

*Renewables4Industry*

*Abstimmung des Energiebedarfs von industriellen Anlagen und der Energieversorgung  
aus fluktuierenden Erneuerbaren*

Endberichtsteil 1 von 3

**Strategische Forschungsagenda**

Simon Moser, Karl-Heinz Leitner, Horst Steinmüller

Unter Mitarbeit von:

Christoph Brunner, Jürgen Fluch, Bernhard Gahleitner, Markus Haider, Rene Hofmann, Marianne Hörlesberger, Thomas Kienberger, Petra Königshofer, Klaus Kubeczko, Julia Mayrhofer, Sophie Panuschka, Wolfram Rhomberg, Markus Schwarz, Christoph Sejkora, Beatrix Wepner

September 2017

*Das Projekt „Renewables4Industry“ ist eine F&E-Dienstleistung für den Klima- und  
Energiefonds im Rahmen des Energieforschungsprogramms 2016.*

## Inhaltsverzeichnis

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1.  | Informationen zur Strategischen Forschungsagenda.....  | 3  |
| 2.  | Ausgangssituation und Motivation .....   | 4  |
| 3.  | Methode.....   | 5  |
| 3.1 | Workshop „Vision“ .....  | 5  |
| 3.2 | Workshop „Fahrplanerstellung“ .....  | 5  |
| 3.3 | Konsultationsprozess.....  | 6  |
| 4.  | Vision für das Jahr 2050 .....   | 6  |
| 4.1 | Zum Selbst-Verständnis der Vision.....   | 6  |
| 4.2 | Vision 2050 für die Nutzung erneuerbarer Energien in der Industrie.....  | 7  |
| 5.  | Technologiefahrplan: Forschungsfelder und -themen.....   | 8  |
| 5.1 | Forschungsfeld 1: Nutzung von Niedertemperatur-Potenzialen .....   | 8  |
| 5.2 | Forschungsfeld 2: Bereitstellung erneuerbarer Elektrizität und Speicherung bzw. Nutzung durch Power-to-X ..... | 9  |
| 5.3 | Forschungsfeld 3: Bereitstellung weiterer erneuerbarer Energieträger.....                                      | 10 |
| 5.4 | Forschungsfeld 4: Speicherung erneuerbarer Energieträger (exkl. Wasserstoff).....                              | 11 |
| 5.5 | Forschungsfeld 5: Industrielle Prozesse im Hybridnetz .....  | 12 |
| 5.6 | Forschungsfeld 6: Produktionsanpassung für erneuerbare Energieträger und Flexibilität ..                       | 14 |

# 1. Informationen zur Strategischen Forschungsagenda

**Fördergeber:** Das Projekt „Renewables4Industry - Abstimmung des Energiebedarfs von industriellen Anlagen und der Energieversorgung aus fluktuierenden Erneuerbaren“ ist eine F&E-Dienstleistung für den Klima- und Energiefonds und wird im Rahmen der Energieforschungsprogramms 2016 durchgeführt und von der Österreichischen Forschungsfördergesellschaft FFG abgewickelt.



**Konsortium:** Die Projektleitung für die Erstellung des Technologiefahrplans erfolgte durch das Energieinstitut an der JKU Linz, Projektpartner waren das AIT Austrian Institute of Technology, der Lehrstuhl für Energieverbundtechnik der MU Leoben und das Institut für Energietechnik und Thermodynamik der TU Wien; über einen Werkvertrag wurde AEE INTEC beteiligt.

**Synopsis:** Erneuerbare Energie, unter anderem erneuerbarer Strom, bietet der Industrie die Möglichkeit zu einer CO<sub>2</sub>-armen Produktion. Die Gewinnung von erneuerbarer Energie verläuft oftmals fluktuierend/volatil. Um ein Maximum wirtschaftlich effizient zu nutzen, braucht es Technologien für Demand Response in den industriellen Teilprozessen, Speicher und Hybridnetze. Der Technologie-Fahrplan erörtert die notwendigen, angepassten Technologien für die industriellen Schlüsselprozesse und die unterstützenden FTI-politischen Instrumente auf Basis der IEA-Guidelines.

**Weitere wichtige Anmerkungen:** Ziel der Analyse sind die industrieinternen Produktionsprozesse: Im Fahrplan wird die Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen in der Industrie behandelt. Es geht also explizit nicht um die Erneuerbarkeit des hergestellten Produkts oder um dessen potenziellen Beitrag zur intensiveren Nutzung erneuerbarer Energien.

Es gilt, mittel- und längerfristige Perspektiven, Themenstellungen und Möglichkeiten zu diskutieren. Eine Politisierung der technologischen „Vision“ wäre missverständlich und ist zu vermeiden. Beim Fahrplan handelt es sich nicht um einen politischen Fahrplan, ebenso wenig sollen die technische Machbarkeit überprüft oder Energieszenarien entwickelt werden. Im Fokus steht die Formulierung von Zielen für die F&E und die Ableitung von Themenstellungen, die auf sektoraler oder sektorübergreifender Ebene kurz-, mittel- und langfristig in Angriff genommen werden müssen, wenn die im Fahrplan formulierten Ziele erreicht werden sollen.

