

Umsetzungsplan zum FTI-Schwerpunkt Energiewende

Wirkungspfade, Schwerpunktthemen
und Innovationsziele



Umsetzungsplan zum FTI-Schwerpunkt Energiewende

Wirkungspfade, Schwerpunktthemen
und Innovationsziele

Wien, 2024

Impressum

Eigentümer, Herausgeber & Medieninhaber

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

Verantwortung und Koordination: Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien

Leiter: Volker Schaffler

Projektkoordination und Redaktion: DI Arno Gattinger und Ing. Michael Hübner

Redaktionsteam

Arno Gattinger (Projektleitung), Michael Hübner, Michael Wedler, Susanne Supper, Angela Berger, Sabine Mitter, Christine Promok, Hannes Bauer

Die Innovationsziele im vorliegenden Umsetzungsplan wurden auf Basis vorhandener Technologie-Roadmaps und Strategien erarbeitet und in Zusammenarbeit mit Schlüsselexpert:innen aus einschlägigen österreichischen Technologieplattformen, FTI- Initiativen und Forschungseinrichtungen formuliert:

Christian Fink/AEE INTEC, Christoph Brunner/AEE INTEC, Edith Haslinger/AIT Austrian Institute of Technology, Friederich Kupzog/AIT Austrian Institute of Technology, Veronika Wilk/AIT Austrian Institute of Technology, Helfried Brunner/AIT Austrian Institute of Technology, Ralf-Roman Schmidt/AIT Austrian Institute of Technology, Andreas Indinger/AEA Austrian Energy Agency, Günter Simader/AEA Austrian Energy Agency, Roger Hackstock/Austria Solar, Hemma Bieser/avantsmart e.U., Bernhard Windsperger/BioBASE GmbH, Simon Moser/Energieinstitut an der JKU Linz, Christoph Strasser/BEST, Marilene Fuhrmann/BEST GmbH, Walter Haslinger/BEST, Christa Dißbauer/BEST, Klaus Bernhardt/FEEI - Fachverband Elektro- und Elektronikindustrie, Franz Kirchmeyr/Kompost & Biogas Verband Österreich, Christoph Wanzenböck/Technologieplattform Smart Grids Austria, Andreas Lugmair/Technologie Plattform Smart Grids Austria, Tobias Stern/Universität Graz Umweltsystemwissenschaften, Adriana Diaz/Ecodesign Company, Andreas Krenn/Energiewerkstatt Verein, Stefan Moidl/IG Windkraft, Beatrix Hausner/ÖGUT, Reinhard Haas/TU Wien EEG, Markus Häider/TU Wien, Gregor Götzl/Verein Geothermie Österreich, Paul Ablinger/Verein Kleinwasserkraft Österreich, Hubert Fechner/TPPV, Markus Lehner/Montanuniversität Leoben

Danksagung

Das Redaktionsteam bedankt sich bei den Partner:innen und allen o.g. Mitwirkenden für die geleisteten Beiträge.

Gestaltung

Projektfabrik Waldhör KG

Wien, im Mai 2024

Ein auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen: nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum

Wie folgt zitieren: BMK (2024): Umsetzungsplan zum FTI- Schwerpunkt Energiewende. In Berichte aus Energie- und Umweltforschung Nr. 9/2024

Vorwort

Die Transformation des Energiesystems fordert uns als Gesellschaft heraus - bestehende Modelle und technische Infrastrukturen stehen vor großen Veränderungen. Durch europäische und internationale Rahmenbedingungen sowie nationale Planungsinstrumente gibt es Klarheit und Verbindlichkeit in der Zielsetzung. Die öffentliche Hand verfügt über zahlreiche Instrumente zur Gestaltung der Transformation. Um diese erfolgreich zu bewältigen, bedarf es einer Vielzahl nachhaltiger, technischer und sozialer Innovationen sowie des Nachweises ihrer Machbarkeit, Praxistauglichkeit und Sozialverträglichkeit. Gleichzeitig birgt dieser Wandel enorme Potenziale zur Sicherung des wirtschaftlichen Wohlstands und unserer Lebensqualität. Unser Ziel muss es sein, dass der heimische Forschungs-, Wirtschafts- und Technologiestandort diese strategisch herausragende Chance nutzt, um noch stärker von der globalen Dynamik zu profitieren.

Das Klimaschutzministerium hat sich mit dem vorliegenden Umsetzungsplan zum FTI-Schwerpunkt Energiewende die Frage gestellt, wie die Transformation durch Innovationsförderung ermöglicht und beschleunigt werden kann, um mehr Wirkung für den Standort Österreich zu erzielen. Der Umsetzungsplan gibt einen umfassenden Einblick in unsere transformative Energieinnovationspolitik und fokussiert auf die entscheidende Rolle von Forschung, Technologieentwicklung und Systeminnovation, um die ambitionierten Ziele der Energiewende bis 2030 bzw. 2040 zu erreichen. Dabei wird die zentrale Bedeutung der Zusammenarbeit verschiedener Akteursgruppen sowie die Integration von Technologieentwicklung, Politikgestaltung und Gesellschaft als Erfolgsfaktor hervorgehoben.

In fünf Schwerpunktthemen werden insgesamt 16 Innovationsthemen beschrieben, die eine Orientierung für die erste Förderperiode von 2024-2026 bieten. Mit einem mehrjährigen Budget soll nicht nur Planungssicherheit geschaffen, sondern vor allem der Innovationsstandort Österreich nachhaltig gestärkt werden. Jährlich stehen in der aktuellen Förderperiode etwa 50 Mio. Euro für Forschungsprojekte zur Energiewende bereit. Mit seinem Portfolio an exzellenten Forschungs- und Wissenschaftseinrichtungen sowie innovativen Unternehmen und öffentlichen Einrichtungen verfügt Österreich über die Grundlage, um gestärkt und resilient aus der grünen und digitalen Transformation hervorzugehen.

Mit dem FTI-Schwerpunkt Energiewende haben wir im Ministerium die Weichen gestellt und eine inter- und transdisziplinäre Arbeitsweise etabliert, um das nationale Förderangebot kontinuierlich weiterzuentwickeln und die Energiewende aktiv voranzutreiben. Gemeinsam wollen wir die Chancen nutzen und die Herausforderungen mit Begeisterung und Tatkraft meistern!



Henriette Spyra

Leiterin der Sektion III –
Innovation und Technologie

Inhalt

Vorwort	3
1 Transformative Innovationspolitik für die Energiewende	14
1.1 Transformative Innovationspolitik	15
1.2 Zielwirksamkeit und Anschlussfähigkeit.....	18
1.2.1 Impact Pathway 1: Erfolgreiche Energiewende in Österreich (Fokus: Innovation).....	19
1.2.2 Impact Pathway 2: Österreichische Akteur:innen in globalen Wertschöpfungsketten (Fokus: Technologieentwicklung).....	21
1.2.3 Impact Pathway 3: Zukunftskompetenz im FTI-System (Fokus: Forschung).....	22
2 Übersicht der Schwerpunktthemen, Innovationsziele und Querschnittsanforderungen	24
2.1 Schwerpunktthemen und Innovationsziele.....	26
2.2 Alle Themen im tabellarischen Überblick.....	28
2.3 „High Level Principles“ zur Formulierung von Innovationszielen.....	29
2.4 Zentrale Querschnittsanforderungen.....	30
2.4.1 Nachhaltige Wertschöpfungsketten und Stärkung des Produktionsstandorts.....	30
2.4.2 Kreislaufwirtschaft und Versorgungssicherheit.....	31
2.4.3 Gesellschaftliche Transformation (Akzeptanz, Partizipation, Menschen in FTI).....	33
2.4.4 Digitale Transformation („twin transition“)......	34
3 Technologiefokus, Themen und Ziele im Detail	36
3.1 Energieerzeugungs- und Speichertechnologien inkl. Produktionsprozesse und Materialien.....	38
3.1.1 Photovoltaik.....	38
3.1.2 Solarthermie und CSP (concentrating solar power).....	40
3.1.3 Windkraft.....	43
3.1.4 Wärmepumpe.....	44

3.1.5 Wärmespeicher.....	46
3.1.6 Stromspeicher.....	49
3.1.7 Kleinwasserkraft.....	50
3.1.8 Geothermie.....	52
3.1.9 Bioenergien	56
3.2 Wasserstoff und erneuerbare Gase, Carbon Capture Utilization and Storage (CCUS).....	59
3.2.1 Wasserstoff.....	59
3.2.2 Carbon Capture, Utilization and Storage (CCUS)	63
3.3 Effiziente Energieanwendung und Umwandlung.....	66
4 Systemfokus, Themen und Ziele im Detail.....	70
4.1 Systemdesign und -betrieb von flexiblen, integrierten Energiesystemen	72
4.1.1 Integrierte, dezentrale und Sektoren übergreifende Systemansätze	72
4.1.2 Flexible Elektrizitätssysteme.....	75
4.1.3 Differenzierte Wärmewende.....	78
4.1.4 Defossilisierte Industriestandorte.....	82
4.2 Digitalisierung des Energiesystems.....	83
Abbildungsverzeichnis.....	88
Quellenverzeichnis.....	89

Einleitung

Die Energiewende braucht Innovation
– erfolgreiche Innovation braucht
zielsichere Transformation.

Forschung, Technologieentwicklung und Innovation (FTI) stellt eines von vielen notwendigen Instrumenten zur Gestaltung der Transformation dar. Die öffentliche Hand gestaltet über Gesetzgebung, den Ausbau von erneuerbaren Energien und notwendigen Infrastrukturen, der Gestaltung von Genehmigungsverfahren und Marktregeln bis hin zu Finanzierungsinstrumenten die Rahmenbedingungen. Über die Bereitstellung neuer Entwicklungen und Technologien sowie Lern- und Reflexionszyklen nimmt FTI eine wichtige Rolle in der Transformation ein. Damit können nicht nur Technologien und Infrastrukturen verfügbar gemacht werden, sondern über das Verfügbar machen evidenzbasierten Wissens auch Politikbereiche zur Gestaltung des institutionellen Rahmens sowie Entscheidungsträger:innen in Wirtschaft und Gesellschaft unterstützt werden.

Zahlreiche effizienzsteigernde und erneuerbare Energietechnologien und Systemlösungen sind bereits ausgereift und stehen bereit, um die Energiewende voranzutreiben¹. Eine isolierte Markteinführung von Technologien reicht nicht aus, um die Transformationsziele der Energiewende^{2 3 4 5} zu erreichen und maximale Systemwirkung durch Synergien zu erzielen⁶. Anbieter:innen neuer Technologien und Lösungen können sich nur dann nachhaltig in globalen Wertschöpfungsketten etablieren, wenn eine auf breiter Basis stattfindende Transformation auch tragfähige und skalierende Märkte schafft.

Die Möglichkeit der erfolgreichen Anwendung im unmittelbaren räumlichen und gesellschaftlich-kulturellen Umfeld spielt hierbei eine zentrale Rolle, sowohl in Bezug auf die erforderlichen Rückmeldungsschleifen zur Aus- und Weiterentwicklung als auch in Bezug auf den überzeugenden Nachweis ihrer Leistungsfähigkeit und Akzeptanz. Innovationsförderung hat in diesem Kontext die strategische Aufgabe, aktuelle Barrieren in der Entwicklung zu identifizieren und darauf aufbauend konzertierte Anstrengungen zu ihrer Überwindung zu unterstützen. Darüber hinaus muss sie helfen, künftige Herausforderungen zu antizipieren und vorbereitend zu adressieren.

Die konsequente und an Impacts orientierte Umsetzung, begleitet durch den gezielten und strukturierten Aufbau einer evidenzbasierten, strategischen Wissensbasis ist Voraussetzung für die Beförderung einer zielsicheren und beschleunigten Energiewende sowie den Erhalt und Ausbau einer erfolgreichen und international anschlussfähigen Akteurslandschaft.

-
- 1 BMK (2020) Umsetzungsplan zur Energieforschungsinitiative in der Klima- und Energiestrategie Teil 1: Missionen und Innovationsziele
 - 2 European Commission (2023): Fit for 55 [Fit for 55: Delivering on the proposals - European Commission \(europa.eu\)](#)
 - 3 European Commission (2022): REPowerEU- Affordable, secure and sustainable energy for Europe [REPowerEU \(europa.eu\)](#)
 - 4 European Commission (2023): Net Zero Industry Act EU: [Net Zero Industry Act](#)
 - 5 European Commission (2023): The Green Deal Industrial Plan: putting Europe's net-zero industry in the lead [The Green Deal Industrial Plan](#)
 - 6 WKO (2024): EU GREEN DEAL MONITORING DER BUNDESSPARTE INDUSTRIE ZU RELEVANTEN DOSSIERS DES GREEN DEAL wko.at/oe/industrie/eu-green-deal-monitoring.pdf



Abbildung 1: Positive Rückkopplung zwischen zielsicherer Energiewende und erfolgreichen Innovations-Akteur:innen. (Quelle: eigene Darstellung)

Die Umstellung unseres Energiesystems erfordert die Weiterentwicklung sauberer Technologien zur Umwandlung, Speicherung und zum Transport von Energie. Darüber hinaus bedarf es aber auch einer klaren Vorstellung eines Gesamtdesigns unserer Energiesysteme, um die neuen Technologien optimal zu nutzen und sie nahtlos in ein hochleistungsfähiges und effizientes Technologie-Service-Ökosystem zu integrieren. Verschiedene Technologien und Infrastrukturen müssen über Energieträger und -sektoren hinweg zusammenwirken können.

Es muss überlegt werden, wie das Zusammenspiel der verschiedenen Akteur:innen und Technologien im gesamten Netzwerk- von der Erzeugung bis zur Endnutzung- so organisiert werden kann, dass die verschiedenen Formen erneuerbarer Energien für eine kontinuierliche und flexible Bereitstellung von Dienstleistungen und Prozessen kombiniert werden können. Ebenso muss überlegt werden, wie der Übergang von den etablierten Energiesystemen zu den neuen, saubereren Energiesystemen auf faire Weise und ohne große Brüche organisiert werden kann. Dies betrifft sowohl Organisationen und Unternehmen als auch Einzelpersonen, Bürger:innen und Gemeinden, kurzum alle Teile der Gesellschaft. Wenn die neuen Lösungen letztlich Teil unseres Geschäfts- und Lebensalltags werden, müssen wir uns damit beschäftigen, von wem und auf welcher Basis Entscheidungen zur Einführung einer neuen Lösung getroffen werden können und wie wir die Verantwortlichen in den Innovationsprozess einbeziehen können.

Energieinnovation in drei Dimensionen

In folgenden drei Dimensionen müssen also Erkenntnisse gewonnen und Innovationen vorangetrieben werden, um Technologien und Infrastrukturen zeitgerecht verfügbar zu machen aber auch die begleitende Gestaltung des Institutionellen Rahmens und den geordneten Übergang zum neuen Energiesystem zu unterstützen:

- **Dimension 1: Technologien, Infrastrukturen und technische Systemlösungen**

„Welche Technologien, Infrastrukturen und deren Verknüpfung zu technischen Systemlösungen benötigen wir und wie können wir sie bereitstellen?“

Der Fokus liegt hier auf der Entwicklung und Produktion von Technologien zur Umwandlung, Speicherung und zum Transport sauberer Energie. Dazu gehört, wie verschiedene Technologien und Infrastrukturen technisch nahtlos über einzelne Energievektoren und Sektoren hinweg zusammenarbeiten und so Flexibilität und Sektorkopplung erreichen können. Dieser umfasst beispielsweise auch rein technische Aspekte von CO₂-Managementsystemen und Kreislaufwirtschaft, ebenso Aspekte des Betriebs und der Wartung von Infrastrukturen und Komponenten.

- **Dimension 2: Organisation von Energiesystemen**

„Wie gestalten wir das Zusammenspiel unterschiedlicher Akteur:innen im Betrieb von Energiesystemen?“

Dabei geht es darum, wie das Zusammenspiel der verschiedenen Akteur:innen und der damit verbundenen Systemelemente im gesamten Netzwerk, von der Produktion bis zur Endnutzung, so organisiert werden kann, dass die verschiedenen Formen erneuerbarer Energien flexibel kombiniert werden können. Ziel ist dabei, dass die kontinuierliche Bereitstellung von Dienstleistungen und Prozessen sichergestellt werden kann. Dazu gehören Aspekte des Wertaustauschs zwischen den Akteur:innen (mit den zugehörigen Systemelementen) – etwa Markt- und Geschäftsmodelle oder Gemeinschaften. Es umfasst auch Aspekte des rechtlichen und regulatorischen Rahmens. Darüber hinaus sind organisatorische Aspekte des CO₂-Managements berücksichtigt. Interaktionen von Akteur:innen zum Auf- und Abbau von Systemen oder Systemelementen werden ebenfalls als Teil ihres Betriebs angesehen, einschließlich organisatorischer Aspekte der Kreislaufwirtschaft.

- **Dimension 3: Transition von Energiesystemen**

„Wie finden die neuen Lösungen Eingang in den Lebensalltag von Bürger:innen, Gemeinden und Regionen, Unternehmen und Infrastrukturbetreibern?“

Dies umfasst die Pflege und Förderung von Innovationsökosystemen ebenso wie das Design von Systemen, Technologien und Services an der Schnittstelle Mensch-Technik. Es betrifft aber auch den Wandel von Unternehmen mit ihren Personal- und Organisationsstrukturen, Aspekte gesellschaftlicher Akzeptanz

und Leistbarkeit, der Veränderung von Werten und Nutzerverhalten sowie des kulturellen Diskurses (z. B. Raumordnung), sowie weitere soziotechnische Aspekte. Die nachhaltige Bereitstellung von Materialien, Komponenten und Anlagen in globalen Lieferketten ist eine wesentliche Voraussetzung für die erfolgreiche Energiewende. Im Zuge der Transition sind Auswirkungen auf das Klima (mit Fokus auf CO₂-Wirkung und Klimakrise als Leitmotiv), die Natur und Ökologie sowie die Ressourcen im Allgemeinen im Blick zu behalten.

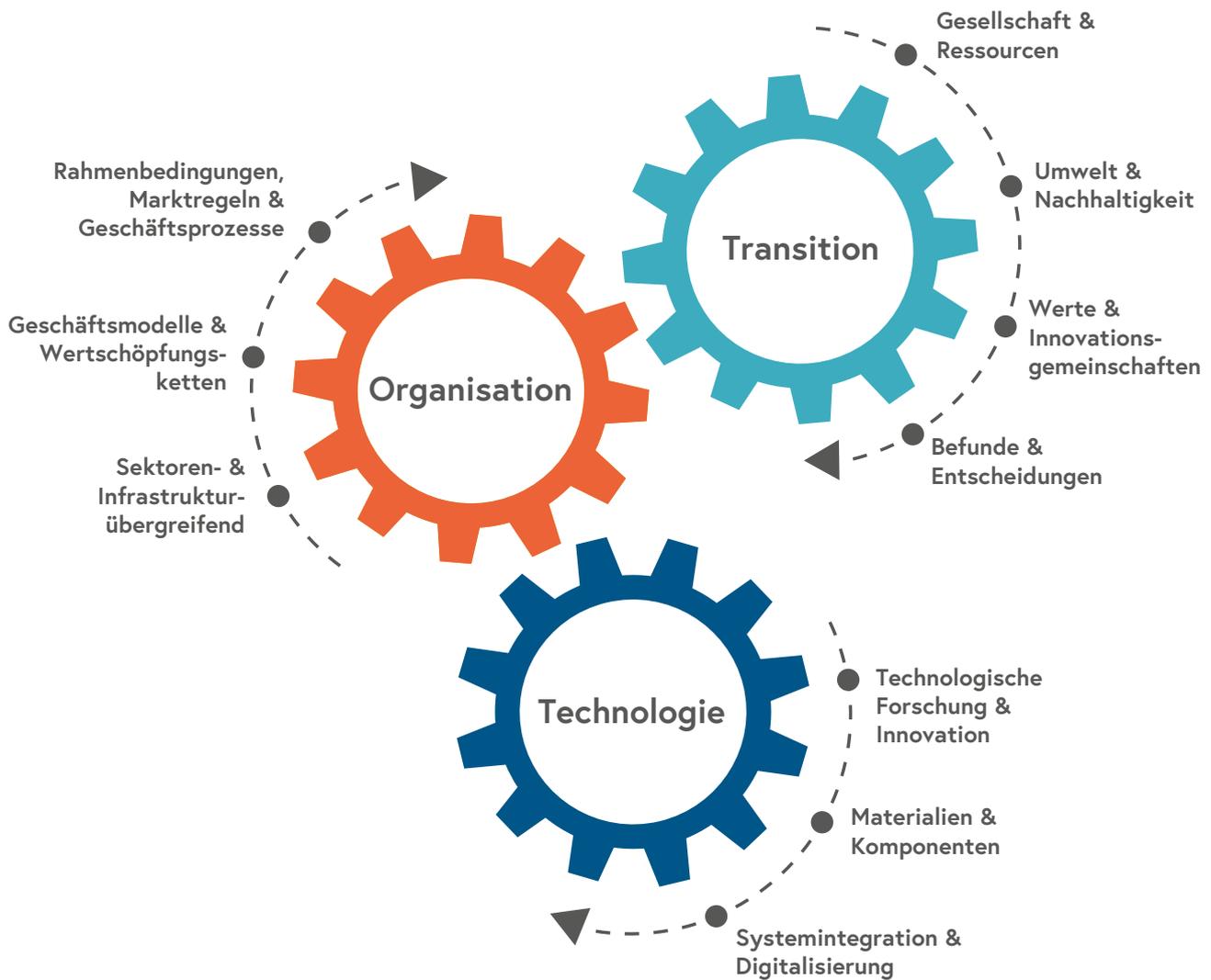


Abbildung 2: Die drei Dimensionen der Energieinnovation (Quelle: eigene Darstellung)

Dafür ist die **Zusammenarbeit unterschiedlicher Akteursgruppen** in Innovations-Ökosystemen erforderlich:

- Lösungsanbieter: Technologie-Unternehmen, KMUs, Start-ups, Planer:innen, Dienstleister:innen, Forschungseinrichtungen (universitär und außeruniversitär)
- Energieunternehmen: Produzent:innen, regionale und lokale Energieversorger, neue Akteur:innen wie Aggregatoren etc.
- Infrastrukturbetreiber: Gebäude, Netze, Kommunale Versorgungs- und Entsorgungssysteme
- Bedarfsträger und Anwender:innen: Industrie, Gewerbe, Unternehmen, Infrastruktur-Planung und Errichtung, Kommunen, Länder, Bürger:innen

Der **Schwerpunkt zu Forschung, Technologieentwicklung und Innovation in der Energiewende (FTI- Schwerpunkt Energiewende)** setzt sich daher zum Ziel, die relevanten FTI- Maßnahmen im Einflussbereich des BMK über Themen und Instrumente hinweg zu bündeln. Dadurch soll ein deutlicher Innovationsschub in den drei genannten Dimensionen für die Energiewende mit den gegebenen politischen Zielsetzungen in Österreich - 2030 (100% EE im Strom) und 2040 (Sektor übergreifend) und der EU erreicht werden⁷. Dies ist notwendig, um die zeitgerechte Verfügbarkeit der erforderlichen Lösungen auf technologischer und organisatorischer Ebene sowie die Teilhabe österreichischer Akteur:innen an den entsprechenden globalen Wertschöpfungskreisläufen und Lieferketten sicherzustellen. Es sollen entscheidende Beiträge für die umfassende und effiziente Nutzung erneuerbarer Energieträger, die substantielle Steigerung der Energieeffizienz in der Anwendung, die Systemintegration bestehender Einzeltechnologien sowie ein gesamthafte Verständnis für das zukünftige Design unserer Energiesysteme und des erforderlichen institutionellen Rahmens geleistet werden. Österreichische Technologie-Lösungsentwickler:innen werden dabei unterstützt, ihre Rolle und Positionierung in den Wertschöpfungskreisläufen und Lieferketten zu identifizieren bzw. zu schärfen und ihre Lösungen oder Lösungselemente gezielt dahingehend zu entwickeln. Wissen und Erkenntnisse für komplementäre Politikbereiche sowie für Entscheidungsträger:innen in Wirtschaft und Gesellschaft werden bereitgestellt.

Die öffentliche Hand hat zahlreiche Instrumente zur Verfügung, um die Rahmenbedingungen der Energiewende zu gestalten. Dieses Dokument fokussiert auf die wichtige Rolle von Forschung, Technologieentwicklung und Systeminnovation. In fünf Schwerpunktthemen beschreiben 16 Innovationsthemen die Innovationsziele, die für die Förderperiode 2024-2026 Orientierung geben. Durch eine substantielle Budgetsteigerung und mehrjährige Mittelausstattung kann der Innovationsstandort Österreich mit seinen Forschungs- und Wissenschaftsinstitutionen, seinen kreativen Unternehmen und öffentlichen Institutionen nachhaltig gestärkt werden.

7 WKO (2024): EU GREEN DEAL MONITORING DER BUNDESSPARTE INDUSTRIE ZU RELEVANTEN DOSSIERS DES GREEN DEAL wko.at/oe/industrie/eu-green-deal-monitoring.pdf

In der kommenden Förderperiode stehen jährlich etwa 50 Mio. Euro für den FTI-Schwerpunkt Energiewende zur Verfügung. Alleine für die Energieforschung stellt dies eine Verdreifachung der Mittel dar.

Budgets 2024 in Euro

Schwerpunkt Energiewende

Energieforschung (BMK & KLI.EN) 37,4 Mio		CETP* 10,5 Mio.	IEA* 3,8 Mio.
Digitale und Schlüsseltechnologien 75 Mio.		FTI-Schwerpunkt Mobilitätswende 30 Mio.	
Mission Klimaneutrale Stadt (BMK & KLI.EN) 28 Mio.	Weltraum- und Luftfahrt-technologien 20 Mio.	FTI-Schwerpunkt Kreislaufwirtschaft und Produktionstechnologien 25 Mio.	
FTI-Initiative Transformation der Industrie (KLI.EN) 25 Mio. (+ 80 Mio. für Umsetzung)		Wärmewende (KLI.EN) 10 Mio. (+35 Mio. für Umsetzung)	

Themenoffene Forschungsförderung

Basisprogramm (BMK & BMAW) inkl. Patentscheck, Kleinprojekt, Impact Innovation, Start-up Förderung, Green Frontrunner, Seed Financing, Green IP, IÖB Toolbox, APlusB 247,9 Mio.
COMET und Bridge 21 Mio.

Weitere FTI-Themen und Schwerpunkte des BMK (Energieforschung nicht als Primärziel)

* CETP: Clean Energy Transition Partnership (BMK & KLI.EN) 10,5 Mio.

* IEA: Forschungskoooperation Internationale Energieagentur (IEA) 3,8 Mio.

Abbildung 3: Budgetübersicht

Das vorliegende Dokument gliedert sich in drei Kapitel:

In Kapitel 1 – Transformative Innovationspolitik für die Energiewende wird der Ansatz beschrieben und auf drei Zielpfade sowie drei Dimensionen der Innovation heruntergebrochen. Ebenso wird auf die identifizierten Schwerpunktthemen und die Vorgangsweise zur Erarbeitung der zugehörigen Innovationsziele eingegangen.

In Kapitel 2- Zielwirksamkeit und Querschnittsanforderungen werden die Zielpfade im Detail beschrieben, die Einbettung in das Portfolio weiterer FTI-Schwerpunkte des BMK gezeigt und auf zentrale Querschnittthemen eingegangen.

Kapitel 3- Technologiefokus, Themen und Ziele im Detail sowie Kapitel 4- Systemfokus, Themen und Ziele Detail beschreiben detailliert den erhobenen aktuellen Innovationsbedarf.

1

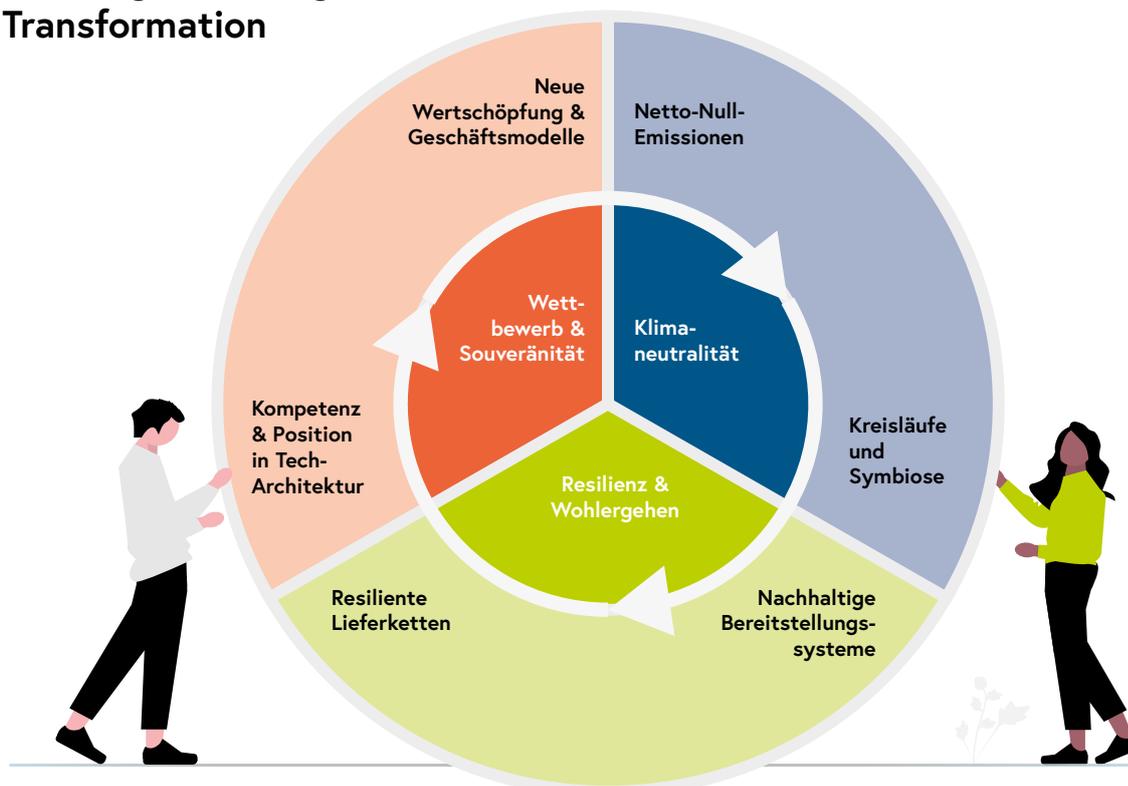
Transformative Innovationspolitik für die Energie- wende

1.1 Transformative Innovationspolitik

Die Transformation hin zu einem klimaneutralen Energiesystem erfordert umfassende und zeitkritische Systemveränderungen und Innovationen in zahlreichen Gesellschafts- und Politikbereichen, die nicht automatisch bzw. durch das Zusammenwirken von Bedarf, Nachfrage und Angebot erfolgen, obwohl sie wesentlich zur Erreichung der gesamtgesellschaftlichen Ziele beitragen würden.

