

4/2016

NACHHALTIGwirtschaften

Strategic Research Agenda

zur Entwicklung eines intelligenten Energiesystems in und aus Österreich



Bericht aus Energie- und Umweltforschung

4/2016

Strategic Research Agenda

**zur Entwicklung eines intelligenten Energiesystems
in und aus Österreich**

Wien, April 2016

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Koordination BMVIT:

Michael Hübner,
BMVIT, Abteilung III/I 3 - Energie-
und Umwelttechnologien
Elisabeth Mosnik,
BMVIT, Abteilung III/I 5 -
Informations- und industrielle Technologien
Michael Brugger,
BMVIT, Stabstelle Technologietransfer
und Sicherheitsforschung

Autoren und Koordination:

Helfried Brunner,
AIT Austrian Institute of Technology GmbH
Irmgard Herold,
AIT Austrian Institute of Technology GmbH
Klaus Kubezko,
AIT Austrian Institute of Technology GmbH
Ralf-Roman Schmidt,
AIT Austrian Institute of Technology GmbH
Tanja Tötzer,
AIT Austrian Institute of Technology GmbH
Doris Wilhelmer,
AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Mit inhaltlichen Beiträgen von:

Christoph Brunner, AEE INTEC
Ferdinand Aicher, AICO EDV-Beratung
Wolfgang Hribemik,
AIT Austrian Institute of Technology GmbH
Daniel Barben,
Alpen-Adria-Universität Klagenfurt
Gerhard Leitner,
Alpen-Adria-Universität Klagenfurt
Andreas Indinger, Austrian Energy Agency
Johann Höchtl, Donau-Universität Krems

Andrea Kollmann, Energieinstitut
an der Johannes Kepler Universität Linz
Robert Tichler, Energieinstitut
an der Johannes Kepler Universität Linz
Christof Sumereder, FH Joanneum
Uwe Trattnig, FH Joanneum
Georg Konrad, FH Kufstein
Wolfgang Woyke, FH Kufstein
Dominik Engel, FH Salzburg
Wolfgang Aigner, FH St. Pölten
Hubert Fechner, FH Technikum Wien
Peter Zeller, FH Wels
Kurt Könighofer, Joanneum Research
Elvira Lutter, Klima- und Energiefonds
Thomas Kienberger, Montanuniversität Leoben
Michael Ornetzeder,
Österreichische Akademie der Wissenschaften
Ursula Mollay,
Österreichisches Institut für Raumplanung
Helmut Strasser, Salzburger Institut
für Raumplanung und Wohnen (SIR)
Ulrich Hofmann,
Salzburg Research Forschungsgesellschaft mbH
Hans Schnitzer, StadtLABOR Graz
Lothar Fickert, Technische Universität Graz
Hans Auer, Technische Universität Wien
Wolfgang Gawlik, Technische Universität Wien
Georg Lettner, Technische Universität Wien
Gudrun Weinwurm, Technische Universität Wien
Tanja Zseby, Technische Universität Wien
Gernot Stöglehner,
Universität für Bodenkultur, Wien
Franz Wirl, Universität Wien
Verena Madner, Wirtschaftsuniversität Wien
Manfred Tragner, 4ward Energy
Research GmbH

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichwohl für beiderlei Geschlecht



Vorwort

Der Umbau und die Modernisierung unserer Energieversorgungssysteme ist eine der wichtigsten und spannendsten Innovationsaufgaben am Beginn des 21. Jahrhunderts. Neue Technologien ermöglichen es zunehmend, elektrische Energie dezentral und vornehmlich aus erneuerbaren Quellen zu produzieren. Gleichzeitig erlaubt es die immer stärkere informationstechnische Vernetzung, unsere Energiesysteme besser zu steuern. Die fortschreitende Digitalisierung wird die Energiewelt nachhaltig verändern.

Wir wollen diese Entwicklung aktiv mitgestalten und so den Wirtschaftsstandort Österreich zweifach stärken:

Erstens indem wir eine hochleistungsfähige und effiziente Infrastruktur aufbauen, die eine umweltverträgliche Energieversorgung sicherstellt. Diese Infrastruktur ermöglicht zudem attraktive Dienstleistungen für

die Bürgerinnen und Bürger – vom Energiemanagement bis hin zur Nutzung von Elektromobilität. Zweitens können wir dadurch neue Chancen für österreichische Betriebe schaffen. Der Markt für Energietechnologien und -services sowie für entsprechende Planungs- und Forschungsdienstleistungen ist zunehmend vom globalen Wettbewerb geprägt. Hier gilt es, sich zu positionieren und zu behaupten.

Die vorliegende Strategische Forschungsagenda, die wir im Strategieprozess Smart Grids 2.0 gemeinsam mit österreichischen Forschungsinstituten erstellt haben, soll uns helfen, diese Vorhaben zu verwirklichen.

Gerald Klug
Bundesminister für Verkehr, Innovation
und Technologie

Management Summary

Die vorliegende Strategic Research Agenda (SRA) zur Entwicklung eines intelligenten Energiesystems in und aus Österreich ermittelt den langfristigen Forschungsbedarf im Hinblick auf die Optimierung und Ertüchtigung der gesamten heimischen Energieinfrastruktur vor dem Hintergrund der Herausforderungen, die für den Energiesektor zu erwarten sind; der angenommene Zeithorizont ist 2035. Ziel ist die spartenübergreifende Betrachtung aller dafür relevanten Themen und das Aufzeigen von Synergien, die sich im Kontext des derzeit beobachtbaren und künftig zu erwartenden Übergangs zu integrierter Energie- und IKT-Infrastrukturen ergeben. Damit kann von Österreich aus die Umsetzung der Europäischen Energieunion¹ maßgeblich unterstützt werden. Zentrale Ziele der Energieunion sind die Steigerung der Versorgungssicherheit durch eine Diversifizierung der Energieträger, die effizientere Nutzung der erzeugten Energie, ein vollständig integrierter Energiebinnenmarkt sowie Klimaschutz und Emissionsminderung. Aus diesen Vorgaben sowie dem Bestreben, die bei der UN-Klimakonferenz 2015 in Paris vereinbarten ambitionierten Klimaziele zu berücksichtigen, ergibt sich die Notwendigkeit, die unter dem Stichwort „intelligentes Energiesystem“

subsumierten Ziele und Fragestellungen für die begleitende Forschung und Innovation genauer zu definieren.

Hier setzt die SRA an, die in einem partizipativen Prozess unter Einbindung der österreichischen Forschungsakteure und zentraler Akteurs- und Stakeholdergruppen erstellt wurde. Ziel war es, einerseits die relevanten Themenfelder zu identifizieren und auszuarbeiten und andererseits die österreichischen Forschungsinstitutionen mit ihren jeweiligen Kompetenzbereichen aufzuzeigen und einzubeziehen. Aus den unterschiedlichen Domänen wurden vier Themenfelder zur intensiven Betrachtung und detaillierten Evaluierung des Innovations- und Forschungsbedarfs herausgearbeitet:

- Energieträgerübergreifende und raumspezifische Infrastrukturentwicklung
- Governance der Energiewende
- Elektrizitätssystem
- Leitungsgebundene Wärme- und Kälteversorgung (Wärme- und Gasnetze, Fernkälte)

Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) sowie Speichertechnologien und Fragen der Energieeffizienz, welche für alle Energienetze und insbesondere

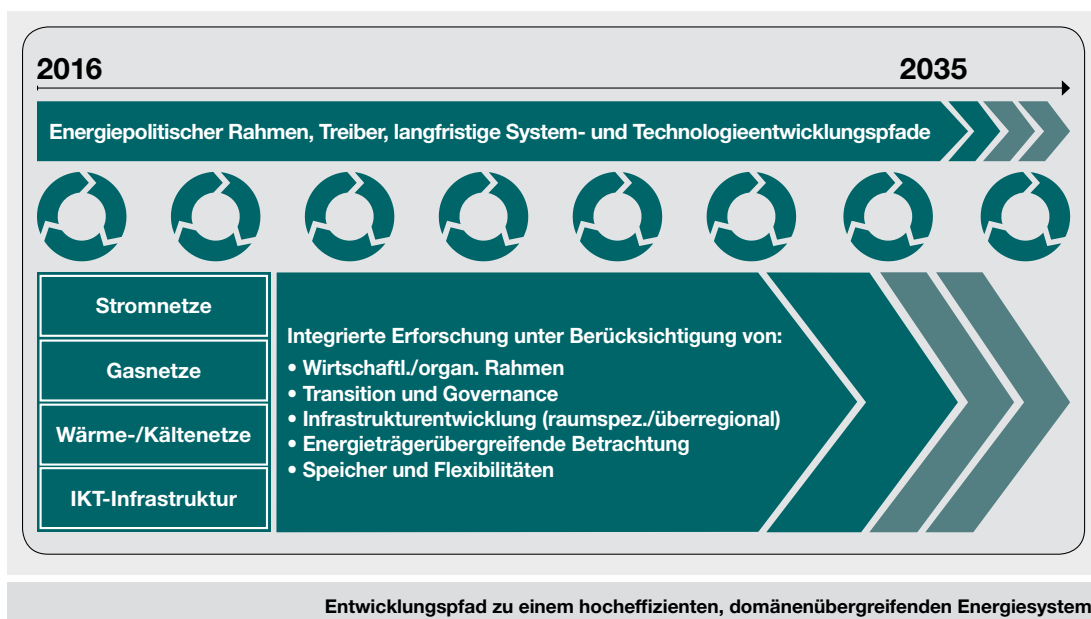
¹ http://ec.europa.eu/priorities/energy-union-and-climate_de

für deren Integration und die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle relevant sind, wurden unter „Cross-cutting Issues“ zusammengefasst.

Es hat sich in allen Themenfeldern gezeigt, dass übergreifende Lösungen und integrative Systembetrachtungen unter Berücksichtigung gesellschaftlicher und ökonomischer Aspekte von enormer Wichtigkeit sind, wenn es um die Umsetzung eines zukunftsfähigen Energiesystems geht. Ein we-

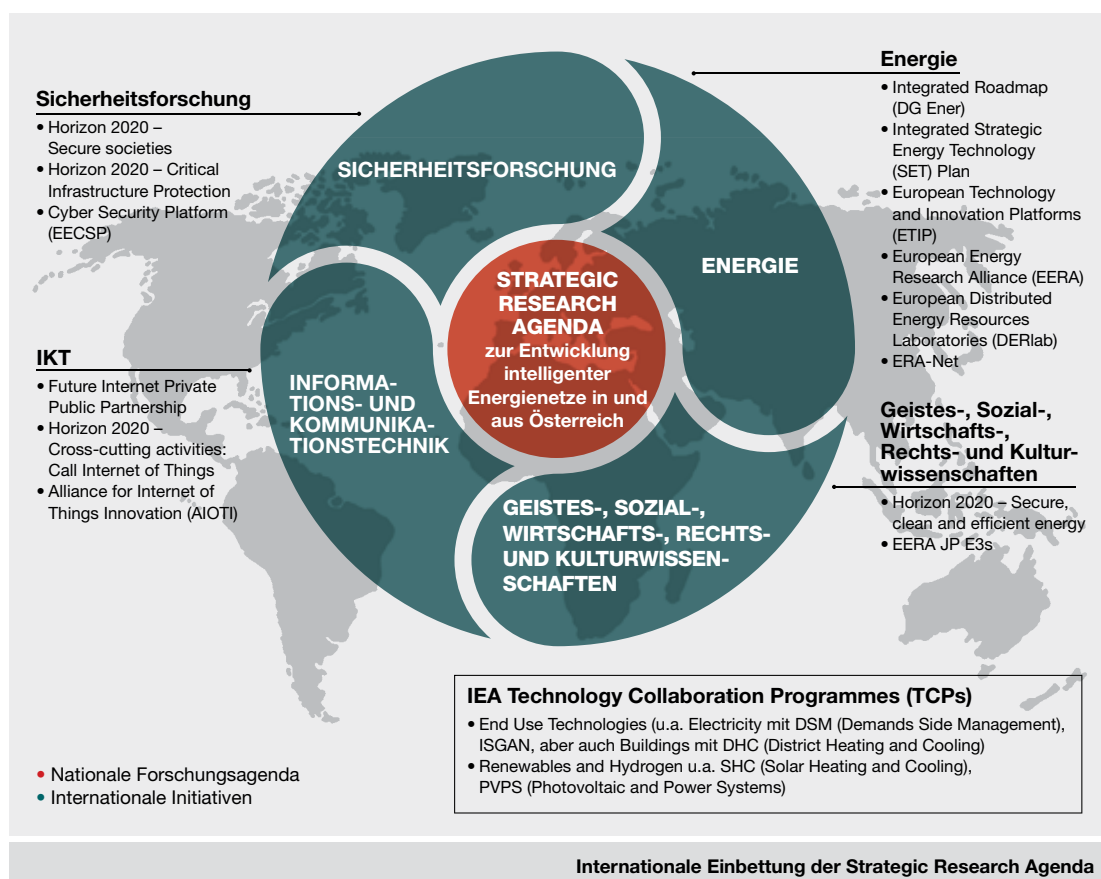
sentlicher Faktor dabei ist die mit Beginn des 21. Jahrhunderts einsetzende „Demokratisierung“ des Energiesystems, die eine drastische Veränderung der Akteurslandschaft bedingt. Erstmals haben alle Nutzer von Energienetzen die Möglichkeit, eine aktive Rolle einzunehmen, indem sie sowohl Endverbraucher als auch Erzeuger sein oder Speicher- und Flexibilitätsservices bereitstellen können.

