Branchen-Roadmaps in die Entwicklungen auf Annex-Ebene.<sup>26</sup> Schlüsselinformationen wie Forschungsthemen, politische Maßnahmen und die Implementierung von Wärmepumpen- und Speichertechnologien sowie die Ergebnisse zu Wasserstoff und Stromdirektnutzung fließen in die internationale Annex-Arbeit ein.

### 3.1 Eisen- und Stahlindustrie

#### 3.1.1 Steel's contribution to a low carbon future and climate resilient societies (worldsteel position paper 2019)

Die World Steel Association (worldsteel) ist eine der größten Industrieverbände weltweit und repräsentiert über 160 Stahlhersteller sowie nationale und regionale Herstellerverbände und Forschungseinrichtungen. 85% der weltweiten Stahlerzeugung sind unter dem Dach der worldsteel angesiedelt. Worldsteel hat 2019 ein Positionspapier zum Beitrag des Stahls in einer low-carbon future herausgegeben.<sup>27</sup>

Das Positionspapier sagt aus, dass für die drastische Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Stahlerzeugung die Entwicklung von Breakthrough-Technologien von entscheidender Bedeutung ist. So laufen in verschiedenen Teilen der Welt zahlreiche „vielversprechende“ Projekte auf unterschiedlichen TRL-Levels zwischen früher Forschungs- und Pilot- oder Demonstrationsphase. Das Positionspapier teilt diese unter den folgenden Kategorien ein:<sup>28</sup>

- Wasserstoff als Reduktionsmittel
- CCS
- CCU
- Biomasse als Reduktionsmittel
- Elektrolyse – elektrische Reduktion

Zu den Ansätzen der Breakthrough-Technologien wurde 2019 auch ein Fact Sheet „Climate Change Mitigation“ veröffentlicht, in dem sich weitere Erläuterungen finden.<sup>29</sup>

---

<sup>25</sup> Wir danken den Unternehmen und Interessensverbänden für die branchenspezifischen Hinweise.

<sup>26</sup> Dies entspricht Meilenstein 3-2 des der österreichischen Beteiligung am Annex 19 zugrundeliegenden Projektangebots.

<sup>27</sup> World Steel Association (2019a): Steel's contribution to a low carbon future and climate resilient societies – worldsteel position paper. ISBN 978-2-930069-83-8. Web: [https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:7ec64bc1-c51c-439b-84b8-94496686b8c6/Position\\_paper\\_climate\\_2019\\_vfinal.pdf](https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:7ec64bc1-c51c-439b-84b8-94496686b8c6/Position_paper_climate_2019_vfinal.pdf) (2019-11-15).

<sup>28</sup> World Steel Association (2019a), S.4.

<sup>29</sup> World Steel Association (2019b): Fact Sheet – Climate Change Mitigation. Web: [https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:0191b72f-987c-4057-a104-6c06af8fbc2b/fact%2520sheet\\_climate%2520mitigation\\_2019\\_vfinal.pdf](https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:0191b72f-987c-4057-a104-6c06af8fbc2b/fact%2520sheet_climate%2520mitigation_2019_vfinal.pdf) (2019-11-15).

### 3.1.2 Climate Action programme (worldsteel 2008)

Im Jahr 2008 wurde das Programm „Climate Action“ ins Leben gerufen, bei dem Unternehmen Daten zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen auf Standort- oder Unternehmensebene melden. Ein teilnehmendes Unternehmen oder ein Standort erhält einen Bericht, in dem die durchschnittlichen Emissionsdaten und der Emissionsbereich der Prozessroute aufgeführt sind, mit denen es sich vergleichen kann. Das Datenerhebungsprogramm bildet den Kern des globalen Ansatzes der Stahlbranche zur Bekämpfung des Klimawandels. Basierend auf einer gemeinsamen Methodik, Definitionen und vereinbarten Grenzen ermöglicht das Datenerfassungsprogramm, dass sich einzelne Stahlwerke mit der durchschnittlichen und der besten Leistung vergleichen und Verbesserungsmöglichkeiten identifizieren können. Die Teilnahme steht allen Stahlproduzenten oder -unternehmen, Mitgliedern und Nichtmitgliedern gleichermaßen offen. Das Programm stellt eine fundierte Datenbasis als Ausgangspunkt auf, verweist allerdings nicht auf neue Technologien bzw. im Speziellen auf Möglichkeiten der Elektrifizierung.<sup>30</sup>

### 3.1.3 A steel roadmap for a low carbon Europe 2050 (EUROFER 2013)

Mit ihrem „Fahrplan für den Übergang zu einer wettbewerbsfähigen kohlenstoffarmen Wirtschaft im Jahr 2050“ aus dem Jahr 2013 schaute die Europäische Kommission über die 2020-Ziele hinaus und legt einen Plan vor, um das langfristige Ziel einer Reduzierung der Emissionen um 80 bis 95% bis etwa 2050 zu erreichen (dieses Ziel wurde von den europäischen Staats- und Regierungschefs vereinbart). In Folge reagierten die europäischen Branchenverbände auf die Roadmap mit der Vorlage von branchenspezifischen Fahrplänen, u.a. Eurofer mit der „steel roadmap for a low carbon Europe 2050“.<sup>31</sup>

Die Roadmap führt neue Reduktionsprozesse in Kombination mit Carbon Capture als mögliche Zieltechnologien an; für eine umfassende Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen wird aber nur die Nutzung der Wasserstoff-Route dargestellt.<sup>32</sup>

### 3.1.4 A regulatory framework for CO<sub>2</sub>-lean steel produced in Europe (EUROFER discussion paper 2019)

In ihrem Diskussionspapier aus dem Jahr 2019 fordert die europäische Stahlindustrie u.a. eine faire Behandlung gegenüber ausländischer Konkurrenz (Carbon Border Adjustment). Ansonsten fokussiert das Diskussionspapier auf die Elektrifizierung und die Bereitstellung von Energie über die Wasserstoff-Route: Um die Ziele 2050 zu erreichen, müssen die vielversprechendsten Technologien „so schnell wie möglich in der kommenden Dekade“ getestet und implementiert werden. Die europäische Stahlindustrie wird jährlich etwa 400 TWh CO<sub>2</sub>-neutraler Elektrizität benötigen, u.a. für die Produktion und Nutzung des Wasserstoffs. Entsprechend beinhaltet das Diskussionspapier auch die Forderung

---

<sup>30</sup> World Steel Association (2019c): Climate Action programme. Website. Web: <https://www.worldsteel.org/steel-by-topic/environment-climate-change/climate-change.html> (2019-11-15).

<sup>31</sup> EUROFER (2013): A steel roadmap for a low carbon Europe 2050. Web: <http://www.eurofer.org/News%26Events/PublicationsLinksList/2013-Roadmap.pdf> (2019-11-15).

<sup>32</sup> EUROFER (2013), S.12.

nach einem entsprechenden Ausbau der Erneuerbaren sowie (zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit) der Transport- und Speicherinfrastruktur.<sup>33</sup>

### 3.1.5 Low Carbon Roadmap – Pathways to a CO<sub>2</sub>-neutral European Steel Industry (EUROFER 2019)

Die Roadmap<sup>34</sup> stellt klar, dass die europäische Stahlindustrie führend bei Umwelt- und Klimaperformance ist. Auch habe die europäische Stahlindustrie seit 1960 die Emissionen und den Energieeinsatz halbiert. Gleich im ersten Absatz wird aber auch klargestellt, dass „the sector has the ambition to further achieve cuts of between 80-95% by 2050, compared to 1990 levels“.<sup>35</sup> Die Roadmap führt drei zentrale Punkte an: Neue Technologien stellen die Voraussetzung dar und für die Versorgung braucht es 400 TWh CO<sub>2</sub>-neutraler Elektrizität. Aufgrund der neuen Technologien und dem Mehrverbrauch an Energie wird Stahl 35-100% teurer.<sup>36</sup>

Die technologische Umstellung betrifft in drei Teilbereichen die „Elektrifizierung der Industrie“. Einerseits werden mehr BOF/EMF zum Einsatz kommen, andererseits wenden die beiden zentralen Technologiepfade Elektrizität an: die als Smart Carbon Usage (SCU) bezeichnete Route, die auf Carbon Capture basiert, und die als Carbon Direct Avoidance bezeichnete Route, auf dem Einsatz von Wasserstoff zurückgreift.<sup>37</sup>

---

<sup>33</sup> EUROFER (2019): A regulatory framework for CO<sub>2</sub>-lean steel produced in Europe. EUROFER Discussion Paper, September 2019. Web:

<https://www.eurofer.be/documents/greendealsteel/Ensure%20Competitiveness/EUROFER%20Discussion%20Paper%20%E2%80%98A%20Regulatory%20Framework%20for%20CO2-Lean%20Steel%20Produced%20in%20Europe%E2%80%99.pdf> (2019-11-18).