Regierungen setzen daher zunehmend auf eine neue Generation von Politikmaßnahmen, die man unter dem Begriff der „transformativen Innovationspolitik“ zusammenfassen kann.⁸ Transformative Innovationspolitik für die Energiewende ist eine Antwort auf die besonderen Anforderungen, die sich aus System- und Transformationsversagen ergeben. Zentrale Merkmale sind die **Stärkung von Systemverständnis**, von **Ziel- und Wirkungsorientierung**, **strategische Intelligenz** sowie **Agilität und Lernfähigkeit**.

Systemveränderungen für die grüne & digitale Transformation



Quelle: eigene Darstellung, angelehnt an TNO (2023) White Paper on High-tech Industry 2040

Illustration: <https://undraw.co/illustrations>

Abbildung 4: Notwendige Systemveränderungen für die grüne und digitale Transformation.

Quelle: eigene Darstellung, angelehnt an TNO (2023) White Paper on High-Tech Industry 2040.

8 OECD (2024), "OECD Agenda for Transformative Science, Technology and Innovation Policies", OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, No. 164, OECD Publishing, Paris, doi.org/10.1787/ba2aaf7b-en

Innovationspolitik soll einerseits „bottom-up“ Innovationsfähigkeit und Resilienz stärken und andererseits direktonaler wirken. Dadurch können Innovationschancen erkannt und realisiert werden, die es braucht, um konkrete nationale oder europäische (Sektor-) Ziele zu erreichen. Besonders wichtig für den Erfolg ist das **systematische Zusammenspiel der Politikfelder** insbesondere Innovationspolitik mit Sektorpolitiken sowie gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen (whole-of-government Ansatz für die Energiewende).



Abbildung 5 Whole-of-Government-Ansatz des BMK. Quelle: BMK, eigene Darstellung

Einerseits müssen also saubere und nachhaltige Technologien und Technologiesysteme für die Umwandlung, den Transport und die Speicherung von Energie hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit und ihrer Kosten weiterentwickelt werden. Andererseits müssen zur Erreichung von Systemreife⁹¹⁰ und „Societal Readiness“¹¹¹² der neuen Energielösungen auch „Querschnittsfragen“ – also übergreifend über alle einzelnen Technologien - behandelt werden.

Durch die globalen Entwicklungen ist Europa derzeit auf den Import von sauberen Energietechnologien angewiesen, um seine Klimaziele zu erreichen. Eine Verbesserung der

- 9 Die Systemreife umfasst neben der technologischen Reife einzelner Komponenten auch Dimensionen der Produktion, Infrastruktur, Nutzung, Regeln, Betrieb und Systemarchitektur.
- 10 KLIEN (2024): Ein Modell zur Bewertung des Reifegrads von urbanen Innovationen für die klimaneutrale Stadt, FuE DL Projektnummer 47249725
- 11 Methode zur Bewertung des Anpassungsgrades einer Innovation oder Intervention (sei es sozialer oder technischer Natur) an die Gesellschaft. Es bezieht sich auf die Integration von Projekten, Technologien, Produkten, Prozessen, Interventionen oder Innovationen in die Gesellschaft.
- 12 Innovationsfonds DK/Innovation fund Denmark (2018): innovationsfonden.dk/sites/default/files/2018-08/societal_readiness_levels_-_srl.pdf

Energie- und Ressourcen-Effizienz von Produktionsprozessen für Energietechnologien, die Verwendung innovativer und auf weniger knappen Rohstoffen aufbauender Materialien oder auch die Kreislauffähigkeit von innovativen Komponenten von Energiesystemen können dazu beitragen Abhängigkeiten zu verringern, Kosten zu senken und Europa im globalen Standortwettbewerb als Produzent wieder konkurrenzfähig und erfolgreich zu machen. Auch die strategische Auswahl von Technologien mit geringeren Abhängigkeiten in den Lieferketten kann hier eine Rolle spielen.

Die Verwerfungen der letzten Jahre zeigen eindrücklich, wie wichtig es für Europa ist, bestehende und kommende Herausforderungen entschieden zu adressieren und einseitige Abhängigkeiten von Energieträgern zu vermeiden. Das intelligente Zusammenspiel der Systemkomponenten, resiliente Strukturen, robuste Energieerzeugungs- und Steuerungsprozesse können helfen, ein widerstandsfähiges und robustes Energiesystem auf Basis erneuerbarer Energien zu realisieren. Krisenfeste und langfristige Versorgungssicherheit stärkt wiederum Wettbewerbsfähigkeit und wirtschaftliche Stabilität.

Eine inklusive Energiewende, die die vielfältige Teilhabe und Akzeptanz sicherstellt, fördert die Innovation und Kreativität, indem verschiedene Perspektiven und Ideen eingebracht werden. Sie unterstützt politische Maßnahmen und Investitionen und trägt so langfristig zur Stabilität im Energiesektor und in der Gesellschaft insgesamt bei.

1.2 Zielwirksamkeit und Anschlussfähigkeit

Der FTI- Schwerpunkt Energiewende des BMK setzt sich zum Ziel, Herausforderungen, „Akkupunkturpunkte“ bzw. Barrieren der Energiewende zu identifizieren, die mit Forschung, Technologieentwicklung und Innovation der Lösung einen deutlichen Schritt nähergebracht werden können¹³. Es soll ein deutlicher Innovationsschub für die Energiewende in Österreich mit den gegebenen politischen Zielsetzungen 2030 (100% Erneuerbare Energie in der Elektrizitätsversorgung) und 2040 (nahezu 100% Erneuerbare Energie Sektor übergreifend) ausgelöst werden. Damit soll die zeitgerechte Verfügbarkeit der erforderlichen Lösungen auf technologischer und organisatorischer Ebene sowie die Teilhabe österreichischer Akteur:innen an den entsprechenden Wertschöpfungskreisläufen und Lieferketten ermöglicht werden.

Innovationen sollen zu den Zielen der „Impact Pathways“ des Schwerpunkts Energiewende des BMKs beitragen. Diese Wirkungspfade wurden als strategische Leitlinien für den FTI-Schwerpunkt entwickelt und verfolgen drei Zieldimensionen: diese sind „Erfolgreiche Energiewende in Österreich“; „Erfolgreiche österreichische Akteur:innen in globalen Wertschöpfungsketten“; „Zukunftskompetenz im FTI-System“. Alle Innovationen sollten einen Bezug zu mindestens einem dieser Impact-Pathways herstellen können.

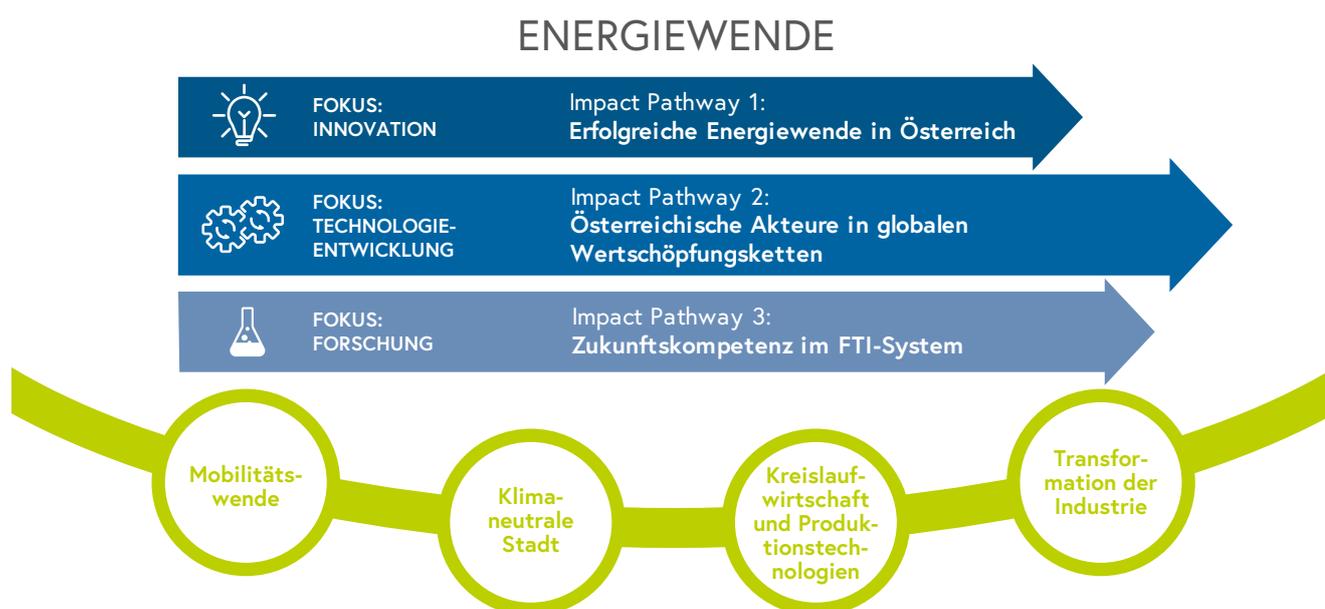


Abbildung 6: Die Impact Pathways der Energiewende und Schnittmengen mit weiteren Innovationsfeldern (Quelle: eigene Darstellung)

Systeminnovationen, die sich in Schnittmengen mit benachbarten Innovationsfeldern „Mobilitätswende“, „klimaneutrale Stadt“, „Kreislaufwirtschaft und Produktionstechno-

¹³ BMK (2022): Impact- und Evaluierungsplan Schwerpunkt Energiewende

logien“ oder „Transformation der Industrie“ befinden, sollten die entsprechenden Anforderungen kennen und Synergie-Potenziale nutzen.

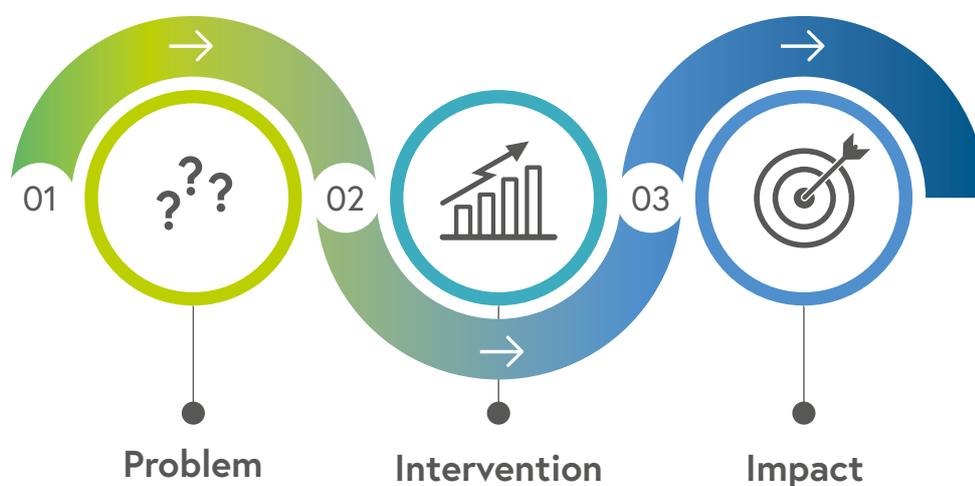


Abbildung 7: Dreisprung vom Problem zur Systemeinwirkung (Impact)
Quelle: eigene Darstellung)

Die Impact Pathways verbinden konsequent das identifizierte Transformationsproblem mittels geeigneter Intervention mit der angestrebten Systemwirkung (Impact). Zunächst wird dem Problem das generelle Transformationsziel zugeordnet. Daraus leiten sich spezifische Ziele ab, die mit geeigneten Interventionen unterlegt werden. Die Ergebnisse (Output) dieser Maßnahmen führen idealerweise zu den erwarteten Auswirkungen (Outcomes). Die damit mittel- bis langfristig ausgelösten Veränderungen sind schließlich die angestrebten Systemeinwirkungen (Impact).

Folgende Wirkungsstränge (Impact Pathways) wurden für den Schwerpunkt Energiewende identifiziert mit Erwartungen an Output, Outcome und Impact:

1.2.1 Impact Pathway 1: Erfolgreiche Energiewende in Österreich (Fokus: Innovation)

Die Energiewende in Österreich wird beschleunigt und läuft zielsicher ab.

Ziel ist es die interdisziplinäre und intersektorale Transformation des österreichischen Energie- und Wirtschaftssystems in Richtung Klimaneutralität voranzutreiben. Dazu soll die Verfügbarkeit von entsprechenden Technologien und Lösungen sichergestellt werden, eine evidenzbasierte und nachhaltige Wissensbasis aufgebaut werden, innovationsbasierte Entwicklungsimpulse in Branchen und Regionen gesetzt werden, sowie die Skalierung und Multiplikation von Lösungen begünstigt werden.

Ein wichtiges Element sind dabei transformative FTI- Initiativen, bei denen beispielsweise die Förderungen der Erprobung von Technologien umsetzungsnah in Formaten wie Reallaboren, „regulatory sandboxes“ und Vorzeigeregionen im Zentrum stehen.

Lösungsanwender:innen („Bedarfsträger“) setzen Innovationsinitiativen gemeinsam mit Lösungsentwickler:innen um, bei denen ein ganz konkreter (lokaler, regionaler, sektoraler, betrieblicher etc.) Anwendungsfall umfassend im Sinne der Energiewende betrachtet wird. Der Systemreifegrad und „Societal Readiness“ von Lösungen wird durch co-creation und den unmittelbaren Wissens- und Erfahrungsaustausch zwischen Anwender:innen und Entwickler:innen deutlich erhöht.

Dadurch entstehen konkrete, in Österreich multiplizierbare Lösungen für energieeffiziente und klimaneutral energiever sorgte Gebäude-Infrastrukturen, integrierte regionale Energiesysteme und die klimaneutral energiever sorgte Industrie. Insbesondere auch realitätsnah getestete Lösungen für "Hard to Abate" Sektoren. Die dabei etablierten Leitinitiativen mit hoher Innovationskompetenz wirken als Katalysator für die weitere Entwicklung und Umsetzung. Das Vertrauen in die neuen Lösungen wird bei Entscheidungsträger:innen gestärkt und konkretes Handlungswissen für deren erfolgreiche Umsetzung wird bei Nutzer:innen und Endkund:innen, Technologieentscheider:innen, Investor:innen, Verwaltung und Politik aufgebaut.

Pathway 1: Erfolgreiche Energiewende in Österreich

Problemstellung	Generell			
	Generelles Ziel	Spezifisch		Erwartete Impacts
		Spezifisches Ziele	Erwartete Outcomes	
Energiewende in Österreich soll beschleunigt werden und zielsicher ablaufen	<p>Interdisziplinäre und intersektorale Transformation des österr. Energiesystems in Richtung Klimaneutralität</p> <p>-> 100 % EE -> Energieeffizienz -> Systemlösungen</p> <p>Innovationsziele laut Umsetzungsplan für die Energieforschungsinitiative im NEKP</p>	<p>Österr. Energiewende mit leistbare Lösungen aus Österreich für 100 % EE, Dekarbonisierung der Industrie und Energieeffizienz</p> <p>Verfügbarkeit von Technologien und Systemlösungen (z. B.: für Intelligente Netze) in Österreich sicherstellen</p> <p>Evidenzbasierte und nachhaltige Wissensbasis für die zielsichere Energiewende in Österreich schaffen</p> <p>Skalierung und Multiplikation von Lösungen sicherstellen</p> <p>Innovationsbasierte Entwicklungsimpulse in Branchen und Regionen setzen</p>	<p>Konkrete in Österreich multiplizierbare Lösungen für Energieeffiziente und klimaneutral energiever sorgte Gebäude-Infrastruktur, integrierte regionale Energiesysteme und die klimaneutral energiever sorgte Industrie</p> <p>Insbesondere realitätsnah getestete Lösungen für „Hard to Abate“ Sektoren</p> <p>Leitinitiativen mit hoher Innovationskompetenz wirken als Katalysator für die Entwicklung und Umsetzung in Österreich</p> <p>Gestärktes Vertrauen in die neuen Lösungen und konkretes Handlungswissen für deren erfolgreiche Umsetzung bei Nutzern und Endkunden, Technologieentscheidern, Investoren, Verwaltung</p> <p>Prosperierender Heimmarkt für österr. Lösungsanbieter</p>	 <p>Optimierte Systemlösungen und Technologien für die klimaneutrale und resiliente Energieversorgung österr. Regionen und Branchen stehen zur Verfügung und leisten einen essentiellen Beitrag zur Energiewende. (Wirkungszeitraum 2030/2040)</p>

Abbildung 8: Impact Pathway 1 – Erfolgreiche Energiewende in Österreich
(Quelle: eigene Darstellung)

1.2.2 Impact Pathway 2: Österreichische Akteur:innen in globalen Wertschöpfungsketten (Fokus: Technologieentwicklung)

Österreichische FTI-Akteur:innen profitieren von der Teilhabe an internationalen Wertschöpfungskreisläufen und Lieferketten.

Ziel ist es, die Innovationskraft und Kompetenz österreichischer FTI-Akteur:innen zu stärken. Durch Förderangebote für Forschung und Entwicklung (F&E) sowie für Demonstration von Technologien und Lösungen und die Unterstützung von Kooperationen wird eine aktive Spezialisierung und Positionierung in Wertschöpfungskreisläufen und Lieferketten unterstützt.

Durch die Zusammenarbeit exzellenter Forschenden und FTI-Einrichtungen mit innovativen Technologie- und Lösungsanbieter:innen wird die Unternehmens- und Technologiebasis sowie die Wertschöpfung österreichischer Leitanbieter:innen gestärkt. Dadurch steht ein breites Technologieportfolio zur Forcierung der Energiewende aus österreichischen Betrieben zur Verfügung. Durch die Verbesserung des Zugangs für Österreichische Akteur:innen zu transnationalen FTI-Kooperationen wirken diese verstärkt in internationalen Konsortien und Innovationsaktivitäten mit. Es entstehen tragfähige, nachhaltige Kontakte mit Anwender:innen und Entscheider:innen in internationalen Zielmärkten und bilden die Basis für eine kommerzielle Verwertung.

Durch die Verfügbarkeit von leistungsfähigen FTI-Infrastrukturen können diese von einer Vielzahl von Akteur:innen synergetisch und gemeinsam genutzt werden.

Die Stärkung der Kompetenz im Umgang mit unterschiedlichen international verfügbaren Datensystemen, sowie die Entwicklung von Datenökosystemen für die digitale und grüne Transformation ermöglichen österreichischen Lösungsanbieter:innen die Nutzung von Daten aus einer breiten Palette verfügbarer Quellen.

Die umfassende Förderung der unternehmerischen Initiativen und Gründungsdynamik für die Energiewende führt zu einer deutlichen Steigerung der Wertschöpfung.

Pathway 2: Erfolgreiche österreichische Akteure der Energieinnovation

Problemstellung	Generell			Erwartete Impacts
	Generelles Ziel	Spezifisch		
		Spezifisches Ziele	Erwartete Outcomes	
Österreichische Akteure sollen von der Energie-Transformation profitieren und an internationalen Wertschöpfungskreisläufen teilhaben	Fitness der österreichischen Akteure für die Energiewende steigern und deren Integration in internationale Wertschöpfungsketten	<p>Exzellente Forscher:innen und FTI-Einrichtungen</p> <p>Erfolgreiche Technologie- und Lösungsanbieter (inkl. Planung, Prozessbegleitung, etc.)</p> <p>Stärkung der Unternehmens- und Technologiebasis und Leitanbieter in Österreich sowie deren Wertschöpfung</p> <p>Verbesserung des Zugangs für österreichische Akteure zu FTI-Kooperationen und internationalen Zielmärkten (Steigerung des Exports)</p> <p>Kompetenz im Umgang und der Nutzung unterschiedlicher international verfügbarer Technologie- und Datensysteme</p> <p>Verfügbarkeit von F&T-Infrastrukturen</p> <p>Entwicklung von Ökosystemen mit Blick auf digitaler und grüner Transformation</p> <p>Unternehmerische Initiativen und Gründungsdynamik für die Energiewende fördern</p>	<p>Das gesamte in Österreich verfügbare Technologieportfolio kommt zur Forcierung der Energiewende zum Einsatz</p> <p>Österreichische Akteure wirken verstärkt in internationalen Konsortien und Innovationsaktivitäten mit</p> <p>Tragfähige, nachhaltige Kontakte mit Anwendern und Entscheidern in internationalen Zielmärkten wurden etabliert und bilden die Basis für eine kommerzielle Verwertung/Export</p> <p>F&T-Infrastrukturen werden von einer Vielzahl von Akteuren synergetisch und gemeinsam genutzt</p> <p>Österreichische Lösungsanbieter nutzten Daten aus der breiten Palette der verfügbaren Datenquellen</p> <p>Steigerung der Wertschöpfung auf Basis der Energietechnologien</p>	 <p>Die Energiewende passiert weltweit mit Akteur:innen und Beiträgen aus Österreich (Wirkungszeitraum 2030/2040)</p> <p>Österreichische Akteure finden ihre Spezialisierung/Rolle auf den internationalen Technologie- und Lösungsmärkten</p>

Abbildung 9: Impact Pathway 2 – Österreichische Akteur:innen in globalen Wertschöpfungsketten (Quelle: eigene Darstellung)

1.2.3 Impact Pathway 3: Zukunftskompetenz im FTI-System (Fokus: Forschung)

FTI-Akteur:innen können zukünftige Entwicklungen im Bereich Energieinnovation auf Basis des internationalen Wissensstandes einschätzen und darauf vorausschauend reagieren.

Ziel ist es, die strategische Kompetenz für zukünftige Entwicklungen im Bereich Energieinnovationen zu stärken. Dabei werden alle relevanten Sektoren von der Forschung über die Wirtschaft bis zur Verwaltung angesprochen. Durch das rechtzeitige Erkennen globaler Trends und aktueller Entwicklungen in Europa, werden Entscheidungsträger:innen in Industrie, Verwaltung und Politik aktiv unterstützt. Damit ist es möglich, Techno-

logieoptionen über die derzeitige Situation hinaus zu konzipieren und auch langfristig einen wesentlichen Beitrag zur Technologiesouveränität Europas zu leisten. FTI- Beiträge zur Mittel- und langfristigen Sicherstellung von Sicherheit und Resilienz der Energieversorgung können vorausschauend geplant werden.

Dazu wird hochqualitative Forschungsarbeit von Forschungsinstituten und jungen Forscher:innen für die Energiewende unterstützt. Der zeitgerechte Aufbau von F&E-Infrastrukturen, qualifizierter Expert:innen und Arbeitskräfte, sowie die Zusammenarbeit von FTI-Institutionen sind in diesem Zusammenhang von großer Bedeutung.

Pathway 3: Zukunftskompetenz

Problemstellung	Generell			
	Generelles Ziel	Spezifisch		Erwartete Impacts
		Spezifisches Ziele	Erwartete Outcomes	
Wir müssen auch langfristig denken und über den Tellerrand der Umsetzung derzeit existierender Technologieoptionen über die derzeitige Situation	<p>Strategische Kompetenz für zukünftige Entwicklungen von Energieinnovationen</p> <p>Beitrag zur europäischen Technologie-Souveränität leisten</p>	<p>Beiträge zur Sicherstellung der Zukunftskompetenz in Forschungseinrichtungen und Universitäten sicherstellen</p> <p>Globale Trends und Entwicklungen in Europa rechtzeitig erkennen</p> <p>FTI-Beiträge zur mittel- und langfristigen Sicherstellung von Sicherheit und Resilienz der Energieversorgung</p> <p>FTI-Beiträge für die Herausforderungen im Zuge der digitalen und grünen Transformation (Security, Privacy und Trust)</p> <p>Beiträge zum Aufbau und zur Sicherstellung der Verfügbarkeit von Expert:innen und Arbeitskräften in relevanten und neu entstehenden Fachbereichen</p> <p>Vorausblickender Aufbau von Forschungs- und Technologie-Infrastrukturen</p>	<p>Entscheidungsträger in Österreichs Industrie fühlen sich in ihrer Entscheidungsfindung aktiv unterstützt</p> <p>Ministerien und Förderorganisationen in Österreich können auf spezifisch aufbereitete strategische Informationen zurückgreifen</p> <p>Das BMK kann auf Basis strategischen Wissens FTI-Schwerpunkte und Aktivitäten vorausschauend planen und</p> <p>Anzahl der MINT-Studierenden ist gestiegen</p> <p>F&T-Infrastrukturen stehen zeitgerecht zur Verfügung und werden intensiv genutzt</p> <p>Qualifizierte Arbeitskräfte stehen zur Verfügung</p>	 <p>Österreich sieht Entwicklungen im Bereich der Energiewende rechtzeitig kommen und bereitet sich aktiv darauf vor (Handlungszeitraum ab sofort Wirkungszeitraum 2040-)</p> <p>Österreichische Unternehmen und öffentliche Hand finden genügend geeignete Mitarbeiter:innen für den Aufbau von Kapazitäten in prosperierenden und Zukunftsthemen</p> <p>F&T-Infrastrukturen stehen für alle Innovationsakteure frühzeitig im Entwicklungsprozess zur Verfügung</p>

Abbildung 10: Impact Pathway 3 – Zukunftskompetenz im FTI-System (Quelle: eigene Darstellung)

2

Übersicht der Schwerpunktthemen, Innovationsziele und Querschnitts- anforderungen

Dieses Kapitel des Umsetzungsplans verschafft vorab einen strukturellen Überblick zur Einordnung der **fünf Schwerpunktthemen, der dazu formulierten Innovationsziele und der identifizierten Querschnittsanforderungen.**



Abbildung 11: Schwerpunktthemen und Querschnittsanforderungen im Überblick (Quelle: eigene Darstellung)

2.1 Schwerpunktthemen und Innovationsziele

Auf der Basis vorhandener Technologie-Roadmaps und strategischer FTI-Pläne, in Zusammenarbeit mit Schlüsselexpert:innen aus einschlägigen österreichischen Technologieplattformen, FTI- Initiativen und Forschungsinstituten sowie der öffentlichen Hand wurden inhaltliche Schwerpunktthemen und dazugehörige spezifische Innovationsziele erarbeitet¹⁴. In **fünf Schwerpunktthemen** wurden für insgesamt 16 Innovationsthemen **Innovationsziele** festgelegt. Diese zielen nicht primär auf eine scharfe inhaltliche Abgrenzung und Zuordnung von Innovations- oder Projektvorhaben ab. Überschneidungen sind daher vorhanden. Sie dienen vielmehr der Strukturierung und Systematisierung von Innovationszielen als wesentliche Grundlage für die Ausschreibung und Auswahl zu fördernder Innovations- und Projektvorhaben.

Die Schwerpunktthemen lassen sich nach „Technologiefokus“ und „Systemfokus“ einteilen: Die drei ersten Schwerpunktthemen folgen dem Innovationsansatz mit Technologiefokus. Die beiden folgenden Schwerpunktthemen folgen dem Innovationsansatz mit Systemfokus. Naturgemäß gibt es dadurch gewollte Überschneidungen, weil alle Technologien als Bausteine von Systemlösungen eine Rolle spielen. In den fünf Schwerpunktthemen werden in insgesamt 16 Innovationssubthemen die Innovationsziele festgelegt, die für die Förderperiode 2024-2026 Orientierung geben. Die jeweiligen Innovationsziele der Subthemen werden in den Folgekapiteln erläutert. Die Querschnittsanforderungen, die für alle Schwerpunktthemen berücksichtigt werden sollen, sind im Folgenden grundsätzlich beschrieben und werden bei den Subthemen spezifisch aufgegriffen.