Eine systemische Erforschung des zukünftigen Energiesystems lässt sich nicht



der klassischen technologischen Innovationskette von Grundlagenforschung zu industrieller Forschung, experimenteller Entwicklung und schließlich Demonstration zuordnen. Vielmehr handelt es sich um eine iterative Weiterentwicklung, wobei auf Basis der Erfahrungen grundlegend neue Forschungsaspekte entstehen können. So kann zum Beispiel das Zusam-

menführen ausgereifter Einzeltechnologien aus systemischer Sicht grundlegend neue Forschungsfragen aufwerfen. Weiters ist eine laufende Evaluierung des energiepolitischen Rahmens und langfristiger System- und Technologieoptionen notwendig. Die SRA fokussiert zwar auf interdisziplinäre und systemische Fragestellungen und nicht auf die eben-



falls notwendige Erforschung von Einzeltechnologien im Energiebereich, jedoch besteht zweifelsohne ein Zusammenhang zwischen bzw. eine Interdependenz von Technologie- und Energiesystemforschung.

Es ist davon auszugehen, dass sich die begleitende Forschung zur Transition in Richtung eines intelligenten Energiesystems aufgrund der historischen Trennung der Themenfelder und der langen Zeiträume in den Innovationszyklen der Energiewirtschaft in drei Phasen gliedern wird. In der bereits gestarteten ersten Phase liegt der Fokus auf der Weiterentwicklung von Methoden und Lösungen für jedes der vier identifizierten Themenfelder unter besonderer Betrachtung ihrer Schnittstellen. Dies legt die Basis für die zweite Phase, in der eine weitreichende interdisziplinäre Forschung unter Einschluss von Koevolution, Vernetzung und Integration der Themenfelder möglich ist. In der dritten Phase wird auf die Weiterentwicklung des in der Praxis zunehmend integrierten Energiesystems und die Einbindung der bereits gesammelten Erfahrungen fokussiert.

Innerhalb der Europäischen Energieunion kann das Energiesystem der Zukunft nicht losgelöst von europäischen Entwicklungen gestaltet werden. Der heimischen Forschungslandschaft kommt hierbei eine integrative Funktion zu. Einerseits, um nationale Problemstellungen und innovative Lösungen in den internationalen Diskurs

einzubringen, und andererseits, um die frühzeitige Berücksichtigung internationaler Forschungsergebnisse und globaler Trends in der nationalen Energieforschung und der Entwicklung der Energienetze sicherzustellen.

Die Analyse der in der SRA definierten Herausforderungen und die Beantwortung der damit verbundenen Forschungsfragen ermöglichen das Erreichen der europäischen Energieziele. Im Zuge der Erstellung der SRA wurde folgende Vision für ein zukünftiges intelligentes Energiesystem in Österreich formuliert: „Das intelligente Energiesystem 2050 basiert auf einer über alle energietechnischen Domänen durch IKT integrierten Infrastruktur mit einem sehr hohen Anteil an erneuerbarer Energieerzeugung. Es berücksichtigt den Gesichtspunkt der sozialen Gerechtigkeit in einer sich wandelnden Gesellschaft. Viele NutzerInnen von Energienetzen machen von der Möglichkeit Gebrauch, eine aktive Rolle als EinspeiserInnen oder als BereitstellerInnen von Speicher- und Flexibilitätservices zu spielen. Innovative Lösungen zur Gestaltung energieeffizienter, nachhaltiger, resilienter Energienetze ermöglichen und befördern diesen Gebrauch. Nach der Einführung intelligenter Energienetze auf dem Leitmarkt Österreich kann das Land europäische und internationale Vorbildfunktion erlangen und als Inkubator neuer Geschäftsmodelle, Dienstleistungen und Produkte dienen.“



Inhalt

1.	Einleitung	10
1.1.	Hintergrund	11
1.2.	Ziele und Aufgaben der SRA	12
1.3.	Methodik	12
1.4.	Ablauf des partizipativen Prozesses	14
1.5.	Struktur	16
2.	Motivation	17
2.1.	Trends und Treiber	18
2.2.	Herausforderungen für das zukünftige Energiesystem	21
3.	Stakeholder im Energiesystem 2035	23
4.	Strategische Forschungsfelder	26
4.1.	Identifizierte Forschungsfelder und die Ausgangssituation in Österreich	27
4.2.	Energieträgerübergreifende und raumspezifische Infrastrukturentwicklung	28
4.3.	Governance der Energiewende – Transition Governance	36
4.4.	Elektrizitätssystem	47
4.5.	Leitungsgebundene Wärme- und Kälteversorgung (Wärme- und Gasnetze, Fernkälte)	52
4.6.	Cross-cutting Issues	61
5.	Die österreichische Forschungslandschaft	65
6.	Interaktion der österreichischen Forschungslandschaft mit internationalen Initiativen	68
7.	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	74
8.	Anhang	80
8.1.	Details zum partizipativen Prozess (Workshops)	81
8.2.	Stakeholder im Energiesystem 2035	86
8.3.	Die österreichische Forschungslandkarte im Detail	91
9.	Abbildungsverzeichnis	92
10.	Quellenverzeichnis	92
11.	Abkürzungen	95

1.	2.	3.	4.	5.	6.
Einleitung	Motivation	Stakeholder im Energiesystem 2035	Strategische Forschungsfelder	Die österreichische Forschungslandschaft	Interaktion der österreichischen Forschungslandschaft mit internationalen Initiativen

1.

Einleitung

2.

Motivation

3.

Stakeholder im Energiesystem 2035

4.

Strategische Forschungsfelder

5.

Die österreichische Forschungslandschaft

6.

Interaktion der österreichischen Forschungslandschaft mit internationalen Initiativen

7.

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

8.

Anhang

1.1. Hintergrund

Energie ist einer der vier zentralen Forschungsschwerpunkte des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) und wurde von der Bundesregierung unter dem Thema „Klimawandel und knappe Ressourcen“ als wichtiges und gesellschaftlich relevantes Forschungsthema festgelegt (BMVIT 2011).

Der thematische Fokus der österreichischen Energieforschung liegt auf Energieeffizienz, erneuerbaren Energieträgern und intelligenten Energiesystemen. Die für Österreich prioritären Themenfelder wurden im Rahmen des Strategieprozesses Energie 2050 erarbeitet und sind in entsprechend modifizierter Form auch für zukünftige Schwerpunkte relevant: Energiesysteme und Netze, fortgeschrittene biogene Brennstoffproduktion (inklusive Bioraffinerie), Energie in Industrie und Gewerbe, Energie in Gebäuden, Energie und Endverbraucher, fortgeschrittene Verbrennungs- und Umwandlungstechnologien.

Der BMVIT-Schwerpunkt Smart Grids beschäftigt sich mit der Weiterentwicklung der Energienetze zu integrierten Energie- und IKT-Infrastrukturen als intelligente Infrastrukturbasis für die zukünftigen Energiesysteme und -märkte. Der Schwerpunkt leistet wesentliche Beiträge zur Modernisierung der Energieinfrastruktur und unterstützt die Zielsetzungen der Klima- und Energiepolitik (z. B. erneuerbare Energien, Effizienz, Liberalisierung), der Verkehrspolitik (Elektromobilität) und Technologiepolitik (Konvergenz von Technologien und Anwendungen, Technologiestandort Europa etc.). Das Thema stellt einen deklarierten österreichischen Schwerpunkt im eu-

ropäischen SET-Plan (EC 2010) dar. Das Forschungsgebiet zeichnet sich aus durch Interdisziplinarität, neue Kooperations- und Akteurskonstellationen, einen hohen Grad an Kooperation auf europäischer Ebene sowie durch die Interdependenz von technischen Innovationen und der Weiterentwicklung des Marktrahmens (regulierte und freie Märkte im Bereich Energie und Telekommunikation).

Im Zuge der Erarbeitung von Elementen einer österreichischen Einführungsstrategie für Smart Grids und insbesondere der Weiterentwicklung der F&E-Schwerpunkte zum Thema Energienetze und -systeme sollen die bisherigen Ergebnisse von Smart Grids F&E bzw. Demonstrationsprojekten sowie der seitens des BMVIT etablierten Begleitforschung aufgearbeitet und zu einer umfassenden weiterführenden Strategie² verarbeitet werden. Die Strategic Research Agenda (SRA) ist ein zentraler Bestandteil dieser Strategie und soll den langfristigen Forschungsbedarf für die Entwicklung von Smart Grids/ Smart Systems darstellen („Effiziente, leistungsfähige und leistbare Energieinfrastruktur der Zukunft“). Dabei soll über den derzeitigen engen „Smart Grids“-Begriff deutlich hinausgedacht und die längerfristige Entwicklung im Energie- und IKT-Sektor antizipiert werden. In diesem Sinn wird sparten-, disziplinen- und sektorübergreifend gedacht werden.

Parallel dazu wurde zwischen 2013 und 2015 der „F&E-Fahrplan Fernwärme und Fernkälte: Innovationen aus Österreich“ im Auftrag des Klima- und Energiefonds erstellt. Ziel ist neben einer Technologieroadmap die Definition einer strategischen Forschungsagenda inkl. Begleitmaßnahmen

² Forschungs-, Technologie- und Innovations- (FTI-) Strategie Smart Grids 2.0
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at/results.html/id7514>

1.	2.	3.	4.	5.	6.
Einleitung	Motivation	Stakeholder im Energiesystem 2035	Strategische Forschungsfelder	Die österreichische Forschungslandschaft	Interaktion der österreichischen Forschungslandschaft mit internationalen Initiativen

und Forschungsinfrastruktur zur Forcierung einer effizienten Fernwärme- und Kältenutzung in Österreich und Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit relevanter österreichischer Technologieanbieter. Hierfür wurde im Rahmen von mehreren Workshops und Experteninterviews die gesamte Fernwärmebranche adressiert. Es wurden neben Herstellern von konkreten Technologien (z. B. Regelungstechnik, Übergabestationen) auch diverse Netzbetreiber und Hersteller von Erzeugungsanlagen, Planer/Entwickler, Interessensverbände, Energiewirtschaft, Vertreter der produzierenden Industrie, Finanzierungseinrichtungen, Forschungsförderungsgagenturen anderer Länder sowie Universitäten, Forschungseinrichtungen, Ausbildungseinrichtungen und Consultants angesprochen. Dazu wurde ein Advisory Board eingerichtet, bei dem neben allen wesentlichen Fernwärmeversorgungsunternehmen in Österreich auch der Fachverband Gas-Wärme, Vertreter der Städte und Gemeinden (Städtebund, e5-Gemeinden), Vertreter der Verbraucher (Verband gemeinnütziger Bauvereinigungen, AK) und Vertreter der Industrie (OMV, Voest) Mitglieder sind. Es fanden insgesamt vier sehr erfolgreiche Workshops zu den Themenfeldern „Systemische Herausforderungen“, „Technologische Entwicklungen“, „Begleitmaßnahmen“ sowie „Handlungsempfehlungen“ und diverse Experteninterviews statt. Die Ergebnisse bilden eine wesentliche Grundlage dieser Roadmap.