<sup>34</sup> EUROFER (2019b): Low Carbon Roadmap – Pathways to a CO<sub>2</sub>-neutral European Steel Industry. Final version, November 2019. Web:

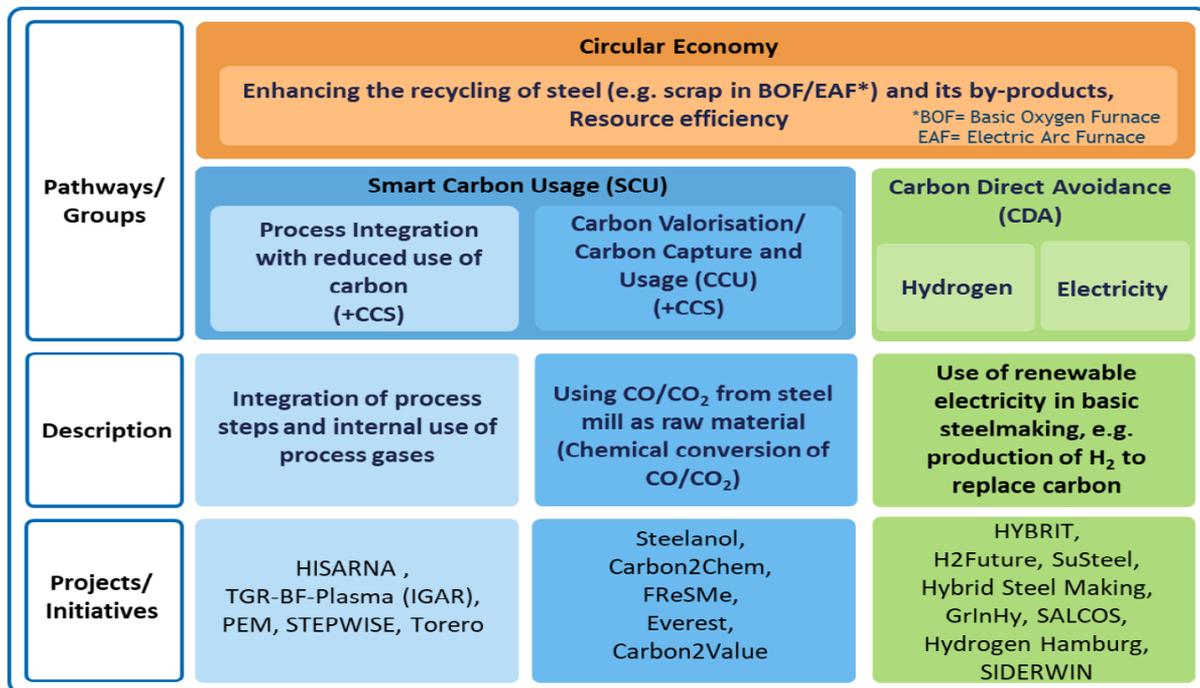
<https://www.eurofer.be/documents/greendealsteel/Ensure%20Competitiveness/EUROFER%20Low%20Carbon%20Roadmap%20'Pathways%20to%20a%20CO2-neutral%20European%20Steel%20Industry'.pdf> (2019-11-18).

<sup>35</sup> Siehe EUROFER (2019b), S.2.

<sup>36</sup> EUROFER (2019b), S.2.

<sup>37</sup> EUROFER (2019b), S.4ff.

Abbildung 3: Die strategischen Technologiepfade der EU-Stahlindustrie gemäß Low Carbon Roadmap. Abbildung übernommen aus EUROFER 2019b.<sup>38</sup>



## 3.2 Chemische Industrie

Die europäische chemische Industrie ist energieintensiv. Die chemische Industrie ist mit 19% des gesamten Industrieverbrauchs der wichtigste industrielle Energieverbraucher. Die chemische Industrie ist der drittgrößte Treibhausgasemittent in Europa.<sup>39</sup>

### 3.2.1 Low carbon energy and feedstock for the European chemical industry (DECHEMA 2017)

DECHEMA erstellte diese Studie im Auftrag des europäischen Verbands cefic. In dieser Studie wird untersucht, wie die chemische Industrie mit Breakthrough-Technologien ihre CO<sub>2</sub>-Emissionen weiter senken kann und welche quantitativen Ableitungen sich daraus ergeben. Die Änderung der Produktion durch neue kohlenstoffarme Verfahren, u.a. strombasierte Verfahren, wird untersucht. Die Implementierung der in dieser Studie untersuchten Technologien würde eine erhebliche Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahr 2050 ermöglichen.<sup>40</sup>

Die erwähnten Technologien mit Bezug zur „Elektrifizierung der Industrie“ sind u.a. die **strombasierte Dampferzeugung** und Erzeugung von Basisstoffen über die Route erneuerbaren und daher **Strom-basierten Wasserstoffs**. Die Studie streicht den enormen Bedarf an Strom hervor, der sich für die

<sup>38</sup> Siehe EUROFER (2019b), S.4.

<sup>39</sup> DECHEMA (2017): Low carbon energy and feedstock for the European chemical industry. Technology Study. Study commissioned by cefic. Web: [https://dechema.de/dechema\\_media/Downloads/Positionspapiere/Technology\\_study\\_Low\\_carbon\\_energy\\_and\\_feedstock\\_for\\_the\\_European\\_chemical\\_industry-p-20002750.pdf](https://dechema.de/dechema_media/Downloads/Positionspapiere/Technology_study_Low_carbon_energy_and_feedstock_for_the_European_chemical_industry-p-20002750.pdf) (2019-11-14).

<sup>40</sup> DECHEMA (2017)

chemische Industrie ergibt; dabei findet eine Berechnung über eine Kombination unterschiedlicher Szenarien/Intensitäten statt. Das „ambitionierte“ Szenario sieht einen Bedarf von 1900 TWh/a CO<sub>2</sub>-neutralen Stroms, was im Vergleich zum europäischen Potenzial als kritisch hoch dargestellt wird.<sup>41</sup> Die Möglichkeit, die Energie von außerhalb der EU, ggf. bereits in Form von erneuerbaren Kohlenwasserstoffen,<sup>42</sup> zu importieren, wird nicht erwähnt.

### 3.2.2 Perspektiven der Decarbonisierung für die chemische Industrie in Österreich (Institut für Industrielle Ökologie 2018)

Das Institut für Industrielle Ökologie erstellte diese Studie im Auftrag des Fachverbands der Chemischen Industrie.<sup>43</sup> Um mögliche Wege zur Dekarbonisierung der chemischen Produktion zu untersuchen, hat der Europäische Chemieverband (CEFIC) die DECHEMA beauftragt, diesbezüglich eine Analyse für die chemische Industrie in Europa durchzuführen. Der Fachverband der Chemischen Industrie Österreichs hat beim Institut für Industrielle Ökologie eine Studie in Auftrag gegeben, die die europäische Analyse mit Szenarien bis 2050 auf die chemische Industrie in Österreich umlegt.<sup>44</sup>

Als wesentliche neue Technologien wird **Elektrolyse-Wasserstoff** für Ammoniak-, Methanol- und Olefinproduktion genannt. Benötigtes CO<sub>2</sub> wird aus Verbrennungsprozessen abgeschieden.<sup>45</sup> Im Maximalszenario ergibt sich ein Elektrizitätsbedarf von 60 TWh/a. Die Deckung durch heimische Erzeugung bzw. durch Einsparung in anderen Sektoren wird als unrealistisch angesehen.<sup>46</sup> Die Möglichkeit, die Energie zu importieren,<sup>47</sup> wird nicht erwähnt.

### 3.2.3 Roadmap Chemie 2050 – Auf dem Weg zur einer treibhausgasneutralen chemischen Industrie in Deutschland (VCI 2019)

Der deutsche Chemieverband VCI hat im Oktober 2019 ebenfalls eine aktuelle Dekarbonisierungsstudie veröffentlicht, Studienautoren sind DECHEMA und FutureCamp.<sup>48</sup> „Um die deutsche Chemie 2050 weitgehend treibhausgasneutral zu stellen, müssen Technologien in diesem Pfad schon dann eingeführt werden, wenn sich aus ihrem Einsatz eine CO<sub>2</sub>-Ersparnis ergibt, unabhängig von der Wirtschaftlichkeit. Von 2035 bis 2050 werden so alle konventionellen Verfahren der Basischemie durch alternative Verfahren ohne CO<sub>2</sub>-Emissionen ersetzt. Die größten CO<sub>2</sub>-Minderungen würden erst in den 2040er Jahren erbracht, wenn die Technologien in der Breite wirken und der deutsche Strommix weitgehend dekarbonisiert ist. Auch die Kosten steigen im Vergleich zum Technologiepfad rasant. Die neuen, **strombasierten Verfahren** lassen den Strombedarf der deutschen

<sup>41</sup> DECHEMA (2017)

<sup>42</sup> Renewables4Industry (2018b): Diskussionspapier zum Projekt Renewables4Industry. Endberichtsteil 2 von 3. Im Auftrag des Klima- und Energiefonds. Linz, Jänner 2018.

<sup>43</sup> Institut für Industrielle Ökologie (2018): Perspektiven der Decarbonisierung für die chemische Industrie in Österreich. Im Auftrag des Fachverbands der Chemischen Industrie. St. Pölten, 2018. Web: [https://www.fcio.at/media/11061/decharb\\_ber\\_bericht-fcio\\_end\\_end.pdf](https://www.fcio.at/media/11061/decharb_ber_bericht-fcio_end_end.pdf) (2019-11-14).