14 Dazu ausgewertete Strategiepapiere finden sich in der Literaturliste im Anhang

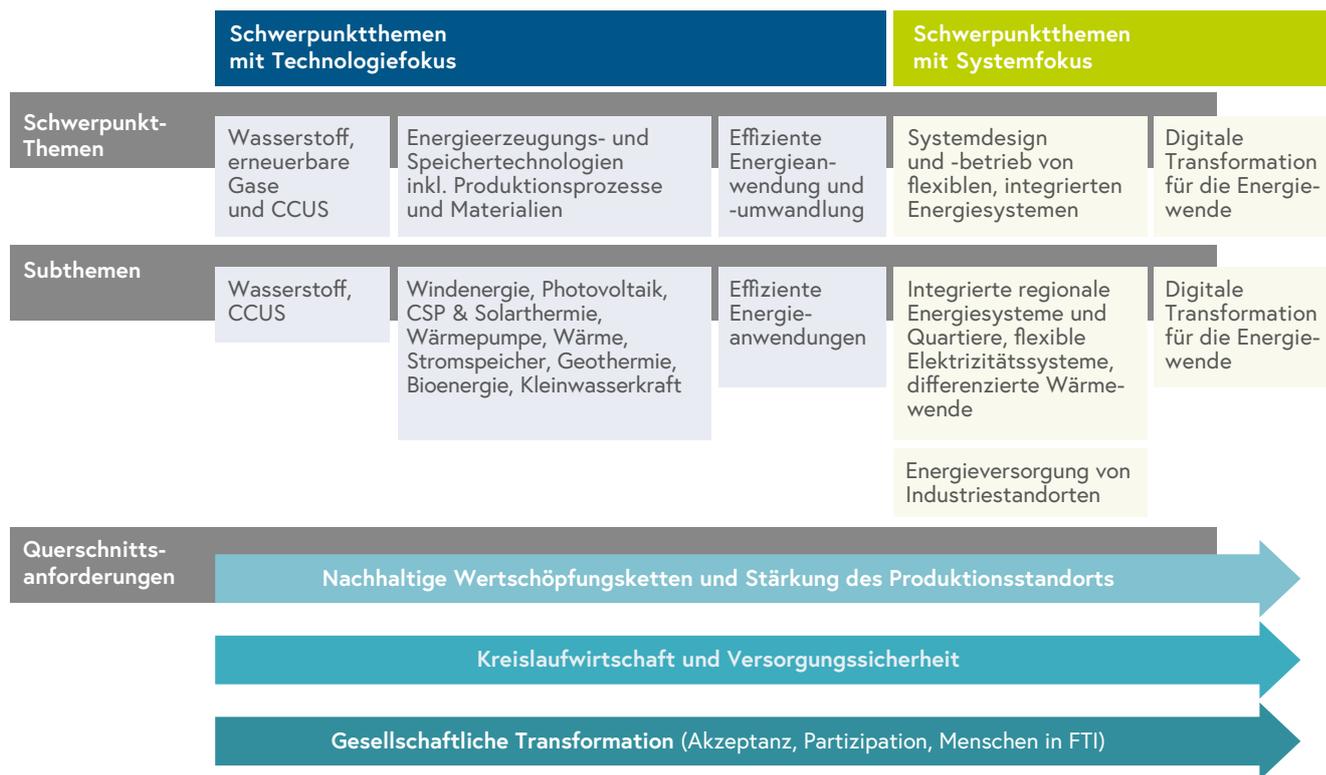


Abbildung 12: Schwerpunktthemen und Querschnittsanforderungen im Portfolio-Überblick (Quelle: eigene Darstellung)

2.2 Alle Themen im tabellarischen Überblick

Tabelle 1: Themen für alle fünf Schwerpunktthemen

Innovationsfokus	Schwerpunktthema	Themen
3 Technologiefokus	3.1 Energieerzeugung & Speichertechnologien inkl. Produktionsprozesse und Materialien	3.1.1 Photovoltaik
		3.1.2 CSP (concentrating solar power) und Solarthermie
		3.1.3 Windkraft
		3.1.4 Wärmepumpe
		3.1.5 Wärmespeicher
		3.1.6 Stromspeicher
		3.1.7 Kleinwasserkraft
		3.1.8 Geothermie
		3.1.9 Bioenergie
3.2 Wasserstoff, erneuerbare Gase, CCUS	3.2.1 Wasserstoff (inkl. erneuerbare Gase) und CCUS	
	3.2.2 CCUS (inkl. CO ₂ -Abscheidung aus Bioenergien)	
	3.3 Effiziente Energieanwendung	
3.3 Effiziente Energieanwendung	3.3 Effiziente Energieanwendung inkl. Umwandlung	
4 Systemfokus	4.1 Systemdesign & -betrieb von flexiblen, integrierten Energiesystemen	4.1.1 Integrierte, dezentrale und Sektoren übergreifende Systemansätze
		4.1.2 Flexible Elektrizitätssysteme
		4.1.3 Differenzierte Wärmewende
	4.2 Digitalisierung Energiesystems	4.2 Digitale Transformation für die Energiewende

2.3 „High Level Principles“ zur Formulierung von Innovationszielen

Bei der Formulierung der Innovationsziele wurden folgende Prinzipien berücksichtigt:

- **Schwerpunktorientierung:** Innovationsziele sollen sich aus den Wirkungszielen des FTI-Schwerpunkts Energiewende des BMK ableiten (Kapitel 1.2)
- **Impactorientierung:** Ziele sind nicht die Entwicklung oder Implementierung einer bestimmten Technologie an sich, sondern die Einwirkungen, die durch den Einsatz von Technologie erzielt werden sollen.
- **Innovationsorientierung:** Forschungs- und Innovationsaktivitäten und -maßnahmen sind das wichtigste Mittel, um die Ziele zu erreichen.
- **Technologieneutralität:** Wie Technologien und Lösungen genau aussehen werden, muss offen bleiben und durch Innovation beantwortet werden (Forschung und Entwicklung, technologische Lernkurven, Marktwettbewerb etc.)
- **Konkretheit:** Die Formulierung der Ziele muss die Offenheit der oben genannten Grundprinzipien mit der Tatsache, dass durch bestehende Strategien bereits ein gewisser Grad an Übereinkunft bezüglich Technologie und Lösungen getroffen wurde (z. B. die wichtige Rolle der Flexibilität für Stromnetze; die Erkenntnis, dass Informationsfluss und Kommunikation wichtige Voraussetzungen sind, etc.) ausbalancieren. In dieser Hinsicht müssen Ziele so konkret wie möglich sein, um die Entwicklung in die bereits festgelegte Richtung zu lenken.
- **Systemintegration:** Neben dem klassischen Innovationsansatz mit Technologiefokus wird auch der Innovationsansatz mit Systemfokus verfolgt, der die Implementierung von Systemlösungen in das Energiesystem von morgen sicherstellt. Der Systemnutzen zeigt sich bspw. ausgehend von der Markt- und Stromnetzintegration fluktuierender erneuerbarer strombasierter Energieaufkommen als:
 - Strategische Systemrelevanz (nationale Mengen-Reserve, Schwarzstartfähigkeit, Momentanreserve)
 - Grüne herkunftsgesicherte Marktprodukte (OTC Strom, Day-ahead/Intraday, Gas-/Wärmeprodukte)
 - Systemdienstleistungen im engeren Sinne zur Frequenzhaltung (präqualifizierter Handel von Regelleistungen, Primär- und Sekundärregelleistung, Minutenreserve)
 - Bilanzgruppenmanagement (Einhaltung von Fahrplanteue zur Vermeidung von Ausgleichsenergie)
 - Netzdienliche Leistungen (Bereitstellung lokaler Flexibilität z. B. mittels gehandelte oder entschädigte Zu-/Abschaltoptionen zur Bewirtschaftung von Netzengpässen inkl. Redispatch, Spannungshaltung, Blindleistungsbereitstellung)
 - Atypische Netznutzung (erzeugungsorientiertes Verbrauchs-/Ladeverhalten zur Entlastung der Netzinfrastruktur vs. Betriebs-/Anlageoptimiertes eratisches Verhalten)

2.4 Zentrale Querschnittsanforderungen

Im Dialog mit Expert:innen wurde ein Bündel an Querschnittsanforderungen ausgearbeitet und bekräftigt, das technologie- und themenübergreifend die Innovationen prägen soll. In der Berücksichtigung von nachhaltigen Wertschöpfungspartnerschaften, Kreislaufwirtschaft und breiter Teilhabe an der Energieinnovation liegen die Schlüsselfaktoren für eine gelingende nationale und europäische Energiewende (siehe Impact Pathway 1), die Positionierung österreichischer Lösungsanbieter:innen in internationalen Wertschöpfungsketten (siehe Impact Pathway 2) und den weiteren FTI-Kompetenz-Aufbau für Wissenstransfer und Lernprozesse (siehe Impact Pathway 3). Mittels dieses strategischen Weitblicks sind Innovationen „Made in Austria“ für die heimische Energiewende erfolgreicher und auch in den internationalen Wertschöpfungspartnerschaften nachhaltig wettbewerbsfähiger.

2.4.1 Nachhaltige Wertschöpfungsketten und Stärkung des Produktionsstandorts

Unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten gewinnt die Vorlieferkette zunehmend an Bedeutung. Insbesondere für Systeminnovationen, die in der Regel auf verschiedene mehr oder weniger reife Komponenten zurückgreifen, ist das Lieferkettenmanagement der entscheidende Faktor, einerseits für die regionale Wertschöpfung, andererseits hinsichtlich organisatorischer und strategischer Risiken. Darüber hinaus ist die Lieferkette maßgeblich für den ökologischen Fußabdruck der innovativen Produkte und Dienstleistungen. Die Vorteile regionaler und europäischer **Wertschöpfungspartnerschaften** sollten bereits bei der Komposition von Komponenten und Ressourcen, die für die Innovation eingesetzt werden, Berücksichtigung finden, um die Effekte und die Voraussetzungen für die anschließende Markteinführung und Skalierung abschätzen zu können.

Durch die nachhaltige Gestaltung von „Value Chains“ im europäischen Verbund sollen und können österreichische **Produktionsstandorte** gestärkt werden. Durch die Herstellung von Schlüsselkomponenten durch heimische Anbieter:innen können Wertschöpfungsanteile erhöht werden und Lieferkettenrisiken gemindert werden.

Der Aufbau von Wertschöpfungsketten, in denen österreichische Player zusammenspielen, sowie der gemeinsame Aufbau von FTI-Infrastruktur soll zur Stärkung der österreichischen Unternehmen beitragen. Dabei wird dem optimalen Zusammenspiel von Forschung, Markt und Rahmenbedingungen eine große Rolle zugeschrieben.

Der Nachhaltigkeitsanspruch umfasst hierbei auch die Flexibilität/Resilienz gegenüber den Herausforderungen des **Klimawandels**. Das betrifft sowohl die Anwendbarkeit der Innovationen unter sich verändernden klimatischen Bedingungen (Erwärmung, Extremwetter-Ereignisse) als auch die Vulnerabilität von Herstellung, Betrieb und Wartung.

2.4.2 Kreislaufwirtschaft und Versorgungssicherheit

Um die negativen Umweltauswirkungen von Produkten zu reduzieren, fordert die Ökodesign-Richtlinie der EU¹⁵ Energieeffizienz, Langlebigkeit, Reparierbarkeit und Recyclingfähigkeit von Produkten. Die Ökodesign-Richtlinie wird nun von der Ecodesign Sustainable Product Regulation (ESPR) abgelöst¹⁶. Mit der ESPR wird der Geltungsbereich deutlich erweitert. So werden in Zukunft auch Komponenten von Produkten betroffen sein und zudem wird es neben den Ökodesign-Anforderungen bzw. Leistungsanforderungen auch Informationsanforderungen an Produkte geben. Während die Leistungsanforderungen die Energieeffizienz und die Anforderungen der Kreislaufwirtschaft von Produkten einfordern, werden die Informationsanforderungen durch den Digitalen Produktpass (DPP) die jeweils erzielte Produktperformance ausweisen (z. B.: Product Carbon Footprint, Recyclingraten, Energieverbräuche etc.). Dabei werden Produktinformationen über die gesamte Lieferkette bzw. das gesamte Liefernetzwerk gesammelt, verarbeitet und dargestellt.

Indem Innovationen den Anforderungen der Zirkularität genügen (sollen), werden nicht nur ökologische Vorteile erschlossen, sondern auch die Resilienz in den nachhaltigen Wertschöpfungsketten (idealerweise geschlossenen Wertschöpfungskreisläufen) durch verantwortungsvollen Umgang mit knappen (eigenen) Ressourcen gestärkt. Der gesamte Produktlebenszyklus von Innovationen soll in den Blick genommen und bewertet werden, vom kreislauffähigen Produktdesign über den sparsamen Umgang mit Ressourcen bis zur Langlebigkeit und Reparaturfähigkeit und Wiederverwendbarkeit. Dies ermöglicht den österreichischen Innovationen perspektivisch Wettbewerbsvorteile hinsichtlich Ressourcensparsamkeit/-unabhängigkeit und geringerem ökologischem Rucksack.

15 EU (2009): Ökodesign-Richtlinie der Europäischen Union (Richtlinie 2009/125/EG)

16 European Commission (2024): Ecodesign Sustainable Product Regulation (ESPR) mit Link commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/sustainable-products/ecodesign-sustainable-products-regulation_en

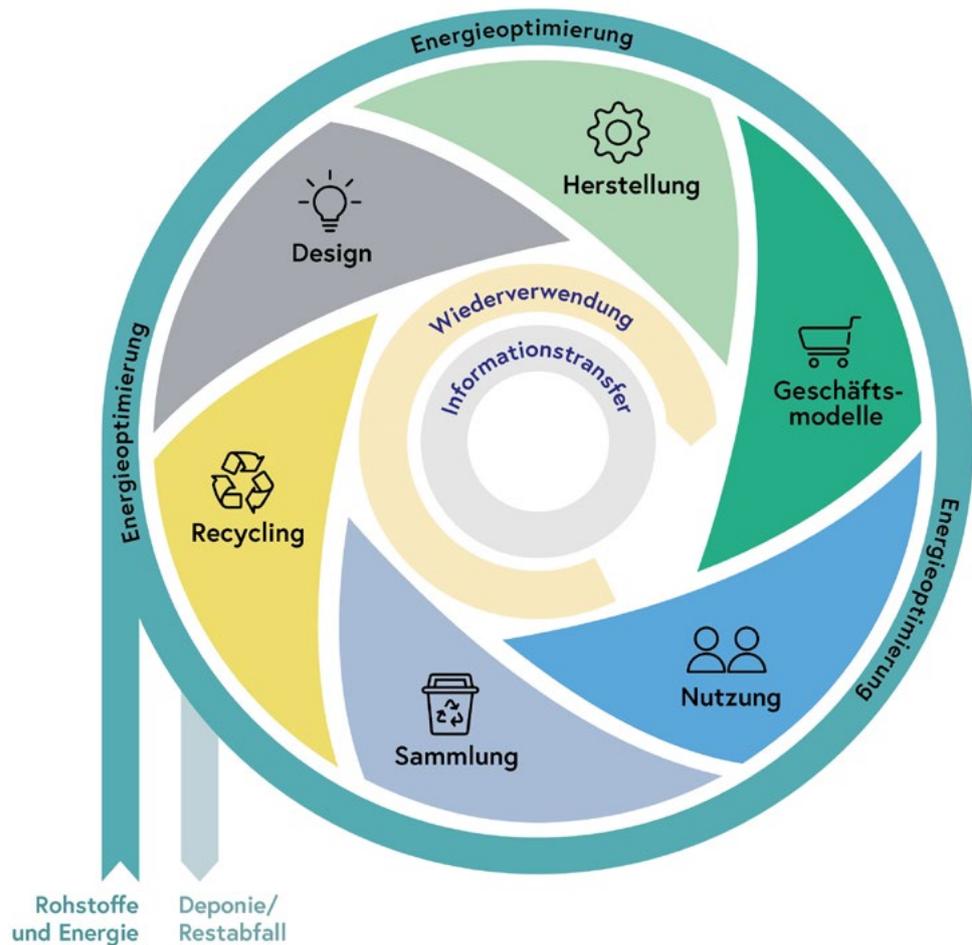


Abbildung 13: Der Wertschöpfungskreislauf (eigene Darstellung)

Im FTI-Schwerpunkt zur Kreislaufwirtschaft¹⁷ des BMK¹⁸ heißt es dazu unter anderem:

„Ziel ist es, durch Innovation, Technologie und Betrachtung des gesamten Systems die Basis für eine zirkuläre Wirtschaftsweise bereitzustellen. Das erfordert die Entwicklung neuer und die Verbesserung bestehender Technologien, Systeme und Prozesse. Im Fokus stehen dabei die Beschaffung und Nutzung recycelbarer, unbedenklicher und möglichst biobasierter Materialien, sämtliche Aspekte des Designs (Materialauswahl, Zerlegbarkeit, Reparierbarkeit, Re-Use) sowie die ressourceneffiziente und emissionsarme Herstellung wiederverwendbarer Produkte. Weitere zentrale Handlungsfelder sind die Rohstoffrückgewinnung (Aufbereitung) sowie Fragestellungen zum Recycling. Überlegungen zu adaptiertem Verbraucher:innenverhalten (Leasing, Sharing, Re-Use, Refurbishment, Repair) sind dabei ebenso von entscheidender Bedeutung wie eine durchgängige Erfassung, Nutzung und Bereitstellung von Daten über den gesamten Lebenszyklus.“

17 BMK (2021) Die FTI-Initiative Kreislaufwirtschaft [Die FTI-Initiative Kreislaufwirtschaft - Nachhaltig Wirtschaften](#)

18 BMK (2022): Kreislaufwirtschafts-Strategie [Kreislaufwirtschafts-Strategie \(bmk.gv.at\)](#)

Innovationen sollen berücksichtigen, dass mit ihrer Markteinführung und Systemintegration die Versorgung strategisch sicherer und zuverlässiger wird. Hierzu zählen Aspekte der europäischen Technologiesouveränität bei Schlüsselressourcen und -produktion und Lieferketten, Verfügbarkeit von Komponenten und Nutzungsrechten, aber auch hinreichende Leistungsfähigkeit beim Markthochlauf (Capacity Building, Kompetenz). Resilienz und Sicherheit betreffen den störungsfreien Betrieb im energietechnischen Zusammenspiel von Erzeugung, Transport und Verbrauch sowie die IT-Seite (Robustheit der Cyber-Security, Safety, Privacy). Forschungsarbeiten zur Bevorratung von Energie und zur Energielenkung sollen zur Versorgungssicherheit beitragen. Leistbarkeit und Preisstabilität für Endkund:innen soll dabei berücksichtigt werden.

Zum Thema Versorgungssicherheit hat die EU-Kommission im März 2023 bereits den Critical Raw Materials Act (CRMA)¹⁹ als Teil des „Green Industrial Plan“²⁰ vorgeschlagen, um die Abhängigkeit von Schlüsselressourcen wie z. B. seltenen Erden zu reduzieren. Innovationen sollen dabei helfen die Effizienz bei der Verwendung und Wiederverwertbarkeit dieser Schlüsselressourcen zu steigern sowie Alternativen zu entwickeln.

2.4.3 Gesellschaftliche Transformation (Akzeptanz, Partizipation, Menschen in FTI)

Technologien sind nicht neutral, sondern spiegeln die Ideen, Werte und Vorstellungen der Personen wider, die sie entwickelt haben. Dabei besteht die Gefahr, dass sie an den Bedürfnissen und Erfahrungen großer Teile der Nutzer:innen vorbei entwickelt werden und ausgrenzend wirken, wenn sie zum Beispiel zu viel technisches Wissen über Energie voraussetzen, Algorithmen verwendet werden, die Alltagspraktiken nicht berücksichtigen oder einfach zu teuer sind. Die Folge davon kann sein, dass diese Technologien nicht angewendet und akzeptiert werden, daher nicht die erwarteten Ergebnisse bringen.²¹

Innovationen sollen bereits bei ihrer Entwicklung die „Menschen“ im Energiesystem mitdenken. Orientierung an Nutzer:innen und Akzeptabilität von Technologie und Anwendungen sind hierbei von vornherein mitzudenken und sollen sich im Design von Systemen, Technologien und Services, insbesondere an den Schnittstellen Mensch-Technik, widerspiegeln. Aspekte der Diversität (u. a. Gender-Equality) und Inklusion sind hinsichtlich ihrer jeweiligen Relevanz zu prüfen und zu berücksichtigen. Innovative Geschäftsmodelle sollten die Teilhabe eines möglichst breiten Kreises von Akteur:innen involvieren. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich im Transformationsprozess Zielgruppen, Motive und Interaktionsmuster ebenfalls wandeln.

19 European Commission (2023): Critical Raw Materials Act (CRMA)

20 European Commission: (2023) Green Industrial Plan

21 Gesellschaftliche Fragestellungen, wie beispielsweise sozio-ökonomische Auswirkungen, Technikfolgenabschätzung, Verhaltensökonomie, innovative Formen der Kommunikation und Wissensvermittlung, Narrative für die Energiewende bis hin zu Akzeptanz-, Konflikt- und Allianzstrukturen müssen sie genauso beleuchten, wie auch neue Entwicklungen an den Arbeitsmärkten und gesellschaftlich relevante Digitalisierungsprozesse.

Neue Technologien gehen Hand in Hand mit gesellschaftlichen Veränderungsprozessen. Die Forschung zur gesellschaftlichen Transformation wird als relevant eingestuft und soll über die reine Ergänzung (Add-on) zu technologischen Fragestellungen hinaus verstanden werden

- Im Rahmen der öffentlich geförderten Energieforschung und Technologieentwicklung soll sichergestellt werden, dass das Konzept der Responsible Research & Innovation (RRI) zum Einsatz kommt.
- Technologieentwicklung, die auf Produkte und Dienstleistungen, welche Inklusion ermöglichen, abzielt, soll gefördert werden.
- Schließung der Forschungslücke zur Vielfalt der Energienutzung und Energienachfragemuster durch die durch die Generierung und Verfügbarmachung von belastbaren Daten, sowie die Zusammenarbeit mit einzurichtenden Kontrollinstanzen, die die Verfügbarkeit und Belastbarkeit der Daten prüfen.
- Förderung der Vielfalt in der Energiebranche (Geschlecht, Herkunft, Ausbildung, Erfahrungshintergrund etc.) und Schaffung von Beteiligungsmöglichkeiten für alle.
- Steigerung des Anteils von Frauen in FTI-Projekten, insbesondere im Bereich der Projektleitungen, und in Führungspositionen generell.
- Förderung des Ausbaus von Energiekompetenzen sowie Digitalisierungskompetenzen.
- Akzeptanzforschung zur Analyse der Einstellungen der Menschen zu unterschiedlichen Technologien und Veränderungen.
- Untersuchung von Akzeptanzfragen rund um das Thema Bau oder Verbot von Technologien (z. B. Windkraftausbau, Verbot von Gasheizungen etc.)
- Berücksichtigung von Akzeptanz/Fairness/Inklusion bei neuen Geschäftsmodellen von Energiegemeinschaften und Nutzung von Flexibilität (z. B. variable Netztarife etc.).
- Erforschung von Policy Designs für die FTI zur Energiewende.
- Aufbau von Kompetenzen in Unternehmen (z. B. Infrastrukturbetreiber), um die Marktüberleitung sicher zu stellen.

2.4.4 Digitale Transformation („twin transition“)

Die digitale Transformation spielt eine maßgebliche Rolle für die Energiewende, da sie eine Vielzahl von Möglichkeiten bietet, das Energiesystem effizienter, flexibler und nachhaltiger zu gestalten. Die digitale Transformation, im Sinne des umfassenden Einsatzes und der Integration digitaler Technologien, kann die Energiewende entscheidend vorantreiben und eine nachhaltigere und souveräne Energiezukunft ermöglichen. Ein auf dezentrale, nachhaltige und flexible Energieerzeugung ausgerichtetes Energiesystem sieht sich vielen Hindernissen gegenüber, die durch die Integration digitaler Technologien und Services gelöst werden können. Durch den Einsatz digitaler Technologien wie Smart Grids, Internet of Things (IoT), Datennutzung bzw. Datenaustausch und künstlicher Intelligenz können Energieinfrastrukturen optimiert und erneuerbare Energien besser in das Gesamtsystem integriert werden, um es resilienter zu machen.

Die Digitalisierung des Energiesektors kann einen großen Beitrag zur CO₂-Einsparung leisten.²² Insbesondere durch den Einsatz von Smart Grids, Smart Metern und die Verarbeitung von Echtzeit-Daten können Angebot und Nachfrage dynamisch ausgeglichen werden.

Zur Unterstützung der Ziele des EU-Aktionsplans zur Digitalisierung²³ des Energiesystems ist die Einführung eines Gemeinsamen Europäischen Energiedatenraums notwendig.²⁴

Durch diesen soll nicht nur die Grundlage für neue Geschäftsmodelle und Innovationen geschaffen werden, sondern auch eine bessere Teilhabe am Energiemarkt für Bürger:innen ermöglicht werden.

Zu beachten sind Rebound- Effekte, insbesondere bei der Ausgestaltung der notwendigen Rechenzentren und mit dem Einsatz von digitalen Technologien verbundene negative Auswirkungen wie ein erhöhter Energiekonsum, insbesondere durch KI-Anwendungen.

Durch die Twin Transition ergeben sich weitere Herausforderungen betreffend Datenschutz, Cybersicherheit und notwendige regulatorische Anpassungen. Die digitale Transformation hat das Potenzial die Energiewende entscheidend voranzutreiben. Eine ganzheitliche Herangehensweise ist dabei erforderlich, um die Vorteile der digitalen Transformation und die Neugestaltung des Energiesystems zu nutzen und die Probleme zu antizipieren und zu lösen.

22 BITKOM (2024): Klimateffekte der Digitalisierung 2.0, Studie zur Abschätzung des Beitrags digitaler Technologien zum Klimaschutz in Deutschland (2024) [Klimateffekte der Digitalisierung 2.0 | Studie 2024 | Bitkom e. V.](#)

23 European Commission (2022): EU-Aktionsplan zur Digitalisierung des Energiesystems ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/qanda_22_6229

24 European Commission (2023): Directorate-General for Energy, Berkhout, V., Villeviere, C., Bergsträßer, J. et al., Common European Energy Data Space, Publications Office of the European Union, 2023, data.europa.eu/doi/10.2833/354447

3

Technologiefokus, Themen und Ziele im Detail

Tabelle 2 Innovationsziele in den einzelnen Innovationsthemen mit Technologiefokus

Schwerpunktthema	Nr	Innovations-thema	Innovationsziele
3.1 Energie- erzeugung & Speicher- technologien inkl. Produk- tionspro- zesse und Materialien	3.1.1	Photovoltaik	<ol style="list-style-type: none"> 1) Verbesserung von Technologiebausteinen für die PV (PV-Zellmaterialien, Module und Systemkomponenten). 2) Steigerung der Nachhaltigkeit. 3) Integrationslösungen für Gebäude, Infrastruktur und öffentlichen Raum/Doppelnutzung. 4) Verbesserung der Integration von Strom aus PV ins Energiesystem.
	3.1.2	CSP (con- centrating solar power) & Solarther- mie	<ol style="list-style-type: none"> 1) Bereitstellung von Strom, Wärme, Kälte, Prozesswärme, Nutzung als thermischer und/oder chemischer Speicher (inkl. Wasserstoff). 2) Kostensenkung und Verbesserung der Lebensdauer sowie Nachhaltigkeit von Komponenten. 3) Entwicklung und Optimierung hochintegrierter und sektorkoppelnder Systeme.
	3.1.3	Windkraft	<ol style="list-style-type: none"> 1) Verbesserung von Technologiebausteinen für die Windenergie. 2) Optimierung von Ertragsprognosen und Verbesserung der Integration in Energiesysteme.
	3.1.4	Wärme- pumpe	<ol style="list-style-type: none"> 1) Verbesserungen der Technologiebausteine für die WP 2) Verstärkte Integration von WP in Industrieprozessen und in thermischen Netzen 3) Systemnutzenoptimierung durch Einsatz von WP
	3.1.5	Wärmespei- cher	<ol style="list-style-type: none"> 1) Verbesserungen der Wärmespeichertechnologien und deren Integration in unter- schiedliche Versorgungssysteme 2) Innovationsziel Systemnutzenoptimierung durch Einsatz von Wärmespeichern
	3.1.6	Stromspei- cher	<ol style="list-style-type: none"> 1) Steigerung der Flexibilität im Energiesystem. 2) Technologisch-ökonomische Verbesserung. 3) Stromspeicherung zur Glättung des volatilen Angebots aus fluktuierenden erneuer- baren Energiequellen.
	3.1.7	Kleinwasser- kraft	<ol style="list-style-type: none"> 1) Bereitstellung von innovativen Konzepten und Technologien für klimawandelange- passte effiziente, rentable Nutzung 2) Steigerung der Umweltverträglichkeit (ökologische Nutzung) 3) Flexibilisierung und Erschließung der Multifunktionalität im Kleinwasserkraftsektor
	3.1.8	Geothermie	<ol style="list-style-type: none"> 1) Verbesserung der Verfügbarkeit und Nutzung geowissenschaftlicher Daten durch den Aufbau von Datenplattformen mit Schnittstellen zu e-Government-Lösungen und Weiterentwicklung von Tools für die Planung und Auslegung von Kollektorsys- tem und Untergrundmanagement 2) Integration von Geothermie in multivalenten Wärme- und Kälteanwendungen und Anergienetzen, in kaskadischer Wärmenutzung sowie Verbesserung der Sektorkopp- lung sowohl in der oberflächennahen als auch in der tiefen Geothermie 3) Erhöhung der Effizienz von geologischen Wärmespeichern über alle Temperaturberei- che durch verbesserte Planung, Materialien und Betriebsweisen sowie synergetische Nachnutzung bestehender Hohlräume 4) Thermische Nutzung urbaner Flächen zur Gewinnung von solarer Überschusswärme mittels Flachkollektoren und geothermischer saisonaler Speicherung sowie Forcie- rung der Anwendung der Geothermie in Bestandsgebäuden 5) Verbesserung von Explorationsmethoden in der Tiefen Geothermie sowie Innovati- onen in der Bohrtechnik
	3.1.9	Bioenergie	<ol style="list-style-type: none"> 1) Einbindung und Verwertung von minderwertigen biogenen Rohstoffen 2) Herstellung von Synthesegas und Verwertung von CO₂-reichem biogenen Gas 3) Verwertung/Recycling von biogenen CO₂ und Kohlenstoff als Rohstoff 4) Innovative Organisationsstrukturen für biogene Wertschöpfungsketten

3.2 Wasserstoff, erneuerbare Gase, CCUS	3.2.1	Wasserstoff (inkl. erneuerbare Gase)	<ol style="list-style-type: none"> 1) Effizienzsteigerung und Kostensenkung bei der Herstellung von erneuerbarem Wasserstoff 2) Steigerung der Effizienz und Kostensenkung bei der Wasserstoff-Speicherung und Verteilung 3) Verbesserung von Technologiebausteinen für die Anwendung von erneuerbarem Wasserstoff 4) Integration von Wasserstoff im erneuerbaren und kreislauforientierten Energiesystem 5) Bereitstellung evidenzbasierter Erkenntnisse für Marktdesign, Regulierung, Normen und Standards
	3.2.2	CCUS (inkl. CO ₂ -Abscheidung aus Bioenergien)	<ol style="list-style-type: none"> 1) Verbesserung der Energie- und Kosteneffizienz von CO₂-Abscheidetechnologien unter Berücksichtigung des Einsatzes von erneuerbaren Energieträgern 2) Weiterentwicklung von Verfahren und Prozessen zur Nutzung von CO₂ 3) Weiterentwicklung von Technologien und Lösungen zur Langzeit-Speicherung für CO₂ 4) Weiterentwicklung von Lösungen für den CO₂-Transport 5) Bereitstellung evidenzbasierter Erkenntnisse für Marktdesign, Regulierung, Normen und Standards
3.3 effiziente Energiean- wendung	3.3.1	Effiziente Energieanwendung inkl. Umwandlung	<ol style="list-style-type: none"> 1) Bereitstellung von energieeffizienten und flexiblen Endverbrauchsgeräten 2) Effizienz und Konnektivität aller Arten von Umwandlungsanlagen zur Aufbringung und zum Einsatz von Energie 3) Verbesserung der Effizienz und Funktionalität von Komponenten zur Energieumwandlung 4) Sicherstellung einer langfristigen Forschungslandschaft für Leistungselektronik

3.1 Energieerzeugungs- und Speichertechnologien inkl. Produktionsprozesse und Materialien

Verbesserung von Technologien, deren Integration in einzelne Infrastrukturen und Systeme sowie verbesserte, kreislauffähige Herstellungs- und Produktionsprozesse.

Entsprechend der verschiedenen Innovationspotenziale wird den neun Innovationsthemen unterschiedliche strategische Bedeutung zugemessen. Den oben beschriebenen Querschnittsanforderungen unterliegen sie allesamt. Der Innovationsbedarf liegt neben den technischen Aspekten vermehrt in den sozial-wirtschaftlich-organisatorischen Integrationsleistungen („Systemnutzen“) entlang der gesamten Wertschöpfungskette von der Produktion, Rohstoffverwendung, Energieraumplanung, Akzeptanz und Partizipation bis hin zur intelligenten Steuerung sowie Markt und Netzintegration.

3.1.1 Photovoltaik

Photovoltaik birgt das größte Ausbaupotenzial unter den heimischen Erneuerbaren. Umso wichtiger sind Innovationen, die die Ausbreitung möglichst effizienter und kreislauffähiger Technologien im Energiesystem forcieren und auf nachhaltigen (sicheren) Wertschöpfungsketten und Energieraumplanungsprozessen beruhen. Das Potenzial von PV zur breiten wirtschaftlichen Teilhabe von Bürger:innen soll durch Innovationen gehoben werden.

Innovationsziele^{25 26}

- 1) Verbesserung von Technologiebausteinen für die PV (PV-Zellmaterialien, Module und Systemkomponenten).
- 2) Steigerung der Nachhaltigkeit im Lebenszyklus der Komponentennutzung
- 3) Integrationslösungen für Gebäude, Infrastruktur und öffentlichen Raum/ Doppelnutzung.
- 4) Verbesserung der Integration von Strom aus PV ins Energiesystem.