1.2. Ziele und Aufgaben der SRA

Die vorliegende Strategic Research Agenda ermittelt den langfristigen Forschungsbedarf im Hinblick auf die Optimierung der gesamten Energieinfrastruktur mit dem Zeithorizont 2035. Das Ziel ist die sparten-

übergreifende Betrachtung aller relevanten Themen und das Aufzeigen von Synergien vor dem Hintergrund des Übergangs zu integrierten Energie- und IKT-Infrastrukturen. Für die Erreichung dieses Zieles wird ein gemeinsamer Prozess mit bestehenden und neuen österreichischen Forschungsakteuren implementiert. Die einzelnen Themenbereiche und Domänen (z. B. Elektrizitätsnetze, Fernwärme) werden in Arbeitsgruppen behandelt und dann zu einer gesamtheitlichen SRA konsolidiert. Folgende Schwerpunkte werden in der SRA gesetzt und behandelt:

- Identifikation und Screening relevanter Initiativen, Studien und SRAs im internationalen Vergleich
- Erstmalige disziplinen- und sektorenübergreifende Analyse von Energieinfrastruktur- Forschungsthemen in Österreich
- Implementierung eines partizipativen Prozesses mit den relevanten Forschungsakteuren sowie die Erstellung einer „Landkarte“ der Forschungsakteure in Österreich
- Definition und Darstellung von Interaktion (bidirektional) und Schnittstellen mit internationalen Initiativen (SET-Plan: EII, EERA; ISGAN; Smart Grids D-A-CH)
- Koordination mit den Initiativen „Technologieroadmap für Smart Grids“ und „Elemente einer Einführungsstrategie für Smart Grids“ im Rahmen des BMVIT-Prozesses Smart Grid 2.0
- Darstellung des langfristigen Forschungsbedarfs, aufgelöst auf alle Phasen der Innovationskette

1.3. Methodik

Die strategische Forschungsagenda wurde in einem partizipativen Foresightprozess³

³ Foresight ist der „systematische Blick in die längerfristige Zukunft von Wissenschaft, Technologie, Wirtschaft und Gesellschaft mit dem Ziel, diejenigen Gebiete für die strategische Forschung und Technologie zu identifizieren, die den größten wirtschaftlichen und sozialen Nutzen nach sich ziehen“ (Ben Martin 1993).

unter Einbindung der Forschungscommunity und zentraler Akteurs- und Stakeholdergruppen erstellt. Für die Entwicklung von Rahmenszenarien und einer SRA-Vision wurde der Zeithorizont von 2050 gewählt, was den langfristigen Investitions- und Lebenszyklen im Bereich der Energieinfrastruktur Rechnung trägt. Für die Entwicklung der langfristigen Forschungsagenda beträgt der Zeithorizont 2035, da davon auszugehen ist, dass wesentliche Aspekte der Energiewende, jedenfalls in Bezug auf FTI-politische Maßnahmen, bis dahin abgeschlossen sein müssen.

In einem ersten Schritt wurden bestehende SRAs und langfristige energiebezogene Foresightstudien und Megatrendstudien untersucht und ihre Relevanz für Österreich analysiert. Ein spezieller Fokus lag dabei auf dem SET-Plan (Roadmaps der Industrieinitiativen, DG Energy „integrated roadmap“, Joint Programs im Rahmen der EERA), der SRA 2035 der europäischen Smart-Grids-Technologieplattform sowie anderen aktuellen und spartenübergreifenden Studien (z. B. Acatech-Studie, Urban-Megatrend-Studie von JPI Urban Europe).

In einer zweiten Phase fand ein partizipativer Prozess mit der Forschungscommunity und Stakeholdern aus dem Energiesystem in zwei Workshops statt, um thematische Schwerpunkte einer SRA auszuarbeiten. Es wurden jeweils passende Foresight- und Großgruppenmethoden wie World-Café, Galerien, Bewertung von systemischen Einflussfaktoren, Storyline-Entwicklung, Szenarioentwicklung, Visionsbildung etc. eingesetzt. Zentrales Ergebnis war eine Liste von Herausforderungen, denen die Stakeholder ineinandergreifender intelligenter Energienetze eines nachhaltigen Energiesystems in Zukunft entgegensehen, sowie deren Gliederung in interdisziplinäre Themenfelder.

Die Gliederung der Forschungsfelder, die zu Beginn des Prozesses sehr stark entlang von vier getrennt betrachteten Infrastruktursystemen (Strom, Fernwärme und Gas, IKT und Verkehr) und zwei Querschnittsthemen (Gesellschaft und urbane Regionen) bestimmt war, wurde zusammen mit den Teilnehmern des Visionsworkshops aufgrund der identifizierten Herausforderungslage nochmals zur Diskussion gestellt.

Auch wenn in dem partizipativen Prozess versucht wurde, ein möglichst breites Spektrum an Akteursgruppen und Stakeholdern einzubinden, besteht eine methodische Beschränkung der Ausgewogenheit in Bezug auf noch nicht etablierte Akteursgruppen. Obwohl zu erwarten ist, dass sich zumindest in manchen Szenarien dezentral neue Marktteilnehmer, insbesondere im Bereich der Speicherung, Sicherheit, aber auch im Bereich von Energie(spar)dienstleistungen, etablieren werden, sind deren Interessen nicht unmittelbar vertreten. Daraus können sich Lücken in der Schwerpunktsetzung der SRA ergeben. Die gewählte Szenariomethode sollte dem aber weitgehend entgegenwirken können.

Zu diesen Themenfeldern wurden anschließend mit den Forschungsakteuren der Forschungsbedarf und die Stärken der österreichischen Forschungslandschaft erarbeitet. Dabei wurde insbesondere auf Schnittstellen und Synergien mit verwandten Themen Rücksicht genommen. Für den Bereich Fernwärme/Fernkälte werden die Ergebnisse des F&E-Fahrplans zusammengefasst und in Kontext gebracht.

In der dritten Phase findet die Konsolidierung und Synthese der Ergebnisse mit den Stakeholdern in einem Konsultationsprozess

1.	2.	3.	4.	5.	6.
Einleitung	Motivation	Stakeholder im Energiesystem 2035	Strategische Forschungsfelder	Die österreichische Forschungslandschaft	Interaktion der österreichischen Forschungslandschaft mit internationalen Initiativen

statt, wobei insbesondere die systemübergreifenden Aspekte der SRA berücksichtigt werden.

1.4. Ablauf des partizipativen Prozesses

Aufgrund der Herausforderungen der Energiewende wird die Komplexität des Energiesystems sowohl auf technologischer als auch auf sozioökonomischer Ebene zunehmen. Für die Gestaltung zukünftiger Energienetze ergibt sich daraus ein hoher Koordinationsaufwand für Entscheidungsträger und Stakeholder aus Industrie, Energiewirtschaft, Interessenvertretungen, Ministerien und Behörden. Einhergehend damit gilt es auch, die langfristige Forschungsagenda zwischen diesen Stakeholdern im Energiesystem und der Forschungscommunity abzustimmen. Es ist daher wichtig, zentrale Stakeholder aus den Bereichen Strom, Gas und Fernwärme und die Zivilgesellschaft in die Formulierung einer Forschungsagenda einzu beziehen. Dadurch können die Herausforderungen aus der Praxis im Dialog mit den Akteuren in der Forschungslandschaft einfließen und die Forschungsagenden wesentlich mitbestimmen.

Um dies zu ermöglichen, wurde ein partizipativer Foresightprozess durchgeführt. In zwei Workshops wurden die wesentlichen Einflussfaktoren auf die Entwicklung intelligenter Energienetze identifiziert und gewichtet, um daraus Szenarien bis 2050 zu entwickeln. Darauf aufbauend wurden Visionen zukünftiger Energienetze erarbeitet, aus denen wiederum die zentralen Handlungsfelder abgeleitet und zu Themenbereichen für die SRA gruppiert wurden.

Big Picture Workshop

Ziel des ersten Workshops war es, die strategische Rahmensetzung zu erarbeiten, zentrale Einflussfaktoren zu identifizieren und zu gewichten und Storylines für 2050 zu formulieren, um Zukunftsszenarien zu entwickeln, die beschreiben, wie intelligente Energienetze im Kontext zukünftiger Entwicklungen aussehen können.

Von den Stakeholdern wurden jene STEEP-Faktoren (gesellschaftliche (S), technologische (T), ökonomische (E), ökologische (E) und politische (P) Faktoren) identifiziert, die einen besonders hohen Einfluss auf die zukünftige Entwicklung intelligenter Netze haben, und jene, deren Entwicklung als besonders unsicher eingeschätzt wurde. In Vorbereitung wurde vom Projektteam ein Briefingpapier erstellt, das den Teilnehmern als Arbeitsunterlage zur Verfügung gestellt wurde.

Aus mehreren der identifizierten Einflussfaktoren wurden in vom Projektteam moderierten Kleingruppen Storylines⁴ formuliert. Diese wurden in der Folge vom Projektteam verwendet, um vier konsistente, sich deutlich voneinander unterscheidende Rahmenszenarien zu gesellschaftlichen, ökonomischen, ökologischen und politischen Entwicklungen zu erarbeiten. Die vier Rahmenszenarien beschreiben die wesentlichen Faktoren und Trends, welche mögliche Entwicklungspfade bis ins Jahr 2050 bestimmen, und dienen der Rahmensetzung für die weitere Entwicklung der Themenschwerpunkte im zweiten Workshop.

Eine Beschreibung der Szenarien findet sich im Anhang. Die wesentlichen Aus-

⁴ Die Entwicklung von Storylines ist eine Foresight-Methode, um in einem kreativen Prozess Kurzgeschichten zu formulieren, die einiger wichtiger Einflussfaktoren und Megatrends zu möglichen Entwicklungspfaden verknüpfen. Sie dienen als Basismaterial, um daraus in Folge konsistente Szenarien zu entwickeln.

prägungen der vier Szenarien lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

Szenario 1 – „Nachhaltigkeit mit dezentralen Energienetzen“ beschreibt eine wünschenswerte und auch mögliche nachhaltige Entwicklung bis 2050, die durch ein dezentrales Energienetz unterstützt wird. Sowohl im ländlichen als auch im urbanen Raum ist es gelungen, durch technologisch aufwändige Systemlösungen stabile, selbst organisierte Verteilnetze zu etablieren, die dezentrale Energieerzeugung ermöglichen und über adäquate Speichertechnologien verfügen, um weitgehend lokal erzeugte Energie auch lokal zur Verfügung zu stellen.

Szenario 2 – „Nachhaltigkeit mit einem international gut integrierten Übertragungsnetz“ beschreibt eine wünschenswerte und auch mögliche nachhaltige Entwicklung bis 2050 mit einem international gut integrierten Übertragungsnetz. Der Hauptunterschied zu Szenario 1 liegt in der stärkeren Bedeutung der Energieversorgung über transeuropäische Netze und große (auch virtuelle) Kraftwerke und den reduzierten Anforderungen an intelligente Verteilnetze. Das Weniger an komplexen Technologielösungen wird durch klare nationale Spielregeln ermöglicht.

Szenario 3 – „Laissez faire – Klimapolitikversagen“ ist die Fortschreibung derzeitiger Entwicklungen. Es werden bestehende Praktiken, Spielregeln und Akteurskonstellationen basierend auf den liberalisierten Energiemärkten fortgesetzt. Allerdings wird von zunehmenden Turbulenzen auf unterschiedlichsten Ebenen (Energiepreisschwankungen, wirtschaftliche Entwicklung und Klima) ausgegangen.

Szenario 4 – „Breakdown – Politikversagen und Strategielosigkeit“ beschreibt, was alles

schiefgehen kann. Dieses Szenario erklärt sich zum Teil durch das Fehlen einer Energiewendestrategie und fehlende Maßnahmen zum Ausgleich des demografischen Wandels.

Tech-Visioning Workshop

Der zweite Workshop am 25. Februar 2014 diente der Formulierung von Herausforderungen für die Stakeholder, um eine Vision eines „intelligenten Energienetzes“ (Strom, Gas, Fernwärme/-kälte) für das Jahr 2050 zu realisieren. Zielkriterien dabei waren eine gesicherte Daseinsvorsorge bei hoher Lebensqualität, Versorgungssicherheit, Umwelt- und Klimaverträglichkeit sowie die Wettbewerbsfähigkeit des Wirtschaftsstandortes Österreich.