<sup>44</sup> Übernommen aus Institut für Industrielle Ökologie (2018), S.3.

<sup>45</sup> Institut für Industrielle Ökologie (2018), S.4.

<sup>46</sup> Institut für Industrielle Ökologie (2018), S.5.

<sup>47</sup> Renewables4Industry (2018): Diskussionspapier zum Projekt Renewables4Industry. Endberichtsteil 2 von 3. Im Auftrag des Klima- und Energiefonds. Linz, Jänner 2018.

<sup>48</sup> DECHEMA, FutureCamp (2019): Roadmap Chemie 2050 - Auf dem Weg zur einer treibhausgasneutralen chemischen Industrie in Deutschland. Eine Studie für den VCI. Web: <https://www.vci.de/vci/downloads-vci/publikation/2019-10-09-studie-roadmap-chemie-2050-treibhausgasneutralitaet.pdf> (2019-11-14).

Chemie auf 628 TWh jährlich steigen, was mehr als der gesamten deutschen Stromproduktion von 2018 entspricht.<sup>49</sup> Die Strombedarfszahlen in 2050 wären also auch für die chemische Industrie in Deutschland beträchtlich. Interessant ist auch der Hinweis auf die notwendigen Stromkosten in der Höhe von 40 Euro/MWh, um diesen Pfad wettbewerbsfähig einschlagen zu können. Im Gegensatz zu den anderen Studien (3.2.1, 3.2.2) stellt diese Studie die Rolle des Imports – und die Verlagerung des Imports von fossilen Kohlenwasserstoffen zu erneuerbarem Strom – an mehreren Stellen klar dar.<sup>50</sup>

### 3.3 Petrochemische Industrie

#### 3.3.1 Vision 2050 - A Pathway for the Evolution of the Refining Industry and Liquid Fuels (FuelsEurope 2018)

Dieses Dokument präsentiert eine Vision für die Entwicklung der EU-Raffinerieindustrie. Es analysiert die zukünftige Rolle von Treibstoffen und anderer Produkte im Einklang mit den langfristigen Zielen der EU zum Klimawandel - bis 2050 und darüber hinaus. Es wird auch diskutiert, wie die Raffinerien ihre Effizienz steigern und in einen Cluster von Branchen integriert werden können.<sup>51</sup> Verschiedene neue Technologien werden benötigt, um kohlenstoffarme Treibstoffe zu produzieren, z.B. nachhaltige Biokraftstoffe, CCS/CCU, **erneuerbarer Wasserstoff** und Power-to-Liquids.<sup>52</sup> Die erwartete Verfügbarkeit von kohlenstoffarmer Elektrizität kann beitragen, fossile Treibstoffe zu ersetzen; hierfür wären 180 TWh/a erforderlich, um eine CO<sub>2</sub>-Einsparung von 25% zu erreichen. Anm.: CCS kann weitere 20% Einsparung beitragen.<sup>53</sup>

### 3.4 Zementindustrie

#### 3.4.1 Powering the Cement Industry (CEMBUREAU)

Hinsichtlich der **Elektrifizierung des eigentlichen Brennprozesses** gab es vereinzelt immer wieder Ansätze, die jedoch nicht über den Labormaßstab hinausgekommen sind. Dementsprechend findet sich davon auch kaum etwas in den Roadmaps der Zementbranche.<sup>54</sup> Im Positionspapier „Powering the Cement Industry“ der Europäischen Zementvereinigung CEMBUREAU findet sich eine kurze Darstellung möglicher Ansatzpunkte der Elektrifizierung: „Die Verwendung von Elektrizität zur Wärmeeinbringung in die Zementherstellung ist eine große Herausforderung, da für die Produktionsprozesse Temperaturen bis zu 1450 °C erforderlich sind. Bisher gibt es keine kommerziell erhältlichen Lösungen, vor allem, weil für ihre Entwicklung kein Business Case vorliegt. Zwar gibt es kein eigentliches technisches Hindernis [Anm. d. A.: VDZ (2019), vgl. Kapitel 3.4.2, verweist auf das

<sup>49</sup> Übernommen aus VCI (2019): Roadmap Chemie 2050 - Auf dem Weg zur einer treibhausgasneutralen chemischen Industrie in Deutschland. Website: <https://www.vci.de/services/publikationen/broschueren-faltblaetter/vci-dechema-futurecamp-studie-roadmap-2050-treibhausgasneutralitaet-chemieindustrie-deutschland-langfassung.jsp> (2019-11-14).

<sup>50</sup> DECHEMA, FutureCamp (2019).

<sup>51</sup> FuelsEurope (2018): Vision 2050 - A Pathway for the Evolution of the Refining Industry and Liquid Fuels. Web: [https://www.fuelseurope.eu/wp-content/uploads/2018/04/DEF\\_EN\\_FE\\_Vision2050\\_digital.pdf](https://www.fuelseurope.eu/wp-content/uploads/2018/04/DEF_EN_FE_Vision2050_digital.pdf) (2019-11-14).

<sup>52</sup> FuelsEurope (2018), S.76ff.

<sup>53</sup> FuelsEurope (2018), S.41.

<sup>54</sup> Rückmeldung der Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie, per E-Mail, 2019-11-18.

frühe Forschungsstadium dieser Technologien], doch eine wesentliche Voraussetzung für die künftige Elektrifizierung der Wärmeerzeugung ist, dass der Strom zu 100% fossilfrei und zu einem erschwinglichen Preis verfügbar ist.“<sup>55</sup> Die möglichen Technologien sind:<sup>56</sup>

- Plasma,
- elektrische Durchlauferhitzer,
- Mikrowellenheizung,
- Widerstandsheizung und
- Induktionsheizung.

Das Thema Elektrifizierung wird derzeit als vorwiegend im Bereich der **CO<sub>2</sub>-Abscheidung** und den nachgelagerten Verfahrensschritten (Verdichtung, Transport, Verwertung, Speicherung) angesiedelt angesehen.<sup>57</sup> Mit Blick auf die Zukunft könnte aufgrund der Implementierung von CCUS-Technologien eine umfassende Neukonfiguration des Produktionsprozesses erforderlich sein. „Hierbei handelt es sich um stromintensive Technologien, die bei industriellem Einsatz aufgrund des Auffang- und Verflüssigungsprozesses zu einem deutlichen Anstieg des Stromverbrauchs bei der Zementherstellung führen. [...] Daher würde die Kohlenstoffabscheidung den Stromverbrauch auf Anlagenebene um 50 bis 120% erhöhen.“<sup>58</sup> Stromverbraucher bei Oxyfuel- und Nachverbrennungstechnologien sind die Sauerstofferzeugung in einer Luftzerlegungsanlage, die Regeneration von Absorptionsmitteln sowie die Abtrennung, Reinigung und Komprimierung von CO<sub>2</sub>.<sup>59</sup> Folgende grobe Schätzungen sind lt. Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie (VÖZ) aus der Literatur bezüglich der unterschiedlichen Technologien verfügbar:<sup>60</sup>

- CO<sub>2</sub>-Abscheidung mittels Oxyfuel-Technologie: Erhöhung des Stromverbrauchs um 117-180 kWh/t Zementklinker
- CO<sub>2</sub>-Abscheidung mittels Post-Combustion-Technologie und Absorptionstechnologien: Erhöhung des Stromverbrauchs um 50-90 kWh/t Zementklinker
- CO<sub>2</sub>-Abscheidung mittels Post-Combustion-Technologie und Membranprozessen: Erhöhung des Stromverbrauchs um bis zu 300 kWh/t Zementklinker (Anmerkung VÖZ: diese Technologie ist derzeit Vision)
- CO<sub>2</sub>-Abscheidung mittels Post-Combustion-Technologie und Mineralisierung: Erhöhung des Stromverbrauchs um 300-700 kWh/t Zementklinker

### 3.4.2 Prozesskettenorientierte Ermittlung der Material- und Energieeffizienz-Potentiale in der Zementindustrie (VDZ 2019)

Das vorliegende Forschungsprojekt<sup>61</sup> widmet sich der Energie- und Materialeffizienz bei der Zementherstellung. Es wird vom Verband Deutscher Zementwerke (VDZ) im Auftrag des

<sup>55</sup> Siehe CEMBUREAU (kein Datum): Powering the Cement Industry. The view of cement sector. Brüssel, kein Datum. Web: [https://cembureau.eu/media/1834/16271-narrative-electricity-use-in-the-european-cement-industry\\_view-cement-sector.pdf](https://cembureau.eu/media/1834/16271-narrative-electricity-use-in-the-european-cement-industry_view-cement-sector.pdf) (2019-11-18).

<sup>56</sup> CEMBUREAU (kein Datum), S.3.

<sup>57</sup> Rückmeldung der Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie, per E-Mail, 2019-11-18.

<sup>58</sup> Siehe CEMBUREAU (kein Datum), S.2.

<sup>59</sup> CEMBUREAU (kein Datum), S.2.

<sup>60</sup> Rückmeldung der Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie, per E-Mail, 2019-11-18.