1) Verbesserung von Technologiebausteinen für die PV (PV-Zellmaterialien, Module und Systemkomponenten)

Ziel ist es, neue PV-Aktivmaterialien (Solarzellen) sowie neue und preiswertere Herstellungsverfahren zu entwickeln. Eine Optimierung in der Produktentwicklung und Produktion soll erfolgen. Die Automatisierung der Produktion sowie ein Beitrag zur Sicherung des Produktionsstandorts Europa sind ein weiterer Fokus.

2) Steigerung der Nachhaltigkeit im Lebenszyklus der Komponentennutzung

Um die negativen Umweltauswirkungen bei der Produktion und Entsorgung von Produkten zu reduzieren, gibt es die Ökodesign-Richtlinie (Richtlinie 2009/125/EG) der Europäischen Union²⁷, welche Energieeffizienz, Langlebigkeit, Reparierbarkeit und Recyclingfähigkeit von Produkten fördert. Speziell für Photovoltaik bereitet die Europäische Kommission derzeit ihren Vorschlag zum Ökodesign für Photovoltaikmodule, Wechselrichter und Systeme vor. Im gleichen Papier werden klassische Energy Labels vorgeschlagen, welche die Energieeffizienz der Produkte steigern sollen.²⁸

Im Einklang mit den EU-Rechtsakten ist das Ziel, Photovoltaikprodukte (Module, Wechselrichter, Systeme) mit geringen Treibhausgasemissionen besonders in der Produktion zu fördern und neue Recycling-Verfahren für PV und Konzepte zur Kreislaufführung der eingesetzten Materialien zu entwickeln. Zudem ist die Entwicklung von Lebenszeitverlängernden Maßnahmen und Forschung zur Erhöhung der Zuverlässigkeit und Langlebigkeit von PV-Materialien, PV-Komponenten und Modulen wichtig. Die Entwicklung neuer Modul-Architekturen (Eco-Design) zur besseren Reparierbarkeit und Rezyklierbarkeit (schadstofffreie Materialien, wiederlösbare Verbindungen) und die Anpassung der technologischen Lösungen an Anforderungen des Klimawandels sind Teil der Herausforderungen. Das beinhaltet andere Bauarten (Design), höhere Belastungsbeständigkeit,

25 BMK (bmvit) (2016&2018): Technologie-Roadmap für Photovoltaik in Österreich Teil 1&2 nachhaltigwirtschaften.at/de/e2050/publikationen/photovoltaic-roadmap-teil-2-2018.php

26 BMWK Deutschland (2023): Photovoltaik-Strategie

27 EU (2009): Ökodesign-Richtlinie der Europäischen Union (Richtlinie 2009/125/EG)

28 European Commission (2024): Ecodesign Sustainable Product Regulation (ESPR) commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/sustainable-products/ecodesign-sustainable-products-regulation_en

wie z.B. Temperaturfestigkeit sowie Beständigkeit bei Extremwetterereignissen, die erhöhte Anforderungen an Materialien bedingen. Aktivitäten zu ressourcenschonendem Materialeinsatz sollten unterstützt und auch die Kompatibilität zu geschlossenen Stoffzyklen gesichert werden. Es soll eine Nachhaltigkeitsbewertung erfolgen.

3) Integrationslösungen für Gebäude, Infrastruktur und öffentlichen Raum/Doppelnutzung

Ziel ist es, innovative gebäudeintegrierte PV (BIPV)-Produkte für Aktivhäuser in Neubau und Renovierung und Integrationslösungen für verschiedene Bauwerktypen zu entwickeln. Ästhetische Lösungen für PV in Denkmal- und Landschaftsschutzzonen (wie etwa farbige PV) sollen erforscht werden. Eine Optimierung des Ertrags und Standardisierung sowie Sicherheit (Brandschutzfragen) sind Thema, genauso, wie Lösungen im öffentlichen urbanen Raum als Klimawandelanpassungen (kühlende Effekte durch PV-Anwendungen usw.).

4) Verbesserung der Integration von Strom aus PV ins Energiesystem

Ziel ist es, Netzintegration und resiliente Energiesysteme herzustellen, indem neue Regelverfahren zur aktiven Stabilisierung des Netzbetriebs (Grid Forming Inverter) beforscht werden und für Kommunikationsinfrastrukturen, Interkonnektivität und Datenaustausch unter Berücksichtigung von Cyber-Security gesorgt wird. Eine intelligente Speicherbewirtschaftung/Energiemanagement findet statt. Ziel ist es, Lösungen für das Management von Erzeugungsspitzen zu finden.

Ein weiteres Ziel ist die Kopplung und der optimierte Betrieb von Power-2-X-Lösungen zur Unterstützung der Dekarbonisierung in unterschiedlichen Sektoren (Power-2-Products, Effizienzsteigerung bei Energieumwandlungen, Ausfallsicherheit, Steigerung der Rentabilität; Lösungen zur Speicherung von Solarstrom auf unterschiedlichen Zeitskalen).

Ein weiterer wichtiger Baustein ist die Integration von PV-Strom mittels Lösungen für Mehrparteienhäuser, Energiegemeinschaften, lokale Energienetze und am Strommarkt sowie dezentrale Speicherlösungen und vorgefertigte thermische Sanierung (serielles Sanieren) mit PV-Integration.

Für dieses Ziel ist auch das Schwerpunktthema 4.1 „Systemdesign und -betrieb von flexiblen, integrierten Energiesystemen“ relevant.

3.1.2 Solarthermie und CSP (concentrating solar power)

Wenn auch das Innovationspotenzial von Solarthermie aus technologischer Perspektive überschaubar ist, so liegen die Herausforderungen in der Gestaltung von Großflächen-Anlagen in Verbindung mit saisonalen Wärmespeichern. Im internationalen Kontext gewinnt CSP zunehmend an Bedeutung. Innovative österreichische Technologielösungen sollen auf diesen Märkten Beiträge leisten.

Innovationsziele^{29 30 31 32}

- 1) Entwicklung von Lösungen, um Strom, Wärme, Kälte, Prozesswärme bereitzustellen bzw. die Nutzung als thermischen und/oder chemischen Speicher (inkl. Wasserstoff) zu ermöglichen
- 2) Kostensenkung und Verbesserung der Lebensdauer sowie Nachhaltigkeit von Komponenten
- 3) Entwicklung und Optimierung hochintegrierter und sektorkopplender Systeme

1) Entwicklung von Lösungen, um Strom, Wärme, Kälte, Prozesswärme bereitzustellen bzw. die Nutzung als thermischen und/oder chemischen Speicher (inkl. Wasserstoff) zu ermöglichen

Ziel ist es, die unterschiedlichen Anwendungsmöglichkeiten von Solarthermie und CSP im Energiesystem zu verbessern, im Sinne einer höheren Wirtschaftlichkeit und zur Erreichung von höheren technischen Umwandlungswirkungsgraden. Dazu sind technische Innovationen bei Komponenten und Materialien erforderlich, aber auch Weiterentwicklungen bei der Integration in Systeme und Prozesse und damit einhergehend eine Optimierung des Betriebs und des Energiemanagements.

Ein weiteres Ziel ist, die Potenziale von Solarthermie und CSP als nachhaltige Energiequelle voll auszuschöpfen und zur Dekarbonisierung verschiedener Sektoren beizutragen. In Bezug auf Solarthermie ist eine technologische Entwicklung von synergetisch genutzten Solarkollektoren (bspw. Abwasserreinigung und gleichzeitige Generierung von z. B. Wasserstoff) und Kombination mit anderen Energiequellen (Nutzung bspw. mit Wärmepumpe) erstrebenswert.

Zudem sollen Hybridkollektoren (PVT) technologisch weiterentwickelt werden, im Sinne der Verbesserung des Stagnationsverhaltens und der maximalen Betriebstemperatur, der Integration nachhaltiger und beständiger Werkstoffe, der Kostenreduktion und Optimierung über den gesamten Lebenszyklus (LCA) sowie der Wiederverwertung der eingesetzten Materialien (Prinzipien der Kreislaufwirtschaft).

Für die Nutzung als Wärmequelle für Wärmepumpen oder die Regeneration von Tiefensondenfeldern sollen kostengünstige Solarkollektoren weiterentwickelt werden.

Zudem ist die Entwicklung von neuartigen Wärmespeichern (insbesondere in Verbindung mit Großsolarthermie) erforderlich, die thermo-chemische Wärmespeicher (z. B. Salzhydrate, Zeolithe, Silicagel, Kompositmaterialien, Salzsäure, Salzammoniakate), Groß-

29 IEA SHC (2020): Solar Heating and Cooling Programme iea-shc.org

30 CETPartnership (2024): TRI 4: Efficient zero emission Heating and Cooling Solutions cetpartnership.eu/tri/4

31 IEA (2020): Renewable Energy Policies in a Time of Transition: Heating and Cooling iea.org/reports/renewable-energy-policies-in-a-time-of-transition-heating-and-cooling

32 BMK (bmvit) (2014): Roadmap Solarwärme 2025 nachhaltigwirtschaften.at/de/e2050/publikationen/roadmap-solarwaerme-2025.php

wasserwärmespeicher (Erdbecken, Behälter, Aquifer, Kavernen und andere) sowie Hochtemperaturspeicher (chemische Speicher, Gestein, Keramik, Sand, PCMs, Metalle etc.) umfassen.

2) Kostensenkung und Verbesserung der Lebensdauer sowie Nachhaltigkeit von Komponenten

Ziel ist es, kostengünstige Energie (Strom, Wärme, Prozesswärme) herzustellen sowie die Materialien zu optimieren, unter besonderer Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten und Anforderungen der Kreislaufwirtschaft. Im Vordergrund stehen dabei Weiterentwicklungen zur Steigerung des Wirkungsgrads und der Gesamteffizienz, die sich nicht nur auf die Anlageneffizienz bezieht, sondern auf das Zusammenwirken aller System-Komponenten entlang der Wertschöpfungskette.

Im Bereich von CSP sind technische Innovationen bei den Trägermedien (als Alternative zu Wasser) erforderlich, um den Wasserverbrauch zu minimieren sowie eine Steigerung der Robustheit gegen Umwelteinflüsse wie Wind und Temperaturschwankungen und eine Erhöhung der optischen Präzision zu erreichen.

3) Entwicklung und Optimierung hochintegrierter und sektorkoppelnder Systeme

Ziel ist es, Innovationen entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu entwickeln. Aufgrund bestehender Stärken in der Komponentenentwicklung im Bereich CSP und Solarthermie gilt es insbesondere den Transfer in die Anwendung zu fördern. Durch die systemische Integration und Validierung sollen Wertschöpfungsketten innerhalb und auch außerhalb Österreichs angesprochen werden (Zulieferungsindustrie). Im Bereich Solarthermie gilt es ergänzend, den Systemverbund und die Koppelung mit anderen Energieerzeugungstechnologien (PV, Wind) und Niedertemperatur-Technologien zu forcieren sowie die Entwicklung von (Groß)Wärmespeichern als wesentlicher Baustein für vielfältig einsetzbare Systemkonzepte voranzutreiben.

Im Bereich von CSP³³ sollen Technologien für Anwendungen in energieintensiven Branchen in Temperaturbereichen ab ca. 200 °C entwickelt werden sowie Möglichkeiten für die Optimierung der Netzstabilität und rechtliche Rahmenbedingungen, vor dem Hintergrund der Markteinführung, untersucht werden.

Ziel ist zudem, die Systemintegration von Hybridkollektoren (PVT) als flächeneffiziente Erzeugungsanlagen im urbanen Raum zu verbessern.

Ein großes Potenzial liegt auch in der Optimierung der Digitalisierung, v.a. im Bereich der automatisierten Leistungs- und Ertragsprognose bzw. dem Energiemanagement, der Entwicklung neuartiger Algorithmen zur automatischen Regelung, der Fehlerdetektion und der Ursachenzuordnung, der automatisierten Wartung etc.

33 European Energy Research Alliance (2022): Manifesto EERA Repower EU

3.1.3 Windkraft

Windkraft birgt das zweitgrößte Ausbaupotenzial unter den heimischen Erneuerbaren. Systemintegration erfordert hier nicht nur reaktive Innovationen zur „netzverträglichen“ technischen und marktlichen Einbindung, sondern proaktive Innovationen zur intelligenten Bereitstellung von Systemnutzen (Schwarzstartfähigkeit, Engpassbeseitigung, P2X zur saisonalen Speicherung). Durch die Einbindung in virtuelle Kraftwerke (Virtual Power Systems) können gesicherte Leistungen dargestellt werden, die bislang von fossiler KWK abhingen.

Innovationsziele^{34 35 36}

- 1) Verbesserung von Technologiebausteinen für die Windenergie.
- 2) Optimierung von Ertragsprognosen und Verbesserung der Integration in Energiesysteme.

1) Verbesserung von Technologiebausteinen für die Windenergie

Ziel ist es, Windkraftanlagen sowie Nebenkomponten zu optimieren und auf die Standortbedingungen - wie extreme Wetterbedingungen - und auch auf die Anforderungen von komplexem Terrain einzugehen. Eine Reduzierung der Kosten des Designs und der Installation inkl. dem Transport ist erstrebenswert. Die Berücksichtigung der Nachhaltigkeitsaspekte (Re-cycling, Re-use, Re-pair und Material-Kreislaufwirtschaft, alternative Materialien) ist unabdingbar, weitere Materialforschung ist erforderlich. Es ist für einen möglichst langen Betrieb der Windenergieanlagen zu sorgen, hierfür werden auch ausgereifte Monitorings eingesetzt. Weiteres Ziel ist es, Auswirkungen auf Schutzgüter zu begrenzen (bspw. Kollisionsvermeidung, Maßnahmen zur Verhinderung einer Gefährdung durch Eisfall) und zu einer Verminderung des Zielkonflikts Klimaschutz und Artenschutz beizutragen.

2) Optimierung von Ertragsprognosen und Verbesserung der Integration in Energiesysteme

Ziel ist es, die erzeugte Windenergie optimal zu nutzen und im Energiesystem einzusetzen, inkl. Speicher und Sektorkopplung. Die gemeinsame Stromeinspeisung unterschiedlicher Erneuerbaren-Kraftwerke (inkl. Speicherkomponenten), wie z. B. Wind und PV mit gemeinsamen Netzanschlusspunkt, wird weiter optimiert und stellt systemnützliche

34 IEA Forschungskoooperation (2024): IEA Windenergiesysteme (Wind TCP) [nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/technologieprogramme/wind](https://www.nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/technologieprogramme/wind)

35 European Commission Telsnig, T. et.al. (2022); EUR 31204 EN, WIND ENERGY IN THE EUROPEAN UNION

36 European Commission Telsnig, T. et.al. (2020), Wind Energy Technology Development Report 2020, EUR 30503 EN Low carbon energy observatory

Dienste bereit (inkl. Schwarzstartfähigkeit). Prognosewerkzeuge und –verfahren (Thema „Forecasting“, also die Verbesserung von Wettervorhersagen, Auftreten von Vereisung etc.) sollen weiter verbessert werden und die Vermarktbarkeit unterstützen.

3.1.4 Wärmepumpe

Wärmepumpen können als Schlüsseltechnologie gelten, um effizient die strombasierten Aufkommen erneuerbarer Energie in den Wärme-/Kälte-Sektor zu wandeln. Innovationsbedarf besteht im gesamten Spektrum dezentraler Anwendungen (z. B. Gebäudebestand) und netzgebundenen Wärmeein- und -ausspeisung.

Innovationsziele^{37 38 39 40}

- 1) Verbesserungen der Technologiebausteine für die Wärmepumpen
- 2) Verstärkte Integration von Wärmepumpen in Industrieprozessen und in thermischen Netzen
- 3) Systemnutzenoptimierung durch Einsatz von Wärmepumpen

1) Verbesserungen der Technologiebausteine für die Wärmepumpen (WP)

Ziel ist es, die Verbesserungs- und Innovationspotenziale bei allen Komponenten der Wärmepumpe zu identifizieren und auszuschöpfen (Effizienz, Umweltaspekte, Synergien). Dabei kann es sowohl um Innovationen einzelner Komponenten bei Kompressions-WP und anderen WP-Technologien gehen, als auch um Synergien und Effizienzgewinne im Zusammenspiel der Komponenten untereinander und ihrer Umgebung.

Dazu sollen Komponenten für den Einsatz natürlicher Kältemittel wie Propan, Butan, Isobutan, CO₂, Wasser und Ammoniak in Kompressionswärmepumpen sowie schallreduzierte Komponenten entwickelt werden. Zudem müssen Testmöglichkeiten aufgebaut werden, wie neue Komponentenbauteile (Verdichter, Dichtungen) getestet werden können, inkl. akustischer Messsysteme und Bewertungsverfahren. Erforderlich ist auch die Technologie- und Komponentenentwicklung für Rotationswärmepumpen, thermoakustische Wärmepumpen und thermisch-getriebene Wärmepumpen (z. B. Absorptionswärmepumpen).

37 BMK (2023): Der Beitrag von Wärmepumpen zur Wärmewende, Unterlage zum Branchentreff am 4. Juli 2023

38 BMK (bmvit) (2016): E2050 Österreichische Technologieroadmap für Wärmepumpen nachhaltigwirtschaften.at/de/e2050/publikationen/oesterreichische-technologieroadmap-fuer-waermepumpen.php

39 IEA (2022): Markterhebung Wärmepumpe nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/publikationen/markterhebungen.php

40 IEA (2022): World Energy Outlook - The Future of Heat Pumps; nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/publikationen/2023/iea-report-world-energy-outlook-special-report-heat-pumps.php

2) Verstärkte Integration von WP in Industrieprozessen und in thermischen Netzen

Ziel ist es, Wärmepumpen unterschiedlichster Funktionsprinzipien in industriellen Verfahren und in thermischen Netzen intensiver einzubinden und durch Integration mit vor- und nachgelagerten energetischen Prozessen ihre Einsatzmöglichkeiten auszudehnen und Leistungsfähigkeit voll auszuschöpfen. Dazu sollen u. a. industrielle Demoprojekte in unterschiedlichen Sektoren umgesetzt werden.

Für den industriellen Kontext sollen Komponenten für Temperaturen von über 150°C entwickelt werden sowie Komponenten im Bereich von Systemen zur Abwärmenutzung, um verunreinigte Gasströme nutzen zu können. Zudem sind Weiterentwicklungen im Bereich von dampferzeugenden Wärmepumpen erforderlich.

Wärmepumpen sollten als Prozesskomponente etabliert werden, indem Prozesse (z. B. bei der Trocknung oder Destillation) auf die WP-Integration adaptiert werden.

Ähnliches gilt für thermische Netze, wo die Wärmequellenschließung in unterschiedlichen Leistungsgrößen (kW- bis MW-Bereich) für Luft, erdgekoppelte Systeme/ oberflächennahe und tiefe Geothermie, Wasser (Oberflächenwasser) und Abwärme verbessert werden sollte. Zudem sind Systementwicklungen erforderlich, um Wärmepumpen mit Großwärmespeichern zu koppeln.

3) Systemnutzenoptimierung durch Einsatz von WP

Ziel ist es, Wärmepumpen im Gebäudesektor (Wohnbau inkl. Bestand) und weiteren Energiesubsystemen so intelligent einzusetzen, dass größter Systemnutzen entsteht, unter Berücksichtigung unterschiedlicher Zugänge im urbanen und regionalen Kontext. Fokus liegt dabei auf der positiven Systemwirkung und der Schaffung von Voraussetzungen wie Akzeptanz (Geräuschschutz), Usability, Konnektivität, Flexibilität und Integrationsfähigkeit von Erneuerbaren.

Für den Gebäudesektor müssen kostengünstige Plug-and-play-Systeme entwickelt werden, um hochintegrierte Systeme zu schaffen und die Kopplung von Wärmepumpen mit effizienter Lüftung, Klimatisierung, Heizung und Warmwasserbereitung zu erlauben und hohe systemische Wirkungsgrade durch Technologiekombinationen zu erreichen (PV, Solarthermie, Speicher unterschiedlicher Wärmequellen etc.).

Der Systemnutzen soll durch den intelligenten Einsatz von Wärmepumpen maximiert werden, wobei die Bereitstellung von Flexibilitätspotenzial und die Erhöhung des Eigenbedarfs eine große Rolle spielen. Durch optimiertes Betriebsverhalten der Wärmepumpe (Skalierung: Einzelgebäude bis Netzabschnitte und Regionen durch Pooling von Wärmepumpen, Nutzung von thermischen Speichern wie Gebäude, sensible Speicherung, PCM-Speicher) kann mehr Flexibilität bereitgestellt werden. Durch die optimierte Integration und Betriebsführung von Wärmepumpen in Kombination mit PV, Ladestationen für E-Autos und elektrischen Speichern kann die Eigenbedarfsdeckung maximiert werden. Ein weiteres Ziel ist die Maximierung des regionalen, gemeinschaftlichen Eigenverbrauchs über einzelne Gebäude, Gewerbebetriebe und produzierende Unternehmen hinweg, was durch optimierte Integration und Betriebsführung von Wärmepumpen im Kontext der regionalen Sektorkopplung und Kombination mit elektrischen Speichern erreicht

werden kann. Zudem ist es ein Ziel, den zusätzlichen Strombedarf im Winterhalbjahr sowie den Bedarf an zusätzlichen speicherbaren Energieträgern (z.B. Biomasse) zu minimieren. Wärmepumpen werden zudem eine wichtige Rolle in der Stabilisierung des Stromsystems einnehmen.

3.1.5 Wärmespeicher

Wärme-Speichertechnologien kommt zunehmend eine wichtige Flexibilisierungs-Rolle zu, um die fluktuierende Erzeugung mit dem Energiebedarf zu synchronisieren. Innovationsbedarf besteht vorrangig darin, Technologien sauber, wirtschaftlich bereitzustellen. Die Erschließung saisonaler Speicherpotenziale gehört zu den erfolgskritischen Innovationsherausforderungen der österreichischen Energiewende.

Innovationsziele⁴¹

- 1) Verbesserungen der Wärmespeichertechnologien und deren Integration in unterschiedliche Versorgungssysteme
- 2) Systemnutzenoptimierung durch Einsatz von Wärmespeichern

1) Verbesserungen der Wärmespeichertechnologien und deren Integration in unterschiedliche Versorgungssysteme

Ziel ist es, die Verbesserungs- und Innovationspotenziale bei Wärmespeichertechnologien zu identifizieren und auszuschöpfen (Effizienz, Umweltaspekte, Synergien, Kosten). Dabei kann es sowohl um Innovationen einzelner Komponenten gehen als auch um Synergien und Effizienzgewinne im Zusammenspiel der Komponenten untereinander und ihrer Umgebung. Treiber dieser Entwicklungen sind insbesondere die geringe Übereinstimmung der Erzeugungsprofile aus erneuerbaren Energieträgern und Abwärmern im Vergleich zum Lastprofil der Verbraucher (Tag/Nacht, Sommer/Winter) sowie die im Vergleich zu anderen Speichertechnologien kostengünstigen Möglichkeiten Wärme auch über längere Zeiträume (saisonal) zu speichern.

Ziel ist es, neuartige Wärmespeicher für Anwendungen im Bereich Nah- und Fernwärme, aber auch Industrie und Gewerbe zu entwickeln.

Dazu sollen Großwasserwärmespeicher im Größenbereich 25.000 m³ bis 1 Mio. m³ (Erdbecken und Behälterspeicher) errichtet werden, um Bautechniken für Wände und Abdeckungen, das Management der Grundwasserinteraktionen; BIM-gestützte Planungs-, Bau- und Monitoringprozesse, Größenskalierbarkeit, techno-ökonomische Bewertungen sowie Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit zu untersuchen.

Bei der Nutzung von Aquiferen als Großwasserwärmespeicher geht es darum, Methoden zur Identifizierung von potenziellen Speicherhorizonten auf geologisch/geo-physikalischer Basis zu entwickeln; die hydraulische Durchlässigkeit zu bestimmen bzw.

41 KLIEN (2018): Technologie-Roadmap Energiespeichersysteme in und aus Österreich

abzuschätzen, die Grundwasserchemie und mögliche Unverträglichkeiten anhand von hydrochemischen Modellierungen zu untersuchen, die Auswirkungen auf den Untergrund und auf fremde Rechte simulationsgestützt zu beurteilen, die Reinjektionsproblematik in Lockersedimenten zu betrachten sowie die Größenskalierbarkeit zu untersuchen und techno-ökonomische Bewertungen durchzuführen.

Bei Fels- und Kavernenspeichern soll das Speicherdesign und Be- und Entlademanagement untersucht werden, um neuartige Kavernenspeicher-Konstruktionsformen zu entwickeln, inkl. befahrbarer Kavernenspeicher für urbane Gebiete. Zudem sind Methoden zur Bestimmung der Felseigenschaften, wie Kapazität und Wärmeleitfähigkeit und zur Quantifizierung von Temperaturschwankungen in Bezug auf Steifigkeit, Festigkeit und Standsicherheit zu entwickeln.

Niedertemperatur-Quellspeicher sollen in Verbindung mit Niedertemperatur- und Anergienetzen (z. B. Erdsondenfelder, Erdpfähle, Eisspeicher etc.) untersucht werden.

Bei den industriellen und gewerblichen Anwendungen liegt der Fokus auf thermochemischen Speichern, wobei gänzlich neuartige Speicher-Reaktoren auf Basis thermochemischer Materialien wie z. B. Salzhydrate, Zeolithe, Silicagel, Kompositmaterialien, Salzsäure etc. entwickelt werden sollen. Die zentralen Fragestellungen betreffen das Reaktor- und Wärmetauscher-Design in Verbindung mit einer sowohl effizienten als auch kostengünstigen Integration der Hochtemperatur- (Abwärmen, P₂H, Solarthermie etc.) als auch der Niedertemperaturquellen. Systemintegrationsaspekte wie z. B. die Größenskalierbarkeit, definierte Schnittstellen zu anderen Systemkomponenten (Wärmepumpen, Heizstäbe, Wasserwärmespeicher etc.) sowie die automatisierte Bestimmung des Speicherladezustands als Schnittstelle zur Regelung bilden weitere zu adressierende Forschungsschwerpunkte.

Bei Wärmespeichern auf Basis von Phasenwechselmaterialien (PCM) geht es um die Entwicklung von gänzlich neuartigen PCM-Materialien sowie die Weiterentwicklung von Wärmespeicherkonzepten in Verbindung mit Paraffinen, Fettsäuren, Polymeren, Zuckeralkoholen, Salzen, Salzhydraten und Wasser als Speichermaterialien. Von hoher Bedeutung sind Forschungs- und Entwicklungsprojekte zur Verbesserung der thermischen, chemischen, physikalischen und kinetischen Materialeigenschaften und der Zyklenstabilität bei organischen und anorganischen Speichermaterialien, inkl. Verbesserung der Wärmeübertragungseigenschaften zwischen Speichermaterial und Wärmetransportmedium.

Im Bereich der Hochtemperaturspeicher (Temperaturen über 500 °C) steht die Neu- bzw. Weiterentwicklung von Reaktoren- und Speicherkonzepten in Verbindung mit Metallen, Keramik, Naturstein, Sand etc. als Speichermaterialien sowie deren Prozessintegration im Vordergrund.

Niedertemperatur-Quellspeicher sollen in Verbindung mit Wärmepumpensystemen untersucht werden.

Bei Großspeichern sollte das Potenzial zur Systemintegration und die Wirtschaftlichkeit über Machbarkeitsstudien untersucht werden.

Thermische Speicher sollten als Multi-Sektor-Speicher entwickelt werden, um eine multisektorale Nutzung der gespeicherten Wärme zu erlauben und als Drehscheibe für die dezentrale Energieversorgung von Gebäuden, Quartieren, Industrien, Dörfern, Städten und Regionen fungieren zu können. Neben der Ankopplung an den Wärme- und Kältesektor ist hier insbesondere die Kopplung mit dem Stromsektor (P2H bzw. P2H2P) von besonderem Interesse.

Ziel ist, langlebige, verlustarme, in der Größe skalierbare und trotzdem kostengünstige Speicherkonzepte im Temperaturbereich zwischen 200 und 500 °C basierend auf Speichermaterialien wie z. B. Gestein, Sand, PCMs sowie auch der direkten Nutzung der gewachsenen Untergrundstrukturen zu entwickeln. Wichtig ist, die thermischen Verluste durch geeignete Speicherdämmung zu minimieren und die Speicherdesigns so zu gestalten, dass sie unabhängig von der topografischen Situation eingesetzt werden können.

Konversionstechnologien (P2H, H2P) zur effizienten indirekten Beladung (Strom, Wärmepumpen) und Entladung (Turbinen) in unterschiedlichen Leistungsbereichen müssen weiterentwickelt werden und die Kopplung mit direkter Wärme/Kälte-Einspeisung bzw. Entnahme muss ermöglicht werden. Dazu sollen kompakte Bauweisen von Konversionseinheiten zum Laden- und Entladen von Carnot-Batterien für den dezentralen Einsatz bei elektrischer Regelenergie-Optimierung entwickelt werden.

Strategien für einen effizienten Kraft-Wärme-Kälte-Betrieb in Verbindung mit dem Strommarkt und der Verfügbarkeitssituation sowie der Wärme/Kälte-Nachfrage sollten entwickelt werden und anhand entsprechender Bewertungskennzahlen und KPIs beurteilt werden.

2) Systemnutzenoptimierung durch Einsatz von Wärmespeichern

Ziel ist es, Wärmespeicher im gesamten Energiesystem (Gebäudesektor, Nah- und Fernwärme, Energiegemeinschaften, Industrie und Gewerbe, Kraftwerksbereich) so intelligent einzusetzen, dass größter Systemnutzen entsteht. Fokus liegt dabei auf der positiven Systemwirkung und der Schaffung von Voraussetzungen, wie der maximalen Integration Erneuerbarer und Abwärmen, Lastverschiebung, Flexibilität für Konversionsanlagen und Verbraucher, Geschäftsmodelle, Beteiligung an Energiemärkten, Resilienz des Energiesystems etc..

Um auf neue Anforderungen im Energiesystem reagieren zu können sollen kostengünstige technische „plug and play“-Systeme entwickelt werden. Zudem sind übergeordnete sektorkoppelnde Simulationsmodelle, Entscheidungs- und Planungstools sowie Tools für Monitoring und Aktivierung notwendig.

Ziel ist, hohe Jahresanteile erneuerbarer Energie und Abwärme in lokalen und regionalen Energiesystemen bereitzustellen und hohe systemische Wirkungsgrade in sektorkoppelnden, hochintegrierten Systemen zu erreichen und insbesondere den zusätzlichen Strombedarf im Winterhalbjahr zu minimieren.

Durch den intelligenten Einsatz von Wärmespeichern soll der Systemnutzen maximiert werden, inkl. der Bereitstellung von Flexibilität und der Maximierung der lokalen und

regionalen Eigenbedarfsdeckung. Dazu sollen Geschäftsmodelle für Wärmespeichertechnologien und sektorkoppelnde Energiespeichertechnologien entwickelt werden.