Ausgehend von den im ersten Workshop entwickelten Storylines und den daraus abgeleiteten oben genannten vier Szenarien wurden von den Teilnehmern Bilder der Zukunft gezeichnet. Um eine differenzierte Vision zu erstellen, erfolgte dies in vier Arbeitsgruppen. Drei Arbeitsgruppen zeichneten eine positive Vision aus Sicht einer Akteursgruppe – (a) Erzeuger, (b) Übertragung und Verteilung einschließlich Speicherung, (c) Nutzer/ Verbraucher – basierend auf den beiden Nachhaltigkeitsszenarien 1 und 2 (siehe oben). Die jeweiligen Gruppen bestanden vorwiegend aus Stakeholdern und Experten aus diesen Bereichen. Eine vierte Gruppe zeichnete eine Dystopie auf Basis des Breakdown-Szenarios, um daraus ebenfalls Herausforderungen ableiten zu können.

Um eine Bewertung der Nachhaltigkeit und Konsistenz der SRA-Visionen durchzuführen, wurden grobe Abschätzungen der Veränderung einzelner zentraler Parameter (Energiefluss, Netz- und Speicherkapazitäten und Energienachfrage) für Energienetze

1.	2.	3.	4.	5.	6.
Einleitung	Motivation	Stakeholder im Energiesystem 2035	Strategische Forschungsfelder	Die österreichische Forschungslandschaft	Interaktion der österreichischen Forschungslandschaft mit internationalen Initiativen

zwischen 2015 und 2050 vorgenommen. Weiters wurde bewertet, welche Akteursgruppen wie zum Erfolg bzw. Scheitern der Vision beitragen können. Diese Bewertung wurde herangezogen, um aus Sicht der Stakeholder eine Liste von Erfolgsfaktoren und kritischen Faktoren zu erstellen.

Aufgrund der identifizierten Herausforderungslage wurde die Gliederung der Forschungsfelder unter Einbeziehung der Workshopteilnehmer im Tech-Vision Workshop umstrukturiert – es hatte sich gezeigt, dass erstens viele der Forschungsthemen nicht technologischer Art sind und zweitens Fragestellungen im Zusammenhang mit IKT, Energieeffizienz und Speicherung Querschnittsthemen bilden, die nicht als getrennt zu betrachtendes Forschungsfeld angesehen werden sollten und in den vier Themenfeldern immer wieder auftauchen. Folgende Arbeitstitel wurden im Konsens festgelegt:

- Energieträgerübergreifende und raumspezifische Infrastrukturentwicklung
- Gesellschaftliche, ökonomische und soziotechnische Aspekte der Energiewende (Titel des Themenbereichs in der SRA: Governance der Energiewende)
- Elektrizitätsnetze
- Nah-, Fernwärme und Gasnetze

Als Abschluss des zweiten Workshops wurden von den Teilnehmern zu den vier Forschungsfeldern Bedarfe der Stakeholder formuliert, die als Ausgangspunkt für die Entwicklung der SRA durch das Projektteam und die Forschungsakteure dienen.

Gemeinsame Erstellung der SRA

In den Monaten nach den ersten Workshops erfolgte unter der Koordination des AIT Austrian Institute of Technology eine

gemeinsame Erarbeitung der konkreten Inhalte und des Forschungsbedarfs in den einzelnen Themenfeldern durch die österreichischen Forschungsakteure.

Konsolidierungsworkshop

Zur Konsolidierung der SRA seitens der Forschungsakteure wurde auf Einladung des BMVIT am 6. November 2015 ein Abschlussworkshop durchgeführt. Hierbei wurde der Entwurf der SRA vorgestellt und diskutiert. Die Ergebnisse wurden in die vorliegende SRA eingearbeitet.

1.5. Struktur

Entsprechend des oben skizzierten Prozesses und der Ziele gliedert sich die Strategic Research Agenda wie folgt:

In Kapitel 2 wird die Motivation für die zukünftige, domänenübergreifende Betrachtung des Energiesystems dargestellt. Die nationalen und internationalen Treiber und Ziele werden aufgezeigt und die daraus entstehenden Herausforderungen für das Energiesystem und die Energieforschung abgeleitet. In Kapitel 3 wird die sich ändernde Akteurslandschaft beschrieben. Die aus dem SRA-Stakeholder-Prozess abgeleiteten übergeordneten Forschungsfelder sowie die jeweilige österreichische Ausgangssituation werden in Kapitel 4 dargestellt. In Kapitel 5 werden die relevanten Forschungsakteure in Österreich dargestellt (Forschungslandkarte). Zusätzlich erfolgt in Kapitel 6 eine Einordnung der vorliegenden SRA im Vergleich mit SRAs im internationalen Umfeld bzw. eine Darstellung, wie die einzelnen österreichischen Forschungsakteure in die relevanten internationalen Initiativen eingebunden sind. Schlussfolgerungen werden in Kapitel 7 diskutiert. Vertiefende und weiterführende Hintergrundinformationen zur SRA sind im Anhang, Kapitel 8, zu finden.

1.

Einleitung

2.

Motivation

3.

Stakeholder im Energiesystem 2035

4.

Strategische Forschungsfelder

5.

Die österreichische Forschungslandschaft

6.Interaktion der österreichischen Forschungs-
landschaft mit internationalen Initiativen**7.**

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

8.

Anhang

2.1. Trends und Treiber

Die Motivation, eine SRA zu entwickeln, lässt sich aus den langfristigen Trends und Treibern technologischer und gesellschaftlicher Entwicklungen und des damit in Verbindung stehenden Forschungsbedarfs ableiten.

Der Wandel im Energiebereich

Europas Energiesysteme verändern sich derzeit grundlegend. Eine nachhaltige und integrierte Energieversorgung ist der Schlüssel zur Erreichung der Ziele, die sich die EU bis 2020, 2030 und 2050 gesteckt hat. Die Energiestrategie 2030⁵ zielt darauf ab, bis 2030 die Treibhausgasemissionen um 40 % zum Niveau von 1990 zu senken, einen Anteil von 27 % an erneuerbaren Energien am Gesamtverbrauch zu erreichen und die Energieeffizienz um 30 % zu erhöhen. Um das von der UN-Klimakonferenz in Paris 2015 gesteckte Ziel einer Begrenzung der globalen Erwärmung auf maximal 1,5 °C erreichen zu können, müssen die Treibhausgasemissionen weltweit zwischen 2045 und 2060 auf null reduziert werden. Im Energiefahrplan 2050⁶ wird eine langfristige Perspektive zur Reduktion der Treibhausgasemissionen von 80 bis 95 % (zu 1990) vorgegeben. Dabei wird ein Mix aus Energieeffizienz und Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energien angestrebt. Im Sektor Energie soll bis 2050 eine Reduktion der CO₂-Emissionen um mindestens 95 % erreicht werden. Dies bedingt auch einen weitgehenden Ausstieg aus fossilen Energieträgern. Es wird davon ausgegangen, dass einzig Erdgas als Back-up auch im Jahr 2050 unabdingbar sein wird – wobei ggf. auch biogene Brennstoffe oder über die Methanisierung erzeugter

Wasserstoff (Power-to-Gas) diese Rolle übernehmen können.

Neben einer Erhöhung der Primärenergieeffizienz des Gesamtsystems wird die Abdeckung der Energieversorgung durch erneuerbare Energien einen wesentlichen Beitrag zur Reduktion der CO₂-Emissionen leisten (müssen) und wird auch vonseiten der EU vorangetrieben⁷. Die installierte Stromerzeugungskapazität auf Basis regenerativer Energien hat in den letzten 20 Jahren signifikant zugenommen, vor allem durch das starke Wachstum in den Bereichen Windkraft und PV. Bereits heute stammen 26 % des Stroms in der EU von erneuerbaren, davon zu 10 % von volatilen Energieträgern wie Wind und Solar, die zusammen mit Biomasse die stärksten Zunahmen in den letzten zehn Jahren aufweisen (EC 2015a).

Dies führte bereits in den letzten Jahren zu grundsätzlichen strukturellen Änderungen im Energiesektor – ein Trend, der sich künftig noch verstärken wird. Es ist vor allem eine sehr starke Dezentralisierung der Energieaufbringung durch kleine und mittlere Erzeugungsanlagen und eine damit verbundene Verhaltensänderung der Nutzer, die vermehrt gleichzeitig als Energieproduzenten und -verbraucher (sogenannte Prosumer) auftreten, zu erwarten. Die zunehmende Vernetzung der dezentralen Strukturen mit einer damit verbundenen steigenden Komplexität stellt einen wesentlichen Trend im Bereich der elektrischen Energieinfrastrukturen dar. Vergleichbare Entwicklungen lassen sich auch in Wärme- und Gasnetzen erkennen, wenn auch aufgrund der bislang wesentlich ge-

⁵ <http://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy/2030-energy-strategy>

⁶ <http://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy/2050-energy-strategy>

⁷ Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG.

ringeren Anzahl dezentraler Erzeuger verzögert zu den Entwicklungen im Stromnetz. Diese zunehmende Dezentralisierung ist eine große Herausforderung für die Systeme, insbesondere in Form einer Umkehr der Lastflüsse, auf die die bestehenden Netzinfrastrukturen und Regelungsstrategien oftmals nicht ausgelegt sind.

Die technologischen Entwicklungen im Bereich der erneuerbaren Energien und der Speichertechnologien sowie damit verbundene bedeutende Kostensenkungen könnten langfristig zu einem massiven Überangebot an Energie führen. Speziell bei Wind, Solarthermie und Photovoltaik, wo es – wie auch bei Wasserkraft und Geothermie – keine laufenden Treibstoffkosten gibt, können sinkende Material-, Errichtungs- und Wartungs- sowie Betriebskosten diesen Trend auslösen. In einer Studie (PwC 2015) mit der Fragestellung, wohin die Energietransformation führt, gaben 85 % der befragten Energieexperten an, dass (zumindest zeitweise) ein massives Überangebot eintreten wird. Untermuert wird dieser mögliche Trend durch eine Prognose der Internationalen Energieagentur in den Bereichen Photovoltaik (IEA PV 2014) und Wind (IEA Wind 2014), in der von weiteren Degressionen der Lebenszykluskosten auf etwa ein Drittel des heutigen Wertes bei der Photovoltaik und eine Reduktion um 26 % bei Onshore- und um 52 % bei Offshore-Wind bis 2050 gesprochen wird.

Im Wärmebereich ist bei voranschreiten der thermischer Sanierung, begleitet von einem deutlichen Rückgang des Wärmebedarfs in Neubauten, und aufgrund des Klimawandels und der demnach verstärkt zu erwartenden milden Witterungsphasen

in den Wintermonaten ein Rückgang des Energieverbrauchs für die Bereitstellung von Raumwärme zu erwarten, sodass der Warmwasserbereitung eine immer größere Rolle zukommt⁸. Die damit verbundenen Wärme-Mengenrückgänge und Mindereinnahmen sind aufgrund des hohen Fixkostenanteils leitungsgebundener Energien eine große Herausforderung für den Betrieb der Systeme. Im Gegensatz dazu ist im Allgemeinen mit einem tendenziell steigenden Kühlbedarf aufgrund steigender mittlerer Temperaturen, insbesondere in den Sommermonaten, zu rechnen.