## 2. Ausgangssituation und Motivation

Die Reduktion des Einsatzes von fossilem Kohlenstoff zur Energiegewinnung ist eine wesentliche Notwendigkeit zum Klimaschutz. Weniger Energieverbrauch und verstärkte Nutzung der in Europa verfügbaren erneuerbaren Ressourcen bedeuten Wirtschaftskraft im Binnenmarkt, weniger Kapitalabfluss über Importe, eine höhere Versorgungssicherheit und auch einen positiven Einfluss auf soziale Aspekte. Der politische Rahmen bis 2050 ist in groben Zügen abgesteckt. Die Zielsetzungen sind teilweise mit heutigen Technologien erreichbar, aber **zu weiten Teilen werden neue Technologien und ein breiter systemischer Ansatz erforderlich sein - dies gilt im Bereich Energieeffizienz und im Bereich der Erneuerbaren. Die Erforschung dieser neuen Technologien zu fokussieren und zu unterstützen war die Intention der beiden Fahrpläne zur „Energieeffizienz in der Industrie“<sup>1,2</sup> und ist nun, für den Bereich der Erneuerbaren, die Intention dieses Projekts.**

Die Industrie ist für einen wesentlichen Anteil des Energieverbrauchs in Österreich verantwortlich. Aus der österreichischen Energiebilanz (Statistik Austria) ist abzuleiten, dass der produzierende Bereich 29 % des nationalen Endenergieverbrauchs beansprucht. Gleichzeitig gehört die österreichische Industrie bereits heute zu den klimateffizientesten weltweit und hat in der Vergangenheit bereits eine Vielzahl von emissionsmindernden Maßnahmen gesetzt. Weitere Maßnahmen stellen eine große Herausforderung dar und erfordern hohe Investitionen.

Diese Strategische Forschungsagenda behandelt den Einsatz von Energie aus erneuerbaren Quellen in der Industrie. Damit werden speziell Industriebetriebe, die Technologielieferanten sowie die Wissenschaft in den jeweiligen Sektoren angesprochen. Während Energieeinsparungen betriebsintern vorstättgehen, ist eine Umstellung auf Energie aus erneuerbaren Quellen meist mit der Energieversorgung von außen verknüpft. Um das zukünftige Energiesystem mitzudenken - insbesondere den Sektor Strom mit seiner zukünftig voraussichtlich hochvolatilen Erzeugungsstruktur aus Wind und PV - ist eine Beteiligung von Energieversorgern und Unternehmen des Smart Grid-Bereichs zielführend. Im Zuge der deutschen „Energiewende“ wird sichtbar, dass die volatile Erzeugung von erneuerbarem Strom beim Umstieg auf eine Versorgung aus erneuerbaren Energiequellen ein wesentliches Thema ist. Wichtig ist es daher, darauf hinzuweisen, dass vor allem Energiespeichern sowie anderen, möglichst bedarfsgerecht einsetzbaren erneuerbaren Primärenergieträgern eine entsprechende Bedeutung zukommt. Dazu zählen Wasserkraft, Geo- und Solarthermie sowie biogene Energieträger.

Ziel dieser Strategischen Forschungsagenda ist nicht die Definition von konkreten Zielsetzungen. Ebenso wenig sollte damit eine Politisierung der im Workshop erarbeiteten Vision vorgenommen werden. Der Fahrplan soll indes jene F&E-Bereiche und Technologien identifizieren, die zur Erfüllung der Vision erforderlich sind und ohne welche ebendiese Vision gar nicht realisierbar wäre. Das Jahr 2050 wurde als Zeitpunkt der Vision gewählt, weil bis dahin nahezu alle heute bestehenden Anlagen am Ende ihrer Lebensdauer angekommen sind und zumindest einmal getauscht wurden. Das bedeutet aber auch, dass für die langfristige Umstellung die erforderlichen Technologien bis 2030 weitgehend ausgereift sein sollten.

---

<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.

<sup>2</sup> Steinmüller, Moser, Leitner (2016): F&E-Fahrplan Energieeffizienz in der Textil- und Lebensmittelindustrie. Endbericht für den Auftraggeber Klima- und Energiefonds. Linz, August 2016.

### **3. Methode**

Die Erstellung der Strategischen Forschungsagenda folgte dem Vorgehen bei der Erstellung der F&E-Fahrpläne „Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie“ und „Energieeffizienz in der Textil- und Lebensmittelindustrie“, die wiederum in Anlehnung an den „Energy Technology Roadmap Guide“ der IEA erstellt wurden. Die Projektpartner haben in Kooperation mit dem Projektbeirat die relevanten Unternehmen und Institutionen identifiziert. Diese wurden persönlich, telefonisch oder per E-Mail angefragt, sich am Erstellungsprozess zu beteiligen.

Erster Schritt im Prozess war die Erstellung einer Vision im Zuge eines Workshops (April 2017). Die Vision skizziert dabei einen wünschenswerten Zustand für den Einsatz der Erneuerbaren in der österreichischen Industrie und deren Wettbewerbsfähigkeit mit dem Zeithorizont 2050. Auf Basis der in der Vision entwickelten Zielsetzungen wurde in einem zweiten Workshop (Juni 2017) ein Forschungsfahrplan entwickelt, der als Ausgangspunkt für die finale, gesamte Strategische Forschungsagenda fungiert (d.h. das vorliegende Dokument).