3.1.6 Stromspeicher

Strom- und Wärme-Speichertechnologien kommt zunehmend eine wichtige Flexibilisierungs-Rolle zu, um die fluktuierende Erzeugung mit dem Energiebedarf zu synchronisieren. Innovationsbedarf besteht vorrangig darin, Technologien sauber, wirtschaftlich und „smart-grid-ready“ bereitzustellen. Die Erschließung saisonaler Speicherpotenziale gehört zu den erfolgskritischen Innovationsherausforderungen der österreichischen Energiewende.

Innovationsziele^{42 43 44}

- 1) Steigerung der Flexibilität im Energiesystem.
- 2) Technologisch-ökonomische Verbesserung.
- 3) Stromspeicherung zur Glättung des volatilen Angebots aus fluktuierenden Erneuerbaren Energiequellen.

1) Steigerung der Flexibilität im Energiesystem

Ziel ist es, Stromspeicher direkt und indirekt zur Optimierung des Gesamtsystems zu nutzen sowie den Einsatz von Batteriespeichern zur Lastspitzenreduktion in der Industrie und Batterien von Elektro-Fahrzeugen und Kleinstanlagen (z. B. Batteriespeicherlösungen für Balkone) zur lokalen Netzstabilisierung zu verwenden. Lokale Stromspeicher können als netz- und systemdienliche Betriebsmittel für Netzbetreiber fungieren. Stromspeicher in Energiegemeinschaften funktionieren als virtuelles Kraftwerk bzw. virtueller Speicher und (zentrale) Stromspeicher können gemeinschaftlich in Energiegemeinschaften genutzt werden. Es sollen technische Lösungen entwickelt werden, um einen diskriminierungsfreien Marktzugang zu gewährleisten und auch die Kopplung mit anderen Energiesektoren zu ermöglichen.

Auch Aufwand und Kosten für Flexibilitätsoptionen im Bereich Wärme vs. Strom sind zu berücksichtigen, indem unterschiedliche Szenarien (u. a. mittels digitaler Zwillinge) untersucht und getestet werden.

42 KLIEN (2018): Technologie-Roadmap Energiespeichersysteme in und aus Österreich klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/16/Technologieroadmap_Energiespeichersysteme2018.pdf

43 KLIEN und BMK, energy innovation austria (2021): Energiespeicher- Schlüsseltechnologien für die Energiewende Aktuelle Speichertechnologien energy-innovation-austria.at/issue/eia-2021-05-de

44 IEA-Forschungskooperationen (2024): IEA Energiespeicher im Rahmen von open4innovation nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/technologieprogramme/es

2) Technologisch- ökonomische Verbesserung

Ziel ist es, Speichersysteme mit hoher Speicherkapazität und -leistung und hoher Energiedichte zu schaffen, die sich durch reduzierte Investitionskosten, längere Lebensdauer, höhere Effizienz, kompakteres Design und höhere Sicherheit (Technologie-Sicherheitsstandards) auszeichnen.

Bei der Entwicklung technischer Innovationen sollten die Anforderungen an Nachhaltigkeitskriterien berücksichtigt werden, inkl. den Prinzipien der Kreislaufwirtschaft.

Ziel ist es, die Gesamteffizienz zu steigern, indem sowohl die Anlageneffizienz selbst, als auch die Effizienz im Zusammenwirken der System-Komponenten entlang der Wertschöpfungsketten gesteigert wird. Um die Effizienzdaten verschiedener Speichermöglichkeiten zu vergleichen, sollten entsprechende Plattformen/Marktplätze geschaffen werden.

3) Stromspeicherung zur Glättung des volatilen Angebots aus fluktuierenden erneuerbaren Energiequellen.

Ziel ist es, den langfristigen Ausgleich zwischen Energieangebot im Sommer und Energienachfrage im Winter zu schaffen, durch die Entwicklung von saisonalen Speichermöglichkeiten (PtG, PtX, Carnot-Batterien etc.). Des Weiteren sollen auch kurz- und mittelfristige Speichermöglichkeiten weiterentwickelt und optimiert werden. Es ist notwendig, ein entsprechendes sektorübergreifendes Innovationsökosystem aufzubauen und entsprechende Monitoringprozesse (z. B. in Hinblick auf die Ansteuerungszeit) zu implementieren.

3.1.7 Kleinwasserkraft

Bei der Nutzung heimischer Wasserkraft beschränkt sich der Innovationsfokus auf die naturverträgliche Erschließung von Kleinwasserkraft.

Innovationsziele

- 1) Bereitstellung von innovativen Konzepten und Technologien für klimawandelangepasste, effiziente, rentable Nutzung
- 2) Steigerung der Umweltverträglichkeit (ökologische Nutzung)
- 3) Flexibilisierung und Erschließung der Multifunktionalität im Kleinwasserkraftsektor

1) Bereitstellung von innovativen Konzepten für klimawandelangepasste effiziente, rentable Nutzung:

Ziel ist es, durch Innovationen die Effizienz der Kleinwasserkraftwerke zu steigern, so dass sie auch bei weniger Volllaststunden rentabel laufen können. Dies soll sowohl über angepasste Konstruktionsinnovationen (z. B. effizientere Generatoren) als auch über neue Vermarktungsmodelle angestrebt werden. Hier kann auch die gemeinsame Nutzung und Stromeinspeisung mit anderen Erneuerbaren (z. B. PV, Wind) beitragen, auch unter Berücksichtigung von zu identifizierenden „acceleration areas“. Wichtig ist zudem, Herausforderungen komplexen Geländesituationen mit verbesserten Mess- und Monitoring-Methoden zu begegnen.

Im Kontext von Überwasser ist es das Ziel, die Auffangmöglichkeiten von Überwasser und deren wirtschaftliche Nutzung zu erschließen. Dazu sollen innovative Konzepte für Überwasserkraftwerke entwickelt werden, um einen dargebotsorientierten Betrieb (wenn Überwasser vorhanden ist) zu ermöglichen.

2) Steigerung der Umweltverträglichkeit und der gewässerökologischen Nutzung von Kleinwasserkraft

Ziel ist es, die Umweltverträglichkeit und Gewässerökologie der Kleinwasserkraftnutzung zu verbessern, indem Konzepte zur ökologischen Betriebsführung entwickelt werden. Damit können auch Standorte erschlossen werden, wo dies bisher aus ökologischen Gründen nicht möglich war. Idealerweise leisten diese Kraftwerke im Hinblick auf Klimawandelfolgen auch einen Beitrag zum Hochwasserschutz. Zudem sollen technische Innovationen zu Fischleitwerken, wie wassersparende Fischauf- und -abstiegshilfen, entwickelt werden.

3) Flexibilisierung und Erschließung der Multifunktionalität im Kleinwasserkraftsektor

Ziel ist es, Kleinwasserkraftwerke neben der Energieerzeugungsfunktion für weitere Aufgaben mittels Technologieinnovationen zu ertüchtigen und in ihrem Betrieb zu flexibilisieren. Diese Aufgaben ergeben sich zunehmend im Kontext des Klimawandels (Pufferung von Extremwetterereignissen, Vorbeugen von Trockenphasen). Sie können auch die kraftwerkstechnische Nutzung von Speicherteichen (z. B. Beschneigungsteiche) als Reservoir in den Bergen umfassen.

In diesem Bereich soll auch speziell das Querschnittsthema der gesellschaftlichen Transformation (Akzeptanz und Partizipation) berücksichtigt werden.

3.1.8 Geothermie

Mit der Erschließung der Geothermie – insbesondere lokal vorhandener Tiefengeothermiepotenziale – kann die Abhängigkeit von fluktuierendem erneuerbarem Energiedargebot insbesondere im Wärmesektor gesenkt werden. Die ganzjährige Verfügbarkeit entlastet vom Bedarf an chemischen Energieträgern (Biomasse, Sunfuels und Fossilen). Bei der Entwicklung geeigneter sauberer Technologien können österreichische Lösungsanbieter aus benachbarten Branchen, wie Erkundung, Erschließung, Tiefbau ihr Innovations-Know-how einbringen und weiterentwickeln.

Innovationsziele⁴⁵

- 1) Verbesserung der Verfügbarkeit und Nutzung geowissenschaftlicher Daten durch den Aufbau von Datenplattformen mit Schnittstellen zu e-Government-Lösungen und Weiterentwicklung von Tools für die Planung und Auslegung von Kollektorsystem und Untergrundmanagement
- 2) Integration von Geothermie in multivalenten Wärme- und Kälteanwendungen und Anergienetzen, in kaskadischer Wärmenutzung sowie Verbesserung der Sektorkopplung sowohl in der oberflächennahen als auch in der tiefen Geothermie
- 3) Erhöhung der Effizienz von geologischen Wärmespeichern über alle Temperaturbereiche durch verbesserte Planung, Materialien und Betriebsweisen sowie synergetische Nachnutzung bestehender Hohlräume
- 4) Thermische Nutzung urbaner Flächen zur Gewinnung von solarer Überschusswärme mittels Flachkollektoren und geothermischer saisonaler Speicherung sowie Forcierung der Anwendung der Geothermie in Bestandsgebäuden
- 5) Verbesserung von Explorationsmethoden in der Tiefen Geothermie sowie Innovationen in der Bohrtechnik

1) Verbesserung der Verfügbarkeit und Nutzung geowissenschaftlicher Daten durch den Aufbau von Datenplattformen mit Schnittstellen zu e-Government-Lösungen und Weiterentwicklung von Tools für die Planung und Auslegung von Kollektorsystem und Untergrundmanagement

Ziel ist es, diese Datenportale aufeinander abzustimmen und Daten, Tools, Planung, Auslegungsverfahren zu harmonisieren. Zudem müssen Schnittstellen zu e-Government-Dienstleistungen entwickelt werden, um die Verfahrensresilienz angesichts des zu erwartenden starken Anstiegs der Genehmigungsanträge zu erhöhen und auch eine hohe Qualität des Daten- und Informationsaustausches zwischen Anlagenbetreibern und Behörden zu gewährleisten. Denn ein umfangreicher, niederschwelliger Zugang zu

45 BMK (2022): FTI-Roadmap Geothermie

Untergrunddaten in einem modernen IKT-Rahmen ist ein entscheidendes Erfolgskriterium für einen breiten Ausbau der geothermischen Anwendung⁴⁶.

Ein weiteres Ziel ist die Kopplung mit interaktiven Ressourcenbewertungstools, um eine effiziente Bewirtschaftung des Untergrunds zu ermöglichen und Anwendungskonflikte zu vermeiden.

Infolge der zunehmenden Dichte an Geothermieanlagen nehmen nachbarschaftliche Beeinflussungen von Anlagen in urbanen Gebieten zu. Aus diesem Grund sollten bisher angewendete, dem Prinzip von „First Come First Served“ folgende Verwaltungskonzepte sukzessive durch „integrative Bewirtschaftungskonzepte“ ersetzt werden. Zur Erreichung dieses Ziels werden kostengünstige, aber dennoch robuste Planungsinstrumente für Behörden, eine deutlich verbesserte Datenlage, insbesondere durch ein kostengünstiges Umweltmonitoring, sowie den Bedürfnissen angepasste rechtliche Instrumente benötigt, um ein integratives thermisches Untergrundmanagement zu ermöglichen.

Um den Einsatz oberflächennaher Geothermiesysteme zu erhöhen, ist es das Ziel, standardisierte Planungs- und Auslegungstools zu entwickeln, mit besonderem Fokus auf getaktet betriebene Systeme (Heizen und Kühlen), Großanlagen über 50 kW-Spitzenleistung und advective Phänomene durch fließendes Grundwasser.

2) Integration von Geothermie in multivalenten Wärme- und Kälteanwendungen und Anergienetzen, in kaskadischer Wärmenutzung sowie Verbesserung der Sektorkopplung sowohl in der oberflächennahen als auch in der tiefen Geothermie

Ziel ist im Sinne der Systemintegration und Sektorkopplung die technologische Weiterentwicklung von geothermisch unterstützten, dekarbonisierten, multivalenten Wärme- und Kälteanwendungen.

Die oberflächennahe Geothermie besitzt eine hohe Integrations- und Kopplungsfähigkeit mit anderen Erneuerbaren im Niedertemperaturbereich. Multivalente Niedertemperatur-Anwendungen tragen entscheidend zur Steigerung der Energieeffizienz geothermischer Anwendungen bei, wenn diese die Aufgaben zur Grundlastversorgung und Speicherung volatiler Erneuerbarer übernehmen. Dazu soll das Effizienzmonitoring von Bestandsanlagen und verbesserte Systemsimulation (sowohl thermisch als auch hydraulisch) von multivalenten, speicherunterstützten Wärme- und Kälteanwendungen im Leistungsbereich über 50 kW verbessert werden. Durch den Einsatz von Wärmepumpen als „Moderatoren multivalenter Anwendungen“ soll zudem die Ankopplung zum Elektrizitätssektor erfolgen.

46 In Österreich existieren bereits für einige Bundesländer und Regionen webbasierte Informationsportale zur Nutzung der oberflächennahen Geothermie. Darüber hinaus liegt ein großer Bestand an geowissenschaftlichen Erkundungsdaten aus über 80 Jahren Kohlenwasserstoff-Exploration vor.

Ziel ist es, auch in der tiefen Geothermie Wege und Möglichkeiten zu identifizieren, um das Anwendungsspektrum zu erweitern. Besonderes Augenmerk soll hierbei auf den Einsatz in größeren Wärmenetzen, speziell in österreichischen Ballungsräumen, sowie auf den verstärkten Einsatz in industriellen und landwirtschaftlichen Prozessen gelegt werden. Von besonderer Bedeutung ist hierbei die Substitution fossiler Energieträger in Bestandsanlagen sowie die Kopplung mit anderen Erneuerbaren in multivalenten Anwendungen auf Temperaturniveaus zwischen 60 und bis zu 150°C. Das Ziel Systemintegration umfasst auch die verbesserte Anwendung geothermischer Kraft-Wärme-Kopplung mittels binärer Verstromungsprozesse, um nicht-volatile erneuerbare elektrische Energie auf hohem Effizienzniveau bereitstellen zu können. Die zu entwickelnden Konzepte sollen KWK-Verstromungsanlagen im Leistungsbereich zwischen 1 MW_{el} und 5 MW_{el} ermöglichen.

3) Erhöhung der Effizienz von geologischen Wärmespeichern über alle Temperaturbereiche durch verbesserte Planung, Materialien und Betriebsweisen sowie synergetische Nachnutzung bestehender Hohlräume

Ziel ist es, im Bereich von Materialforschung (z. B. Verbesserung von Erdwärmesonden) und Anwendungskonzepten (z. B. getrennte Wärme- und Kältespeicher in Anergienetzen) die Speichereffizienz (Wärmeverluste), die Speicherflexibilität (kurzfristige Einspeisung und Entnahme von Wärme) sowie die Speicherzuverlässigkeit (garantierte Bereitstellung der für Heiz- und Kühlanwendungen bereitgestellten Temperaturniveaus) zu verbessern. Speziell für die Anwendung von Niedertemperatur-Speichern in Anergienetzen sollen Konzepte und technologische Lösungen für die Kopplung zu konventionellen Wärmenetzen (Netztemperatur über 50°C) sowie zum Elektrizitätssektor über die Schaltung von Wärmepumpen erarbeitet werden.

Ziel ist es, durch systematische Erkundung und Bewertung potenzieller geothermischer Hochtemperatur-Wärmespeicher das technische Anwendungspotenzial in Österreich zu erheben und erste Demonstrationsanlagen zu errichten. Neben technologischer Forschung, die sich auf die Reduktion von Planungsunsicherheiten sowie auf die Gewährleistung eines effizienten, sicheren und nachhaltigen Betriebs geologischer Speicher konzentriert, sind auch nicht-technologische Aspekte, wie optimierte behördliche Genehmigungs- und Überwachungsverfahren, zu adressieren. Dieses Ziel umfasst ebenso technologische Forschung für den umweltfreundlichen Betrieb von Hochtemperatur-Tiefensondenspeichern.

Ziel ist es, im Sinne der synergetischen Nachnutzung den Bestand an bereits existierenden unterirdischen Hohlräumen (Untergrundspeicher) zu untersuchen und hinsichtlich der Eignung als Kavernenspeicher zu evaluieren. Zudem sollen kostengünstige bergmännische Methoden zur Errichtung neuer Kavernen in Festgesteinsgebieten untersucht werden.

Neben der technologischen Nutzbarmachung geologischer Wärmespeicher ist auch die Integration in Wärme- und Kältenetze von entscheidender Bedeutung. Im Rahmen dieser Zielsetzung sollen, basierend auf Erfahrungen aus internationalen und

nationalen Pilotvorhaben, optimierte Anwendungs- und Schaltungskonzepte für die Einbindung von geologischen Wärmespeichern in Netze identifiziert und etabliert werden. Die hiermit einhergehenden Optimierungsaufgaben betreffen Temperaturniveaus, technische Auslegekonzepte sowie Betriebsweisen von sowohl Niedertemperatur- als auch Hochtemperatur-Speichern. Tiefliegende geologische Reservoirs lassen sich neben der Wärmespeicherung oftmals auch für andere Speicherzwecke nutzen. FTI-Aktivitäten sollen technologische Synergien geologischer Wärmespeicher zu anderen Speicherkonzepten (z. B. Druckluft) identifizieren und gegebenenfalls in Pilotanlagen demonstrieren.

4) Thermische Nutzung urbaner Flächen zur Gewinnung von solarer Überschusswärme mittels Flachkollektoren und geothermischer saisonaler Speicherung sowie Forcierung der Anwendung der Geothermie in Bestandsgebäuden

Ziel ist es, mittels FTI-Maßnahmen eine breite Anwendung der oberflächennahen Geothermie in städtischen Bestandsgebäuden in multivalenten Niedertemperatur-Wärme- und -Kältenetzen zu erschließen, indem alle verfügbaren Freiflächen für die Errichtung von Absorberanlagen genutzt werden. Hierzu zählen insbesondere Verkehrsflächen (Straßen, Parkplätze, Gehsteige) sowie Grünflächen im öffentlichen Eigentum. Neben der Schaffung von planerischen und rechtlichen Instrumenten zur Nutzbarmachung öffentlicher Flächen für die Errichtung von Absorberanlagen soll technologische Forschung helfen, neue Integrationsmöglichkeiten der oberflächennahen Geothermie in öffentliche Flächen (z. B. Absorber in versiegelten Flächen) zu erschließen und eine kostengünstige thermische Nutzung zu ermöglichen. Hier sind auch die zu erwartenden Synergieeffekte zur Bekämpfung von urbanen Wärmeinseln hervorzuheben, zumal thermisch aktivierte Flächen zur umweltfreundlichen Kühlung von Stadtgebieten bei gleichzeitiger Wiederverwertung der Abwärme beitragen.

Ziel ist es, die Geothermienutzung auch im Gebäudebestand mittels FTI-Maßnahmen zu erschließen. Geothermische Systeme sind in vielen Neubauprojekten schon Standard. Geothermie eignet sich allerdings auch für die Umrüstung von Bestandsgebäuden und historischer und/oder denkmalgeschützter Bausubstanz. Der Stand der Technik und Best-Practice-Beispiele – mit speziellem Fokus auf den dicht verbauten urbanen Raum – sollen einem breiten Stakeholder:innen-Kreis zugänglich gemacht werden, um Potenziale aufzuzeigen und die Sichtbarkeit zu erhöhen. Die erfolgreiche Anwendung der Geothermie in Bestandsgebäuden ist eng mit Sanierungsmaßnahmen verbunden. Besonderes Augenmerk soll auf ökonomische Synergiepotenziale zwischen grundlegenden Renovierungen und der Integration der Geothermie von der Errichtung des Absorbers bis hin zum Klimatisierungskonzept im Gebäude gelegt werden.

5) Verbesserung von Explorationsmethoden in der Tiefen Geothermie sowie Innovationen in der Bohrtechnik

Ziel ist es, emissionsarme (Abgase, Lärm), aber dennoch leistungsfähige Bohrgeräte zu entwickeln, die auch in beengten Räumen eingesetzt werden können. Die Errichtung von Bohrungen für Erdwärmesonden und Brunnenanlagen stellt ein wesentliches Erfolgskri-

terium für eine breite Anwendung der oberflächennahen Geothermie in urbanen Räumen dar. Die Herausforderungen liegen im leistungsfähigen Bohren mit Zieltiefen über 100 Meter in beengten Räumen (z. B. Innenhöfen) sowie in einer hohen Anrainer:innen-Akzeptanz des Bohrbetriebs, der sich, je nach Größe der Geothermienutzung, über mehrere Tage bis Wochen erstrecken kann.

Ziel ist, innovative und robuste Methoden zur Bewertung der Prognoseunsicherheit für unterschiedliche geologische Rahmenbedingungen zu entwickeln, um die Erfolgswahrscheinlichkeit von Projekten der tiefen Geothermie zu verbessern und die Entwicklungszeiträume zu reduzieren. In der tiefen Geothermie beträgt die Projektentwicklungsdauer je nach Anlagengröße und regionalen Vorkenntnissen aus vorangegangenen Anlagen etwa drei bis sieben Jahre. Zur Erreichung dieses Ziels sind auch regionale Portfolien anzustreben, d.h., dass sich die zukünftige Nutzung der Geothermie vermehrt von Einzelanlagen weg hin zur systematischen Entwicklung von Reservoiren in verschiedenen Einzelanlagen oder in einem Multipletten-Schema entwickeln sollte.

Neue, innovative Bohrkonzepete in der tiefen Geothermie sollen helfen, den Bohrfortschritt zu erhöhen, hohe Förderraten zu gewährleisten sowie ein sicheres, umweltfreundliches und emissionsarmes Bohren in urbanen Gebieten zu ermöglichen.

3.1.9 Bioenergien

Feste, flüssige und gasförmige Biomasse ist aufgrund ihrer Speicherbarkeit (30TWh/a) und Energiedichte ein wichtiger Komplementär zu den übrigen fluktuierenden erneuerbaren Energiequellen. Der sparsame, effiziente und bewusste Biomasse-Einsatz in integrierten Systemen ist die zentrale Herausforderung, weil ihre Verfügbarkeit als nachwachsender Rohstoff und Energieträger begrenzt ist (Zuwachs, Transportwürdigkeit, ökologische Rahmenbedingungen) und ggf. in enger Verbindung mit stofflichen Verwertungskreisläufen steht (Priorisierungsbedarf) und noch stärker verflochten werden sollte. Ein wichtiger Unterschied zu fossilen Brennstoffen ist, dass der Kohlenstoffkreislauf bei der energetischen Nutzung von Biomasse grundsätzlich vor dem Hintergrund einer nachhaltigen Land- und Forstwirtschaft geschlossen ist, wenn man von bisher fossil betriebenen Erntemaschinen, Transport und industrieller Herstellung absieht, und deshalb als klima- zumindest CO₂-neutral gelten darf.

Während die thermischen Wandlungsprozesse bereits weitgehend ausgereift sind und hier Effizienz und Optimierung im Fokus steht, besteht hoher Innovationsbedarf in der Integration von Reststoffen und chemischen Wandlung von Kohlenwasserstoffen (Sunfuels) und Substitution als grüner Energieträger und Rohstoff in industriellen Prozessen.

Auf den Stärken österreichischer Technologieanbieter in Sachen Bioenergie kann international aufgebaut werden. Projekte im Bereich Bioenergien sollen auch die Energieeffizienz, Konkurrenz um Flächen- und Rohstoffnutzung oder etwaige Umweltbelastungen durch Schadstoffe berücksichtigen.

Innovationsziele

1. Upcycling von geringwertigen Rohstoffen zu hochwertigen Produkten
2. Bioenergie als Teil von effizienten und wirtschaftlichen erneuerbaren Energiesystemen
3. Schaffung von evidenzbasierten Erkenntnissen für Marktdesign und Nachhaltigkeitszertifizierungen

1) Upcycling von geringwertigen Rohstoffen zu hochwertigen Produkten

Ziel ist, geringwertige Rohstoffe (biogene Reststoffe und industrielle Abfälle, Klärschlamm, Refuse Derived Fuel - RDF, ...) zu hochwertigen Produkten (jenseits von Strom und Wärme) zu verarbeiten. Hierfür stellen sich sowohl auf der Aufbringungsseite (Sammlung, Sortierung, Trocknung, ...) als auch auf der Seite der Umwandlungstechnologien neue Herausforderungen, die zu umfangreichen Fragestellungen für Forschung und Entwicklung neuer Technologien und Prozess- und Wertschöpfungsketten führen:

- Technologiespezifische Herausforderungen durch geringwertige Einsatzstoffe
 - Entwicklung von Technologien und Prozessketten zur Erzeugung und Nutzung von Syngas aus aschereichen Rohstoffen und aus Rohstoffen mit hohem Anteil an flüchtigen Bestandteilen
 - Weiterentwicklung von bestehenden Katalysatoren in Hinblick auf Kostensenkungspotentiale bei der Syn- und Abgasreinigung sowie die Entwicklung neuer, technisch und ökonomisch sinnvoller Katalysatoren für die Synthese
 - Entwicklung von rohstoffflexiblen Pyrolyseprozessen, insbesondere zur Verwertung von regional/dezentral anfallenden Reststoffen
 - (Weiter-)Entwicklung der anaeroben Vergärung inkl. Vorbehandlungsmethoden (z.B. Substrataufschluss durch Mikroorganismen) zur Nutzung von bislang nicht oder nur schwer nutzbaren Reststoffströmen
 - Entwicklung von standardisierbaren und hochqualitativen Düngemitteln aus Gärresten
- Rückgewinnung von Wertstoffen/Element recovery
 - Entwicklung/Optimierung der Konversionsverfahren zur Rückgewinnung von Elementen wie Phosphor (in pflanzenverfügbarer Form) oder Nickel (aus Pflanzen, die im Phytomining eingesetzt werden) aus Aschen der thermochemischen Konversionsverfahren
- Flüssige Biokraftstoffe und grünes Gas
 - Entwicklung und Demonstration der Einzelkomponenten sowie der gesamten Prozessketten bestehend aus Syngaserzeugung, Syngasreinigung, nachgeschalteter Synthesen (FT, gemischte Alkohole, Methanol, Erdgassubstitut SNG, Wasserstoff) und Aufarbeitung der Rohprodukte zu flüssigen Bio-Kraftstoffen (Diesel, nachhaltiger Luftfahrttribstoff - SAF), und grünen Gasen (einspeisefähiges Methan, Wasserstoff)

- Entwicklung und Demonstration des Einsatzes von verschiedenen grünen Gasqualitäten in industriellen Prozessen (rohes Syngas, grob gereinigtes Syngas, SNG)
- Beseitigung von Engpässen (debottlenecking) der syngasbasierten Prozessketten, z. B. durch Entwicklung von kosteneffizienten und zuverlässigen (Fein-) Gasreinigungskonzepten und Verfahren zur Aufbereitung der organisch belasteten Prozessabwässer der Synthesen
- Anwendungsspezifische Biokohle
 - Entwicklung von anwendungsspezifischen experimentellen und analytischen Methoden zur Charakterisierung von Biokohle
 - Entwicklung und Demonstration von Pyrolyse- und Festbettvergasungsverfahren zur Herstellung von Biokohle für die Nutzung in der Land- und Forstwirtschaft (CO₂-Negativität/Kohlenstoffspeicherung) wie in der Industrie (Stahlindustrie – Reduktionsmittel, Schäumungsmittel, Aufkohlungsmittel; Baustoffindustrie – Zuschlagstoff für Zement oder Beton, Porosierungsmittel bei der Ziegelherstellung, ...)
 - Entwicklung von technischen Richtlinien und Normen für die Herstellung verschiedener Biokohlen
- Wertvolle Chemikalien
 - Entwicklung von Syngas-basierten Prozessketten zur Valorisierung von Alkoholen, Olefinen und Wachsfraktionen aus der Fischer-Tropsch-Synthese
 - Entwicklung von Gas- und Elektrofermentationsprozessen zur Herstellung von Biokunststoffe aus CO₂

2) Bioenergie als Teil von effizienten und wirtschaftlichen erneuerbaren Energiesystemen

Ziel ist die Entwicklung von Lösungen, die es ermöglichen, das volle Potenzial von Biomasse als Energiespeicher im Energiesystem nutzbar zu machen. Hierzu braucht es sowohl technologische Entwicklung als auch die Schaffung und Weiterentwicklung von organisatorischen und ordnungspolitischen Randbedingungen, um Bioenergietechnologien möglichst flexibel und angebots- wie bedarfsgesteuert im Strom- und Gasmarkt einsetzen zu können:

- Entwicklung fortschrittlicher Regelungskonzepte und die Entwicklung entsprechender Komponenten und Technologien
 - Unterlagerte Regelungskonzepte für KWK-Anlagen mit ausgeprägter Modulationsfähigkeit, um auf Nachfragespitzen rasch reagieren zu können
 - (Zwischen-)Speicherung von (Überschuss-)Strom, z. B. in Power-to-X (via Gas) Konzepten oder wiederaufladbare Säurespeicher
- Entwicklung übergeordneter Energiemanagementsysteme
 - Modellbasierte, modellprädiktive und selbstlernende Konzepte für Planung, Betrieb und Optimierung von beliebig skalierbaren Energiesystemen, samt

Entwicklung und Nutzung physikalischer Modelle, Vorhersagewerkzeugen und Optimierungsalgorithmen (allgemein unter Einsatz künstlicher Intelligenz)

- Verbesserung der Integration von grünem Gas in das Energiesystem
 - Gestaltung und Implementation von Erneuerbaren Gasgemeinschaften nach Vorbild bzw. in Kombination mit Erneuerbaren Energiegemeinschaften

3) Schaffung von evidenzbasierten Erkenntnissen für Marktdesign und Nachhaltigkeitszertifizierungen

Ziel ist es, die Systemrelevanz von Bioenergien faktenbasiert darzustellen und zu begründen. Zu eruieren und beachten ist auch die Darstellung von Kosten von Bioenergieanlagen unter verschiedenen Rahmenbedingungen.

- Identifizierung von Maßnahmen zur Verbesserung des Verständnisses und der öffentlichen Akzeptanz gegenüber Bioenergie(anlagen)
 - Erforschung der Motive für Befürwortung oder Ablehnung von gewissen Bioenergieanlagen als wichtige Grundlage zur Ausrollung von Technologien
 - Ableitung von Maßnahmen zur Erhöhung der Akzeptanz
- Absicherung der Emissionsfaktoren zur Bereitstellung von Richtlinienentwürfen für die Handhabung von Nachhaltigkeitszertifizierungen
 - Mit den aktuellen Zielen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen und steigenden Preisen für CO₂-Zertifikate wird die Handhabung von Nachhaltigkeitszertifizierungen immer wichtiger und zunehmend ein Geschäftsfeld. Es sind einheitliche und abgesicherte Emissionsfaktoren zu entwickeln, die auf EU Ebene durch entsprechende Richtlinien abgedeckt werden und verwendet werden können.
- Analyse von Preismechanismen im Bioenergiemarkt
 - Schaffung von Modellen, wie sich Bioenergieanlagen langfristig mit und ohne Förderungen und z.B. CO₂-Bepreisung am Markt etablieren könnten.