Neben der erforderlichen Minimierung des Einsatzes von fossilen Energieträgern wird auch die Verwendung von Biomasse zu Heizzwecken durch die zu erwartende steigende Nutzungskonkurrenz (z. B. für stoffliche Verwertungen und Mobilitätsanwendungen) immer weiter eingeschränkt. Im Gasnetz wird somit ein zunehmender Anteil mittels Methanisierung erzeugter Wasserstoff zu integrieren sein (Power-to-Gas). In Wärmenetzen erfordert eine effiziente Nutzung alternativer Wärmequellen wie Solar- oder Geothermie, Umgebungswärme und Abwärme aus Infrastruktureinrichtungen sowie industriellen Prozessen eine zunehmende Nutzung von zentralen und dezentralen Wärmepumpen. Ebenso können bestehende KWK-Anlagen oder BHKWs genützt werden, um mit einem hohen Gesamtwirkungsgrad alternative Gase (z. B. Biogas oder aus Power-to-Gas-Prozessen) in Strom und Wärme umzuwandeln. Das führt zu einer zunehmenden Kopplung der Energiesysteme Strom und Wärme, daher werden Gas- und Fernwärmenetze in Kombination mit verschiedenen Speichertechnologien und gewissen nutzerseitigen

⁸ Diesem Trend entgegen wirken eine steigende Verdichtung urbaner Regionen und der tendenziell steigende Komfortbedarf hinsichtlich Raumtemperatur und Wohnungsgröße (z.B. Anzahl der Single-Haushalte)

1.	2.	3.	4.	5.	6.
Einleitung	Motivation	Stakeholder im Energiesystem 2035	Strategische Forschungsfelder	Die österreichische Forschungslandschaft	Interaktion der österreichischen Forschungslandschaft mit internationalen Initiativen

Flexibilitäten (Demand Side Management) effizient Kapazitäten für die Annahme von Überschussstrom bieten können (Power-to-Heat, Power-to-Gas) bzw. die Möglichkeit geben, über KWK-Prozesse die Zeiten geringer Stromproduktion aus erneuerbaren Quellen auszugleichen. Vergleichbares gilt für Fernkälteanwendungen. Diese können bei der Verwendung von Kompressionskältemaschinen durch Demand-Management-Maßnahmen und Speicher dem Stromnetz gewisse Flexibilitäten bereitstellen (Power-to-Cold). Der Einsatz von Absorptionskältemaschinen bietet sich besonders an, wenn viel Überschusswärme auf hohem Temperaturniveau – z. B. aus der Müllverbrennung oder Solarthermie – zur Verfügung steht.

Im Bereich der Energiebereitstellung für Transport ist ebenfalls ein Trend in Richtung Strom zu beobachten. Unter der Voraussetzung des oben dargestellten weitgehenden Ausstiegs aus fossilen Energieträgern zur Stromerzeugung und einer Elektrifizierung des Verkehrs führt dies gleichzeitig zu einer Entkarbonisierung des Mobilitätssektors.

Im Zuge der Erstellung der SRA und der Erarbeitung der Forschungsthemen wird davon ausgegangen, dass die Ziele in den nächsten Jahren mit Nachdruck verfolgt werden. Es wird unterstellt, dass dieser Prozess bis zum Erreichen des Zeithorizonts der vorliegenden Forschungsagenda im Jahr 2035 bereits weit fortgeschritten und strukturiert ist, nicht nur auf gesamteuropäischer Ebene, sondern auch in den einzelnen Ländern.

Trends in Netzwerkinfrastruktursystemen

Als Trend im Bereich Netzwerkinfrastruktursysteme insbesondere im Bereich Energie lässt sich eine steigende Komplexität sowohl der technologischen als auch der

sozioökonomischen Komponenten diagnostizieren. Diese lassen sich durch technologische Treiber, insbesondere im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien, und die Integration dezentraler erneuerbarer Energieproduktion erklären. Ebenso trägt im Strom- und Gasnetzbereich das Unbundling zur Komplexitätssteigerung bei, weil eine Vielzahl neuer Akteure, Marktteilnehmer, Organisationen und Institutionen geschaffen wird – eine Entwicklung, die längerfristig auch im Wärmenetzbereich erfolgen kann. Dies erhöht den Koordinations- und Transaktionsbedarf zwischen bestehenden und neuen Akteuren (z. B. hybriden Akteuren wie „Prosumern“) und alten und neu geschaffenen ökonomischen, politischen und regulatorischen Institutionen (z. B. unterschiedlichen Märkten, Akteursnetzwerken wie Joint Technology Initiatives, Interessenverbänden) enorm.

Allgemeine gesellschaftliche und politische Rahmenbedingungen und Megatrends

Neben den oben angeführten Trends im Energiebereich sind folgende gesellschaftliche Rahmenbedingungen und Megatrends mit Auswirkungen auf das Energiesystem zu erwarten:

- Zunehmende Gefährdungspotenziale für die kritischen Infrastrukturen – zunehmende Anzahl und Schadenshöhen durch Extrem(wetter)ereignisse, terroristische Bedrohungsszenarien, Cyberangriffe.
- Die zunehmende Digitalisierung in den letzten Jahrzehnten führt dazu, dass jetzt und in den nächsten Jahrzehnten die ersten Generationen der Digital Natives ins erwerbsfähige Alter kommen werden.
- International ist ein Trend in Richtung Sharing Economy und Platform Econo-

my zu beobachten. Damit wird die Rolle von Besitz zurückgedrängt und Gebrauchsgüter werden nicht nur individuell gekauft und genutzt, sondern gemeinsam gekauft oder gemeinsam genutzt oder verliehen (Sharing), wodurch auch neue Dienstleistungen entstehen.

- Verstärkte Sensibilität auf der Verbraucherseite bezüglich Daten- und Konsumentenschutz.
- Veränderung der Gesellschaftsstrukturen durch Alterung, Migration und kulturellen Wandel.
- Verstärkte Urbanisierung durch Zuzug in große und attraktive Städte und Ballungsräume.
- Höhere Staatsverschuldungen europäischer Länder und folglich geringer Handlungsspielraum für öffentliche Investitionen.

2.2. Herausforderungen für das zukünftige Energiesystem

Durch den oben dargestellten Wandel in Richtung eines intelligenten Energiesystems ergibt sich eine Reihe von Herausforderungen, die in den Prozess der Erarbeitung der Strategic Research Agenda eingeflossen sind.

- Eine weitgehende Dekarbonisierung der Energieerzeugung unter Beibehaltung des derzeit hohen Standards bei Versorgungssicherheit und -qualität muss erreicht werden. Resilienz und Robustheit im Energiesystem müssen in allen Fällen weiterhin gewährleistet bleiben.
- Die Entwicklung und der Um-/Aufbau eines auf erneuerbaren Energien basierenden Energiesystems muss nachhaltig erfolgen, sowohl technisch, ökonomisch als auch gesellschaftlich.
- Innovationen in den verschiedenen Sparten der Energietechnologien, nämlich der Erzeugung erneuerbarer Energien, der

steuerbaren Energieübertragung und Energieverteilung und des transparenten Energieverbrauchs, sind notwendig. Erst die erfolgreiche Markteinführung erprobter, kosteneffizienter Technologien ermöglicht den Umbau des Energiesystems.

- Erweiterung der zentralen Strukturen in Energiebereitstellung und Transport um dezentralisierte, kleinteilige Komponenten bei einer spartenübergreifenden, diskriminierungsfreien Integration unterschiedlicher Energieträger und Mobilitätsoptionen.
- Es wird in Zukunft stark dezentrale Strukturen in der Energiebereitstellung geben, mit einer deutlich höheren Anzahl von Automatisierungskomponenten und Akteuren. Die Vernetzung dieser wird durch die rasanten Entwicklungen im IKT-Bereich und die Verschmelzung von Energie und Telekommunikation (z. B. Internet of Things) weiter vorangetrieben. Es muss jedoch gewährleistet werden, dass exponentiell wachsende Möglichkeiten durch IKT-basierte Lösungen in geordneten Bahnen kanalisiert werden, ohne die Entwicklung selbst zu bremsen.
- Die Verfügbarkeit von Daten und deren Analyse wird an Bedeutung gewinnen. IKT und das Besitzen von Daten kann sich zum Wirtschaftsfaktor entwickeln. Daten- und Konsumentenschutz müssen jedoch auch weiterhin gewährleistet bleiben. Die Diskussion zu Datenschutz und Informationssicherheit ist offen und lösungsorientiert zu führen.
- Für die Integration der Energiesysteme ist nicht nur ein nationales und regionales Vorgehen notwendig, sondern es bedarf auch eines gemeinsamen und strukturierten gesamteuropäischen Vorgehens.
- Das Erreichen der energiestrategischen Ziele bedarf einer deutlich stärkeren Verbesserung im Bereich der Energieeffizienz, als sie in den letzten Jahrzehnten erreicht wurde. Dies erfordert nicht nur

1.	2.	3.	4.	5.	6.
Einleitung	Motivation	Stakeholder im Energiesystem 2035	Strategische Forschungsfelder	Die österreichische Forschungslandschaft	Interaktion der österreichischen Forschungslandschaft mit internationalen Initiativen

neue Geräte und Produkte, sondern auch neue Methoden in der Nutzung. Die breite Durchdringung mit IKT liefert hier neue Impulse.

- Der Mensch mit seinen Bedürfnissen muss bei der Transition des Energiesystems im Zentrum stehen. Akzeptanz von Technologien, Einfluss von Lebensstilen, die ökonomische Rolle der Energie für Unternehmen und Haushalte, Kunden, Investoren als Nutzer und Produzenten von Energie sind einige der zentralen Themen der Transition zu intelligenten Energienetzen.
- Der Konsument wird im Energiesystem der Zukunft eine noch bedeutendere Rolle als aktiver Teilnehmer im technischen

System, aber auch am Energiemarkt einnehmen.

- Die Akzeptanz für die Errichtung und den Umbau von Energieinfrastruktur ist vielfach nicht gegeben, stark getrieben durch das NIMBY-Problem (Not In My Back Yard – nicht in meinem Hinterhof).
- In der Transitionsphase wird es nicht nur Gewinner, sondern auch Verlierer geben. Die dadurch entstehenden Konflikte dürfen nicht außer Acht gelassen werden. Diese z. T. massive Verschiebung von heutigen Gewinnern zu künftigen Verlierern stellt insbesondere auf der Ebene der Verhandlungen über sektorale sowie marktbezogene Rahmenbedingungen ein wesentliches Hemmnis dar.

1.

Einleitung

2.

Motivation

3.

Stakeholder im Energiesystem 2035

4.

Strategische Forschungsfelder

5.

Die österreichische Forschungslandschaft

6.Interaktion der österreichischen Forschungs-
landschaft mit internationalen Initiativen**7.**

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

8.

Anhang

1.	2.	3.	4.	5.	6.
Einleitung	Motivation	Stakeholder im Energiesystem 2035	Strategische Forschungsfelder	Die österreichische Forschungslandschaft	Interaktion der österreichischen Forschungslandschaft mit internationalen Initiativen

3. Stakeholder im Energiesystem 2035

Das gegenwärtige Energiesystem ist einem Wandel unterworfen, der im Stromsystem beispielsweise schon mit der Liberalisierung des Elektrizitätssektors im Jahr 2001 gestartet wurde. Seither ist der Markt nicht mehr durch monopolistische, vertikal integrierte Unternehmen geprägt, sondern ein Zusammenspiel zahlreicher Marktteilnehmer. Im Sinne einer Zusammenarbeit im zukünftigen Energiesystem gilt es, deren Rollen auch domänenübergreifend zu planen und zu denken.

Nach wie vor wird es Energieinfrastrukturbetreiber (natürliches Monopol) geben, wobei auch bei diesen ein radikaler Wandel zu beobachten ist. Es kommt weiterhin zu einer zunehmenden Integration der einzelnen Domänen wie Strom, Gas, Fernwärme, Wasser in ein gemeinsames Unternehmen.

Etablierte Energielieferanten sehen sich zunehmend mit neuen Marktakteuren konfrontiert und der Energiemarkt wird sich von der reinen Energielieferung hin zur Bereitstellung von Energiedienstleistungen entwickeln. Bereits etablierte, aber bisher nicht am Energiemarkt auftretende Unternehmen drängen vermehrt und vor allem mit neuen Ansätzen und Dienstleistungen in das Energiesystem. An dieser Stelle seien vor allem Unternehmen aus der Telekommunikation (klassische Telekoms), Business-Service-Dienstleister (beispielsweise SAP), aber auch klassische Internetunternehmen wie Google genannt.