Im Folgenden wird der Ablauf der Entwicklung der Strategischen Forschungsagenda erläutert:

#### **3.1 Workshop „Vision“**

21. April 2017, 09:30-16:00, Wien; 37 TeilnehmerInnen

Die TeilnehmerInnen wurden in vier Gruppen aufgeteilt. Nach Begrüßung und Vorstellungsrunde wurden die TeilnehmerInnen gebeten, die größte Barriere für den Einsatz eines höheren Anteils an Erneuerbaren in ihrer Branche darzulegen. Hier wurden beispielsweise Punkte wie Investitionskosten und -unsicherheit, Vorgaben zu Amortisationszeiten, Kurzfristigkeit von Politik und Management, etc. angeführt. Anschließend wurden die TeilnehmerInnen aufgefordert, diese Barrieren auszublenken und ihre eigene Vision für den Status und den Anteil der Erneuerbaren in ihrer Industrie bzw. Branche für das Jahr 2050 zu erstellen (Einzelvision). In einem zweiten Schritt fanden sich je zwei TeilnehmerInnen einer Gruppe zusammen, um sich ihre Vision zu erklären und zu vertiefen. Nachdem sich hier klarere und präzisere Visionen ergaben, teilte sich die Gruppe in zwei Subgruppen, um die Gemeinsamkeiten als Sektor-Vision soweit wie möglich einerseits zu quantifizieren und andererseits zu visualisieren bzw. qualitativ zu beschreiben. Im folgenden Schritt wurden die Visionen allen WorkshopteilnehmerInnen vorgestellt. Es folgte eine Diskussion und Identifikation von relevanten Themen bzw. eine Verschneidung.

#### **3.2 Workshop „Fahrplanerstellung“**

1. Juni 2017, 09:30-16:00; Linz; 33 TeilnehmerInnen

Wie im Workshop „Vision“ wurden auch im Workshop „Fahrplanerstellung“ die TeilnehmerInnen auf vier verschiedene Tische verteilt. In den einzelnen Gruppen wurden übergeordnete Forschungsfelder (z.B. neue Produktionsprozesse, Integration in das Umfeld, etc.) aus der Vision und dem Expertenwissen der TeilnehmerInnen abgeleitet und durch Diskussion weiterer Vorschläge in der Gruppe ergänzt. Die Gruppenmitglieder erhielten sodann die Möglichkeit, mit der Vergabe von fünf Punkten die Bedeutung eines Felds für die Industrie zu beurteilen. Die Kriterien für die Bewertung

waren: (1) Wichtigkeit für die Wettbewerbs- und Überlebensfähigkeit des Unternehmens, (2) Höhe des Einsparungspotenzials, (3) Diffusionspotenzial für eine breitere Anwendung innerhalb des Sektors und darüber hinaus, (4) Beitrag für die Gesamtvision. Über die fünf nach Punkten bedeutendsten F&E-Felder wurde in Folge weiter beraten: Vorab wurde in mehreren Gruppen versucht, den F&E-Feldern Ziele zuzuordnen. Dann wurden den F&E-Feldern einzelne, konkrete F&E-Themen zugeordnet. Es fand erstens eine Verortung der Themen auf einer zeitlichen Achse (2020-2030-2050) statt und zweitens eine Charakterisierung des F&E-Themas: Grundlagenforschung, angewandte Forschung und experimentelle Entwicklung, Demonstration, Marktüberleitung.

### **3.3 Konsultationsprozess**

Abgeschlossen am 28. August 2017, 25 Rückmeldungen

Aus den Ergebnissen der Workshops „Vision“ und „Fahrplanerstellung“ wurde ein Entwurf der Strategischen Forschungsagenda erstellt. Bei der Erstellung war insbesondere die Zusammenführung der Ergebnisse aus den Gruppen zu beachten. Zur Konsultation wurde der Entwurf an relevante Stakeholder versandt (über 100 angeschriebene Personen aus mehr als 70 Unternehmen, Fachverbänden und Interessenvertretungen). Die Fachverbände und Interessensvertretungen wurden gebeten, die Meinungen ihrer Mitglieder einzuholen und wiederzugeben. Nach abgeschlossenem Feedbackprozess wurden die eingelangten Erkenntnisse kritisch beleuchtet und in die Strategische Forschungsagenda aufgenommen.

## **4. Vision für das Jahr 2050**

### **4.1 Zum Selbst-Verständnis der Vision**

Die Vision skizziert einen wünschenswerten Zustand für die Ausrichtung der industriellen Prozesse und der relevanten Bereiche des Energiesektors in Österreich bis 2050 sowie für österreichische Unternehmen als Leitanbieter für angepasste Technologien und Prozesse bis 2030.

Die TeilnehmerInnen aus Unternehmen, Fachverbänden, Interessenvertretungen und Forschungseinrichtungen skizzierten dabei ihre Vision, die im Zuge des Workshops nach und nach zu einer gemeinsamen Vision verdichtet wurde. Beim zweiten Workshop „Fahrplanerstellung“ (bzw. auch auf elektronischem Wege) hatten die TeilnehmerInnen die Möglichkeit, weitere Anmerkungen und Änderungsvorschläge für die Vision einzubringen, wodurch die Vision nochmals präzisiert wurde.

Der Fahrplan soll jene F&E-Bereiche und Technologien identifizieren, die zur Erfüllung der Vision erforderlich sind und ohne welche ebendiese Vision gar nicht realisierbar wäre.

## 4.2 Vision 2050 für die Nutzung erneuerbarer Energien in der Industrie

### **CO<sub>2</sub>-Neutralität in Reichweite**

Im Sektor Industrie bzw. Produktion erfolgt die Versorgung zu deutlich mehr als 80 % aus erneuerbaren Quellen, wozu systemübergreifende Lösungsansätze und ganzheitliche Perspektiven beitragen. Die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus ist Standard. Die politischen Rahmenbedingungen haben den Standort Europa gesichert und ermöglichen, die Position des technologischen Frontrunners auf globaler Ebene einzunehmen. Spätestens in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts wird eine weitgehend vollständige und sichere Energieversorgung ohne fossile Energieträger in der Industrie erreicht (Wärme und Strom). In den Sektoren Mobilität und Haushalte sowie beim Energieträger Strom erfolgt die Versorgung schon Mitte des Jahrhunderts ausschließlich durch Energie aus erneuerbaren Quellen.