3.2 Wasserstoff und erneuerbare Gase, Carbon Capture Utilization and Storage (CCUS)

Innovationen zur Effizienzsteigerung und Kostensenkung bei den relevanten Technologien sowie deren Integration in einzelne Infrastrukturen und Systeme entlang der gesamten Wertschöpfungskette.

3.2.1 Wasserstoff

Mit der Defossilisierung des österreichischen Energiesystems (Auslaufen fossiler Energieträger) wächst der Bedarf an nicht-fossilen molekularen Energieträgern (Energiedichte, saisonale Speicherbarkeit). Wasserstoff aus erneuerbaren Energiequellen (Strom) bzw. anderen klimaneutralen Herstellungsarten ist hierbei ein Schlüsselement der anschließenden Wertschöpfungsketten (Langzeitspeicherung, Rückverstromung (P2G2P),

industrielle stoffliche Anwendung, Brennstoffzellen, Methanisierung, E-Fuels (P2L) und weiteren Veredelungen P2X). Aufgrund der aufwändigen Wandlungsprozesse und begrenzten Verfügbarkeit sind insbesondere Effizienzinnovationen von Bedeutung, um mit heimischen Erzeugnissen und Technologien (international/europäisch) wettbewerbsfähig zu sein und zur Versorgungssicherung beizutragen. In der Erzeugung, Lagerung und Verwendung spielen auch zu untersuchende gesellschaftliche Akzeptanzfragen eine Rolle. Im globalen Markthochlauf liegen auch große Potenziale für Technologien und innovative Konzepte aus Österreich.

Innovationsziele^{47 48 49}

- 1) Effizienzsteigerung und Kostensenkung bei der Herstellung von erneuerbarem Wasserstoff
- 2) Steigerung der Effizienz und Kostensenkung bei der Wasserstoff-Speicherung und -Verteilung
- 3) Verbesserung von Technologiebausteinen für die Anwendung von erneuerbarem Wasserstoff
- 4) Integration von Wasserstoff im erneuerbaren und kreislauforientierten Energiesystem
- 5) Bereitstellung evidenzbasierter Erkenntnisse für Marktdesign, Regulierung, Normen und Standards

1) Effizienzsteigerung und Kostensenkung bei der Herstellung von erneuerbarem Wasserstoff

Ziel ist es, bestehende Herstellungsverfahren zu verbessern, Prozesse zu optimieren, sowie innovative Herstellungsmöglichkeiten mit Blick auf längere Lebensdauern bei den verschiedenen Elektrolyse- bzw. anderen Herstellungs-Technologien zu entwickeln. Herstellungsverfahren sollen vor allem hinsichtlich Effizienz, Leistungsdichte und Teillastfähigkeit (bei der Elektrolyse) weiterentwickelt werden. Auch neuartige Herstellungsverfahren sollen erforscht und zur Marktreife gebracht werden. Zu alternativen Verfahren zählen beispielsweise Pyrolyse, Photokatalyse oder photobiologische, solarthermische oder solarthermochemische Erzeugungsarten. Bedeutsam ist dabei die Steigerung der Gesamteffizienz – neben der Anlageneffizienz (Stacks) – im Zusammenwirken der System-Komponenten oder entlang der Wertschöpfungskette. Wichtig für Gesamtwirkungsgradsteigerungen ist hierbei die lokale (Netz-)Integration der Abwärmenutzung (Quartierslösungen).

47 BMK (2022): [Wasserstoffstrategie für Österreich](#)

48 European Commission (2022): [Hydrogen Europe: Strategic research and Innovation Agenda Strategic Research and Innovation Agenda - European Commission \(europa.eu\)](#)

49 Clean Energy Transition Partnership CETP (2020): [Strategic Research and Innovation Agenda \(SRIA\) Clean Energy Transition Partnership \(cetpartnership.eu\)](#)

Ziel ist es, in Übereinstimmung mit Zielen auf europäischer Ebene, eine Kostenreduktion von erneuerbarem Wasserstoff bzw. eine Wettbewerbsfähigkeit von heimisch erzeugtem Wasserstoff zu erreichen.

Ziel ist es, Wasserstoffderivate großtechnisch und wettbewerbsfähig zu produzieren. Etablierte Verfahren sollen optimiert werden und innovative Herstellungsverfahren erforscht werden, um auf grünem Wasserstoff basierte chemische Grundstoffe und Brennstoffe (wie z. B. Methan, Methanol, Ammoniak) rasch zur industriellen Reife zu bringen.

Ziel ist es, die Lebensdauer von Elektrolyse- und Brennstoffzellensystemen zu verlängern sowie deren Wartungskosten zu reduzieren.

2) Steigerung der Effizienz und Kostensenkung bei der Wasserstoff-Speicherung und -Verteilung

Ziel ist es, kostengünstige Formen zur Speicherung, Transport und Verteilung großer Mengen Wasserstoffs zu entwickeln. Zur Unterstützung des gesamten Energiesystems steht dabei die Weiterentwicklung der bereits validierten Unterspeicherung im Vordergrund. Konkret geht es um nachhaltige und sichere Konzepte für unterirdische Speicher und die zugehörige oberirdische Infrastruktur, einschließlich der Verbesserung der Entladungsraten und Erhöhung der Druckbereiche innerhalb der Untertagespeicher (Erhöhung des Wasserstoffpartialdrucks und Abklärung der möglichen (Einmal-)Verlustpfade) sowie um die Weiterentwicklung der geologischen Speicherung von Wasserstoff in geeigneten Gaslagerstätten und um die Weiterentwicklung von Technologien für die Verteilung (Kompression, Pumpen, Aufreinigung usw.). Dabei geht es auch um die Klärung offener Fragen hinsichtlich Transformation der bestehenden Infrastruktur und hinsichtlich Einbindung von Importen (Übergabe).

Ziel ist darüber hinaus, die Entwicklung technischer Innovationen zur Speicherung von Wasserstoff durch Ammoniak, andere flüssige Wasserstoffträger (wie LOHC Flüssig-gasspeicher), Adsorptionsspeicher, Metallhydride oder Kohlenstoff-Nanoröhrchen sowie die Erforschung alternativer, wirtschaftlich tragfähiger und weniger energieintensiver Verfahren zum kommerziellen Haber-Bosch-Verfahren.

Ziel ist es, bei der Umrüstung von bestehender Infrastruktur zu unterstützen, indem Fragen zur Sicherheit und Lebensdauer unter neuen Anforderungen adressiert werden.

3) Verbesserung von Technologiebausteinen zum Einsatz von erneuerbarem Wasserstoff

Ziel ist es, die Technologien zum Einsatz von Wasserstoff in der Industrie (stoffliche und energetische Nutzung), im Energiesystem und speziellen Bereichen der Mobilität zu verbessern und zu entwickeln, um die Anwendung von erneuerbarem Wasserstoff effektiver und wirtschaftlicher zu machen und die Potenziale von erneuerbarem Wasserstoff als nachhaltige Energiequelle voll auszuschöpfen und zur Defossilisierung verschiedener Sektoren beizutragen.

Konkret sind hierzu technische Innovationen notwendig zur Umrüstung von Bestandsanlagen oder Errichtung von Neuanlagen mit maximaler Brennstoffflexibilität⁵⁰ (Biogas, synthetisches Gas, 100 % Wasserstoff, Ammoniak, Methanol etc.); die Weiterentwicklung und Demonstration der Herstellung von Synfuels und chemischer Prozesse (Verbesserungen bei katalytischen Reaktionen, Einsatz von erneuerbarem Kohlenstoff, Nutzung von Sauerstoff aus der Elektrolyse, dynamische Betriebsfähigkeit) und die Entwicklung weiterer technischer und nichttechnischer Innovationen (Prozesse, Geschäftsmodelle) in den Bereichen Industrie, Energiesystem, Mobilität.

4) Integration von Wasserstoff im erneuerbaren und kreislauffähigen Energiesystem

Ziel ist es, Innovationen entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu entwickeln. Innovative Simulationstools (z. B. Digital Twins, KI-basiertes Datenmanagement) sollen hierbei Systemeffekte validieren hinsichtlich der Integration des Energieträgers und Speichermediums ins Energiesystem (wirksame Adressierung von Systemdienlichkeit, Resilienz und Sektorkopplung). Aufgrund bestehender Stärken in der Komponententwicklung gilt es insbesondere den Transfer in die Anwendung zu fördern. Durch die systemische Integration und Validierung sollen Wertschöpfungsketten auch außerhalb Österreichs angesprochen werden (Zulieferindustrie, Kooperation über Wasserstoff-Valleys). Um den Anforderungen der Kreislaufwirtschaft zu entsprechen, gilt es Prinzipien des Eco-Designs, Recyclings und die Reduktion kritischer Materialien in sämtlichen Wasserstofftechnologien mitzudenken.

Ziel ist es, Elektrolyse zur Stabilisierung des Stromnetzes einzusetzen, indem lokale Überangebote an erneuerbarem Strom zur Wasserstoffherstellung genutzt werden oder bei Netzfehlern systemstabilisierend wirken.

Ziel ist es, die Effizienz bei der flexiblen Rückverstromung von grünem Wasserstoff zu erhöhen.

Ziel ist es, knappe Ressourcen einzusparen und kritische Rohstoffe zu substituieren. Darüber hinaus sollen Alternativen zum Einsatz von PFAS (per- und polyfluorierte Chemikalien) in Wasserstofftechnologien erforscht werden.

5) Schaffen von evidenzbasierten Erkenntnissen für Marktdesign, Regulierung, Normen und Standards

Ziel ist es, dem Markthochlauf durch FTI-Aktivitäten im Bereich der Regulierung bzw. des Systemdesigns Evidenz zu liefern und so bei der Ausgestaltung zu unterstützen. Dabei gilt es, geeignete Rahmenbedingungen (Design und Anpassungsbedarfe) zu erforschen, insbesondere in den Bereichen: Dezentrale Wasserstoffherzeugung, systemdienlicher Betrieb von Elektrolyseuren, Umrüstung bestehender Infrastruktur, Kapazität der Infrastruktur, Zertifizierung, Erfahrungen aus Anwendungssektoren im Vergleich mit

⁵⁰ Anm. da es sich oft um komplexe Industrieprozesse handelt ist eine Anknüpfung zur „Transformation der Industrie“ sicherzustellen.

Alternativen in einer systemischen Betrachtung (Mobilität, Industrie, usw.), Wasserstoff im Gesamtsystem.

3.2.2 Carbon Capture, Utilization and Storage (CCUS)

Die ganzheitliche Bewirtschaftung des Kohlenstoffhaushalts gewinnt zunehmend an Bedeutung, um neben der Reduktion klimaschädlicher Emissionen auch Senkenpotenziale zu erschließen. Der FTI-Schwerpunkt Energiewende befasst sich dazu mit technologischen Innovationen und ihren besonderen Anforderungen hinsichtlich Energiebilanz/Kreislaufwirtschaft/Wertschöpfungsketten und gesellschaftlicher Akzeptanzfragen. Unabhängig von Implementierungsperspektiven innerhalb Österreichs wächst auch der internationale Bedarf an innovativen Systemlösungen.

Innovationsziele^{51 52 53}

- 1) Verbesserung der Energie- und Kosteneffizienz von CO₂ Abscheidetechnologien unter Berücksichtigung des Einsatzes von erneuerbaren Energieträgern
- 2) Weiterentwicklung von Verfahren und Prozessen zur Nutzung von CO₂
- 3) Weiterentwicklung von Technologien und Lösungen zur Langzeit-Kohlenstoff-Speicherung
- 4) Weiterentwicklung von Lösungen für den CO₂ Transport
- 5) Bereitstellung evidenzbasierter Erkenntnisse für Marktdesign, Regulierung, Normen und Standards

1) Verbesserung der Energie- und Kosteneffizienz von CO₂ Abscheidetechnologien unter Berücksichtigung des Einsatzes von erneuerbaren Energieträgern

Ziel ist es, effektive und skalierbare Verfahren zur Abscheidung von CO₂ aus den Abgasströmen und aus der Atmosphäre zu entwickeln und im industriellen Maßstab bis Anfang der 2030er Jahre zu ermöglichen. Aktuelle Ansätze wie die Direktabscheidung von CO₂ von Punktquellen (von ‚hard-to-abate Sektoren‘), Kohlenstoffabscheidung aus Biomasse zur Erreichung von negativen Emissionen und aus der Luft (Direct Air Capture) sollen weiter verbessert und kostengünstiger gemacht werden. Hierzu zählt die Entwicklung neuer Technologien und Materialien, die hohe CO₂-Abscheideeffizienz aufweisen und gleichzeitig ressourcenschonend und nachhaltig sind im Sinne der Kreislaufwirtschaft.

51 AEA Zach, Kulterer und Simader (2022): Studie: „Analyse von CCU-Technologien im Kontext konventioneller Energieeffizienz- und Klimaschutzmaßnahmen in Österreich“

52 BMK (2024) laufende Studie: „Carbon Capture in Austria: Aktuelle europäische und internationale Aktivitäten in Bezug auf zukünftige österreichische F&E Schwerpunkte“

53 Deutscher Bundestag (2022): Evaluierungsbericht der Bundesregierung zum Kohlendioxid-Speicherungsgesetz

Ziel ist es, die CO₂-Abscheidung bei der Nutzung von Bioenergien zu integrieren. Dazu gilt es mittels innovativer Konzepte die organisatorischen und rechtlichen Voraussetzungen und Parameter zu erkunden, damit CO₂ als langfristig aus dem Kreislauf genommen gilt und bei Herkunftsnachweisen und ETS-Handel rechtssicher angerechnet wird (ggf. unterschiedlich bei CCU und CCS).

Ziel ist es, die geeigneten technologischen Innovationen zu entwickeln, um die notwendige Reinheit des CO₂ für CCUS, für unterschiedliche Transportmöglichkeiten (Leitung sowie gasförmigen und flüssigen Transport in Tankwagen) zu erreichen.

Ziel ist die Entwicklung von Chemical Looping Prozessen (CL Combustion, CL Gasification, CL Hydrogen) inklusive der Entwicklung geeigneter Sauerstoffträger. Ziel ist es, die notwendigen Aufbaumöglichkeiten der Infrastruktur zu erforschen und innovative Konzepte für zentrale und dezentrale Modelle bereitzustellen und zu bewerten.

Ziel ist es, die Wirtschaftlichkeit der CO₂-Abscheidung an Bioenergiekraftwerken zu erforschen und mit technologischen Innovationen zu verbessern. Dazu gilt es mittels innovativer Konzepte, die kostengünstigsten Optionen zu identifizieren und weiter zu entwickeln. Die Bewertung sollte erfolgen in Hinblick auf Anlagengröße mit wirtschaftlicher Entnahme, effiziente Prozesse. Eine volkswirtschaftlich bewertete Verfahrensauswahl sollte erfolgen inkl. Vergleich biologischer Methoden zur Kohlenstoffentnahme wie großflächige Aufforstungen, Humusaufbau, Biokohleeinsatz, Ausweitung des Holzbaus, nachwachsende Bau- und Dämmstoffe.

2) Weiterentwicklung von Verfahren und Prozessen zur Nutzung von CO₂

Ziel ist es, Möglichkeiten zur Nutzung des abgeschiedenen CO₂ zu erforschen und zu entwickeln. CO₂ kann als wertvoller Rohstoff in verschiedenen Anwendungen dienen. Die Entwicklung von Technologien zur Umwandlung von CO₂ in chemische Produkte oder anderweitige Materialien kann dazu beitragen, den CO₂-Fußabdruck zu verringern und eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft zu fördern (Weiterverwendung des abgeschiedenen CO₂, bspw. für Baustoffe oder in der chemischen Grundstoffindustrie bei Methanol, Ethanol, Ameisensäure usw.)

Ziel ist es, integrierte Prozessketten inklusive Konzepte für Nebenprodukte und Kreislaufschließung zu entwickeln und wirtschaftlich und ökologisch zu bewerten (Steigerung der Kosten- und Energieeffizienz von Verfahren zur Herstellung von Brennstoffen, Treibstoffen (Erzeugung von E-Fuels in Kombination mit erneuerbarem Wasserstoff).

Ziel ist es, Verfahren zu entwickeln, die CO₂ als Gaserzeugungsmedium für die Syngaserzeugung oder in den nachfolgenden Syntheseprozessen, z. B. zur Herstellung von SNG, verwenden. Angestrebt wird die Erhöhung der Kohlenstoffumwandlungseffizienz vom Kohlenstoff im eingesetzten Rohstoff zum im Produkt gespeicherten Kohlenstoff.

Ziel ist, die Entwicklung von Prozessketten zur Herstellung von Biokohle und ihrer Verwertung als Kohlenstoffspeicher in der Land- und Forstwirtschaft.

Ziel ist es, CCU-Prozesse zu optimieren. Adressiert werden dabei die Entwicklungen von neuen katalytischen, elektrochemischen- und photochemischen bzw. technisch-biologischen Umwandlungen zu CCU-Produkten.

Ziel ist es, biotechnologische (u. a. algenbasierte) Prozessketten zu entwickeln, um die Entwicklung von Gas- und Elektrofermentationsprozessen zur Verwertung von CO₂ und Herstellung von grünen Energieträgern (Methan) und grünen Grundstoffen für die chemische Industrie. Darüber hinaus können diese algenbasierten Bioraffinerien zur Herstellung von verschiedenen Produkten (bspw. Produkte für die Lebensmittelindustrie, Futtermittel) dienen. Für dieses Ziel ist die Schnittstelle zum FTI-Schwerpunkt Kreislaufwirtschaft besonders wichtig.

3) Weiterentwicklung von Technologien und Lösungen zur Langzeit-Kohlenstoff-Speicherung

Ziel ist es, eine langfristige Speicherung des CO₂, bzw. Kohlenstoffs zu ermöglichen und es somit dem Kreislauf zu entziehen. Dazu werden Innovationen zur Speicherung vorangetrieben und bisherige Speicheroptionen weiter erforscht.

Bei der geologischen Speicherung betrifft dies Themen der Lagerstättenintegrität, Bohrlochintegrität und -technik, Überwachungstechnologien zum Langzeitverhalten, konkurrierende Lagerstättennutzung, Abschätzung der Kapazität sowie interaktive Modellierung. Im Zusammenhang mit der Langzeitverantwortung soll auch soziale Forschung zur gesellschaftlichen Akzeptabilität und Einflussfaktoren (z. B. Regionalität) eine zentrale Rolle spielen.

Bei der Herstellung von Pflanzenkohle über Pyrolyse ist zu klären, auf welche Weise eine langfristige CO₂-Speicherung im Boden optimal möglich ist (Permanenz) und welche Implikationen dies für die Bodenfruchtbarkeit hat.

Ziel ist es, Anwendungen und Prozesse der mineralischen Karbonatisierung (bspw. auch über die Verwendung von Mikroben) weiterzuentwickeln und zu beschleunigen.

4) Weiterentwicklung von Lösungen für den CO₂ Transport

Da sich industrielle CO₂-Quellen und mögliche Nutzer oder Speicherstätten meist nicht am gleichen Ort befinden, muss CO₂ transportiert werden. Der Transport von CO₂ in Kesselwagen, auf Schiene und Straße, in Rohrleitungen sowie in Tankschiffen, wird seit Jahrzehnten für kommerzielle Zwecke praktiziert, sodass deren Technologiereifegrad mit 9 (ausgereift) angegeben werden kann. Da in Tankschiffen und Kesselwagen bisher lediglich kleine Mengen transportiert werden, besteht dennoch Bedarf an der Optimierung der vorhandenen Technologien.

Ziel ist es, die passenden Materialien für die jeweiligen Einsatzbereiche bei Neuanlagen zu identifizieren, bzw. die Eignung vorhandener Anlagen zum Transport von CO₂-Strömen zu prüfen, denn CO₂-Ströme unterschiedlicher Zusammensetzung lassen sich nicht beliebig miteinander kombinieren.

Ziel ist es, die Transportsicherheit zu verbessern und weiterzuentwickeln. Herausforderungen für die weitere Forschung und Entwicklung von Leitungsnetzwerken betreffen die möglichen wechselnden Nebenbestandteile von CO₂-Strömen, in Netzwerken mit CO₂-Strömen unterschiedlicher Herkunft. Die Konzentrationen der Nebenbestandteile haben Einfluss auf die Parameter der Pipelineauslegung, die Materialanforderungen an

Stähle und Elastomere, den Transport und die Ablagerung von Erosionsprodukten und die Messung von CO₂-Strömen und deren Zusammensetzungen.

Ziel ist es, den Transport und die Speicherung von CO₂ praxistauglich zu entwickeln. Für die grenzüberschreitende Verbringung sind Verpflichtungen und Zuständigkeiten zu klären und innovative Konzepte zu entwickeln. Für den Leitungstransport sind technische Fragen zum Verhalten von CO₂ zu klären, aber auch rechtlich-organisatorische Fragen der Genehmigung und Umrüstung zu erforschen. Für die Einbringung in Lagerstätten sind die Findung, Vorbereitung und Genehmigung zu erforschen.

5) Bereitstellung evidenzbasierter Erkenntnisse für Marktdesign, Regulierung, Normen und Standards

Ziel ist es, mit evidenzbasierten Erkenntnissen die Zielstellung und Verbotssituation regelmäßig zu überprüfen.

Ziel ist, die Entwicklung robuster Ökobilanzen und technisch-makroökonomischer Analysen für gesamte CCU/CCS-Wertschöpfungsketten (inkl. Wärmenutzung) und Lebenszyklen, bzw. komplexe Nachhaltigkeitsbewertungen zu entwickeln, die sozial- und geisteswissenschaftliche Disziplinen (z. B. Soziologie, Sozialpsychologie, Wirtschaft) berücksichtigen und somit auch gesellschaftliche Akzeptanzaspekte inkludieren.

Ziel ist, die Vorbereitung eines fundierten Monitorings zur Überwachung und Messung von CO₂-Netzen, geologischen Zwischen- und Langzeitspeichern (Kataster zur Beschreibung geologischer Lagerstätten) und Herkunftsnachweisführung von fossilen und erneuerbaren CO₂. Ziel ist die Entwicklung regional aufgelöster CO₂-Bewirtschaftungsmodelle (Stoffstrom-Management, Preisbildung für Einspeisende und Entnehmende).

3.3 Effiziente Energieanwendung und Umwandlung

Effizienz ist und bleibt eine zentrale Säule der Energietransformation. Neben der breitflächigen Implementierung ausgereifter Technologien und Steuerungswerkzeugen sind weitere Innovationen national erforderlich und auch weltweit nachgefragt. Effizienz und Energieeinsparung trägt maßgeblich zu den ökologischen, ökonomischen und sozialen Zielen und gesellschaftlichen Anforderungen (Verteilungsgerechtigkeit, Leistbarkeit) bei. Der sparsame Umgang mit Energieträgern und Ressourcen (Kreislaufwirtschaft, Suffizienz) bei der Anwendung und Wandlung wirkt darüber hinaus positiv auf die Versorgungssicherheit und die Stärkung heimischer Wirtschaftsstandorte.

Das Thema beinhaltet die Entwicklung von energieeffizienten und intelligenten Basis-Technologien, elektronischen Energiewandlern und Endverbrauchstechnologien. Ziel ist ein hoch effizientes, robustes und resilientes Gesamtsystem durch intelligente, ggf. vernetzte Einzeltechnologien und intelligente automatisierte Teilsysteme in verschiedenen Energieanwendungsbereichen. Das Thema umfasst die innovative (Weiter)Entwicklung

von *Energie-Endverbrauchstechnologien*⁵⁴ wie *Geräte und Produktionstechnologien (inkl. stationären Motoren and Aktoren, IKT-Systeme) aber auch (elektronische) Energiewandler, Basis-Technologien wie etwa Sensoren und Leistungselektronik-Komponenten sowie Effizienzinnovationen in den Herstellungsprozessen und Lieferketten der Anlagen und Geräte.*

*Zur Stärkung der Gesamtsystemeffizienz sind insbesondere Innovationen im intelligenten digital unterstützten Zusammenspiel verschiedener Anwendungen und bisher isoliert voneinander laufender Wandlungsprozesse erforderlich*⁵⁵ (sektor- und liegenschaftsübergreifendes Energiemanagement, Effizienzoptimierung entlang der Prozess- & Wertschöpfungskette). Mittels Innovationen gilt es, heimisches Know-how aufzubauen (Capacity Building), zu verbreiten und auch als internationale Kompetenz zu vermarkten (Engineering-Kompetenz). Diese Themen sind in den Kapiteln 4.1- System-design und –betrieb von flexiblen, integrierten Energiesystemen und 4.2- Digitalisierung von Energiesystemen gebündelt.

Innovationsziele

- 1) Bereitstellung von energieeffizienten und flexiblen Endverbrauchsgeräten
- 2) Effizienz und Konnektivität aller Arten von Umwandlungsanlagen zur Aufbringung und zum Einsatz von Energie
- 3) Verbesserung der Effizienz und Funktionalität von Komponenten zur Energieumwandlung
- 4) Sicherstellung einer langfristigen Forschungslandschaft für Leistungselektronik

1) Bereitstellung von energieeffizienten und flexiblen Endverbrauchsgeräten

Ziel ist es, die (Weiter-)Entwicklung von energieeffizienten Endverbrauchsgeräten (elektrische Geräte, thermische Anlagen zum Heizen, Kühlen) zur Senkung des Energieverbrauchs auf Haushaltsebene und im Gewerbe durch einen integrierten, Energie-optimalen Design Ansatz voranzutreiben. Priorität haben Geräte mit hohem Energieverbrauch, wie z. B. Klimaanlage/Thermostate, Warmwasserbereiter, Energiespeicher, Fahrzeugladegeräte und Großgeräte. Dabei sind im Sinne der Kreislaufwirtschaft Anforderungen an Ressourcensparsamkeit, Langlebigkeit und Recyklierbarkeit der Geräte, Teile oder Wertstoffe ebenso zu beachten wie Aspekte der energiesparenden Anwendungsfreundlichkeit.

54 Dieses Innovationsthema fokussiert Endverbrauchsgeräte. Industrielle und gewerbliche Energiewandlungsprozesse sind in anderen FTI-Strategien ausgeführt.

55 Zur Optimierung der Gesamtenergieeffizienz im Sinne von Minimierung des Primärenergie-trägereinsatzes kann es vorkommen, Einzelkomponenten (zeitweise) außerhalb ihres besten Wirkungsgrades zu betreiben, um z. B. zusätzlich Erneuerbare ins Gesamtsystem integrieren zu können. Dies muss übergeordnet koordiniert werden.

Kreislauffähigkeit und Energieeffizienz sind bereits bei der Entwicklung zu berücksichtigen und zentrale Anforderungen der ESPR⁵⁶.

Ein weiteres Ziel ist die Entwicklung von „intelligenter Effizienz“ durch Endverbrauchsgeräte. Sie sollen automatisch Betriebszustände optimieren (inkl. niedrigem Energieverbrauch im Netz-Standby-Modus). Weiter sollen sie in der Lage sein, Nachfrageflexibilität durch Einbindung in aggregierte Energiesysteme zur Verfügung zu stellen. Sie sollen in der Lage sein, externe Eingaben zu empfangen, diese Eingaben zu verarbeiten und unabhängig Maßnahmen zu ergreifen für Nachfrageflexibilität, intelligente Effizienz oder Statusberichterstattung (über Energieverbrauch, Fehlerzustände usw.). Dabei ist auf einfache Bedienbarkeit zu achten und auf die Möglichkeit für Nutzer autonome Gerätefunktionen abzuschalten. Entsprechende Testmethoden sind zu entwickeln.

Geräte sollen die Anforderungen für Interoperabilität und offene Kommunikationsprotokolle, Betriebssicherheit (Safety, Security, Robustheit) sowie Monitoring und Wartung erfüllen. Begleitend ist die Entwicklung von effektiven Cybersecurity Policies und Protokollen erforderlich, um Geräte und Daten zu schützen.

2) Effizienz und Konnektivität aller Arten von Umwandlungsanlagen zur Aufbringung und zum Einsatz von Energie

Ziel ist es, Produktionstechnologien (inkl. stationären Motoren und Aktoren, IKT-Systemen), aber auch (elektronische) Energiewandler und Basistechnologien, wie etwa Sensoren und Leistungselektronik-Komponenten oder neue Materialien weiterzuentwickeln. Neben der Steigerung der Anlageneffizienz (z. B. über Miniaturisierung von Umwandlungskomponenten für neue Applikationen) sind innovative Systemlösungen zur Steigerung der Gesamteffizienz im Bereich der elektrischen Energiewandlung erforderlich. Auch die Schnittstellen mit nichtelektrischen Energieträgern (Gas, Heizung, Kühlung, Wasser, Wasserstoff, CO₂-neutrale Kraftstoffe, Brennstoffzelle) zur Steigerung der Flexibilität des Energiebedarfs der Energieanwendungen sind zu berücksichtigen. Hier sind innovative Methoden zur Erschließung von Suffizienzpotenzialen erforderlich (z. B. Temperaturniveaus im Heizen und Kühlen).

3) Verbesserung der Effizienz und Funktionalität von Komponenten zur Energieumwandlung

Ziel ist es, die Weiterentwicklung einerseits der Lebenszyklen der Hardwarekomponenten zu erhöhen, andererseits durch den Einsatz von integrierter Software eine höhere Energieeffizienz und die Bereitstellung von innovativen Funktionalitäten zu erreichen. Das erfolgt z. B. mittels innovativer Sensorik-Konzepten (insb. Batteriesensorik und Quantensensorik) und verbesserte Analyse- und Steuerungsmethoden unter Einbeziehung von Edge-AI

⁵⁶ European Commission (2024): Ecodesign Sustainable Product Regulation (ESPR) mit Link commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/sustainable-products/ecodesign-sustainable-products-regulation_en

bzw. Machine-learning-Modellen auf Komponenten-Ebene. Dies ist die Grundlage für die Sicherstellung von resilienten und schnellen Energieanwendungen für das zukünftige digitale Stromnetz und gilt ebenso für thermische und sektorintegrierende Steuerungs-, Wandlungs- und Anwendungsprozesse.

Ziel ist die Weiterentwicklung von (kosten-)effizienten und kompakten Energieübertragungstechnologien und Betriebsmitteln (DC-Komponenten und -Systeme, wie DC/DC-Wandler und AC/DC Wandler, E-Fahrzeug-Komponenten für Bordnetze und DC-Ladeinfrastruktur sowie für Niederspannungs-DC-Netze im Stromnetz). Insbesondere im Zuge der Digitalisierung und Automatisierung sind neue Schutzkonzepte und -komponenten zu entwickeln.