<sup>61</sup> Ruppert, Wagener, Palm, Scheuer, Hoenig (2019): Prozesskettenorientierte Ermittlung der Material- und Energieeffizienzpotentiale in der Zementindustrie. Erstellt vom VDZ im Auftrag des deutschen Umweltbundesamtes,

Umweltbundesamts (UBA) bearbeitet. Das Forschungsvorhaben wird im Auftrag des Umweltbundesamtes im Rahmen des Umweltforschungsplanes durchgeführt und mit Bundesmitteln finanziert (UFOPLAN, Forschungskennzahl 3716 36 320 0). Projektlaufzeit war bis Mai 2019, die finale Veröffentlichung ist noch ausstehend. Ein Kapitel widmet sich exklusiv der strombasierten Klinkererzeugung.<sup>62</sup>

- Selbst mit einer Umstellung des Brennstoffs auf Strom würde **nur ein Drittel der CO<sub>2</sub>-Emissionen vermieden**, da der Rest aus der Entsäuerung des Rohmaterials kommt. Dieses chemisch relativ reine CO<sub>2</sub> aus Kalkstein kann ggf. im Bereich Landwirtschaft und Lebensmittel eingesetzt werden.
- Auf Basis eines Workshops wird die Realisierbarkeit des Klinkerbrennens mit Strom mit „nach 2030“ angegeben. Der strombasierte Klinkerbrennprozess befindet sich nach wie vor in einem frühen Forschungsstadium: Die schon in 3.4.1 angeführten Technologien weisen noch **unterschiedlich (geringe) TRL** auf. Bisher zeigen Ergebnisse, dass kein kontinuierliches Verfahren möglich ist und die erforderliche Ofengröße wird heute als nicht denkbar erachtet.
- Für die elektrische Klinkerherstellung ist ein Stromeinsatz von 800 kWh/t Klinker erforderlich.<sup>63</sup> Die installierte Produktionskapazität in Österreich betrug 2007 etwa 4,6 Mio. t Klinker pro Jahr und wird etwa zu 87% ausgeschöpft.<sup>64</sup> Daraus errechnet sich ein **Strombedarf von 3,2 TWh für die Elektrifizierung der österreichischen Klinker-Produktionsmenge des Jahres 2007**, wobei, wie oben erwähnt, bei 100% erneuerbarem Strom ein Drittel der aktuellen CO<sub>2</sub>-Emissionen vermieden wird.

---

UFOPLAN FKZ 3716 36 320 0. Web: <https://www.vdz-online.de/forschung/aktuelle-projekte/prozesskettenorientierte-ermittlung-der-material-und-energieeffizienzpotentiale-in-der-zementindustrie/> (2020-01-17).

<sup>62</sup> Rupert et al. (2019).

<sup>63</sup> Rupert et al. (2019).

<sup>64</sup> Berger, Hoenig (kein Datum): Energieeffizienz der österreichischen Zementindustrie. Allplan und VDZ im Auftrag des VÖZ. Web: <https://www.zement.at/downloads/energieeffizienzanalyse.pdf> (2019-11-18).

## 4 Ausgewählte österreichische Energieszenarien

Das folgende Kapitel fasst ausgewählte österreichische Energieszenarien zusammen.<sup>65</sup> Diese sollen im weiteren Verlauf des IEA IETS Annex 19 mit den Studien, Fahrplänen und Szenarien der verschiedenen Mitgliedstaaten zum Thema Elektrifizierung der Industrie verglichen werden.<sup>66</sup> Bei Bedarf erfolgt eine Verfeinerung auf Basis des internationalen Austauschs. Die Voraussetzung dafür ist eine entsprechende Behandlung des Themas in den internationalen Tasks.

### 4.1 Szenario: Vollständige Elektrifizierung der österreichischen Industrie

Das Szenario „Vollständige Elektrifizierung der österreichischen Industrie“ wurde im Rahmen des Projekts „Renewables4Industry“ entwickelt. Um es zu beschreiben, ist dieser Teil in zwei Abschnitte unterteilt. Zudem wird auf die im Kapitel 2.3.2 beschriebenen Potentiale an erneuerbarer Energie in Österreich zurückgegriffen und in Abbildung 1 als orts aufgelöste Potentiale an erneuerbarem Strom (Wasserkraft, Windkraft, Photovoltaik, Biomasse und Biogas) dargestellt. Im Folgenden wird der Energieverbrauch der österreichischen Industrie im aktuellen Stand und im Jahr 2050 dargestellt. Abschließend werden die Ergebnisse und Auswirkungen des Szenarios beschrieben.

#### 4.1.1 Verbrauch der österreichischen Industrie

In diesem Abschnitt ist der Energieverbrauch der industriellen Subsektoren<sup>67</sup> dargestellt. Bei einem vollständig erfassten Energieverbrauch wird nicht nur der Endenergieverbrauch nach Sektoren berücksichtigt, sondern zusätzlich zum Endenergieverbrauch (EEV) auch die Umwandlungsverluste<sup>68</sup> (UW), der Verbrauch des Energiesektors<sup>69</sup> (VSE) sowie die Transportverluste.

Daher wurde eine Definition auf der Grundlage der Energiebilanzstatistik eingeführt. Das Ergebnis ist der so genannte „industrielle Bruttoinlandsverbrauch“ (iBIV). Er beschreibt die Energiemenge, die über die Bilanzgrenze „produzierender Bereich“ (PB) transportiert wird, mit Ausnahme des nicht-energetischen Energieeinsatzes.

$$UWE_{PB} - UWA_{PB} + VSE_{PB} + EEV_{PB} = iBIV \quad (1)$$

Gemäß Formel xx liegt der Bruttoinlandsproduktverbrauch Österreichs im Jahr 2015 bei rund 126 TWh. Dies entspricht rund 34 % des gesamten inländischen Primärenergieeinsatzes. Zum Vergleich, der Gewichtung und Bewertung verschiedener Branchen und für weitere Berechnungen werden die iBIV für

<sup>65</sup> Dies entspricht Meilenstein 2-1 des der österreichischen Beteiligung am Annex 19 zugrundeliegenden Projektangebots.

<sup>66</sup> Dies entspricht Meilenstein 2-2 des der österreichischen Beteiligung am Annex 19 zugrundeliegenden Projektangebots.

<sup>67</sup> industriellen Subsektoren: Eisen- und Stahlerzeugung, Chemie und Petrochemie, Nicht Eisen Metalle, Steine und Erden sowie Glas, Fahrzeugbau, Maschinenbau, Bergbau, Nahrungs- und Genussmittel sowie Tabak, Papier und Druck, Holzverarbeitung, Bau, Textil und Leder, Sonst. Produzierender Bereich

<sup>68</sup> Umwandlungsverluste sind die Differenz zwischen Umwandlungseinsatz (UWE) und Umwandlungsausstoß (UWA). Zu den Umwandlungsverlusten im industriellen Bereich zugeordnet wurden: Kokerei (Zuordnung zum Sektor Eisen- und Stahlerzeugung), Hochofen (Zuordnung zum Sektor Eisen- und Stahlerzeugung), Raffinerie (Zuordnung zum Sektor Chemie und Petrochemie), Holzkohlenproduktion (Zuordnung zum Sektor Sonst. Produzierender Bereich), Kraftwerke (nicht direkt zuordenbar), KWK-Anlagen (nicht direkt zuordenbar).

<sup>69</sup> Zu dem Verbrauch im Sektor Energie im industriellen Bereich zugeordnet wurden: Mineralölverarbeitung (Zuordnung zum Sektor Chemie und Petrochemie), Kokerei (Zuordnung zum Sektor Eisen- und Stahlerzeugung), Hochofen (Zuordnung zum Sektor Eisen- und Stahlerzeugung)

jede Branche, jeden Energieträger sowie für jede betrachtete geografische Region separat ermittelt. Die Ergebnisse für den industriellen Bruttoinlandsverbrauch für sind in Abbildung 2 alle politischen Bezirke in Österreich dargestellt.

für die Berechnung des industriellen Energieverbrauchs im Jahr 2050 werden folgende Annahmen verwendet: Im Jahr 2050 sind alle derzeit fossil betriebenen industriellen Prozesse auf den Betrieb mit erneuerbarem Strom umgestellt. Der gesamte Bedarf bleibt gleich, da sich steigende Produktivität, zusätzliche Umwandlungsverluste sowie gesteigerte Effizienz aufheben. So bleibt auch der aktuelle elektrische Strombezug der Industrie mengenmäßig gleich, wird jedoch im Jahr 2050 zu 100 % aus erneuerbaren Quellen bereitgestellt. Unter diesen Annahmen wird für 2050 ein erneuerbarer industrieller Strombedarf in Höhe von etwa 100 TWh angenommen.