### **Synergien von Erneuerbaren und Energieeffizienz**

Zur Erreichung der Vision werden die Potenziale für eine Steigerung der Primär- und Endenergieeffizienz umgesetzt. Dazu zählen Breakthrough Technologies, die sich auch für die Versorgung durch erneuerbare und volatile Energie eignen. Die exergieorientierte, kaskadische Nutzung von Energieträgern hat sich in der Industrie und den zugehörigen lokalen Energiesystemen etabliert. Abwärme wird sektorenübergreifend und dezentral nutzbar gemacht. Die Hebung der Synergiepotenziale aus Erneuerbaren und Energieeffizienz erfordert eine regions-, branchen- und betriebspezifische Herangehensweise.

### **Flexibilität durch Speicherung und Nachfragereaktion**

Die Zusammensetzung der Versorgung aus erneuerbaren Energieträgern ist regional angepasst. Erneuerbarer Strom und ein sinnvoller Mix aus erneuerbarer Wärmeversorgung spielen eine wesentliche Rolle im neuen Energiesystem: Der stark volatile Erzeugung steht eine gesteigerte Flexibilität bei den Industriebetrieben gegenüber. Industriebetrieben mit einem konstanten Energiebedarf steht aber eine konstante Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen aufgrund der vorhandenen Speicher zur Verfügung. Angebot und Nachfrage unterschiedlicher Energieformen, insbesondere auch von Wärme, werden über die hybride Sektorkopplung sowie durch innovative Speichertechnologien ausgeglichen.

### **Industrie und Energieversorgung**

Die Optimierung im vollständig aus erneuerbaren Quellen stammenden, industriellen Niedertemperaturbereich nehmen die Betriebe selbst vor. Die Verantwortung für die exergetisch hochwertigen Energieformen, das heißt die Bereitstellung von Strom und speicherbaren (Kohlen-) Wasserstoffen aus nichtfossilen Quellen, liegt hingegen primär im Bereich der Energieversorger. Industriell genutzter Strom ist ebenfalls vollständig erneuerbar.

### **Vernetzung x Vernetzung x Vernetzung**

Bewusstseinsbildung erfolgt durch eine intensive Vernetzung von Wissenschaft, Technologieanbietern und industriellen Anwendern. Auch erfolgt eine intensive Vernetzung der regionalen Unternehmen hinsichtlich ihrer Energienachfrage und der nicht weiter genutzten Energieströme. Betriebsintern erlaubt die Vernetzung durch Digitalisierung und Automatisierung flexible und adaptive Produktionstechnologien und -prozesse, alternative und sekundäre Rohstoffe sowie erneuerbare Energien optimal einzusetzen. Dies bildet auch das Fundament für eine smarte Vernetzung der Industrie mit dem hybriden Energiesystem: Im Energiesektor trägt die IKT-basierte Sektorkopplung zu Versorgungssicherheit, Resilienz und Nachhaltigkeit bei.

## 5. Technologiefahrplan: Forschungsfelder und -themen

### 5.1 Forschungsfeld 1: Nutzung von Niedertemperatur-Potenzialen

Prozesse, die auf niedrigem Temperaturniveau ablaufen, bieten die Möglichkeit, erneuerbare Energie aus Niedertemperaturquellen einzubinden. Dazu zählt insbesondere die Solarthermie, aber auch die Geothermie. Die primärenergieeffiziente Nutzung von Abwärme trägt dazu bei, einen hohen Anteil erneuerbarer Energie an der Primäraufbringung zu realisieren. Die Forschungsthemen zur überbetrieblichen Vernetzung von Niedertemperatur-Potenzialen finden sich unter „Industrielle Prozesse im Hybridnetz“.

| <b>Forschungsthemen</b><br><b>Nutzung von Niedertemperatur-Potenzialen</b>   | <b>Zeithorizont</b><br><b>(wenn angegeben)</b> |
|--|--|
| Low-Exergy-Ansätze für den Niedrigexergiebedarf <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einsatz von exergetisch optimierten Energiequellen</li> <li>• Methodische Vorgehensweise zur exergetisch sinnvollen Nutzung (kaskadische Nutzung von Wärme)</li> <li>• Low-Exergy-Industrieprozesse (z.B. Niedrigtemperaturzellstoffaufschlussverfahren)</li> <li>• Ausschöpfung von betriebsinternen und -externen Vernetzungspotenzialen</li> </ul>   | Angewandte Forschung ab 2017                   |
| Solare und Niedertemperatur-Kühlung (Sorptionskühlung)   | Angewandte Forschung ab 2017, Demo ab 2030     |
| Prozessintegration der „Auskopplung“, advanced waste heat recovery   | Angewandte Forschung ab 2017 bis 2050          |
| Einbindung fluktuierender Wärmequellen: Solarthermie (wetterbedingt) und Abwärme (produktionsbedingt) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Anpassung der Prozesstechnologien zur (direkten) Nutzung von Niedertemperaturwärme: v.a. Solarthermie und Abwärme</li> <li>• Entwicklung neuer Querschnittstechnologien, z.B. Wärmetauscher</li> <li>• Nutzung erneuerbarer Energieträger (Solarthermie, Geothermie und industrielle Abwärme) mittels Hochtemperatur-Wärmepumpen, z.B. Industrierärmepumpen für eine Nutzungstemperatur von bis zu 155°C oder Erhöhung der Vorlauftemperatur durch „Booster-Wärmepumpen“</li> </ul> | Status in Abhängigkeit vom Temperaturniveau    |