4) Sicherstellung einer langfristigen Forschungslandschaft für Leistungselektronik

Ziel ist es, Technologien für zukünftige neue Anwendungsbereiche prototypisch zu entwickeln und dann anhand der Lernkurven deren Einsatzmöglichkeiten zu erweitern. Im Fokus leistungselektronischer Innovationen und Effizienzbemühungen steht im Stromnetz die Mittelspannungsebene (dynamische Bewirtschaftung der Anschluss- und Transportkapazität)

Konkret sollen thermisch/mechanische Multiphysics Simulationen Effizienzpotenziale identifizieren und durch innovative Komponenten und Systeme, wie Multi-MW-Charger oder Wide Band Gap Power Electronic erschlossen werden. Auch durch den innovativen Einsatz neuer Materialien und Herstellungstechnologien sollen Effizienzpotenziale erschlossen werden (UltraBroadGap).

4

Systemfokus, Themen und Ziele im Detail

Tabelle 3 Innovationsziele in den Innovationsthemen mit Systemfokus

Schwerpunkte	Nr	Innovations-thema	Innovationsziele
4.1 System-design und -betrieb von flexiblen, integrierten Energiesystemen	4.1.1	Integrierte regionale Energiesysteme	<ol style="list-style-type: none"> 1) Entwicklung von integrierten regionalen Energiesystemen 2) Verbesserung von Stabilität und Resilienz durch selbstregulierende Teilsysteme mit intelligent interagierenden Komponenten, Netzen und Akteur:innen unter Nutzung der Möglichkeiten der Digitalisierung 3) Steigerung von Synergien und Sektorkopplung durch integrative Übergänge zwischen Energieträgern und Infrastrukturen auf unterschiedlichen Systemebenen 4) Steigerung von Flexibilität und Resilienz durch Sektorkopplung sowie mittelfristige und saisonale Transferierbarkeit von Energie 5) Integration von Quartieren in regionale und überregionale Energiesysteme und Netze durch optimierten Eigenverbrauch sowie Mitwirkung in Ausgleichsmechanismen
	4.1.2	Stromnetz - flexible Elektrizitätssysteme	<ol style="list-style-type: none"> 1) Nutzbarmachung von Flexibilität durch Einsatz von Leistungselektronik durch die dadurch möglichen neuen Funktionalitäten 2) Bereitstellung von marktfähigen Speicherlösungen zum kurz- mittel- und langfristigen Energieausgleich, die zur Minimierung der Gesamtsystemkosten beitragen 3) Verbesserung der Daten- und Informationsgrundlage und Indikatorensysteme für Evaluierungen und Monitoring des Transitionsprozesses sowie zur Unterstützung der Planungsentscheidungen
	4.1.3	Differenzierte Wärmewende	<ol style="list-style-type: none"> 1) Steigerung der Anteile dekarbonisierter Wärme-/Kälteversorgung mittels netzgebundener innovativer Lösungen 2) Verbesserung von Energieraumplanungswerkzeugen und Planungstools zur Unterstützung der Wärmewende und Sektorkopplung 3) Entwicklung von Teilhabe-Modellen (Energy Communities) zur aktiven Einbindung von Nutzer:innen 4) Flexibilisierung der Einbindung der Kunden-/Sekundärseite für netzdienliche Zwecke 5) Integration von Einzelthermen in sektorübergreifende Wärmesysteme (systemnützliche Flexibilisierung, EE-Dargebotsorientierter Betrieb) mittels innovativen Steuerungs- und Koordinationsmechanismen
4.2 Digitalisierung Energiesystems	4.2.	Digitale Transformation für die Energiewende	<ol style="list-style-type: none"> 1) Sektorenübergreifende Harmonisierung der (Sektoren)Schnittstellen und Datenaustauschprozesse und Sicherstellung von Interoperabilität in vernetzten IKT-Systemen 2) Digitalisierung der Energieinfrastrukturen (inkl. Netze, Kraftwerke, Gebäude), mit Fokus auf die Verteilnetze und die Einbindung der Sensorik und Aktorik 3) Digitalisierung industrietechnischer Anlagen zur Steigerung der Energieeffizienz und des Ressourceneinsatzes 4) IKT-Lösungen zur Optimierung von Einzeltechnologien in Haushalt und Gewerbe 5) Optimierung des Energieeinsatzes in der IKT 6) Entwicklung innovativer digitaler Geschäftsmodelle

4.1 Systemdesign und -betrieb von flexiblen, integrierten Energiesystemen

Für Themen der Systemintegration sollen die Energienetze und – Systeme ertüchtigt werden, um die Aufnahmekapazität für erneuerbare Energien zu maximieren und die Verwertung möglichst hoher Anteile erneuerbarer Energie zu ermöglichen. Weiters sollen Innovationen neue Lösungsansätze für Design, Planung und Betrieb von Teilsystemen ermöglichen, die eine exponentiell wachsende Anzahl von Komponenten und Akteur:innen integrieren und zu erwartende exponentielle Technologie- Lernkurven berücksichtigen. Interoperabilität, Sicherheit und Resilienz sollen als integrale Design-Anforderung berücksichtigt werden. Der Fokus liegt auf der Entwicklung und Validierung von Anwender- und Bedarfsträger- getriebenen Systeminnovationen, die Technologien und Komponenten durch entsprechende Betriebs- und Geschäftsprozessen zu vollständigen Systemlösungen verbinden. Dazu gehört auch die systematische und methodische Generierung und Aufbereitung evidenzbasierten Wissens zur Transition der Energiesysteme für alle relevanten Akteur:innen.

4.1.1 Integrierte, dezentrale und Sektoren übergreifende Systemansätze

Die Dezentralisierung von Energieaustausch- und Koordinierungsprozessen ist ein wesentlicher Strategieansatz für eine gelingende 100 %-Energiewende. Es ist dabei zu validieren, inwieweit durch Regionalisierung die Komplexität der Systemsteuerung beherrschbarer gestaltet werden kann (zellulärer Ansatz, System-of-System, Digitalisierung, Data Spaces), lokale Synergien vollständiger erschlossen werden (Quartiersansätze), die Identifikation der Akteur:innen gesteigert (Flexibilisierung, Effizienz) und der Systembetrieb resilienter wird. Es ist zu bewerten, welchen Gesamtsystemnutzen die Regionalisierung stiftet (Integrationsleistung, Sicherheit, volkswirtschaftlich) und wo Optimierung von Teilsystemen zu Lasten des Gesamtsystems führt.

Vor Ort werden neue Akteur:innen/Bedarfsträger:innen erreicht, für gemeinsame technische Lösungen und Geschäftsmodelle mobilisiert und haben Teil an Wertschöpfung (Partizipation und Akzeptanz, nachhaltige Stärkung von Wirtschaftsstandorten). Es ist zu klären, inwieweit die rechtlich-organisatorischen Rahmenbedingungen das Zusammenspiel der unterschiedlichen Akteur:innen optimal unterstützen und welcher Anpassungsbedarf besteht (technische, marktliche, regulatorische Integration). Es sind Prozesse und Strukturen des Wissensmanagements zu entwickeln, sodass das regionale Erfahrungswissen in systematische Lern- und Transferprozesse einfließt (Know-how-Aufbau und Capacity Building für Transformationskompetenz) und wie dies geschehen kann.

Innovationsziele^{57 58 59 60}

- 1) Entwicklung von integrierten regionalen Energiesystemen
- 2) Verbesserung von Stabilität und Resilienz durch selbstregulierende Teilsysteme mit intelligent interagierenden Komponenten, Netzen und Akteur:innen unter Nutzung der Möglichkeiten der Digitalisierung
- 3) Steigerung von Synergien und Sektorkopplung durch integrative Übergänge zwischen Energieträgern und Infrastrukturen auf unterschiedlichen Systemebenen
- 4) Steigerung von Flexibilität und Resilienz durch Sektorkopplung sowie mittelfristige und saisonale Transferierbarkeit von Energie
- 5) Integration von Quartieren in regionale und überregionale Energiesysteme und Netze durch optimierten Eigenverbrauch sowie Mitwirkung in Ausgleichsmechanismen

1) Entwicklung und Etablierung von integrierten regionalen Energiesystemen

Ziel ist es, für die Systemintegration die Energienetze und -systeme durch innovative Technologien und Systemlösungen zur besseren Steuerung und Flexibilisierung inkl. Sektorkopplung zu ertüchtigen, um die Aufnahmekapazität für erneuerbare Energien zu maximieren und die Verwertung möglichst hoher Anteile erneuerbarer Energie zu ermöglichen.

Im regionalen Kontext werden Stoff- und Energieströme zusammengeführt und „kurz“ geschlossen. (Kreislaufwirtschaft, stofflich/energetische Kaskadennutzung). Es ist zu klären, inwieweit nicht nur kurz- und mittelfristiger Flexibilitätsbedarf durch regionale Ausgleichsprozesse (Flexibilitätsmärkte) gedeckt, sondern auch mittelfristiger und saisonaler Speicherbedarf gemindert werden kann.

2) Verbesserung von Stabilität und Resilienz durch selbstregulierende Teilsysteme mit intelligent interagierenden Komponenten, Netzen und Akteur:innen unter Nutzung der Möglichkeiten der Digitalisierung

Ziel ist es, Konzepte zur Realisierung selbstregulierender Teilsysteme zur Verfügung zu stellen, die neben regionaler Ausfalls- und Versorgungssicherheit auch höchste Stabilität und Resilienz des Gesamtsystems gewährleisten.

57 BMK (2020) Umsetzungsplan zur Energieforschungsinitiative in der Klima- und Energiestrategie Teil 1: Missionen und Innovationsziele

58 BMK (2020): Technologie Roadmap Smart Grids 2020; [Technologie Roadmap Smart Grids 2020 - Strategieprozess Energie 2050 \(nachhaltigwirtschaften.at\)](#)

59 BMK (bmvit) (2016) Strategic Research Agenda zur Entwicklung eines intelligenten Energiesystems in und aus Österreich

60 CETP (2020): Strategic Research and Innovation Agenda; horizoneuropencpportal.eu/sites/default/files/2023-09/cetp-sria-2020.pdf

Ziel ist, dezentrale Energiesysteme mit einer wachsenden Anzahl von Akteur:innen, sowie zunehmender Dynamik effizient handhaben zu können und in integrierten regionalen Energiesystemen alle Akteur:innen bestmöglich zu vernetzen. Dafür müssen verfügbare Smart Services skalierbar, anpassbar und replizierbar entwickelt werden, die von der lokalen bis hin zu einer interregionalen und globalen Ebene reichen.

3) Steigerung von Synergien und Sektorkopplung durch integrative Übergänge zwischen Energieträgern und Infrastrukturen auf unterschiedlichen Systemebenen

Ziel ist, erneuerbare Energiequellen und lokal und regional vorhandene Energie optimal zu nutzen und einen hohen Anteil erneuerbarer Energien (bis zu 100%) an der lokalen oder regionalen Versorgung effizient bereitzustellen, zu hosten und einzusetzen.

Ziel ist es, Systemübergänge zwischen den verschiedenen Energieträgern, Sektoren und Infrastrukturen (Strom, Wärme/Kälte, Gas, Mobilität, Industrie, Landwirtschaft etc.) zu schaffen und die Verbindungen auf unterschiedlichen Ebenen, unter Berücksichtigung von System-, Markt- und Organisationsaspekten, herzustellen.

Ziel ist es, Lösungen zur Verfügung zu stellen, die es ermöglichen mehrdimensionale Energiesysteme zu betreiben, die die lokalen und regionalen Infrastrukturen und Einrichtungen optimal integrieren und aktiv zu den Energiemärkten sowie zur Belastbarkeit, Stabilität und Flexibilität des Gesamtsystems beitragen.

4) Steigerung von Flexibilität und Resilienz durch Sektorkopplung sowie mittelfristige und saisonale Transferierbarkeit von Energie

Ziel ist, durch den Einsatz von Lösungen zur Integration unterschiedlicher Einzeltechnologien und Teilsystemen, sowie durch die Nutzbarmachung von energieträger-, infrastruktur- und sektorenübergreifenden Synergien ein energieeffizientes, robustes und resilientes Gesamtsystem zu erreichen. Regionen und andere geografisch sinnvolle Einheiten (Täler etc. als Subsysteme im Energiesystem werden energetisch so abgegrenzt, dass sie sinnvolle Einheiten im Sinne der Steuerbarkeit und Selbstregulation darstellen⁶¹. Sie beinhalten nicht nur im klassischen Sinne Wohngebäude oder Nichtwohngebäude, sondern können Anlagen und Liegenschaften aller Art umfassen.

Dafür müssen geeignete Flexibilitätspotentiale für die Aufbringung und den Einsatz von Energieprodukten (Leistung, Schaltung, Mengen) technisch realisiert, sowie auch durch geeignete Geschäftsprozesse und Geschäftsmodelle mobilisiert und lokale Wertschöpfungsketten berücksichtigt werden.

Ziel ist es, über das Jahr eine ausgewogene Bilanz von Subsystemen zu realisieren, die es ermöglicht Energieerträge und überschüssige Energie aus Zeitabschnitten mit relativ hoher Erzeugung und geringer Nachfrage in Zeitabschnitte relativ niedriger Erzeugung und hoher Nachfrage übertragen zu können (z. B. Sommer – Winter aber auch Urlaubs- und Feiertage).

⁶¹ Vergleiche auch Innovationsstrategie zu klimaneutralen Städten

Dafür müssen geeignete mittelfristige (Tage bis Woche) und langfristige (Monate) dezentrale Speicher entwickelt, implementiert und in das lokale Energiesystem integriert werden. Wirtschaftlichkeitsaspekte hinsichtlich der Wahl der Systemebene (lokal im Quartier oder regional bzw. überregional) werden dabei berücksichtigt.

5) Integration von Quartieren in regionale und überregionale Energiesysteme und Netze durch optimierten Eigenverbrauch sowie Mitwirkung in Ausgleichsmechanismen

Ziel ist die Entwicklung und Umsetzung von intelligenten bis zu selbstlernenden Energiemanagementsystemen in Gebäuden, Gebäudeverbänden und Quartieren, die zu maximaler Nutzung der lokal erzeugten Energie im lokalen Energieeinsatz führen und zur Vermeidung von unkontrollierbarem Durchschlagen von Erzeugungsspitzen auf höhere Systemebenen beitragen.

Ziel ist es, einen Teil der erneuerbaren Energie im Quartier selbst zu erzeugen und durch Flexibilisierung des Endverbrauchs in Verbindung mit der Nutzung von Speichern und Synergieeffekten von Infrastrukturen diese überwiegend lokal zu nutzen und gleichzeitig optimal in übergeordnete Systemebenen einzubinden.

Ziel ist es, die Flexibilität von Quartieren zu steigern, um so eine Reaktion auf verschiedene Systemzustände sowie die aktive Teilnahme an Ausgleichsmechanismen in der übergeordneten Systemebene zu ermöglichen. Weiters soll durch Maßnahmen im Bereich der Effizienz und Optimierung eine Maximierung von Energieüberschüssen im Quartier erreicht werden, die in die übergeordneten Systemebenen eingebracht werden können.

4.1.2 Flexible Elektrizitätssysteme

Mit der Durchdringung des Elektrizitätssystems mit fluktuierenden Erneuerbaren wächst der Bedarf an Flexibilität. Mittels Systeminnovationen gilt es, diese Flexibilitätspotenziale bedarfsgerecht zu mobilisieren, digital zu steuern und volkswirtschaftlich sinnvoll auf allen Ebenen des Stromnetzes einzubinden. Die Teilhabemöglichkeiten für weitere Marktakteur:innen (Prosumenten) sind marktlich und regulatorisch zu erkunden und unter sozialen Aspekten einer leistbaren Versorgung aller zu erschließen. Die Weiterentwicklung einer intelligenten Steuerung auf Verteilnetzebenen (inkl. Ausbauplanung und Capacity Building) ist Voraussetzung, um Österreichs Wirtschaftsstandorte durch eine saubere und sichere Stromversorgung zu stärken.

Innovationsziele^{62 63 64 65}

- 1) Nutzbarmachung von Flexibilität durch Einsatz von Leistungselektronik durch die dadurch möglichen neuen Funktionalitäten
- 2) Bereitstellung von marktfähigen Speicherlösungen zum kurz- mittel- und langfristigen Energieausgleich, die zur Minimierung der Gesamtsystemkosten beitragen
- 3) Verbesserung der Daten- und Informationsgrundlage und Indikatorensysteme für Evaluierungen und Monitoring des Transitionsprozesses sowie zur Unterstützung der Planungsentscheidungen

1) Nutzbarmachung von Flexibilität durch Einsatz von Leistungselektronik durch die dadurch möglichen neuen Funktionalitäten

Ziel ist es, neue Komponenten der Leistungselektronik (Sensorik, Aktorik) in das bestehende Energienetz zu integrieren, dies hat unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Reaktionszeiten zu erfolgen und ist z. B. für den Netzwiederaufbau notwendig. Hierzu zählt die Entwicklung von Tools zum flexiblen, effizienten, datenbasierten Verteilernetzbetrieb. Beispiele dafür sind datenbasierte Planung und automatisierte Analyse von Netzzuständen durch Monitoring, Forecasting und Integration vorhandener Daten⁶⁶.

Ziel ist es, mittels neuer Systemlösungen (Steuerungs- & Geschäftsmodelle) eine beschleunigte Integration der Erneuerbaren in das Verteilernetz, einen sicheren und dynamischen Betrieb und die effiziente Bewirtschaftung der Transportkapazitäten zu gewährleisten. Dafür sollen dezentrale Flexibilitäten nicht nur identifiziert und informatorisch angebunden, sondern auch durch innovative marktlich-regulatorische Koordinierungs-Mechanismen tatsächlich mobilisiert und systemnützlich eingebunden werden. In Hinblick auf den zunehmenden sektorübergreifenden Steuerungsbedarf sollten die innovativen Systemlösungen die Anforderungen der Interoperabilität (Schnittstellenstandardisierung) und die internationale Anpassbarkeit (Wettbewerbsfähigkeit) berücksichtigen. Die zu entwickelnden Geschäftsmodelle sollten die Teilhabemöglichkeiten der Prosument:innen an Flexibilitätsmärkten ermöglichen.

62 BMK (2020): Technologie Roadmap Smart Grids 2020; [Technologie Roadmap Smart Grids 2020 - Strategieprozess Energie 2050 \(nachhaltigwirtschaften.at\)](#)

63 BMK (2020) Umsetzungsplan zur Energieforschungsinitiative in der Klima- und Energiestrategie Teil 1: Missionen und Innovationsziele

64 BMK (bmvit) (2016) Strategic Research Agenda zur Entwicklung eines intelligenten Energiesystems in und aus Österreich

65 CETP (2020): Strategic Research and Innovation Agenda; horizoneuropencpportal.eu/sites/default/files/2023-09/cetp-sria-2020.pdf

66 Vergleiche dazu auch Innovationsziele im Kapitel Digitalisierung des Energiesystems Kap.4.2

2) Bereitstellung von marktfähigen Speicherlösungen zum kurz- mittel- und langfristigen Energieausgleich, die zur Minimierung der Gesamtsystemkosten beitragen

Ziel ist, zum kurz-, mittel- und langfristigen Energieausgleich effiziente und kostengünstige Energiespeichertechnologien und Speichersysteme zur Verfügung zu haben. Die Bandbreite der Technologien entspricht dem Bedarf unterschiedlichster regionaler Energiesysteme und den Einsatzerfordernisse auf den verschiedenen Systemebenen. Hierzu zählt auch die Weiterentwicklung von chemischen Stromspeichern für mobile und stationäre Anwendungen und die Weiterentwicklung von Speicherpotenzialen in der kommunalen Infrastruktur, z. B. Pumpen und Hochbehälter als flexible Lasten im Stromnetz oder die Nutzung der Abwärme des Abwassers.

Ziel ist es, Systeminnovationen für Anwender:innen und Bedarfsträger:innen zu entwickeln und zu validieren, die sowohl die Technologien und Komponenten, als auch die entsprechenden Betriebs- und Geschäftsprozesse zu vollständigen Systemlösungen vereinen. Hierbei sind die unterschiedlichen Aspekte von Systemnutzen zu bewerten (Netzdienlichkeit, Bereitstellung von Systemdienstleistungen, Integration von Erneuerbaren etc.) und mit weiteren Flexibilitätsoptionen hinsichtlich Systemkosten zu vergleichen. Hierzu zählen auch technische Innovationen für neue Möglichkeiten der Speicherung (direkt elektrisch oder durch Umwandlung), die als Ressource zur Lastverteilung und Energieprofilsteuerung genutzt werden können.

3) Verbesserung der Daten- und Informationsgrundlage und Indikatorensysteme für Evaluierungen und Monitoring des Transitionsprozesses sowie zur Unterstützung der Planungsentscheidungen

Ziel ist die Forschung an intelligenten Energienetzen zu forcieren und frühzeitig unerwünschte oder verzögerte Entwicklungen zu erkennen sowie gegenseitiges Lernen zu ermöglichen. Insbesondere soll damit die Informations-, Planungs- und Entscheidungsgrundlage für Ausbau und Betrieb in den dezentralen Netzen (Verteilernetze) und an den Schnittstellen zwischen verschiedenen Infrastrukturen (Sektorenintegration Richtung Wärmesektor und Infrastrukturen für erneuerbare Gase) verbessert werden. Insbesondere sollen Planungswerkzeuge für Verteilernetzbetreiber entwickelt werden, die verschiedene Technologieoptionen über verschiedene Spannungsebenen integriert bewerten können (Kosten/Nutzen)

Konkret wird hierbei die Entwicklung von neuen Methoden zum Einsatz von künstlicher Intelligenz (AI, Simulation) angestrebt und der Umgang mit Big Data forciert. Der Übergang von Daten zu Information (wie etwa Visual Analytics) und von Information zu Wissen (z. B. Netzwerkanalysen, Horizon-Scanning etc.) soll die innovative Entwicklung von intelligenten Steuerungssystemen und Regelungskonzepten für das Energiemanagement in Stromnetzen ermöglichen, um bessere Entscheidungen zu treffen und neues Wissen zu generieren.

Ziel ist dabei auch die Stärkung und Verbreitung des Know-hows in der bedarfsge- rechten Bereitstellung, Verarbeitung und Nutzung von Daten und Informationen in der Energiewirtschaft zu erhöhen (Capacity Building) und als Wettbewerbsvorteil heimischer Lösungsanbieter zu nutzen.

4.1.3 Differenzierte Wärmewende

Mit der Ablösung fossiler Energieträger entstehen neue Anforderungen an die Wärmeversorgung (grün, digital, divers, gemeinsam). Für die Erschließung und Einbindung geeigneter klimafreundlicher Abwärmepotenziale und dezentraler erneuerbarer Ressourcen braucht es Innovationen im Netzmanagement und Marktrahmen. Wärmenetze sind zu Wärmedrehscheiben (open heat net) mit kundenorientierten langfristig leistbaren Wärmeprodukten weiterzuentwickeln. Eine zentrale Innovationsherausforderung ist die saisonale Speicherung zur Bereitstellung von grüner Wärme im Winter, wenn nicht genügend erneuerbare (strombasierte) Erzeugung zur Verfügung steht. Von diesem Know-how profitiert nicht nur die heimische Wärmebranche, die Industrie und Haushalte, sondern es eröffnet auch internationale Transferpotenziale in viele Regionen mit der gleichen Herausforderung.

Innovationsziele^{67 68}

- 1) Steigerung der Anteile dekarbonisierter Wärme-/Kälteversorgung mittels netzgebundener innovativer Lösungen
- 2) Verbesserung von Energieraumplanungswerkzeugen und Planungstools zur Unterstützung der Wärmewende und Sektorkopplung
- 3) Entwicklung von Teilhabe-Modellen (Energy Communities) zur aktiven Einbindung von Nutzer:innen
- 4) Flexibilisierung der Einbindung der Kunden-/Sekundärseite für netzdienliche Zwecke
- 5) Integration von Einzelthermen in sektorübergreifende Wärmesysteme (systemnützliche Flexibilisierung, EE-Dargebots-orientierter Betrieb) mittels innovativer Steuerungs- und Koordinationsmechanismen

67 KLIEN (2020): EnergyTransition2050 - Industrial Excess Heat - INXS Erhebung industrieller Abwärmepotenziale in Österreich

68 BMK (2021): Forschungsfragen zu netzgebundenem Heizen und Kühlen Expertenpapier der Fokusgruppen zur Energieforschung; [nachhaltigwirtschaften.at/resources/sdz_pdf/events/20210119-sdz-tws/2_Wedler_Waerme-netz.pdf?m=1611581072&](https://www.nachhaltigwirtschaften.at/resources/sdz_pdf/events/20210119-sdz-tws/2_Wedler_Waerme-netz.pdf?m=1611581072&); <https://www.nachhaltigwirtschaften.at/de/>

1) Steigerung der Anteile dekarbonisierter Wärme-/Kälteversorgung mittels netzgebundener innovativer Lösungen

Ziel ist es, den in einem defossilisierten Energiesystem verbleibenden Bedarf an Wärme- und Kälteversorgung mit technischen Innovationen innerhalb der anzupassenden und gekoppelten Netzinfrastrukturen (Wärmenetze, Gasnetze, Stromnetze) effizient, ressourcenschonend, langfristig gesichert und sauber zu organisieren. Dies kann u. a. über innovative Sektorkopplung und digitale Lösungen für die steigende Komplexität (Integration EE, Temperaturmanagement, Flexibilisierung) geschehen.

Konkret sind hier (regionale) Technologieszenarien zu entwickeln (schwindende fossil betriebene KWK-Anlagen) für Fernwärme und -kälte-Netze mit Schwerpunkt auf der Maximierung des Anteils erneuerbarer Energiequellen (z. B. Geothermie, Solarthermie, Biomasse, Wärmepumpe) und Abwärme unter Anwendung geeigneter Speichertechnologien und Regelungsansätze, mit dem Ziel einer hohen Versorgungssicherheit und Systemflexibilität für Raum- und Prozesswärme, hoher Gesamteffizienz, und eines hohen Nutzer:innenkomforts bei gleichzeitiger Wettbewerbsfähigkeit.

Angesichts der saisonalen Verfügbarkeitsengpässe Erneuerbarer ist von zentraler Bedeutung die Entwicklung und Demonstration von technologischen Lösungen für Großwärmespeicher⁶⁹ (u. a. Erdbeckenspeicher, Aquiferspeicher) und deren Integration (Temperatur, Abnahmeprofil, grüne Winterwärme, Ersatz großmaßstäblicher KWK-Anlagen) in Fernwärmenetze gespeist mit e. g. Geothermie (in Kombination mit Wärmepumpen oder Organic-Rankine-Cycle Anwendungen zur kombinierten Stromerzeugung), Solarthermie (Entwicklung Richtung > 50 % solare Deckung im System), P2H (Stromüberschüsse, Regelenergiemarkt) und industrieller Abwärme (u. a. Abwärme aus Elektrolyseanlagen). Für die Einbindung strombasierter erneuerbarer Energiequellen ist eine wesentliche Voraussetzung die Forschung zur Identifikation, Eignung und Integration von Kopplungspunkten der Fernwärme mit weiteren Energienetzen (P2H(2P), P2G, KWK) und Infrastrukturen (Wasserstoffherzeugung, PV-Anlagen, Abwasserreinigungsanlagen, Industrie- und Gewerbeparks, urban farming, hubs of circularity etc.) bzw. zum netzdienlichen Betrieb unter besonderer Berücksichtigung von Kurz-, Mittel- und Langzeitspeichertechnologien.

Voraussetzung zur hinreichenden Differenzierung des Wärmenetzbetriebes und damit Ausnutzung vielfältiger Wärmequellen ist die Entwicklung innovativer Lösungen zur Etablierung von und Integration in (dezentrale) Wärmenetze(n) auf Nieder- und Niedrigsttemperaturniveau, jeweils optimiert auf das lokale Wärmequellen- und Speicherdargebot sowie Verbraucher.

Zur Steigerung der Systemflexibilität müssen digitale Lösungen entwickelt werden, die das Zusammenspiel organisieren zwischen Wärme-/Kältenetz – Übergabestation – Gebäude, Wärmenetz als zentrales und sektorkoppelndes Element im Gesamtenergiesystem; jeweils sowohl auf (regelungs-)technischer Ebene als auf auch Software/Datenaustausch-Ebene.

69 Vergleiche auch Wärmespeicher in Kap.3.1.5

2) Verbesserung von Energieraumplanungswerkzeugen und Planungstools zur Unterstützung der Wärmewende und Sektorkopplung

Ziel ist es, Planungs- und Entscheidungsprozesse auf nationaler, regionaler und lokaler Ebene mit innovativen digital unterstützten Energieraumplanungslösungen weiterzuentwickeln. Konkret sind dies innovative Methoden für Fernwärme- (und Fernkälte-) Ausbauszenarien (inkl. Wirkungs- und Sensitivitätsanalyse-Methoden). Hierbei müssen sowohl Gemeinden, Städte und Bundesländer als auch u. a. Energieversorger, Betreiber und Planer berücksichtigt werden mit spezifischen Fragestellungen bzgl. Vorranggebiete für Fernwärme/Fernkälte bzw. für Mikronetze, die Verortung von geeigneten Flächen für Energieerzeugung, Speicherung und vor Ort verfügbarer Energieressourcen, Gebäudesanierungsszenarien, potenzielle Wärmeinseln im Sommer, Klimawandelszenarien.

Durch innovative Planungsmethoden soll eine bedarfsgerechte und systematische Einbindung von Nutzer:innen und potenziellen Wärmequellen/-senken gewährleistet werden (Partizipation). Die Planungstools sollen strategische Infrastruktur-Entscheidungen untermauern, so dass mittelfristige bis langfristige Standortperspektiven für heimische Wirtschaft und Unternehmensansiedelungen entstehen. Durch innovative Methoden der integralen Verknüpfung von regionalem Stoffstrom- und Energiemanagement (stofflich-thermische Kaskadennutzung, Kreislaufwirtschaft) soll die Planungssicherheit und Verfügbarkeit von Wärmeträgern verbessert und letztlich auch soziale Aspekte der Preisstabilität in den Entscheidungsprozessen berücksichtigbar werden.

3) Entwicklung von Anreiz- und Teilhabe-Modellen (z. B. Energy Communities) zur aktiven Einbindung von Nutzer:innen

Ziel ist es, die Einbindung relevanter Stakeholder entlang der Wertschöpfungskette im Fernwärme- und Kältesektor (und darüber hinaus) mit digitalen und ökonomischen Innovationen zu organisieren, damit auch neue Akteursgruppen Zugang finden (z. B. über Geschäftsmodelle zur Investitionsbeteiligung für Privatpersonen, Unternehmen, Pensionsfonds, Bauträger). Damit werden Risiken (Investitionen) und Flexibilisierungserfordernisse mit ökonomischen Vorteilen gekoppelt.

Konkret sind einerseits Geschäftsmodelle zum Risikomanagement seitens Erzeugung, Netz (Instandhaltung, Sanierung) und Verbraucher:innen (Optimierung von Rücklauftemperaturen) zu entwickeln und andererseits digitale Datenplattformen für die Einbindung von Nutzer:innen (Open-Data), um innovative Energiedienstleistungen für Kund:innen, Erzeuger:innen und öffentliche Körperschaften massentauglich zu handeln (inkl. sektorkoppelnde Energiegenossenschaften oder Wärmegenossenschaften).