#### 4.1.2 Ergebnisse

im Szenario „Vollständige Elektrifizierung der österreichischen Industrie“ wird davon ausgegangen, dass der gesamte Strombedarf der Industrie im Jahr 2050 (100 TWh) mit erneuerbarem Strom aus Österreich geliefert wird. Durch die Kombination der geografisch verorteten erneuerbaren Strompotenziale (Abbildung A) mit dem geografisch aufgeteilten industriellen Bruttoinlandsverbrauch (Abbildung B) können Bereiche mit einer energetischen Unter- bzw. Überdeckung identifiziert werden sowie erste Schlüsse über mögliche Energieströme abgeleitet werden. Dabei wurde für jeden politischen Bezirk die Differenz zwischen erneuerbarem elektrischem Potenzial und dem industriellen Strombedarf gebildet. Der Vergleich ist in Abbildung C dargestellt. Negative Zahlen bzw. rote Flächen zeigen eine Unterversorgung auf. Hingegen sind grüne Flächen bzw. positive Zahlen als Energieüberschuss zu interpretieren.

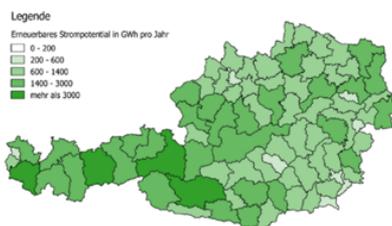


Abbildung A: Geografische Darstellung des erneuerbaren Strompotenzials in Österreich

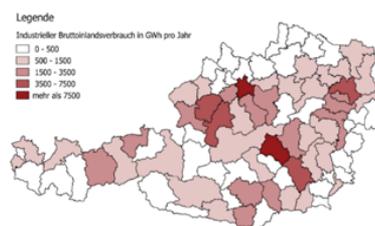


Abbildung B: Darstellung des industriellen Bruttoinlandsverbrauchs in GWh für die politischen Bezirke in Österreich

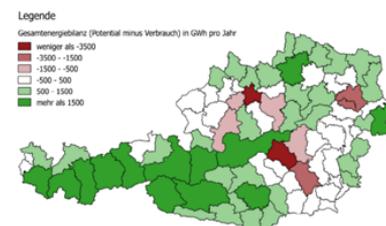


Abbildung C: Geografischer Vergleich zwischen dem erneuerbaren Strompotenzial und dem erneuerbaren industriellen Strombedarf 2050

Nach der energetischen Betrachtung der Über- bzw. Unterdeckung ist das zeitliche Verhalten der sog. Residuallast<sup>70</sup> zu berücksichtigen. Residuallast müssen zukünftig mithilfe so genannter Flexibilitätsoptionen (z.B. disponible Erzeugungsanlagen oder Speicher) kompensiert werden.

Um die Residuallast zu ermitteln, müssen zeitlich aufgelöste Verbrauchs- und Erzeugungsdaten herangezogen werden. In Abbildung D ist dazu die zeitlich aufgelöste Gegenüberstellung zwischen erneuerbarem Erzeugungsprofil und Industrielastgang 2050 dargestellt. Durch die Bildung der Differenz dieser beiden zeitlich aufgelösten Profile kann die Residuallast bestimmt werden. Das Ergebnis ist in Abbildung E ersichtlich. Man sieht, dass die verfügbare erneuerbare Einspeisung trotz der stark elektrifizierten industriellen Prozesse im Sommer nur zu einem kleinen Teil genutzt werden kann -

<sup>70</sup> Als Residuallast wird jene Leistung bezeichnet, die sich aus dem momentanen Verbrauchs minus momentanen erneuerbaren Erzeugung sowie der Erzeugung aus KWK-Anlagen errechnet.

negative Residuallasten entstehen. Im Gegensatz dazu kann in den Wintermonaten der Energiebedarf mit der fluktuierenden erneuerbaren Stromerzeugung nicht gedeckt werden (positive Residuallast entsteht). Im hier betrachteten Szenario werden heute verfügbare Pumpspeicherkraftwerke, Speicherkraftwerke, Biogasanlagen sowie Biomasse Anlagen als Flexibilitätsoptionen zum Ausgleich der Residuallast eingesetzt – hellblaue Kurve in Abbildung E. Man erkennt, dass diese zwar Residuallastspitzen verringern, aber bei weitem nicht ausreichen um insbesondere den saisonalen Ausgleich zwischen Erzeugung und Verbrauch zu bewerkstelligen. Eine leistungsautonome Versorgung der Industrie in Österreich mit erneuerbarem Strom aus Österreich ist demnach nur zwischen Anfang April und Ende Oktober möglich.

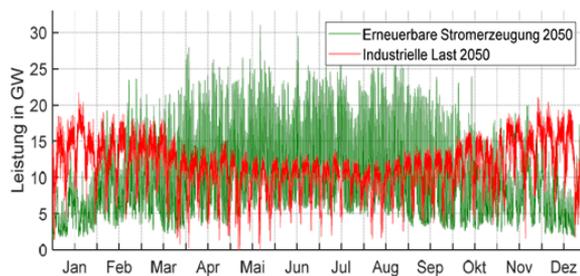


Abbildung D: Gegenüberstellung der fluktuierenden erneuerbaren Stromerzeugung 2050 sowie der industriellen Last 2050. Quelle: eigene Darstellung, MU Leoben EVT.

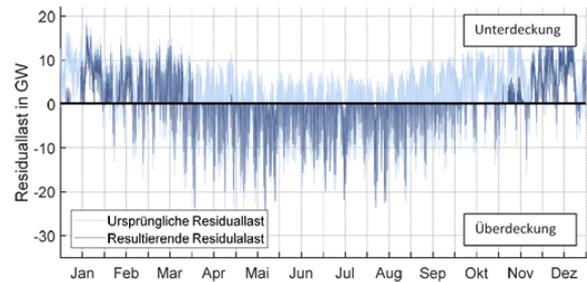


Abbildung E: Vergleich der ursprünglichen mit der resultierenden Residuallast (nach der Anwendung aller verfügbaren Ausgleichstechnologien). Quelle: eigene Darstellung, MU Leoben EVT.

## 4.2 Energiebilanz-basierte Szenarien eines erneuerbaren Energiesystems in Österreich

Im Projekt Renewables4Industry wurden vom Energieinstitut an der JKU zwei auf der Betrachtung der Energiebilanz basierende Szenarien für die Energieträgerzusammensetzung nach der erfolgten, **vollständigen Umstellung auf erneuerbare Energieträger** erstellt.<sup>71</sup> Da Strom als dominanter Primärenergieträger der bisherigen Energiewende<sup>72</sup> anzusehen ist, untersucht Szenario A die Implikationen einer reinen „Elektrifizierung“. Szenario B betrachtet den Einsatz aller erneuerbaren Energieträger.

### 4.2.1 Methode & Annahmen

Die Szenarien bauen auf den Verbräuchen gemäß Energiebilanz auf. Dabei wurde beachtet,

- welche Erneuerbare Energie-Potenziale vorhanden sind,
- welche Nutzungsmöglichkeiten sich gemäß Nutzenergiekategorien ergeben sowie
- welche Energietrends aktuell abschätzbar sind.
- dass auch die nichtenergetisch genutzten Energieträger aus erneuerbaren Quellen stammen müssen.

Als zentrale **Energietrends** wurden angenommen:

- Langfristig deutlich höhere Nutzenergieeffizienz bei Gebäuden; neben den Endenergieträgern Biogene, Solar und Abfälle erfolgt die Versorgung mit hocheffizienten Wärmepumpen und industrieller sowie KWK-Abwärme.
- Umstellung der Industrieöfen auf die Endenergieträger Strom und Wasserstoff.
- Umstellung der Traktion auf die Endenergieträger Strom und Wasserstoff.
- Höherer Nachfrage nach Leistungen aus EDV und Beleuchtung, Annahme: höherer Elektrizitätsbedarf, begleitet durch parallel verlaufende Energieeffizienzsteigerungen.

Energie-Potenziale werden im als Extrem-Szenario zu bezeichnenden Szenario „Elektrifizierung“ vermindert betrachtet: so kommen Kraftwerks- und Industrieabwärme nicht zum Einsatz, Wärmepumpen v.a. für Heizzwecke aber schon.

Bei Realisierung der Erneuerbaren-Strom-Potenziale wird etwas weniger als die Hälfte der jährlichen Produktion aus kurzfristig fluktuierenden erneuerbaren Quellen (PV und Windkraft) stammen, zumindest drei Viertel aus zumindest saisonal fluktuierenden erneuerbaren Quellen (PV, Wind, zzgl. Wasserkraft). Eine Speicherung bzw. Backup-Funktion ist daher erforderlich, die über Biomasse-KWK einerseits und über Erneuerbare-Gas-KWK andererseits bereitgestellt wird (zzgl. Pumpspeicher, Batterien und Demand Response für den kurzfristigen Ausgleich).

---

<sup>71</sup> Renewables4Industry (2018b), S.112ff.

<sup>72</sup> Renewables4Industry (2018b), S.101.