## 5.2 Forschungsfeld 2: Bereitstellung erneuerbarer Elektrizität und Speicherung bzw. Nutzung durch Power-to-X

Zu hohen Anteilen fluktuierend hergestellte Elektrizität wird einen essenziellen Beitrag in einem erneuerbaren Energiesystem leisten. Deren Bereitstellung (Menge und Versorgungssicherheit) sind ein essenzielles Forschungsthema. Die Speicherung in Form von Wasserstoff und weiterführenden gasförmigen und flüssigen Produkten bzw. die direkte Nutzung dieser weiteren Produkte ist ein damit untrennbar verbundenes Forschungsthema.

| <b>Forschungsthemen</b><br><b>Bereitstellung erneuerbarer Elektrizität und Speicherung bzw. Nutzung durch Power-to-X</b>   | <b>Zeithorizont</b><br><b>(wenn angegeben)</b>             |
|--|--|
| Szenarienplanung zur Bereitstellung erneuerbarer Energie - systemresiliente erneuerbare Produktion: selbstlernend, selbstregelnd, sektorübergreifend: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimale Steuerung von Eigenerzeugungsanlagen</li> <li>• Neue Akteure an der Schnittstelle der Industrie zu Energieversorgern und Energieentsorgern</li> <li>• Analyse des Backup-Bedarfs sowie der Verfügbarkeiten bei vermehrtem Einsatz erneuerbarer Elektrizitätserzeugung</li> </ul> | Angewandte Forschung 2017                                  |
| Lastflexibilität für Biomasseheizkraftwerke, z.B. zur Abdeckung von Spitzenlast bzw. als Backup  |  |
| PV-Anlagen: Effizienzsteigerung, Speicherung und Integration in Industriebetrieben   | Angewandte Forschung 2017, Demo ab 2020                    |
| Niedertemperatur-Umwandlungsprozesse von Wärme zu Kraft durch Thermoelektrik und Thermoionik   | Grundlagenforschung bis 2030, angewandte Forschung ab 2030 |
| Niedertemperatur-ORC: Entwicklung effizienter Arbeits- und Verdampfungsmittel, optimierte Nutzung der Kondensation   | Angewandte Forschung ab 2017, Demo ab 2020                 |
| Vernetzte, alternative Technologien zur Deckung des thermischen Bedarfs (Power-to-Heat z.B. mittels Hochtemperatur-Wärmepumpen)  | Angewandte Forschung ab 2017, Demo ab 2020                 |
| Power-to-Hydrogen: Hochtemperaturelektrolyse SOEC  | Angewandte Forschung und Demo ab 2017                      |
| Power-to-Kohlenwasserstoffe über Wasserstoff und CO/CO <sub>2</sub> : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Methan: Weiterentwicklung der Methanisierung (Membran, Aufbereitung, System)</li> <li>• Methanol und höhere Alkohole</li> <li>• Naphtha als Chemierohstoff</li> <li>• Kohlenwasserstoffe als CO<sub>2</sub>-neutrale Kraftstoffe</li> </ul>   | Angewandte Forschung und Demo ab 2017 bis 2030             |
| Power-to-X: Abstimmung auf die Anforderungen der Nutzung durch die Industrie   | Angewandte Forschung ab 2017                               |
| Produktflexible Methanisierung, On-Site CO <sub>2</sub> -Abtrennung und Sauerstoff-Erzeugung   | Angewandte Forschung ab 2017, Demo ab 2020                 |
| Effiziente Abscheidung von CO <sub>2</sub> : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nach dem Rückgang der fossilen CO<sub>2</sub>-Quellen: CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus der Luft und spezifisch aus biogenen Industrieanwendungen</li> <li>• Auswirkung auf das Produkt bzw. den Herstellungsprozess</li> <li>• Senkung des Energiebedarfs der CO<sub>2</sub>-Abscheidung</li> </ul>   | Angewandte Forschung ab 2017, Markt-Einführung ab 2030     |
| CCX - sinnvolle Nutzung von CO <sub>2</sub> : CO <sub>2</sub> -Verwertung bzw. Aktivierung von CO <sub>2</sub> für die Einbindung als chemischer Baustein (biotechnologisch, chemisch-katalytisch)   | Grundlagenforschung ab 2017, Demo bis 2030                 |

### 5.3 Forschungsfeld 3: Bereitstellung weiterer erneuerbarer Energieträger

Die weiteren erneuerbaren Energieträger neben Strom werden ebenso eine zentrale Rolle bei der Umstellung auf ein erneuerbares Energiesystem spielen. Zu diesem Zweck gilt es, v.a. Solarthermie und Biomasseanlagen weiterzuentwickeln und neue, aber in der Kaskade auch sekundäre biogene Energiequellen zu erschließen.