Mit der Entwicklung und Verbreitung langfristiger und transparenter kommunaler Wärmeplanungsstrategien (open heat net) sollen für Unternehmen Planungssicherheiten zur Standortstärkung entstehen und für Verbraucher:innen Preisstabilität und Leistbarkeit (Vermeidung von Energiearmut und -Versorgungsengpässen) gewährleistet werden.

4) Flexibilisierung der Einbindung der Abnehmer-/Sekundärseite für netzdienliche Zwecke

Ziel ist es, vorhandene Flexibilitätspotentiale auf Abnehmer-/Sekundärseite mittels technischer Lösungen zu heben und mit innovativen Ansätzen zur Steuerung dieser Potenziale in das integrierte Gesamtsystem beizutragen (Kapazitätsbewirtschaftung der Netzinfrastrukturen, marktorientierte Steuerung der Flexibilitäten, inkl. Langzeitspeichern, systemnützliche Flexibilisierung, EE-Dargebots-orientierter Betrieb, Rücklauftemperaturenanpassung, klimawandelbedingter Anstieg des Kühlungsbedarfs). Dieser Ansatz bietet nicht nur technische und ökonomische Effizienz-Potentiale für Fernwärme und -kältebetreiber:innen, sondern erlaubt auch die aktive Integration von Endkund:innen und Nutzer:innen über geeignete Technologien, Dienstleistungen und Geschäftsmodelle (moderne Übergabestationen, bivalente Wärmepumpen (P2H), Abwärmeeinspeisung aus Gebäuden, Solarthermie-Rückspeisung, Kopplung mit Brennstoffzellen, thermisches Lastmanagement von Batterien und E-Mobility-Infrastruktur).

Konkret sind Innovationen des thermischen Lastmanagements erforderlich (Demand Response-Ansatz) im Zusammenspiel der Nutzung von Gebäudeelementen (Massespeicher) und neuen Geschäftsmodellen FWK-Betreiber:innen und Bewohner:innen (flexible Tarife), Gebäudeeigentümer:innen, und (Groß-)Kund:innen als Prosumer mittels geeigneter Übergabestationen, Speicherlösungen und Regelungsansätzen.

5) Integration von Einzelthermen in sektorübergreifende Wärmesysteme (systemnützliche Flexibilisierung, EE-Dargebots-orientierter Betrieb) mittels innovativen Steuerungs- und Koordinationsmechanismen

Ziel ist es, den verbleibenden Anteil an dezentralem Heiz- und Kühlbedarf (ohne Wärme-Netzanbindung) mit innovativen Lösungen zur Steuerung und Koordinierung in das Gesamtsystem zu integrieren (Kapazitätsbewirtschaftung der Netzinfrastrukturen, marktorientierte Steuerung der Flexibilitäten).

Erforderlich sind innovative digital-unterstützte Lösungen zur sektorübergreifenden (Schwarm-)Steuerung dezentraler strombasierter Wärme-/Kältebereitstellung (P2H) oder des bivalenten Anlagenbetriebs und Lösungen zur marktbasierter Steuerung (P2H, „Nutzen-statt-Abregeln“)

Ganzheitliche innovative kommunale Energieraumplanung (Fokus Wärmeplanung) sollen hierbei langfristige transparente raumordnerische Orientierung zur (Wärme-/EE-Gas-Netz)-Infrastruktur-Entwicklung und Sanierungsvorrangigkeit liefern, um für dezentral versorgte Liegenschaften Entscheidungsgrundlagen (Preisentwicklung, Brennstoffverfügbarkeit) bereitzustellen und deren Systemeinbindungsmöglichkeiten als Prosumen aufzuzeigen.

4.1.4 Defossilisierte Industriestandorte

Industrielle und gewerbliche Energiewandlungsprozesse sind in anderen FTI-Strategien ausgeführt. Im räumlichen Kontext sind Industrie-Akteur:innen mit ihrem Energiebedarf und Energieüberschuss wichtige Energieaustausch-Partner. Mit der Studie „transform. industry“⁷⁰ wurde im Auftrag des Klima- und Energiefonds eine Bestandsaufnahme in 13 Sektoren durchgeführt. Dabei bilden die Identifikation von Schlüsseltechnologien, mit denen Treibhausgasemissionen verhindert oder entfernt werden können, das Fundament. Anhand von Transformationsszenarien wurden der Investitions- und Energiebedarf sowie volkswirtschaftliche und ökologische Effekte abgeschätzt. Auf dieser Basis entwickelten die Expert:innen gemeinsam mit Vertreter:innen der industriellen Praxis einen strategischen Forschungs-, Technologie- und Innovationsfahrplan, auf diesen hier explizit verwiesen wird⁷¹.

70 Klima- und Energiefonds (2023): [Transformationspfade und FTI-Fahrplan für eine klimaneutrale Industrie 2040 in Österreich - Energieforschung - Energieforschung](#)

71 Klima- und Energiefonds (2023): [FTI - Initiative für die Transformation der Industrie - Zweite Ausschreibung - Klima- und Energiefonds - Klima- und Energiefonds \(klimafonds.gv.at\)](#)

4.2 Digitalisierung des Energiesystems

Die digitale Transformation des Energiesystems bedeutet große Änderungen im Gesamtsystem. Durch die Verfügbarkeit von mehr und zeitnahen Daten wird eine effizientere Ressourcennutzung ermöglicht und neue Geschäftsmodelle entstehen.

Interoperabilität der IKT-Systeme ist dafür ein Schlüsselfaktor. Die aktive Gestaltung des europäischen Rahmens ist dabei ebenso entscheidend, wie die Harmonisierung relevanter Prozesse in der Interaktion der vernetzten Systeme. Damit können in weiterer Folge IKT-Anwendungen zur Automatisierung und Steuerung von Netzen sowie die Erzeugung, Verbrauch und Speicherung von Energie entwickelt werden, um Handlungsmöglichkeiten zu eröffnen und die Kommunikation mit den Verbrauchern im zukünftigen Energiesystem zu verbessern.

Auch die Anwendung von Satellitendaten ist für die Energiewende von großer Bedeutung, da sie es ermöglichen, erneuerbare Energiepotenziale zu identifizieren, zu überwachen und zu optimieren. Sie liefern wichtige Informationen über Standorte, Ressourcenpotenziale und Umweltauswirkungen und können zur effizienteren Planung und Umsetzung beitragen.⁷²

Innovationsziele⁷³

- 1) Sektorenübergreifende Harmonisierung der (Sektoren-)Schnittstellen und Datenaustauschprozesse und Sicherstellung von Interoperabilität in vernetzten IKT-Systemen
- 2) Digitalisierung der Energieinfrastrukturen (inkl. Netze, Kraftwerke, Gebäude), mit Fokus auf die Verteilnetze und die Einbindung der Sensorik und Aktorik
- 3) Digitalisierung industrietechnischer Anlagen zur Steigerung der Energieeffizienz und des Ressourceneinsatzes
- 4) IKT-Lösungen zur Optimierung von Einzeltechnologien in Haushalt und Gewerbe
- 5) Optimierung des Energieeinsatzes in der IKT
- 6) Entwicklung innovativer digitaler Geschäftsmodelle

72 Unterstützung bietet das Weltraumdaten-Innovationslabor „Geospace Hub Vienna“ bei der Urban Innovation Vienna. Projektergebnisse können in der Green Transition Information Factory (GTIF) visualisiert und demonstriert werden. Erste Demonstrationen zur Energiewende sind bereits online und können weiterentwickelt werden: gtif.esa.int

73 European Commission (2022): Digitalisierung des Energiesystems – EU-Aktionsplan eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022DC0552

1) Sektorenübergreifende Harmonisierung der (Sektoren-)Schnittstellen und Datenaustauschprozesse und Sicherstellung von Interoperabilität in vernetzten IKT-Systemen

Ziel ist es, die Transformation in ein digitales, dezentrales Energiesystem sicherzustellen, welches die Voraussetzung für Resilienz und Sicherheit der Systeme darstellt und das Systemverhalten hinsichtlich Effizienz und Kosten unter den veränderten Rahmenbedingungen zu optimieren ermöglicht. Für einen problemlosen Datenaustausch muss die Kommunikation bei den Anwendungsfällen entsprechend standardisiert werden, z. B. mittels Data Spaces, welche im internationalen Kontext entwickelt werden.

Für die Entwicklung von digitalen, sektorübergreifend vernetzten Systemen muss eine länderübergreifende Harmonisierung der Datenaustauschprozesse zwischen den Systemen passieren, welche alle Aspekte der technologischen, semantischen, organisatorischen und legislativen Interoperabilität erfüllt. Die aktive Gestaltung des europäischen Rahmens zur Entwicklung einer internationalen cross-border und cross-sector IT-Infrastruktur soll einen sicheren und nahtlosen Datenaustausch ermöglichen. Dabei müssen hohe Anforderungen an die Sicherheit und Resilienz eingehalten werden, wie sie auch schon in anderen Sektoren (z. B. im Gesundheitsbereich oder bei Banken) umgesetzt sind.

Die Etablierung von Testmöglichkeiten soll die Integration von Lösungen in das Gesamtsystem vereinfachen und proprietäre Lösungen verhindern.

Ein weiteres Ziel ist die Standardisierung der Schnittstellen der Hardware-Komponenten (Aktoren/Sensoren), um die Nutzung der Daten für übergeordnete IKT-Systeme zu ermöglichen (Einbeziehung aller Datenquellen/Räume inkl. Weltraumdaten etc.) Dabei muss auf die Harmonisierung auf europäischer Ebene und bestehenden (Best Practise)-Lösungen aufgebaut werden.

2) Digitalisierung der Energieinfrastrukturen (inkl. Netze, Kraftwerke, Gebäude), mit Fokus auf die Verteilnetze und die Einbindung der Sensorik und Aktorik

Ziel ist es, mit FTI zum weiteren und besseren Ausbau des Stromnetzes als Wegbereiter für ein intelligenteres und widerstandsfähigeres Energiesystem beizutragen und einen österreichweiten koordinierten Plan für die beschleunigte Einführung der erforderlichen digitalen Lösungen zu entwickeln. Dabei kann die Energieinfrastruktur durch den Einsatz von energieeffizienteren und leistungsfähigeren Komponenten, sowie die Nutzung von mehr Daten durch die Einbindung von Sensorik und Aktorik, an die sich verändernden Anforderungen des Gesamtsystems angepasst werden. Der zunehmende Einsatz von KI-Lösungen unterstützt Innovationen für verbesserte Systemsteuerungen⁷⁴.

Ziel ist es, mittels der Digitalisierung die Optimierung der Wertschöpfungsketten voranzutreiben und die Bereitstellung relevanter Informationen für Infrastrukturbetreiber zur Verfügung zu stellen. Hier kann die Darstellung und Simulation von Stromnetzen z. B. mittels Digitaler Zwillinge und ein reales Testdatenset für die Weiterentwicklung

⁷⁴ Vergleiche auch Einsatz von Leistungselektronik und Sensorik in Kap. 4.1.2

der Infrastruktur große Dienste leisten. Diese Lösungen können das Monitoring und die Maintenance der Infrastruktur erheblich effizienter machen und die Nutzung bestehender Infrastruktur verbessern. Die Erhöhung der Systemresilienz zielt damit nicht nur auf die Entwicklung auf der Produktebene ab, sondern auch auf der Ebene der Services für den Infrastrukturbetrieb, um sich von Abhängigkeiten in den Wertschöpfungsketten abzugrenzen.

Damit die Nutzung von Daten in der notwendigen Qualität sichergestellt werden kann, müssen die Möglichkeiten einer Nutzung konform der DSGVO aufgezeigt werden. Die Weiterentwicklung von digitalen Technologien (Data Spaces, Blockchain, ...) müssen darauf aufbauend entwickelt und getestet werden.

Ein weiteres Ziel ist, den Aufbau technischer Kompetenz der „Need-Owner“ (z. B. Infrastrukturbetreiber) zu forcieren, um Anreize zur technologischen Weiterentwicklung der bestehenden Infrastruktur und zur Beschleunigung der Digitalisierung zu erreichen. Die digitalisierten Systeme (Energiemanagementsysteme, Leitwarte der Zukunft, Gebäude, Industrie, ...) müssen so gestaltet werden, dass die Nutzer:innen diese einfach bedienen können. Ein digitales Infrastruktursystem bietet wesentlich mehr Infrastrukturdaten (Kapazitäten, Betriebsdaten etc.) und Steuerungsmöglichkeiten, die mit heutigen Ansätzen der Netzführung nicht mehr zu bewältigen sind.

Die digitale Infrastruktur muss trotz vermehrten Einsatzes vernetzter Technologien gegen die zunehmende Zahl an Hackerangriffen resilient gemacht werden. Hier können KI-Lösungen Hackerangriffe früh identifizieren und abwehren, die Entwicklung neuer Schutzkonzepte unterstützen und Security-Konzepte by Design vorantreiben. Digitale Lösungen sollen ein hohes Niveau an Privacy und Security, wie auch in anderen Sektoren, z. B. im Gesundheitsbereich, sicherstellen.

3) Digitalisierung industrieller Anlagen und energetischer Prozesse zur Steigerung der Energieeffizienz und des Ressourceneinsatzes

Ziel ist es, durch innovative digitale Technologien und Lösungen den Energieverbrauch im produzierenden Sektor zu reduzieren.

Mittels Digitalisierung (Sensorik, Aktorik, Internet of Things, intelligente Steuerung, M2M etc.) sind relevante Daten zu erfassen und die Optimierung der Produktionsprozesse (u. a. Steigerung der Effizienz und der Produktqualität) voranzutreiben. Umfassende Datengrundlagen sind für die Berechnung des Carbon Footprints erforderlich. Darüber hinaus soll eine Datenbasis zur Transparenz und Nachvollziehbarkeit von Lieferketten und für den digitalen Produktpass geschaffen werden.

Ein weiteres Ziel ist, durch Data Analytics (u. a. Daten der Maschinen und der Produktionslinie, sowie weiteren Unternehmensdaten) die Produktionsprozesse laufend zu optimieren und deren (Energie-)Effizienz zu verbessern. Das Prinzip *Energieeffizienz by Design* von industriellen Anlagen soll mit umfassenden Datengrundlagen etabliert werden. Die Entwicklung neuer digitaler Technologien, wie z. B. digitale Zwillinge, Cloud-

basierte Dienste, künstliche Intelligenz, Machine to Machine (M2M) Kommunikation und Augmented Reality für industrielle Anwendungen ermöglichen neue Anwendungsgebiete. Durch die Nutzung dieser Technologien sollen z. B. ganze Anlagen simuliert und optimiert werden, noch bevor man sie errichtet.

4) IKT-Lösungen zur Optimierung von Einzeltechnologien in Haushalt und Gewerbe

Ziel ist es, Einzeltechnologien in Haushalten in größere Systeme (Energiegemeinschaften, Verteilnetze) auch durch eine kommunikative Anbindung zu integrieren, um die Flexibilitätspotenziale von Haushalten und Gewerbe zu nutzen. Hier ist zur Sicherstellung der Interoperabilität zwischen den Systemen die Harmonisierung der Schnittstellen besonders wichtig, da eine große Anzahl an Wechselrichtern, Batteriesystemen, Ladestationen etc. von vielen Herstellern interagieren können müssen. Nur so werden die Voraussetzungen für Optimierungen auf lokaler oder übergeordneter Ebene möglich.

Bereits in der Entwicklung von Produkten sollen durch die Nutzung von Daten und den Einsatz von optimierten Komponenten energieeffiziente Produkte⁷⁵ zur Verfügung gestellt werden können.

Ein weiteres Ziel ist es, die Daten für nachhaltige Kaufentscheidungen den Konsument:innen bereitzustellen, sowie die Transparenz über die Lieferketten zu schaffen, wie es für den digitalen Produktpass künftig notwendig ist.

5) Optimierung des Energieeinsatzes der IKT-Lösungen und Komponenten

Ziel ist es, den Energieverbrauch digitaler Technologien zu verringern, die Energieeffizienz zu steigern und die Kreislaufwirtschaft in der IKT-Branche voranzutreiben. Bei der Entwicklung neuer Technologien, wie z. B. Blockchain, Hochleistungs- und Quanteninformatik ist deren Energieeinsatz zu minimieren. Ebenso soll die Energieeffizienz von rechenintensiven und somit auch energieintensiven Anwendungen wie Machine-Learning und künstlicher Intelligenz gesteigert werden (z. B. Neuromorphic Computing).

Ziel ist es, durch die organisationsübergreifende Nutzung von Daten und Datenräumen die Grundlage für effizientere und optimierte Ressourcennutzung in der IKT zu schaffen. Dadurch können neue zusätzliche Quellen des IKT-bezogenen Energieverbrauchs erschlossen (z. B. Wiederverwendung von Abwärme aus Rechenzentren) und Möglichkeiten für den Übergang zu kreislaforientierten Modellen (längere Lebensdauer, Reparierbarkeit, Wiederverwendung und Recyclingfähigkeit) geschaffen werden.

6) Entwicklung innovativer digitaler Geschäftsmodelle

Ziel ist die Entwicklung und Etablierung von Datenplattformen als Grundlage für neue Geschäftsmodelle z. B. für den Handel von Strom, Wärme, Flexibilitäten oder Energiegemeinschaften (Ausbau der "data hubs" als Marktplätze für Daten). Die Qualität und Aktualität der Daten, sowie der barrierefreien Zugänge zu Echtzeit-Daten spielen dabei eine entscheidende Rolle für alle darauf aufbauenden Services und Geschäftsmodelle.

⁷⁵ Vergleiche hierzu auch Innovationsziele in Kap.3.3

Ziel ist der Aufbau eines österreichweiten Energiedatenraums und die Anbindung an den EU-weiten Energiedatenraum, sowie die Schaffung von Datengrundlagen für KI-Services (Training & Betrieb). Auf dieser Basis sollen neue Use Cases und Geschäftsmodelle für KI-Anwendungen entwickelt und in Pilotprojekten sowie Reallaboren implementiert werden.

Ziel ist die Entwicklung und Etablierung von Prozessen und Methoden zur Einbindung der Verbraucher:innen in das Energiesystem als aktive Teilnehmer:innen, sowie die Entwicklung von datenbasierten Services für Endkund:innen.

Ziel ist es, ein klares Verständnis der Rollen und Verantwortlichkeiten der relevanten Stakeholder zum Gelingen der digitalen Transformation der Energiewende zu schaffen. Besonders für die Netz- und Infrastrukturbetreiber sollen Innovationsanreize geschaffen werden, damit sie die Digitalisierung als Teil ihres Auftrags verstehen und unterstützen.

Ziel ist der Wissensaufbau und die Wissensvermittlung zu rechtlichen Fragen z. B. hinsichtlich Data Act oder KI-Anwendungen sowie Klärung von ethischen Fragestellungen.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Positive Rückkopplung zwischen zielsicherer Energiewende und erfolgreichen Innovations-Akteur:innen. (Quelle: eigene Darstellung)	8
Abbildung 2: Drei Dimensionen der Energieinnovation	10
Abbildung 3: Budgetübersicht.....	13
Abbildung 4: Notwendige Systemveränderungen für die grüne und digitale Transformation. Quelle: eigene Darstellung, angelehnt an TNO (2023) White Paper on High-Tech Industry 2040.	15
Abbildung 5 Whole-of-Government-Ansatz des BMK. Quelle: BMK, eigene Darstellung	16
Abbildung 6: Die Impact Pathways der Energiewende und Schnittmengen mit weiteren Innovationsfeldern (Quelle: eigene Darstellung).....	18
Abbildung 7: Dreisprung vom Problem zur Systemeinwirkung (Impact) Quelle: eigene Darstellung.....	19
Abbildung 8: Impact Pathway 1: Erfolgreiche Energiewende in Österreich	20
Abbildung 9: Impact Pathway 2: Österreichische Akteur:innen in globalen Wertschöpfungsketten	22
Abbildung 10: Impact Pathway 3: Zukunftskompetenz im FTI-System	23
Abbildung 11: Schwerpunktthemen und Querschnittsanforderungen im Überblick.....	25
Abbildung 12: Schwerpunktthemen und Querschnittsanforderungen im Portfolio-Überblick	27
Abbildung 13: Der Wertschöpfungskreislauf (© Projektfabrik Waldhör)	32

Quellenverzeichnis

Bitkom e.V. (2024). Klimaeffekte der Digitalisierung - Studie zur Abschätzung des Beitrags digitaler Technologien zum Klimaschutz in Deutschland. Abgerufen am 17. April 2024 von bitkom.org/sites/main/files/2024-02/bitkom-studie-klimaeffekte-der-digitalisierung-2.pdf

BMK. (2020). Forschungsfragen zu netzgebundenem Heizen und Kühlen - Expertenpapier der Fokusgruppen zur Energieforschung. Abgerufen am 17. April 2024 von nachhaltigwirtschaften.at/resources/sdz_pdf/events/20210119-sdz-tws/2_Wedler_Waermernetz.pdf?m=1611581072&

BMK. (2020). Umsetzungsplan zur Energieforschungsinitiative in der Klima- und Energiestrategie Teil 1: Missionen und Innovationsziele. Wien.

BMK. (2021). Die FTI-Initiative Kreislaufwirtschaft. Abgerufen am 17. April 2024 von nachhaltigwirtschaften.at/de/themen/kreislaufwirtschaft/fit-initiative-klw.php

BMK. (2022). FTI-Roadmap Geothermie. Abgerufen am 17. April 2024 von nachhaltigwirtschaften.at/resources/nw_pdf/BMK_Geothermie_Roadmap.pdf

BMK. (2022). Impact- und Evaluierungsplan Schwerpunkt Energiewende. Wien.

BMK. (07. Dezember 2022). Kreislaufwirtschafts-Strategie. Abgerufen am 17. April 2024 von bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/abfall/Kreislaufwirtschaft/strategie.html

BMK. (2022). Wasserstoffstrategie für Österreich. Abgerufen am 17. April 2024 von bmk.gv.at/themen/energie/energieversorgung/wasserstoff/strategie.html

BMK. (04. Juli 2023). Der Beitrag von Wärmepumpen zur Wärmewende - Unterlage zum Branchentreff am 4. Juli 2023. Abgerufen am 17. April 2024 von bmk.gv.at/themen/energie/publikationen/beitrag-waermepumpen.html

BMK. (2023). Transformative Innovationspolitik im BMK. Policy Paper, Wien.

BMK. (kein Datum). Smart Grid Roadmap.

bmvit. (2016). Österreichische Technologie-Roadmap für Wärmepumpen. Abgerufen am 17. April 2024 von nachhaltigwirtschaften.at/resources/nw_pdf/1608_endbericht_oesterreichische_technologieroadmap_fuer_waermepumpen.pdf?m=1469661515&

bmvit. (2016). Strategic Research Agenda zur Entwicklung eines intelligenten Energiesystems in und aus Österreich. Abgerufen am 17. April 2024 von nachhaltigwirtschaften.at/resources/e2050_pdf/reports/1604_strategic_research_agenda_2016.pdf?m=1646753328&

bmvit. (2016). Technologie-Roadmap für Photovoltaik in Österreich. Abgerufen am 17. April 2024 von [nachhaltigwirtschaften.at: nachhaltigwirtschaften.at/resources/edz_pdf/1615_technologie_roadmap_photovoltaik.pdf](https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/edz_pdf/1615_technologie_roadmap_photovoltaik.pdf)

bmvit. (2018). Photovoltaik - Technologie-Roadmap Teil 2. Abgerufen am 17. April 2024 von [nachhaltigwirtschaften.at: nachhaltigwirtschaften.at/resources/iea_pdf/schriftenreihe_2018-27_pv-roadmap.pdf](https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/iea_pdf/schriftenreihe_2018-27_pv-roadmap.pdf)

bmvit, Fink, C., & Preiß, D. (2014). Roadmap Solarwärme 2025. Abgerufen am 17. April 2024 von [nachhaltigwirtschaften.at: nachhaltigwirtschaften.at/de/e2050/publikationen/roadmap-solarwaerme-2025.php](https://nachhaltigwirtschaften.at/de/e2050/publikationen/roadmap-solarwaerme-2025.php)

BMWK. (05. Mai 2023). Photovoltaik-Strategie - Handlungsfelder und Maßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der Photovoltaik. Abgerufen am 17. April 2024 von bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/photovoltaik-strategie-2023.pdf?__blob=publicationFile&v=8

CETPartnership. (November 2020). Strategic Research and Innovation Agenda. Abgerufen am 17. April 2024 von horizoneuropencpportal.eu/sites/default/files/2023-09/cetp-sria-2020.pdf

CETPartnership. (2024). TRI 4: Efficient zero emission Heating and Cooling Solutions. Abgerufen am 17. April 2024 von cetpartnership.eu/tri/4

EERA, E. (2022). EERA REPowerEU Manifesto. Abgerufen am 17. April 2024 von eera-set.eu/component/attachments/?task=download&id=928:EERA_REPowerEU_Manifesto_Final

EU, E. (21. Oktober 2009). Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte (Neufassung). Brüssel.

European Commission. (2022). Clean Hydrogen Europe - Strategic Research and Innovation Agenda 2021 – 2027. Abgerufen am 17. April 2024 von clean-hydrogen.europa.eu/about-us/key-documents/strategic-research-and-innovation-agenda_en

European Commission. (18. Oktober 2022). Fragen und Antworten: EU-Aktionsplan zur Digitalisierung des Energiesystems. Abgerufen am 17. April 2024 von ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/qanda_22_6229

European Commission. (18. Oktober 2022). Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen - Digitalisierung des Energiesystems - EU-Aktionsplan. Abgerufen am 17. April 2024 von eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022DC0552

European Commission. (Mai 2022). REPowerEU - Affordable, secure and sustainable energy for Europe. Abgerufen am 10. April 2024 von REPowerEU - Affordable, secure and sustainable energy for Europe: commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en

European Commission. (2023). European Critical Raw Materials Act. Abgerufen am 17. April 2024 von commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/green-deal-industrial-plan/european-critical-raw-materials-act_en

European Commission. (2023). Fit for 55: Delivering on the proposal. Abgerufen am 17. April 2024 von europa.eu: commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal/fit-55-delivering-proposals_en

European Commission. (16. März 2023). Net Zero Industry Act. Abgerufen am 17. April 2024 von Net Zero Industry Act: single-market-economy.ec.europa.eu/publications/net-zero-industry-act_en

European Commission. (01. 02 2023). Press corner: The Green Deal Industrial Plan: putting Europe's net-zero industry in the lead. Abgerufen am 17. April 2024 von europa.eu: ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_510

European Commission. (2023). The Green Deal Industrial Plan. Abgerufen am 17. April 2024 von commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/green-deal-industrial-plan_en

European Commission. (2024). Ecodesign for Sustainable Products Regulation. Abgerufen am 17. April 2024 von commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/sustainable-products/ecodesign-sustainable-products-regulation_en

European Commission, Directorate-General for Energy, Berkhout, V., Villeviere, C., Bergsträßer, J., Klobasa, M., . . . Breitschopf, B. (2023). Common European Energy Data Space. Brüssel: Publication Office of the European Union. doi:doi/10.2833/354447

IEA. (2020). Renewable Energy Policies in a Time of Transition: Heating and Cooling. Abgerufen am 17. April 2024 von [iea.org/reports/renewable-energy-policies-in-a-time-of-transition-heating-and-cooling](https://www.iea.org/reports/renewable-energy-policies-in-a-time-of-transition-heating-and-cooling)

IEA. (2022). Markterhebung Wärmepumpe. Abgerufen am 17. April 2024 von nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/publikationen/markterhebungen.php

IEA. (Dezember 2022). World Energy Outlook - The Future of Heat Pumps. Abgerufen am 17. April 2024 von iea.blob.core.windows.net/assets/01324438-d634-4d49-95d8-3d08aaab00d5/TheFutureofHeatPumps.pdf

IEA Forschungskoooperation. (2024). IEA Energiespeicher (ES) - Energiespeicher im Rahmen von open4innovation. Abgerufen am 17. April 2024 von nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/technologieprogramme/es/

IEA Forschungskoooperationen. (2024). IEA Windenergiesysteme (Wind TCP). Abgerufen am 17. April 2024 von nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/technologieprogramme/wind

IEA SHC, I. S. (2020). IEA Solar Heating & Cooling. Abgerufen am 17. April 2024 von iea-shc.org

Innovation Fund Denmark. (2018). Societal Readiness Levels (SRL) defined according to Innovation Fund. Abgerufen am 17. April 2024 von innovationsfonden.dk/sites/default/files/2018-08/societal_readiness_levels_-_srl.pdf

KLIEN. (August 2018). Technologie-Roadmap - Energiespeichersysteme in und aus Österreich. Abgerufen am 17. April 2024 von klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/16/Technologieroadmap_Energiespeichersysteme2018.pdf

KLIEN. (2020). EnergyTransition2050 - Industrial Excess Heat - INXS Erhebung industrieller Abwärmepotenziale in Österreich. Abgerufen am 17. April 2024 von energieforschung.at/projekt/industrial-excess-heat-erhebung-industrieller-abwaerme-potentiale-in-oesterreich

KLIEN. (2023). transform.industry - Transformationspfade und FTI-Fahrplan für eine klimaneutrale Industrie 2040 in Österreich. Abgerufen am 17. April 2024 von energieforschung.at/projekt/transformationspfade-und-fti-fahrplan-fuer-eine-klimaneutrale-industrie-2040-in-oesterreich

KLIEN. (2024). Ein Modell zur Bewertung des Reifegrads von urbanen Innovationen für die klimaneutrale Stadt. FuE DL Projektnummer 47249725.

KLIEN, & BMK. (2021). energy innovation austria - Energiespeicher - Schlüsseltechnologien für die Energiewende. Abgerufen am 17. April 2024 von energy-innovation-austria.at/issue/eia-2021-05-de/

Telsnig, T. (2020). Wind Energy Technology Development Report 2020, EUR 30503 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union. doi:10.2760/742137

Telsnig, T., Georgakaki, A., Letout, S., Kuokkanen, A., Mountraki, A., Ince, E., . . . Grabowska, M. (2022). Clean Energy Technology Observatory: Wind Energy in the European Union – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets,. Luxembourg: Publications Office of the European Union. doi:10.2760/855840

WKO, W. (08. April 2024). EU Green Deal - Monitoring der Bundessparte Industrie zu relevanten Dossiers des Green Deal. Abgerufen am 17. April 2024 von The Green Deal Industrial Plan: putting Europe's net-zero industry in the lead

Zach, F., Kulterer, K., & Simader, G. (April 2022). Analyse von CCU-Technologien im Kontext konventioneller Energieeffizienz- und Klimaschutzmaßnahmen in Österreich. (BMK, Hrsg.) Abgerufen am 17. April 2024 von nachhaltigwirtschaften.at/resources/nw_pdf/schriftenreihe/schriftenreihe-2022-34-ccu-in-oesterreich.pdf