Es gibt eine Vielzahl von Start-ups in den Bereichen Netzautomatisierung, Home-Management-Systeme (Smart Home), Heimspeicher und damit einhergehende Dienstleistungen, technische Implementierung von virtuellen Kraftwerken und deren Integ-

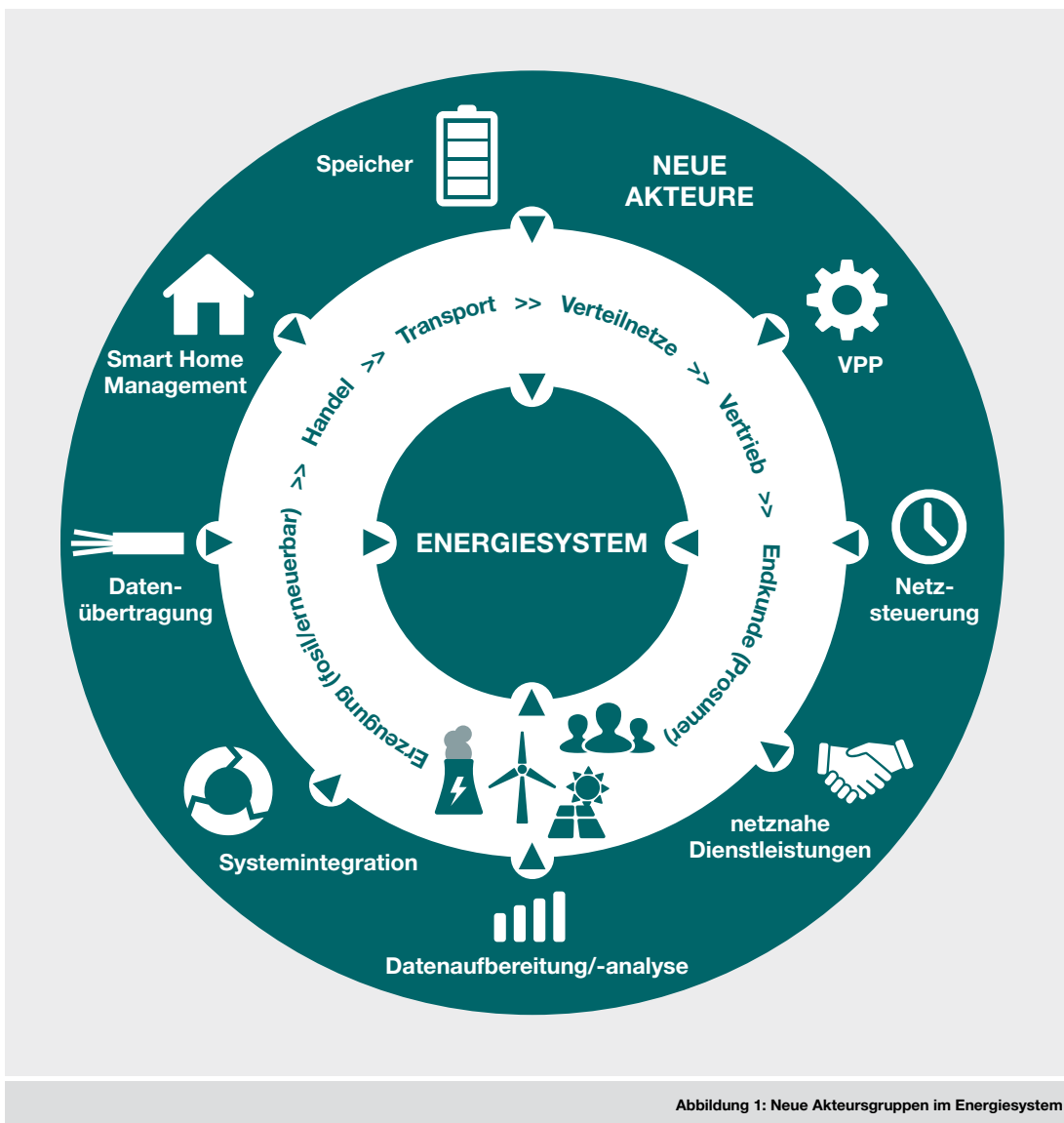
ration in den Energiemarkt unter vermehrter Einbindung von kleinen, dezentralen Erzeugern sowie Bereitstellung von netznahen Dienstleistungen (z. B. Demand Response).

Durch die rasante Entwicklung im Bereich der Speichertechnologien und der ihnen zugrunde liegenden Lernkurven ist ein deutlicher Anstieg von Speicherkapazitäten und Akteuren, die diese zur Verfügung stellen wollen, zu erwarten. Wie die Einbindung solcher Akteure in ein (marktgetriebenes oder reguliertes) System von Anreizen und Abregelungen zur effizienten (Selbst-)Steuerung von Produktion, Verschiebung/Speicherung und Verbrauch erfolgen soll bzw. wird, ist derzeit noch völlig unklar.

In einem komplexen Energiesystem mit einer Vielzahl von neuen Akteuren und einer steigenden Anzahl möglicher Dienstleistungen wird die Bereitstellung von Informationen aus dem System, aber auch für das System, immer wichtiger. Die Aufbereitung und Analyse von Daten für alle Teilnehmer im Energiesystem wird zunehmend relevant. Auch für diese Dienstleistungen werden sich neue Akteure etablieren und Unternehmen aus anderen Branchen am Energiesystem Interesse zeigen.

Des Weiteren wird eine zunehmende „Demokratisierung“ des Energiesystems unter einer aktiven Einbindung der Energiekunden erwartet. Durch die derzeitige Entwicklung im Energiesystem, in den Energiemärkten und im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien ist eine zentralere und aktivere Rolle des Endkunden im zukünftigen Energiesystem zu erwarten.

Seit Beginn des 21. Jahrhunderts kam es bereits zu einer drastischen Veränderung der Akteurslandschaft im Energiesystem, welche sich bis 2035 noch verstärken wird.



1.	2.	3.	4.	5.	6.
Einleitung	Motivation	Stakeholder im Energiesystem 2035	Strategische Forschungsfelder	Die österreichische Forschungslandschaft	Interaktion der österreichischen Forschungslandschaft mit internationalen Initiativen

1.

Einleitung

2.

Motivation

3.

Stakeholder im Energiesystem 2035

4.

Strategische Forschungsfelder

5.

Die österreichische Forschungslandschaft

6.

Interaktion der österreichischen Forschungslandschaft mit internationalen Initiativen

7.

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

8.

Anhang

4.1. Identifizierte Forschungsfelder und die Ausgangssituation in Österreich

Im Zuge des oben dargestellten Prozesses (Kapitel 1.4.) wurde in den beiden ersten Workshops der thematische Rahmen der SRA festgelegt. Dabei haben die teilnehmenden Forschungsakteure und Stakeholder aus unterschiedlichen Domänen vier Themenfelder zur intensiven Betrachtung definiert: **die energieträgerübergreifende und raum-spezifische Infrastrukturentwicklung, die gesellschaftlichen, ökonomischen und soziotechnischen Aspekte, das Elektrizitätssystem, die leitungsgebundene Wärme- und Kälteversorgung (Wärme- und Gasnetze, Fernkälte)**. Bereiche wie Speichertechnologien, Energieeffizienz sowie Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT), welche für alle genannten Forschungsfelder relevant sind, werden im Kapitel „Cross-cutting Issues“ zusammengefasst.

In den folgenden Kapiteln werden für alle Themenfelder erforderliche Forschungsbedarfe bis 2035 beschrieben, um bis zum Jahr 2050 ein österreichisches, intelligentes Energiesystem aufbauen zu können. Die Vision für das Energiesystem 2050, aus deren Diskussion auch die oben dargestellten Themenfelder identifiziert wurden, zeichnet sich durch folgende Charakteristika aus:

- Es gibt eine integrierte Energieinfrastruktur.
- Erneuerbare Erzeugung wie PV, Wind, Wasser, Biomasse und anderer alternative Energiequellen sind zentrale Bestandteile des Energiemixes und werden, wo erforderlich, durch fossile Erzeugung ergänzt.
- Eine Abstimmung von Erzeugung und Verbrauch erfolgt durch ausgewogene Spielregeln (Regulierungen, Standards, Verträge, Marktmechanismen).

- Im Idealfall ist eine Selbststeuerung des Gesamtsystems möglich.
- Es wird davon ausgegangen, dass die verwendeten Technologien über hohe Wirkungsgrade verfügen, d. h. in hohem Maße energieeffizient sind.
- Speicher für den Energieausgleich auf unterschiedlichen Zeitskalen stehen zur Verfügung.
- Es gibt unterschiedliche Lösungen für verdichtete und nicht verdichtete Strukturen, die aber miteinander verbunden sind.
- Die heute hohe Versorgungssicherheit wird sowohl im ländlichen als auch im suburbanen und im städtischen Bereich beibehalten.
- Umweltfreundliche Mobilität ist etabliert (Zug, Bus, E-Mobilität und andere, alternative Antriebssysteme).
- Die Gesamtheit des Energiesystems in Österreich ist weitgehend energieautonom und in die internationalen Energienetze eingebunden.
- Es gibt keine einheitliche Lösung für das Gesamtsystem und die einzelnen Energiedomänen.
- Energie ist leistbar und nachhaltig verfügbar.
- Soziale Aspekte rund um Energie sind im Rechtsrahmen berücksichtigt.
- Die Kostenwahrheit der Energiebereitstellung ist berücksichtigt.

Kernpunkte sind die integrierte Betrachtungsweise des Energiesystems und die Berücksichtigung sozialer Aspekte, energieeffiziente Umwandlungsketten, erneuerbare Energien als dominierende Energiequelle, der Umbau in Richtung eines effizienteren, robusten und resilienten Gesamtsystems unter Einbindung von Maßnahmen, um die Flexibilität auf allen Ebenen und die Nutzung erneuerbarer, dezentraler Energieressourcen zu gewährleisten.

4.2. Energieträgerübergreifende und raumspezifische Infrastrukturentwicklung

4.2.1. Trends und Treiber

Europas Energiesysteme verändern sich derzeit grundlegend. Eine nachhaltige Energieversorgung ist der Schlüssel zur Erreichung der Ziele, die sich die EU bis 2020, 2030 und 2050 gesteckt hat. Die Energiestrategie 2030⁹ zielt darauf ab, bis 2030 die Treibhausgasemissionen um 40 % zum Niveau von 1990 zu senken, einen Anteil von

27 % an erneuerbaren Energien am Gesamtverbrauch zu erreichen und die Energieeffizienz um 30 % zu erhöhen. Im Energiefahrplan 2050¹⁰ werden Langfristziele festgelegt und eine Perspektive zur Reduktion der Treibhausgasemissionen von 80 bis 95 % (zu 1990) vorgegeben. Dabei wird ein Mix aus Energieeffizienz und Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energien angestrebt. Im Sektor Energie soll bis 2050 eine Reduktion der CO₂-Emissionen um mindestens 95 % erreicht werden (siehe folgende Abbildung).