| <b>Forschungsthemen</b><br><b>Bereitstellung weiterer erneuerbarer Energieträger</b>   | <b>Zeithorizont</b><br><b>(wenn angegeben)</b>                   |
|--|--|
| Weiterentwicklung von erneuerbaren Energie-Technologien zur besseren Integration in Industriebetrieben (z.B. Bauweisen, Technologiekombinationen, etc. bei Solarthermie und Industrie- und Hochtemperaturwärmepumpen)  | Angewandte Forschung ab 2017                                     |
| Nutzung biogener Rest- und Brennstoffe <ul style="list-style-type: none"> <li>• Brennwertechnik für Biomasseanlagen für die industrielle Anwendung</li> <li>• Aufbereitung von biogenen Reststoffen (Torrefizierung)</li> <li>• Biomasseanlagensystemen mit und ohne KWK zur Verbrennung von standardisierten biogenen Brennstoffen (Pellets, torrefizierte biogene Reststoffe) zur Bereitstellung von Prozesswärme mit ausreichend konstanter Temperatur und Wärmeleistung für definierte industrielle Anwendungen</li> <li>• Biomasseanlagensysteme mit und ohne KWK für die energetische Verwertung verschiedenster biogener Reststoffe (z.B. kaskadisch genutzter Biomasse) aus der Industrie und dem kommunalen Bereich</li> <li>• Nutzung des hohen exergetischen Potenzials von Biomasse (bis 1.200° C Verbrennungs-Temperatur) in der Industrie</li> <li>• Nutzung der Verbrennungstemperaturen und der kontinuierlichen Verfügbarkeit in Verbindung mit Kombinationsverfahren Biogene + Power-to-Gas</li> </ul> | Angewandte Forschung ab 2017 bis 2030, Demoprojekte bis 2040     |
| Materialentwicklung im Bereich Biomasseanlagen <ul style="list-style-type: none"> <li>• um hohe Lastgradienten zu erreichen, z.B. im Feuerfestbereich</li> <li>• für Komponenten, um hohe Chemikalienbeständigkeit zu erreichen</li> </ul>   | Grundlagenforschung bis 2030                                     |
| Photokatalyse / solare Direktkonversion: Wasserspaltung mit Katalysatoren zur Herstellung von Wasserstoff; Wasser- und CO <sub>2</sub> -Spaltung zu synthetischen Gasen bzw. Alkoholen.  | Grundlagenforschung ab 2017, Demo bis 2030, Markteinführung 2040 |
| Bioethanol und Bio-Öle der dritten Generation: Forcierte industrielle Photosynthese - „Algenkraftstoff“  |  |
| Umwandlung von Rohglycerin zu Alkohol; Konversion von (enzymatischer) Biomasse oder Biorestmasse zu Alkoholen  | Angewandte Forschung ab 2017, Demo ab 2020/2025 bis 2030         |
| Verarbeitung von Algen oder Biomasse durch hydrothermale Verflüssigung zu Kohlenwasserstoffen  | Angewandte Forschung ab 2017, Demo ab 2025 bis 2030              |
| Nutzung des Kohlenwasserstoffpotenziales weiterhin gegebener anthropogener Ressourcen (Klärschlämme, Bioabfall, Altkunststoffe)  |  |

## 5.4 Forschungsfeld 4: Speicherung erneuerbarer Energieträger (exkl. Wasserstoff)

Die volatile Erzeugung erneuerbarer Energieträger, allen voran Solarthermie und Strom aus PV und Wind, machen eine Kurz-, Mittel- und Langzeitspeicherung erforderlich. Die Speicherung auf geringen und mittleren Temperaturniveaus ist auch für die primärenergieeffiziente Nutzung von industriellen Abwärmern anzuwenden. Die Speicherung in Form von Wasserstoff und weiterführenden Produkten findet sich im Kapitel „Bereitstellung erneuerbarer Elektrizität und Speicherung bzw. Nutzung durch Power-to-X“.

| <b>Forschungsthemen</b><br><b>Speicherung erneuerbarer Energieträger (exkl. Wasserstoff)</b>  | <b>Zeithorizont</b><br><b>(wenn angegeben)</b>      |
|---|---|
| Speicherung von thermischer Energie zur Erhöhung der Flexibilität und Niedertemperatur-Wärmenutzung, v.a. Solarthermie und Abwärme <ul style="list-style-type: none"> <li>• Niedertemperatur-Speicher: verlustfreie Niedertemperatur-Speicher mit hohen Entlade- und Ladezyklen und hoher Dichte</li> <li>• Neue Mitteltemperaturspeicher</li> <li>• Neue Großspeicher (bis Saisonspeicher)</li> <li>• Thermochemische Speicherung, z.B. Zeolithe und ähnliche Materialien</li> <li>• Prozessspezifische Speicherung</li> </ul> | Angewandte Forschung ab 2017, Markt-Einführung 2030 |
| Speicherung in (intermediären) Produkten: Vorproduktion oder Prozessbeschleunigung  |   |
| Neue Prozessfluide (superkritisches CO <sub>2</sub> , etc.) als Arbeitsmedium, für den Transport und Speicherung auf mittleren und hohen Temperaturen   | Grundlagenforschung ab 2017, Demo bis 2030          |
| Hochtemperaturspeicher: Identifikation von Anwendungsfällen und potenziellen Technologien   | Grundlagenforschung                                 |
| Produkt- und Prozessspeicher: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzung von Roh-/Reststoffen zur Energiespeicherung (z.B. Schlacke als Speicher)</li> <li>• Kaskadisch eingesetzte, biobasierte Brennstoffe (Bio-Plastik)</li> <li>• Homogenisieren verschiedenartiger Reststoffe für die (Biomasse)Verbrennung</li> </ul>   | Angewandte Forschung ab 2017                        |
| Elektrochemische und mechanische Kurz- und Mittelfristspeicher (bis ca. 24 Stunden) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Neue Batterietechnologien, neue Materialien</li> <li>• Ziele: Lebensdauer, Sicherheit, etc.</li> <li>• Schwungräder</li> </ul>   | Angewandte Forschung ab 2017                        |

## 5.5 Forschungsfeld 5: Industrielle Prozesse im Hybridnetz

Industrielle Prozesse sollen mit erneuerbaren Energieträgern betrieben werden und sich gleichzeitig intelligent und optimal im Gesamtsystem einfügen. Dies erfolgt durch die Möglichkeit zur intelligenten Interaktion und einer zur Verfügung stehenden Infrastruktur. Im Folgenden werden die Forschungsthemen zur Einbindung in dieses Gesamtsystem behandelt. Die Forschungsthemen zur intelligenten Prozessanpassung an die Nutzung erneuerbarer Energieträger finden sich unter „Produktionsanpassung für erneuerbare Energieträger und Flexibilität“.