## 4.2.2 Ergebnisse

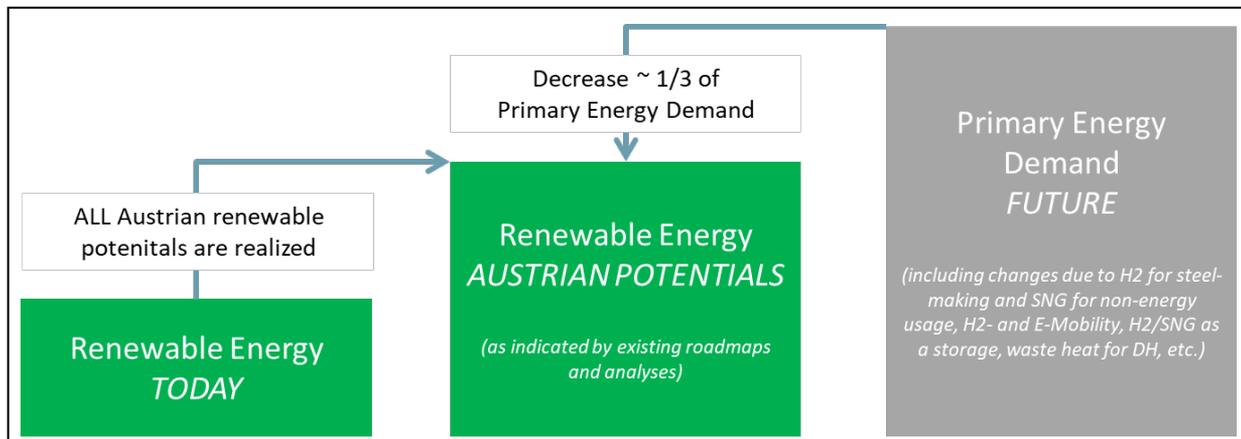
Aus den beiden Szenarien lassen sich die folgenden Aussagen ableiten.

- Eine reine Elektrifizierung ist ohne Stromimporte, deren Ausmaß mit dem dreifachen des heutigen Verbrauchs als „enorm“ zu bezeichnen ist, nicht zu bewerkstelligen.
- Es ist abzuleiten, dass die Elektrifizierung als alleinstehender Pfad der CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion kaum realisierbar erscheint, insbesondere, wenn andere Länder ähnliche Zielsetzungen verfolgen.
- Es ist weiter abzuleiten, dass alle Pfade der CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion zur Anwendung kommen müssen, da auch die anderen alleinstehend nicht realisierbar sind (Nutzbarkeit der Energie).
- Eine energieautarke Aufbringung erfordert noch höhere Anstrengungen zur Senkung des Primärenergiebedarfs. Dieser Bedarf verteilt sich unspezifisch auf alle Sektoren.
- Als Langzeitspeicher und als Backup-Bereitstellung dienen biogene Brennstoffe und Elektrolyse-Wasserstoff bzw. über den Elektrolyse-Wasserstoff-Pfad erzeugte Gase.

Aus dem Szenario „Nutzung aller Pfade zur CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion“ ist abzuleiten:

- Eine Energieautarkie ist nur unter hohen Anstrengungen, v.a. im Bereich der Primärenergieeffizienz, realistisch.
- Wenn die nationalen Potenziale erneuerbarer Energiequellen in einem hohen Ausmaß genutzt werden, reduziert sich die Abhängigkeit von Energieimporten. Eine Importabhängigkeit von etwa 30 % bleibt aber aufrecht.
- Die Importe müssen auf exergetisch passendem Niveau erfolgen, also in Form von Strom, Wasserstoff oder erneuerbarem Gas oder biogenen Brennstoffen.

Abbildung 4: Darstellung des Verhältnisses Erneuerbarer Energie zu Energie-Nachfrage in einer bilanziell geschlossenen österreichischen Volkswirtschaft. Quelle: Energieinstitut an der JKU Linz.



### 4.2.3 Implikationen für die Elektrifizierung der Industrie

In Renewables4Industry wurden für die Industrie die folgenden Handlungsfelder abgeleitet:

Raumwärme soll durch industrielle oder Kraftwerks-Abwärme bereitgestellt werden. Ansonsten ergibt sich eine **Nutzungskonkurrenz** bzgl. der hochwertigen erneuerbaren Energieträger.

- Ein umfassender Ausbau der Abwärmenutzung durch Einbringung von Abwärme aus industriellen Anlagen und thermischen Kraftwerken in thermische Netze ist erforderlich, auch auf geringeren Netztemperaturniveaus.
- Um die räumliche Machbarkeit dieser Niedertemperatur- bzw. Abwärmenutzung bzw. eine Kosteneffizienz der Wärmenetze zu gewährleisten, leiten sich Anforderungen an die Energieraumplanung ab.
- Der Ausbau quasi aller heimischen Potenziale Erneuerbarer Energieträger ist für eine Umstellung des Energiesystems erforderlich.

Eine **Umstellung der Industrieöfen** auf elektrischen Strom und elektrolytischen Wasserstoff oder elektrolytisches Methan bzw. Biogas stellt einen wesentlichen Bestandteil einer umfassenden CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion dar.

Zur Sicherstellung eines erneuerbaren Energiesystems bedarf es der Sicherstellung des **Imports von erneuerbarem Wasserstoff oder erneuerbarem Gas**.

## 4.3 Szenario: Nutzung aller Arten erneuerbarer Energieträger für die Versorgung Industrie

### 4.3.1 Methode & Annahmen

Im Rahmen der Studie IndustRiES<sup>73</sup> wurde die Situation der Energieversorgung in der österreichischen Industrie mit besonderem Augenmerk auf die eingesetzten Endenergieträger analysiert, bestehende Endenergiebedarfsszenarien untersucht sowie die Potenziale an erneuerbarer Energie in Österreich aus bereits durchgeführten Studien ermittelt und kombiniert. Da die Prognosen für zukünftigen Endenergiebedarf keine robuste Annahme ergaben, wurde die Studie basierend auf dem aktuellen Endenergieeinsatz in der österreichischen Industrie durchgeführt. Im entwickelten Tool wurde ein Faktor zur Berücksichtigung des Wirtschaftswachstums mit einer einhergehenden Steigerung der Produktionsmenge implementiert, der dahingehende Analysen erlaubt. Die erneuerbaren Potentiale für Österreich wurden mit 231 TWh abgeschätzt. Dem stehen 94 TWh Endenergieeinsatz im produzierenden Sektor sowie 317 TWh für Österreich gesamt gegenüber. In weiterer Folge wurden für die 13 statistisch erfassten industriellen Sektoren die jeweils eingesetzten Energieträger, Technologien und soweit möglich bzw. relevant deren Prozesscharakteristika beschrieben. Je nach Relevanz werden Besonderheiten wie Anteil an bestehenden Erneuerbaren oder Umsetzungsbarrieren adressiert. Zur Daten- und Ergebnisanalyse wurden zwei Tools – NEAT und IndustRiES entwickelt. In NEAT wurden für jeden Sektor Endenergieträger und Nutzenergiekategorien für den Status Quo, aber auch für drei entwickelte Szenarien verknüpft. Im IndustRiES Tool kann auf Bundeslandebene die energetische Nachfrage pro Stunde und Energieträger dargestellt werden. Die drei Szenarien zeichneten sich durch folgende Charakteristiken aus:

#### Basis-Szenario (8 Input-Parameter)

- Umsetzungshorizont: Kurz- bis mittelfristig Brennstoffwechsel auf Erneuerbare (Biogene / Elektrische Energie)
- Niedertemperatur mittels Wärmepumpe
- Umstellung fossiler Standmotoren auf elektrische Energie
- Kohle & Koks sowie Gichtgas & Kokereigas bleiben nur für Eisen- und Stahlerzeugung

#### Effizienz-Szenario (53 Input-Parameter)

- Mittelfristig umsetzbar
- Ausgangsbasis: Basisszenario
- Dampferzeugung & Industrieöfen (Trocknung) mittels Wärmepumpe auf Branchenebene berücksichtigt
- Prozesseffizienz auf Branchenebene berücksichtigt
- Kohle & Koks sowie Gichtgas & Kokereigas bleiben nur für Eisen- und Stahlerzeugung

#### Umbruch-Szenario (53 Input-Parameter)

- Langfristig umsetzbar
- Ausgangsbasis: Effizienzzenario
- Höherer Anteil an Wärmepumpen

<sup>73</sup> Geyer, Knöttner, Diendorfer, Drexler-Schmid (2019): IndustRiES – Energieinfrastruktur für 100 % Erneuerbare Energie in der Industrie. Studie, erstellt im Auftrag des Klima- und Energiefonds, September 2019.