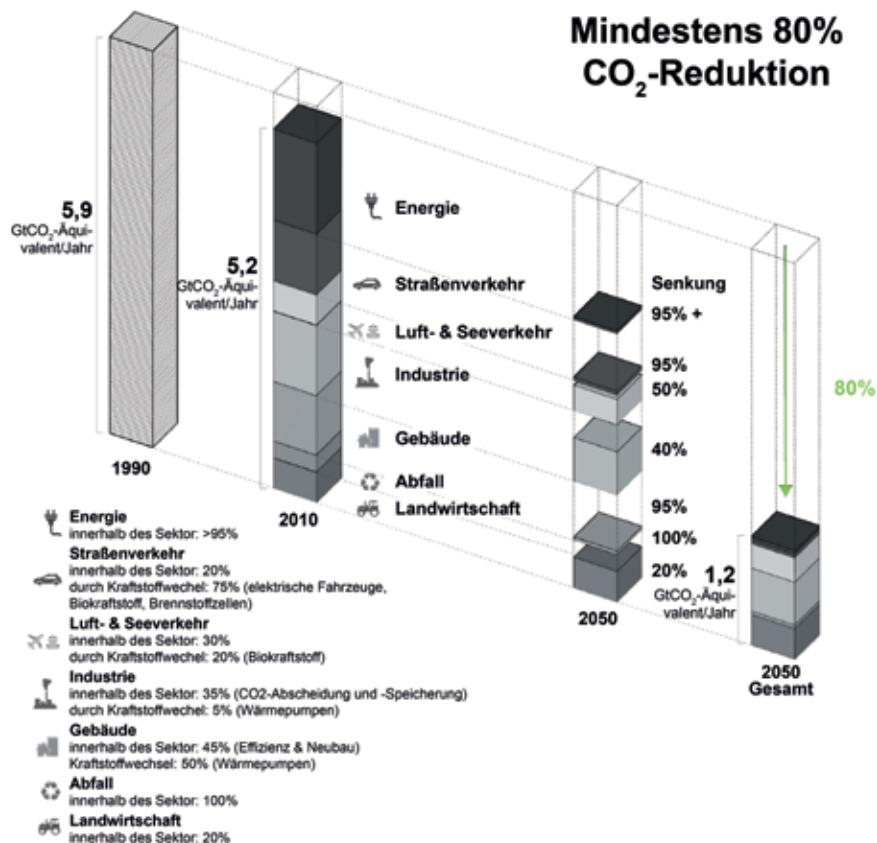


Abbildung 2: CO₂-Emissionsreduktions-Ziele für 2050 und der erwartete Beitrag der einzelnen Sektoren

Quelle: <http://www.roadmap2050.eu/attachments/files/Corepresentation.pdf>, bearbeitet

⁹ <http://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy/2030-energy-strategy>

¹⁰ <http://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy/2050-energy-strategy>

Die Abdeckung der Energieversorgung durch erneuerbare Energien wird einen wesentlichen Beitrag zur Reduktion der CO₂-Emissionen leisten (müssen) und wird auch von Seiten der EU vorangetrieben¹¹. Die installierte Stromerzeugungskapazität auf Basis regenerativer Energien hat in den letzten 20 Jahren signifikant zugenommen, vor allem durch das starke Wachstum in den Bereichen Windkraft und PV. Bereits heute stammen 26 % des Stroms in der EU von erneuerbaren, davon zu 10 % von volatilen Energieträgern wie Wind und Solar, die zusammen mit Biomasse die stärksten Zunahmen in den letzten zehn Jahren aufweisen (EC 2015a).

Das bringt jedoch auch neue Herausforderungen mit sich. Durch die immer stärkere Rolle von volatilen Energieträgern, Effizienzmaßnahmen in der gesamten Umwandlungskette und dezentralen Einspeisern werden unsere Energiesysteme komplexer, was den Bedarf an effizienten und flexiblen Technologien und Netzen erhöht. Es macht weiters erforderlich, dass das Energiesystem in seiner Gesamtheit integrativ betrachtet wird, übergreifende Lösungen gefunden werden und somit die Nachhaltigkeit des Energiesystems berücksichtigt wird (OECD/IEA 2014). Derzeit werden die verschiedenen Energienetze (Strom, Wärme/Kälte, Gas) noch weitgehend getrennt geplant und betrieben, obwohl die Notwendigkeit einer stärkeren Integration bereits erkannt wird. Projekte wie z. B. Orpheus¹² beschäftigen sich bereits mit Forschungsfragen zu einer optimalen Integration hybrider Energienetze in Städten. Sowohl in der umfassenden Analyse als auch in der Implementierung wird jedoch noch viel Bedarf gesehen.

4.2.2. Innovationsbedarf

Forschungsfragen in europäischen und nationalen Programmen waren bisher relativ stark auf technologische Lösungen für spezifische Prozesse und Energiesysteme ausgerichtet. Hier wurde bereits wertvolle Forschungsarbeit geleistet und es gibt weiterhin noch beträchtlichen Forschungsbedarf. Es zeigt sich jedoch immer stärker – und das hat sich auch in den begleitenden Workshops zur Erstellung der SRA herauskristallisiert –, dass übergreifende Lösungen und integrative Systembetrachtungen besonders wichtig sind, um eine tatsächliche Umsetzung voranzutreiben und um Einzeltechnologien auch aus gesamtsystemischer Sicht sinnvoll einzusetzen. In Stadtregionen mit unterschiedlichen Nutzern, Eigentumsverhältnissen, Siedlungsdichten und Versorgungsstrukturen geht es um das optimale Abstimmen zwischen Energiebereitstellung und -bedarf, um das Zusammenwirken der Energieproduzenten, -prosumer und -konsumenten und um die Optimierung der unterschiedlichen Energiesubsysteme. In ländlichen Regionen ist die regionale Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien ein wichtiger Faktor. Viele Einzelmaßnahmen beeinflussen sich gegenseitig (z. B. Gebäudedämmung und Wärmebedarf/-versorgung, volatile Erzeugung aus erneuerbaren Energien und Speicherbedarf). Diese Wechselwirkungen sind komplex und daraus ergeben sich viele Forschungsfragen.

Alleine schon die Frage, was „integrativ“ betrachtet werden soll, bedarf einer ersten Klärung und Abgrenzung. Im vorliegenden Kapitel werden übergeordnet die

- energieträgerübergreifende wie auch
- raumspezifische

¹¹ Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG.

¹² <http://www.orpheus-project.eu/>

Infrastrukturentwicklung, -optimierung und -vernetzung betrachtet. Nachdem die technische Integration von Energieträgern bzw. -subsystemen und die räumliche Integration unterschiedliche Fragen aufwerfen, werden diese beiden Themenbereiche im Folgenden getrennt behandelt.

4.2.3. Forschungsbedarf in Bezug auf Infrastrukturentwicklung

4.2.3.1. Energieträgerübergreifende Infrastrukturentwicklung

Energiesysteme mit einer energieträgerübergreifenden Kopplung von Energienetzen (Strom, Gas, Wärme/Kälte) können unter dem Begriff Hybridnetze subsumiert werden. In Hybridnetzen kann Energie in ihrer aktuellen Form verbraucht, gespeichert oder transportiert oder aber über eine Konversion in eine andere Energieform umgewandelt werden, in der sie wiederum verbraucht, gespeichert oder transportiert werden kann (Appelrath et al. 2012). Diese Kopplung findet an den Standorten der Energiewandlung in thermischen Kraftwerken mit Fernwärme-Auskopplung schon lange statt, indem z. B. das Gasnetz am Ort des Kraftwerkes mit dem Stromnetz und einem Fernwärmenetz verbunden ist. Die Möglichkeiten zur Kopplung durch Power-to-Heat- und Power-to-Gas-Prozesse und somit zur energieträgerübergreifenden Lastverschiebung auf allen Netzebenen, insbesondere in den Verteilnetzen, verspricht eine hohe Flexibilität und Stabilität im Energiesystem. Das ist gerade heutzutage durch die zunehmende Einspeisung von volatilen, dezentralen erneuerbaren Energien (im Regelfall entkoppelt vom Energiebedarf) besonders wichtig geworden. Die Umbrüche im Energiesystem können innerhalb der Domäne der elektrischen Energieversorgung (z. B.

durch Smart Grids) zwar teilweise abgedeckt werden, große Potenziale liegen jedoch in einer energieträgerübergreifenden Kopplung, v. a. im Hinblick auf die „Speicherlücke“ im Stromnetz. Darum werden derzeit Fragestellungen rund um das Thema Hybridnetze intensiv diskutiert, v. a. hinsichtlich Optimierung, da sowohl Speicherung als auch Verschiebung zwischen den Sektoren energetisch nicht „umsonst“ sind, sondern immer Verluste beinhalten. Diese Punkte wurden auch im Zuge der begleitenden Workshops angesprochen. Zusätzlich zu den im Rahmen dieser Workshops diskutierten Maßnahmen baut der folgende Abschnitt auf Stakeholderprozessen und Arbeitsgruppen in Deutschland (Acatech-Workshops) und Österreich (Arbeitsgruppe Hybridnetze und Synergiepotenziale mit kommunalen Infrastrukturen, D-A-CH Projekt Infra-Plan) auf und ergänzt den dort identifizierten Forschungsbedarf.

Im Jahre 2014 arbeitete eine BMVIT-Arbeitsgruppe zum Thema Hybridnetze, mit dem Ziel, die grundsätzlichen Möglichkeiten einer systemoptimierten Integration der unterschiedlichen Energienetze und -systeme sowie die Möglichkeiten von Energieeffizienzmaßnahmen im energieträgerübergreifenden Kontext, insbesondere im Zusammenhang mit kommunalen Infrastrukturen, zu adressieren (Hinterberger 2015a). Der daraus abgeleitete Forschungsbedarf (Hinterberger 2015b) wurde von den an der Erstellung der SRA beteiligten Forschungsakteuren aufgegriffen und mit den Acatech-Forschungsfragen sowie identifizierten Forschungsfragen aus Projekten und Papers (SGMS HiT, siehe auch Berger et al. 2014, Stutz et al. 2016, Cavallaro et al. 2014 (Ready for smart city, Pol et al. 2016) ergänzt.

Folgender Forschungsbedarf, gegliedert in Cluster, hat sich bei den Workshops zur SRA herauskristallisiert:

Für eine energieträgerübergreifende Infrastrukturentwicklung bedarf es grundsätzlich einer integrativen, systemischen Sichtweise. Die Grundlage dafür bildet allerdings ein fundiertes und gesichertes Wissen über die einzelnen Systemkomponenten. **Als Basis ist daher eine Weiterentwicklung spezifischer Hybridnetz-Einzeltechnologien** erforderlich.

- Spezifikation von Hybridnetztechnologien (Kopplungs-/Umwandlungstechnologien, Speichertechnologien, Steuerung und Regelung, Kommunikation etc.) zur Realisierung eines „optimalen“ Hybridnetzes
- Technologiekomponentenentwicklung für den ökonomisch sinnvollen großtechnischen Einsatz von Technologien für Power-to-Gas (Tichler et al. 2014), Power-to-Heat, Power-to-Cold und Power-to-Mobility
- Untersuchung von Wirkungsgraden der unterschiedlichen Speichersysteme unter Berücksichtigung ihres Gesamtwirkungsgrades
- Erhöhung des „Business-Readiness-Levels“ für unterschiedliche hybride Technologiekomponenten

Es ist jedoch nicht nur wesentlich, dass ausgereifte spezifische Einzeltechnologien zur Verfügung stehen; mindestens genauso wichtig ist die Frage, ob Hybridnetze grundsätzlich eine sinnvolle Lösung für die zu erwartende Nachfrage darstellen. Sowohl das Energieangebot als auch die Energienachfrage werden sich in Zukunft verändern. Das bringt grundlegende Veränderungen im Energieinfrastruktursystem mit sich, die auch mit großen Investiti-

onen und strategischen Entscheidungen verbunden sind. Um Fehlinvestitionen zu vermeiden, bedarf es daher noch vor der Implementierung einer grundsätzlichen **Abschätzung des zukünftigen Bedarfs an Hybridnetzen**.

- Analyse der Erforderlichkeit von Hybridnetzen aufgrund von Stromerzeugung aus **volatilen Erneuerbare-Energien-Anlagen**: Lastüberschreitung bzw. Abfederung durch hybride Lösungen in bestimmten Regionen, Abnahme überschüssiger Energie (Pumpspeicherkraftwerke, andere österreichische Regionen, Nachbarländer), überregionale Speicher-aufgabe Österreichs
- Anforderungen an Hybridnetze aus der Gegenüberstellung von Stromerzeugung und zukünftigem Energiebedarf:
 - Strombedarf unter Berücksichtigung von Veränderungen in der Mobilität, Kältebedarf durch Klimawandel, von steigendem Energiekonsum z. B. durch zunehmende IKT-Nutzung, Verhaltensänderungen und Reboundeffekten
 - Änderung der Nachfrage bei Wärme und Kälte (aufgrund des Klimawandels oder steigender Komfortbedürfnisse): Auswirkung auf die Wirtschaftlichkeit der Infrastrukturnetze, Aufzeigen von domänenspezifischen Anreizen (über adäquate Gestaltung von Marktstrukturen) zur Erhaltung der Versorgungssicherheit
- Betrachtung von **Unsicherheiten** möglicher zukünftiger Entwicklungen (Verbrauch, Technologien, Energiepreise), welche zur **Über/Unterdimensionierung** von Infrastrukturnetzen vs. Kosten führen

Traditionell werden die unterschiedlichen Netze (Gas, Wärme/Kälte, Strom) getrennt voneinander geführt und jeweils für sich optimiert. Aufgrund der Zunahme vo-

latiler Energiequellen kommt jedoch v. a. das Stromnetz an die Grenzen seiner Flexibilität und Stabilität. Eine Lösung für diese Herausforderung kann in der Zusammenführung und „Umnutzung“ der einzelnen Energienetze liegen. Die Integration der Netze und Optimierung eines energieträgerübergreifenden Energiesystems ist neu und wirft viele Fragen auf. Deshalb liegt darin auch der größte Forschungsbedarf, nämlich in der **systemischen Integration und Optimierung von technologischen Komponenten in Hybridnetzen**.