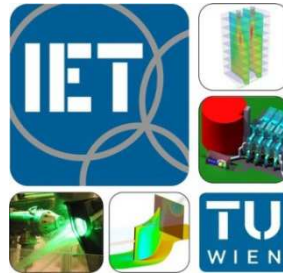
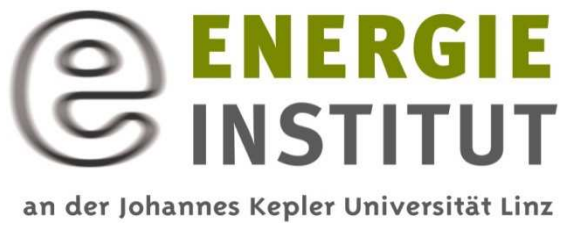
| <b>Forschungsthema</b><br><b>Industrielle Prozesse im Hybridnetz</b>   | <b>Zeithorizont</b><br><b>(wenn angegeben)</b>  |
|--|---|
| Weiterentwicklung des Hybridnetzes <ul style="list-style-type: none"> <li>• Energieraumplanung</li> <li>• Werkzeuge zur effizienten und effektiven Netznutzung</li> <li>• Methodische Entwicklung sinnvoller Kombinationen hybrider Systeme; sinnvolle Vernetzung von bestehenden Infrastrukturen (Strom, Gas, Wärme, Kälte, Wasser)</li> </ul>  |   |
| Fernkältenetze mit bestehenden Netzen kombinieren (solare Kühlung)   | Angewandte Forschung ab 2017 bis 2030   |
| Umstellung auf Niedertemperatur-Wärmenetze parallel zur Senkung der Prozess-Temperaturen <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einbindung fluktuierender Wärme, z.B. Solarthermie</li> <li>• Ausschöpfung von Vernetzungspotenzialen zur kaskadischen Nutzung der Wärme</li> <li>• Detailliertere Potenzialanalyse vorhandener Abwärmeströme, Prozessklassifizierung (Lastprofil, Temperatur, Druck) resultierend in GIS-Kataster</li> </ul>  | Demo für Einzeltechnologien ab 2020, systembezogen Grundlagenforschung und angewandte Forschung |
| Komponentenentwicklung innovativer Technologien, die Sektoren bedienen können und Sektor-übergreifend ermöglichen zu arbeiten (inkl. Speicher); Bidirektionalität der Energieflüsse ermöglichen: zwischen den hybriden Teilnetzen und zwischen dem Netz und den KundInnen  |   |
| Industrieprozesse werden an die Verfügbarkeit erneuerbarer Energien angepasst. D.h., der Produktionsprozess ist im Gesamtsystem optimiert: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Energetisch effiziente, für erneuerbare Energiequellen adaptierte/adaptierbare, im Netz flexible Teilprozesse</li> <li>• Intelligente Integrationskonzepte zur Reaktion auf externe Signale (Netz, Mikronetz, Börse, etc.)</li> <li>• Methodenentwicklung für Komponentenintegration</li> <li>• Datenanalyse und Mustererkennung für systemübergreifende Robustheit</li> </ul> | Grundlagenforschung bis 2025 und angewandte Forschung bis 2030                                  |
| Speicherung durch Nutzung von Lagern: <ul style="list-style-type: none"> <li>• (Intermediäre) Fertigungsschritte, die je nach Situation am Strommarkt oder (solarer) Wärmeverfügbarkeit gestartet bzw. beschleunigt oder gestoppt bzw. verlangsamt werden können;</li> <li>• Gezielte Nutzung von Überschuss- oder günstigem Strom zur Produkterzeugung (z.B. Power-to-Chemicals)</li> </ul>   |   |

| <b>Forschungsthema</b><br><b>Industrielle Prozesse im Hybridnetz</b>   | <b>Zeithorizont</b><br><b>(wenn angegeben)</b>   |
|--|--|
| <p>Vernetzung (IKT) zur Integration von Anlagen und Teilprozessen in Energiemarkt (Strommarkt), Hybridnetz (Stromnetz) und zukünftigen integrierten regionalen Energienetzen (Micro-Grids):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Forcierung von Lastverschiebung, Demand Response, Demand Side Management</li> <li>• Thermische Speicher oder Speicher in Form von Produkten/Zwischenprodukten im Rahmen von „Power-to-X“</li> <li>• Netztarife zur bestmöglichen Einbindung von fluktuierendem Strom in der Industrie; Weiterentwicklung des Marktmodells zur Schaffung von zielorientierten rechtlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen</li> <li>• Technologien zur Nutzung (Vermarktung) von Flexibilitäten</li> <li>• Industrieprozesse im Gesamtsystem: Optimierungsframework unter Miteinbeziehung von Strompreisfluktuationen und/oder Stromnetzzuständen</li> <li>• Technologien zur Abrechnung beim Energieaustausch / Valorisierung der Energieströme: Entwicklung von Geschäftsmodellen und Abrechnungssystemen (illustratives Beispiel: Blockchain) zum vereinfachten unternehmensübergreifenden Energiehandel (alle Medien)</li> <li>• Entwicklung von „Smart-Grid-Ready“-Geräten (z.B. bei Querschnittstechnologien wie Wärmepumpen)</li> <li>• Kurzfristige Forecasts und Entwicklung von Forecast-fähigen Regelungen; Einbindung von Vorhersagemodellen (z.B. Wetterdaten) und damit Forecasts von Energiepreisen für die industrielle Produktionsplanung</li> <li>• Ontologien: Verbindung von heterogenen Datenquellen, automatisiertes Reasoning</li> <li>• Vermeidung von ineffizienten Einzellösungen: Definition der Architektur der IKT-Infrastruktur (Systemebenen: Anlage/Maschine, Unternehmen, Markt/Stromsystem; Handels-, Unternehmens- und Aggregationsplattformen)</li> <li>• (Standardisierte) Schnittstellentechnologien, Protokolle, Cloud-Lösungen, etc. u.a. für die Vernetzung von hybriden Teilprozessen</li> <li>• Match Computing, Datenerfassung und -weitergabe, SPS, etc.</li> <li>• Daten-Bereitstellung, Datenzugriff (Sicherheit, Geheimhaltung)</li> <li>• Clusterung</li> <li>• Systematisierung und Erfassung der prozessspezifischen Restriktionen: An- und Abfahrzeiten, Dauer der Verfügbarkeit, Zeitpunkt der Verfügbarkeit, etc.</li> <li>• Erschaffung marktfähiger Produkte; Marktplattformen; Definition der tatsächlich am Markt und im Netz benötigten Produkte.</li> </ul> | <p>Technologieabhängig: Grundlagenforschung ab 2017, angewandte Forschung bis 2025, Demo bis 2030, Markteinführung ab 2030</p> |