- Biogene und brennbare Abfälle hauptsächlich für Hochtemperatur-Anwendungen
- Eisen- und Stahlerzeugung: Direktreduktion mit Wasserstoff wodurch der Endenergieeinsatz insgesamt steigt, da Aspekte mitberücksichtigt werden müssen, die vorher nicht dem Endenergieeinsatz zugeordnet wurden

### 4.3.2 Ergebnisse

Die Szenarien weisen eine Bandbreite des Endenergieverbrauchs von 82 (Effizienz) bis 108TWh (Umbruch) auf (vgl. 94 TWh im Jahr 2017). Dabei zeigt sich eine zunehmende Verschiebung hin zu elektrischer Energie, vor allem im Umbruch-Szenario. Im Basis- und Effizienz-Szenario spielen auch die biogenen Brenn- und Treibstoffe eine wichtige Rolle, ihr Anteil ist etwa doppelt so hoch im Vergleich zum Status quo. Mit zunehmendem Einsatz von Wärmepumpen gewinnt auch der Energieträger Umgebungswärme, beispielsweise aus industrieller (Hochtemperatur-)Abwärme, Solarthermie, Geothermie, o.ä., an Stellenwert. Folgende Handlungsempfehlungen wurden basierend auf den Ergebnissen der Studie formuliert:

- Verstärkter und sofortiger Ausbau an erneuerbaren Energien und integrierten europäischen Energieinfrastrukturen
- Erfassung neuer Kopplungsstellen zwischen den Energiesektoren
- Erfassung örtlicher und zeitlicher Verteilung potentieller erneuerbaren Energien Einspeisung
- Technologieentwicklung zur Erhöhung der Energieeffizienz in der Industrie
- Großflächige Demonstratoren zur Validierung von Technologien und Systemlösungen
- Erweiterung der statistischen Datengrundlage und Einführung eines Potenzialkatasters für erneuerbaren Energien und Abwärme
- Modellierung zur Ableitung von Szenarien und Rahmenbedingungen für eine integrierte Energieinfrastrukturentwicklung

### 4.3.3 Implikationen für die Elektrifizierung der Industrie

Die Studienergebnisse zeigen, dass eine energetische Versorgung aus erneuerbaren Quellen aller Bereiche, d.h. Haushalt, Gewerbe, Industrie und Mobilität, mit erheblichen Effizienzmaßnahmen in allen Bereichen technische möglich ist. Es ergeben sich jedoch deutliche Defizite im Leistungsbedarf. Unter diesem Gesichtspunkt wird eine effiziente, exergetisch optimale und kaskadische Nutzung von Energieträgern zu einem Schlüsselfaktor bei der erfolgreichen Dekarbonisierung der industriellen Energieversorgung. Importmengen können auf diese Weise minimiert werden.

Für den Einsatz der Energieträgers Strom im Prozess bedeutet das, dass er vorrangig dort eingesetzt werden soll, wo hochkalorische Energieträger notwendig sind bzw. der Primärenergieeinsatz durch den Einsatz von elektrischer Energie drastisch reduziert werden kann – Stichwort Wärmepumpe. Um die kaskadische Nutzung von hochkalorischen Energieträgern zu realisieren, wird im optimalen Fall die Abwärme der Hochtemperaturanwendungen weiteren Verwendungszwecken zugeführt – Stichwort standortübergreifenden Nutzung und Sektorkopplung.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt, der in der Studie angesprochen wird, ist der Ausbau von Flexibilitätsoptionen bei steigendem Anteil von fluktuierenden, volatilen Stromerzeugern. Elektrisch betriebene Prozesse können bis zu einem (prozessabhängigen) Grad für Bereitstellung von Flexibilität sorgen und somit einen Beitrag zur Netzstabilisierung liefern.

## 5 Ausgewählte Forschungspapiere mit österreichischer Beteiligung

Im Folgenden werden Forschungspapiere zum Thema Elektrifizierung der Industrie zusammengefasst, die von österreichischen Akteuren (mit)verfasst wurden. Die Zusammenfassung bietet der wissenschaftlichen Community einen raschen Überblick zu hochqualitativen Literaturquellen.

Rosenfeld, Böhm, Lindorfer, Lehner

**Scenario analysis of implementing a power-to-gas and biomass gasification system in an integrated steel plant: A techno-economic and environmental study**

Renewable Energy

Volume 147, Part 1, pp 1511-1524, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.09.053>

In this study, a gas greening system for an integrated steel plant, producing synthetic natural gas serving as a substitute for the fossil fuel-based gas, was investigated. The analysed system consisted of a Power-to-Gas unit combined with a biomass gasification plant, where carbon rich steel gases were used as a CO<sub>2</sub> source for methanation. To analyse the system, three extreme value scenarios and three constrained scenarios were defined and evaluated. The biomass gasification plant, set to a maximum nominal power of 105 MW<sub>th</sub>, was the main limiting factor for the constrained scenarios. The assessment included a basic mass and energy balance, techno-economic analysis, sensitivity analysis, and CO<sub>2</sub> potential impact analysis. It was found that the main cost influencing factor throughout all six scenarios was the energy supply cost (electricity and biomass).

Böhm, Goers, Zauner

**Estimating future costs of power-to-gas – a component-based approach for technological learning**

International Journal of Hydrogen Energy

Volume 44 Issue 59, 2019, pp 30789-30805, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.09.230>

Technological learning is a major aspect in the assessment of potential cost reductions for emerging energy technologies. In this paper, we propose a calculation model for learning curves on the component or production process level, which allows to incorporate experience and knowledge on cost reduction potentials on a low level. This allows interchangeability between similar technologies, which is less feasible on a macro level. Additionally, the model is able to consider spill-over effects from concurrent technology usages for the inclusion of peripheral standard components for the assessment in an overall system view. The application of the model to the power-to-gas technology, especially water electrolysis, has shown, that the results are comparable to conventional approaches at the stack level, while providing transferability between different cell designs. In addition, the investigations made at the system level illustrate that the consideration of spill-over effects can be a relevant factor in the evaluation of cost reduction potentials, especially for technologies in an early commercial state with low numbers of cumulative productions.

Böhm, Lindorfer

**Techno-economic assessment of seasonal heat storage in district heating with thermochemical materials**

Energy

Volume 179, pp. 1246-1264, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.177>

Thermochemical energy storage provides opportunities for pressure-less and low-loss seasonal storage at high energy densities. For that purpose, appropriate storage concepts are drafted and examined in technical, ecological and economic terms, considering suitable materials, energy sources, and charge and discharge reactor concepts. The results illustrate that the choice of the district heating grid to be supplied, the locations of the energy sources for charging, and the transfer distance have major influence on the potential use cases for thermochemical storage (TCS) materials. Grids with a high number of full load hours and low power demand (base load coverage) are much better suited to this type of heat storage compared to peak load applications, allowing the high fixed material costs and investment to be recouped. The use of hydration-based TCS materials (hydrates and hydroxides) is particularly suitable if costs for material transport and supply of the required water vapor can be avoided. This paper supports a pre-selection of relevant TCS materials and applications in district heating for future detailed analysis.

Zauner, Windholz, Lauermann, Drexler-Schmid, Leitgeb

**Development of an Energy Efficient Extrusion Factory employing a latent heat storage and a high temperature heat pump**

Applied Energy

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114114>

Waste heat recovery and utilization is critical to cut CO<sub>2</sub> emissions in industry. Extrusion is a generic process used to produce many different goods from various raw materials. We describe the current state of a polymer compounding extrusion factory and describe its energy flows and processes. Currently, no waste heat recovery and utilization is common. Thus, we developed a completely new Energy Efficient Extrusion Factory concept based on an insulated hot water bath, a high temperature heat pump and a latent heat storage enabling extensive waste heat recovery and utilization within different hot processes as well as space heating. We outline our concept in great detail, describe its main technological components including simulations and present experimental results of a real demonstration factory at the company Geba Kunststofftechnik in St. Veit, Austria. Finally, we perform economical calculations for a fictitious but archetypal Energy Efficient Extrusion Factory and show that the return on investment can be less than three years.

WILK, LAUERMANN, HELMINGER

**Decarbonization of industrial processes with heat pumps**

ICR 2019

DOI: 10.18462/iir.icr.2019.832

To counteract climate change the efficient use of energy in industry becomes increasingly important. Heat pumps enable decarbonized industrial processes by replacing fossil fuels with electricity. DryFiciency develops and demonstrates high temperature heat pumps using OpteonMZ as refrigerant to supply hot water up to 160°C. Heat pumps will be installed in drying processes for starch and bricks in two Austrian companies in spring 2019. We present design considerations for high temperature heat pumps, as well as the expected CO<sub>2</sub> reductions and primary energy savings. Calculations are based on numerical process simulation. At the two demo-sites CO<sub>2</sub> emission

reductions up to 40-90% and primary energy reduction from 20-80% can be achieved compared to natural gas. If the heat pump technology is spread out to 50% of all drying processes in the EU, they would contribute 3-7% of the CO<sub>2</sub> emission reduction necessary to achieve the EU climate targets. Heat pumps improve the energy efficiency of industrial processes significantly. The demonstrators are an important step in the development of viable industrial solutions.

Leitner, Widl, Gawlik, Hofmann

**A method for technical assessment of power-to-heat use cases to couple local district heating and electrical distribution grids.**

Energy 182, S. 729-738

DOI: doi.org/10.1016/j.energy.2019.06.016

The transition of district heating and electrical distribution grids from traditionally independent to actively coupled and operated networks is seen as an important step on the way to smart energy networks. This work presents a method that enables a detailed technical assessment of the operation of such coupled heat and power networks. It is based on a sequential coupling approach of a dynamic thermal-hydraulic model for the district heating network and a quasi-static model for the electrical distribution network. Different use cases are highlighted where a local coupling of the networks with power-to-heat is supporting the transition to smart energy networks, i.e., lowering district heating supply temperatures, accommodating renewable energy sources in the power network and integrating low-temperature heat sources into the district heating network. All three use cases are implemented in example applications to showcase the versatility of the method. The results underline the presented method's ability to perform detailed technical assessments of coupled heat and power networks.

Pesendorfer, Widl, Gawlik, Hofmann

**Operation of thermal-electric units in integrated electrical distribution and district heating networks**

SEST 2018 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies, University of Sevilla, Sevilla, Spain; 10.09.2018 - 12.09.2018; (2018), ISBN: 978-1-5386-5326-5; 6 S.

There is significant interest in exploiting hitherto unused synergies by coupling different energy-carrier networks, such as district heating and electrical distribution networks. This paper addresses the ongoing effort in modeling and simulation of these so-called hybrid thermal-electric networks using tools and semantics that are natural to each of the involved domains, including their controls. Co-simulation based on the Functional Mock-up Interface is used to couple domain-specific simulators to enable a detailed technical assessment of such a multi-energy network. At the application level we show how this approach enables the study of a medium-voltage (MV) electrical distribution network and a district heating network coupled through a combined heat and power (CHP) unit and an electric heater (EH). Different control schemes are implemented to operate these thermal-electric units to integrate the fluctuating renewable energy resources present in the electrical network. This work contributes in demonstrating the use of co-simulation to analyze such integrated thermal-electric energy networks and their respective control domains in detail.

Pesendorfer, Widl, Gawlik, Hofmann

**Co-simulation and control of power-to-heat units in coupled electrical and thermal distribution networks**

Vortrag: Workshop on Modeling and Simulation of Cyber-Physical Energy Systems, Porto; 10.04.2018; in: "Proceedings of MSCPES 2018", herausgegeben von: IEEE; IEEE, New Jersey, USA, 2018, (2018)

ISBN: 978-1-5386-4103-3; 6 S.

There is significant interest in exploiting the hitherto unused synergies by coupling different energy-carrier networks, such as district heating and electrical distribution networks. This paper addresses the ongoing effort in modeling and simulation of the physical and cyber-physical domains of these so-called hybrid thermal-electric networks. The focus thereby is to use tools and semantics that are natural to each of the involved domains. A hierarchical control approach for power-to-heat appliances, taking into account the different involved actors in such a multi-energy network, is presented. At the application level we show how this approach enables the control of electrically heated storage tanks to couple an electrical distribution network with a district heating network. Co-simulation based on the Functional Mock-up Interface is used as it provides a flexible industry-grade standard for coupling simulators and tools and facilitates implementation of advanced control designs. This work contributes in establishing a framework to derive and test complex control strategies for power-to-heat appliances used to couple the different domains and the inherent time scales of hybrid thermal-electrical networks.

Lindorfer, Reiter, Tichler, Steinmüller

**Hydrogen fuel, fuel cells, and methane**

In: Managing Global Warming - An Interface of Technology and Human Issues, Trevor M. Letcher. (Ed.), Elsevier Inc./Academic Press, London, ISBN 978-0-12-814104-5

Hydrogen or methane gas from excess electricity via power-to-gas technology is discussed as a promising long-term storage solution. Potential pathways for application of renewable hydrogen, biogenic, and synthetic methane are presented and as the main power-to-gas components are not yet fully developed for operation with fluctuating power sources, overall efficiency and technology costs are evaluated from midterm and long-term perspectives. Product costs and environmental implications are estimated for the different application pathways. Parameters that influence technoeconomic and ecological performance such as scale, full load hours, efficiency, and electricity input cost and origin, potential CO<sub>2</sub> sources for methanation are discussed.

Moser, Leitner, Rodin, Steinmüller

**Energy efficiency in the energy-intensive industry**

European Energy Journal

Volume 7 Issue 5, September 2018, pp. 11-22

Improving industrial energy efficiency is a crucial goal for manufacturing firms. As investments during the phase of operation are limited to incremental efficiency improvements that are subject to short payback periods it is difficult to achieve major steps in boosting energy efficiency. However, significant effort is needed in order to comply with the EU's 2050 targets and the Paris agreement. This transition perspective implies the urgent need for new energy efficient and low carbon technologies. In order to identify the required R&D needs for an increase in industrial energy efficiency, we conducted two R&D roadmap processes in Austria, involving representatives of the major national energy-intensive industries. The stakeholder participation process shows that

industry faces short-term barriers, but is optimistic to realize energy-efficient and fossil-free processes in the long run. We identify sector-specific breakthrough technologies as the main field of research.

Sejkora, Kienberger

### **Dekarbonisierung der Industrie mithilfe elektrischer Energie?**

15. Symposium Energieinnovation 2018, Technische Universität Graz

Ein möglicher Weg zur Dekarbonisierung der Industrie ist die Substitution der fossilen Energieträger mit erneuerbarer elektrischer Energie. Voraussetzung dafür ist die ausreichende Verfügbarkeit erneuerbarer Potentiale. Im Zuge des Projektes „Renewables 4 Industry“, beauftragt vom Klima- und Energiefonds, wurde eine mögliche Dekarbonisierung der österreichischen Industrie mit ausschließlich erneuerbarem Strom aus Österreich untersucht. So wurden u.a. die orts aufgelösten erneuerbaren Potentiale dem orts aufgelösten industriellen Verbrauch gegenübergestellt und Aussagen über die Qualität der oben angeführten Dekarbonisierungs Strategie abgeleitet. Es stellte sich heraus, dass selbst bei einer vollständigen Nutzung des gesamten erneuerbaren Potentiales der österreichische Primärenergiebedarf 2015 nicht gedeckt werden kann. Stattdessen wären für eine energieautonome Versorgung Einsparungen in der Höhe von etwa 35 % (auf Basis des Primärenergiebedarfs 2015) notwendig. Es wäre jedoch theoretisch möglich, den gesamten industriellen Sektor mit ausschließlich erneuerbarem Strom aus Österreich zu dekarbonisieren. Jedoch bliebe in diesem Fall nahezu keine elektrische Energie zur Versorgung der restlichen Wirtschaftssektoren (Haushalte und Dienstleistungen sowie Mobilität).

Wilk, Windholz, Jentsch, Fleckl, Fluch, Grubbauer, Brunner, Lange, Wertz, Ponweiser

### **Valorization of industrial waste heat by heat pumps based on case studies of the project EnPro**

12<sup>th</sup> IEA Heat Pump Conference 2017

Waste heat recovery and utilization is critical to cut CO<sub>2</sub> emissions in industry. Extrusion is a generic process used to produce many different goods from various raw materials. We describe the current state of a polymer compounding extrusion factory and describe its energy flows and processes. Currently, no waste heat recovery and utilization is common. Thus, we developed a completely new Energy Efficient Extrusion Factory concept based on an insulated hot water bath, a high temperature heat pump and a latent heat storage enabling extensive waste heat recovery and utilization within different hot processes as well as space heating. We outline our concept in great detail, describe its main technological components including simulations and present experimental results of a real demonstration factory at the company Geba Kunststofftechnik in St. Veit, Austria. Finally, we perform economical calculations for a fictitious but archetypal Energy Efficient Extrusion Factory and show that the return on investment can be less than three years.

Reiter, Lindorfer

### **Evaluating CO<sub>2</sub> sources for power-to-gas applications – A case study for Austria**

Journal of CO<sub>2</sub> Utilization

Volume 10, pp 40-49

This article evaluates different CO<sub>2</sub> sources concerning their potential utilization within the power-to-gas energy storage technology with regard to capture costs, specific energy requirement and CO<sub>2</sub> penalties. The results of a case study for Austria indicate that there is enough CO<sub>2</sub> available from point sources to store all of the electricity produced from fluctuating renewable power sources

(wind power plants and photovoltaics) via power-to-gas. Due to low capture costs, low CO<sub>2</sub> penalties, biogenic origins, and short distances to wind power plants, biogas upgrading facilities and a bioethanol plant were determined to be the CO<sub>2</sub> sources best suited for utilization in novel power-to-gas plants. Although large amounts of CO<sub>2</sub> are available from iron, steel, and cement production facilities, these sources are not recommended for CO<sub>2</sub> utilization in power-to-gas, as the CO<sub>2</sub> penalty is relatively high and the facilities are rarely located near wind power plants in Austria.

Reiter, Lindorfer

**Global warming potential of hydrogen and methane production from renewable electricity via power-to-gas technology**

The International Journal of Life Cycle Assessment

Volume 20, Issue 4, pp 477-489

The ecological performance of both H<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> produced via power-to-gas strongly depends on the electricity generation source. The assessed impacts of H<sub>2</sub> production are only improved if GWP of the utilized electricity does not exceed 190 g CO<sub>2</sub> per kWh. Due to reduced efficiency, the assessed impacts of CH<sub>4</sub> are higher than that of H<sub>2</sub>. Thus, the environmental break-even point for CH<sub>4</sub> production is 113 g CO<sub>2</sub> per kWh if utilized CO<sub>2</sub> is treated as a waste product, and 73 g CO<sub>2</sub> per kWh if the CO<sub>2</sub> separation effort is included. Electricity mix of EU-27 countries is therefore not at all suitable as an input. Utilization of renewable H<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> in the industry or the transport sector offers substantial reduction potential in GWP and primary energy demand.