## 5.6 Forschungsfeld 6: Produktionsanpassung für erneuerbare Energieträger und Flexibilität

Intelligenter digitalisierte Prozesse bzw. Anlagen können verstärkt auf die volatilere Erzeugung von Energie reagieren und so wirtschaftlich im Energiegesamtsystem betrieben werden. Auch die intelligente und energieeffiziente Nutzung anderer Erneuerbarer bedarf weiterer F&E-Aktivitäten. Im Folgenden werden die Forschungsthemen zur Prozessanpassung behandelt. Die Forschungsthemen zur Interaktion und Einbindung in dieses Gesamtsystem finden sich unter „Prozesse im Hybridnetz“.

| <b>Forschungsthemen</b><br><b>Produktionsanpassung für erneuerbare Energieträger und Flexibilität</b>  | <b>Zeithorizont</b><br><b>(wenn angegeben)</b>         |
|--|--|
| Simultane stoffliche und thermische Verwertung (Co-Processing)   |  |
| Nutzung von H <sub>2</sub> in Produktionsprozessen, H <sub>2</sub> -verfeuernde Prozesse für Industrieanwendungen, Oxy-Fuel  | Angewandte Forschung ab 2017, Demo ab 2030             |
| Einführung von H <sub>2</sub> -Fuhrparks/Flotten in Industriebetrieben: Wasserstofferzeugung, Betankungsinfrastruktur und Geschäftsmodelle   | Demo ab 2017, Markt ab 2020                            |
| Elektromobile Fuhrparks/Flotten in Industriebetrieben und als Flexibilitätsoption: Systemimplementierung in Verbindung mit eigener erneuerbarer Erzeugung sowie zugehörige Geschäftsmodelle  | Demo ab 2017, begleitend: angewandte Forschung ab 2017 |
| Modellierung und Simulation von Teilprozessen <ul style="list-style-type: none"> <li>zur Erstellung von Pilotanlagen, die auf der Nutzung von erneuerbaren Energieträgern basieren und</li> <li>Nutzung und Einbringung in eine zugängliche Teilprozess-Bibliothek (keine wiederholte Simulation homogener Teilprozesse)</li> <li>Simulation gleichzeitig laufender Teilprozesse durch Co-Simulation bzw. vergleichbare Simulationsmethoden</li> </ul>   | Angewandte Forschung ab 2017, Markt-Einführung 2030    |
| Systementwicklung zur Integration erneuerbarer Energie in Industriebranchen: auf Basis heutiger Technik und durch Aufzeigen der benötigten (neuen) Technologien  | Angewandte Forschung ab 2017                           |
| Intelligente Kombination bestehender erneuerbarer Energiequellen und Effizienzsteigerungen   | Demo ab 2018   |
| Flexibilisierung im Prozess: <ul style="list-style-type: none"> <li>Möglichkeiten durch Digitalisierung, Verknüpfung von Industrie 4.0 mit betrieblichem Energiemanagement</li> <li>Predictive Maintenance</li> <li>Usability, Visualisierung, Motivation</li> <li>Intelligente Regeltechnologien: interne Steuerung (IC), Aktorik, Zielfunktionen/Algorithmen</li> <li>Übergang auf Systemebene bei Prozessmonitoring und Modellvalidierung</li> </ul>  | Angewandte Forschung ab 2017                           |
| Neue Technologien für Produktionsprozesse (Prozessintensivierung) zur besseren Kopplung mit erneuerbaren Energien: <ul style="list-style-type: none"> <li>Innovative Rohrreaktoren mit kontrollierter Prozessführung und damit einhergehender Reduktion der Prozesstemperaturen.</li> <li>Innovative Wärmetauscher- und Reaktortechnologien (static mixers, spinning discs, oscillating buffer reactor) mit signifikant höheren Wärmetransferflächen und -koeffizienten.</li> <li>Prüfung der Umstellung von Batch-Prozessen zu kontinuierlichen Prozessen unter Beachtung der Flexibilitätsoptionen.</li> </ul> |  |



*Das Projekt „Renewables4Industry“ ist eine F&E-Dienstleistung für den Klima- und Energiefonds im Rahmen des Energieforschungsprogramms 2016.*