- **Gesamtoptimierung** der übergeordneten Infrastruktur (zentral) versus lokale Optimierung (dezentral): realisierbare Ansätze, regional unterschiedliche Optima (je nach Eigentumsverhältnissen, Siedlungsdichte, Infrastrukturbestand, regionalen Erzeugungspotenzialen etc.)
- **Steuerbarkeit von Lasten** in aktuellen Netzen: Potenzial und gesellschaftlicher Konsens der Rolle des Verbrauchers als Teil eines hybriden Energiesystems (Demand Side Management, Gebäude als Speicher, Eigenverbrauch von erneuerbaren Energien etc.)
- Beitrag von Hybridsystemen zur (betriebswirtschaftlich rentablen) Erhaltung von Netzen und zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit, indem **frei werdende Kapazitäten** (durch rückgängige Nachfrage) in bestehenden Infrastruktumetzen (z. B. Fernwärmenetz) durch Hybridsysteme integriert werden. Erhöhung der **Resilienz** in Hybridnetzen: Optimierung der Interaktion der verschiedenen Netze inkl. IKT-Infrastruktur; Erforderlichkeit von paralleler Energieinfrastruktur
- Speicherpotenziale in der **kommunalen Infrastruktur**, z. B. Pumpen und Hochbehälter als flexible Lasten im Stromnetz oder die Nutzung der Abwärme des Abwassers
- Potenziale von **bestehender Infrastruk-**

tur (Gas/Fernwärmenetz) für einen sukzessiven Umbau der Energienetze (auch Lebenszyklus der Netze, deren Dimensionierung, ggf. höhere Belastungen durch die Hybridisierung/höhere Lastwechsel und Investitionskosten beachten); Auswirkungen auf die Temperaturniveaus im Fernwärmenetz und Konsequenzen

- Technologische Migration von momentanen Netzstrukturen: Pfadabhängigkeiten (ökonomisch, technisch, rechtlich) müssen überwunden werden und Maßnahmen zur Verringerung zukünftiger Lock-in-Situationen sollten bei neuen Technologien bereits berücksichtigt werden
- **„Optimales“ Hybridnetz aus technischer vs. energiewirtschaftlicher vs. volkswirtschaftlicher vs. Kunden-Sicht** (parallele Energieinfrastruktur ist u. U. zu einem gewissen Teil notwendig)
- **Risiken der Versorgungssicherheit** durch den Umbau zu einem Hybridnetz: Abbau bestehender Barrieren (z. B. Nutzungskonflikte), Ausbau von Versorgungsgebieten (Gesamtsystem muss weiterhin funktionieren)
- **Bewertung von Sicherheitsaspekten**, welche sich durch die Konvergenz von Infrastrukturen und Dienstleistungen (Security und Privacy) ergeben
- Zusammenführung von **Werkzeugen** (ev. basierend auf vorhandenen Monitoringssystemen) und Methoden (technische Planungs- und Analysetools, Decision Support Tools, Managementtools, Diagnosetools, wo sind Systemgrenzen, welche Komponenten/Technologien müssen berücksichtigt werden, Datenbeschaffung/-qualität), um ein gesamtwirtschaftliches Optimum (für EVU, Netzbetreiber, Konsumenten) eines Hybridnetzes zu finden
- Definition von Funktionalitäten und Schnittstellen solcher Werkzeuge bzw.

Werkzeugketten (z. B. Transparenz, Genauigkeit, Zielabwägung, grafische Aufbereitung), damit sie für die Anwender nutzbar sind und den Transformationsprozess unterstützen

Intelligente IKT macht eine optimierte Zusammenführung verschiedener Netze und Systemarchitekturen überhaupt erst möglich. Das IKT-Netz selbst kann daher als ein Bestandteil von Hybridnetzen gesehen werden. Durch das zeitlich und räumlich schwankende Energieangebot muss flexibel zwischen den Energieträgern umgeschaltet werden können. Hierbei spielen innovative IKT- und Automatisierungstechnologien eine wesentliche Rolle. Doch wie solche IKT-Systeme gestaltet werden müssen, um den Anforderungen einer **sicheren IKT-Infrastruktur** zu entsprechen, wirft wichtige Forschungsfragen für die Zukunft auf.

- Entwicklung und Identifikation von geeigneten und sicheren IKT-Tools und Methoden, um aus dem Variantenraum von Möglichkeiten und Flexibilitäten eine wirtschaftlich möglichst optimale und verlässliche Lösung zu wählen: notwendige bzw. besonders geeignete Prozesse, Protokolle, Datenplattformen, Systemarchitekturen, Sicherheit etc.
- Beitrag der IKT zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit und Systemstabilität: Analyse/Koordination von einzelnen Komponenten für gewünschte Systemeigenschaften, Auswirkungen auf das Gesamtsystem; Reduktion von Risiken (z. B. Anforderungen an die Protokolle für den sicheren Datenaustausch)
- Anforderungen an die zu übertragenden Informationen: Genauigkeit der Daten, tolerierbare Verzögerungszeiten, Zuverlässigkeit und Granularität (z. B. in welcher Zeit müssen Informationen zur Ver-

fügung gestellt werden, um bei kritischen Prozessen/Entscheidungen rechtzeitig als Input bereitzustehen?)

- Datenaustausch bei der Steuerung von Hybridnetzen (innerhalb und zwischen den Netzen): Art der Daten, Übermittlungsdistanzen (wide area, lokal), Anforderungen bezüglich Datenmenge, Verzögerungszeiten und Sicherheit
- Rolle einer (übergreifenden oder dezentralisierten) IKT für ein optimales Zusammenspiel verschiedener Netze mit unterschiedlichen Topologien

Letztendlich sind für eine erfolgreiche Umsetzung eines neuen Systems auch die wirtschaftlichen und organisatorischen Rahmenbedingungen ausschlaggebend. So kann zwar unter geschützten Bedingungen (Förderungen, Vorzeigeregionen) eine Nische für innovative Hybridsysteme geschaffen werden, langfristig wird ein System sich jedoch nur dann großräumig durchsetzen können, wenn es **wirtschaftlich ist und der organisatorische Rahmen** den neuen Anforderungen entspricht.

- Regelung der Verantwortlichkeiten in einem stets komplexeren System: Abstimmung/Bereitstellung der Informationen über die einzelnen Netze
- Organisatorische Lösungen für das Zusammenspiel zwischen einem integrierten Markt und den verschiedenen Netzen: Zuordnung von Kosten und Erlösen, wettbewerbsfördernde Marktorganisation, Auswirkungen auf Tarife
- Untersuchung der Konsequenzen des unterschiedlichen Systemdesigns von Strom-/Erdgas- (reguliert, entbündelt) sowie dem Wärmesektor (unreguliert bzw. durch kommunale Verordnung festgelegt)
- Infrastrukturelle Investitionsfragen: neue Player und Strukturen, Erhöhung der In-

- vestitionssicherheit (verbindliche Energieraumplanung¹³ etc.)
- Geeignete Markt-, Tarif- und Geschäfts- sowie Finanzierungsmodelle in realem Umfeld: Definition von Flexibilität als Dienstleistung (etwa durch eine angemessene Bepreisung)
 - Bedeutung des Einsatzes von IKT und Time of Use (ToU) Tarifen für den Endverbraucher (Effizienzgewinne, Mehrkosten, Sicherheit)
 - Überlegungen zu Netztarifen für hybride Netzstrukturen (vor allem Verhältnis von Leistungs- zur Arbeitspreiskomponente bzw. zeitvariable Auslegung beider Komponenten)
 - Gestaltung eines hybriden Systemdesigns (z.B. energieträgerübergreifendes Bilanzgruppenmodell)

4.2.3.2. Raumspezifische Infrastrukturentwicklung

Bereits unter 4.2.2 wurde auf die Notwendigkeit der Differenzierung nach unterschiedlichen Raum- bzw. Siedlungsstrukturen hingewiesen. Vor allem die Siedlungsdichte und damit meist einhergehend die Bauform und Besitzverhältnisse (Wohnung versus Eigenheim) sowie die Verbraucherstruktur haben großen Einfluss auf den Energiebedarf, verfügbare Energiequellen und auf die optimale Energieversorgung. Der Bau und Erhalt von Infrastruktur (v. a. Wärmenetzen) ist sehr kostenintensiv, daher ist eine gewisse Nachfragedichte erforderlich, damit sie sich betriebswirtschaftlich rentieren. Gewisse Infrastrukturnetze wie Fernwärmenetze sind daher für städtische Strukturen charakteristisch, während sie in schwach besiedelten ländlichen Räumen kaum anzutreffen sind. Sehr häufig wird in der Energieforschung

auf den urbanen Raum fokussiert, da in Städten der höchste Energiebedarf besteht und somit der Hebel für Energieeffizienzmaßnahmen am wirkungsvollsten ist. Das Potenzial für erneuerbare Energien ist in Städten selbst nur bedingt vorhanden¹⁴ und kann vorrangig in Neubaugebieten realisiert werden. Hier bieten sich vor allem das Stadtumland und der ländliche Raum als Energieproduzenten für die Stadt an. Für den ländlichen Raum stellt sich mehr die Frage nach einer ausgeglichenen Bilanz zwischen Energieverbrauch und -produktion, da die zentrale Versorgung durch leitungsgebundene Energieinfrastruktur aufgrund geringer Abnehmerdichte und sinkender Nachfrage immer kostspieliger wird. Folgende Forschungsfragen ergeben sich daraus (in Anlehnung an Hinterberger 2015b):

Da je nach Raumstruktur unterschiedliche naturräumliche und siedlungsstrukturelle Voraussetzungen für erneuerbare Energien und Energieeffizienz vorhanden sind, sind auch Lösungen für nachhaltige Energiesysteme raumtypenspezifisch zu differenzieren (Stoeglehner et al. 2011 und 2016). Für eine gezielte raumspezifische Energieinfrastrukturentwicklung bedarf es daher in einem ersten Schritt einer **Identifikation von Energieraumtypen**.

- Beschreibung und Ausweisung von geeigneten Raumstrukturen für die Erzeugung erneuerbarer Energien und deren Speicherung (im Neubau und im Bestand) mit Fokus auf Realisierbarkeit (rechtlich z. B. Bestandsschutz, Nutzungskonflikte, Rentabilität, etc.)
- Sinnvoller Einsatz von verschiedenen Speichertechnologien (Strom, Wärme, Gas

¹³ vgl. ÖROK Schrittenreihe Nr. 192 – ÖREK-Partnerschaft „Energieraumplanung“, Wien 2015

¹⁴ Als städtische Potenziale können genannt werden: Dachflächen und Fassaden für Solarnutzung, Wärmepumpen zur seichten Geothermienutzung oder aus Abwasser, Energiepflanzenproduktion (z.B. Mikroalgen wie im „Algenhaus BIQ“ in Hamburg), Piezoelemente („Energy harvesting“). Ein Aspekt für die Energieerzeugung im städtischen Raum ist die „Mehrfachnutzung“ des öffentlichen Raumes.

- abhängig vom Platzbedarf, der Energiestruktur etc.) je nach Raumstruktur
- Ausweisung von Energieraumtypen aufgrund charakteristischer Raumstrukturen (z. B. aufgrund typischer Energieverbrauchsstrukturen oder Eignung zur Energieerzeugung): Beschreibung von optimalen Entwicklungsleitbildern für Energieinfrastruktur (inkl. Potenziale und Engpässe/kritische Entwicklungen in der Zukunft)
- Untersuchung des Einflusses von Raum- und Siedlungsstrukturen auf das Verhalten und den Energieverbrauch: Einfluss von unterschiedlichen Siedlungs- und Gebäudetypen bzw. deren Änderung durch eine Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden (z. B. durch Dämmung)

Für die unterschiedlichen Energieraumtypen kann dann eine gezielte **raumspezifische Energieinfrastrukturentwicklung** erfolgen.

- Bewertung geeigneter Power-to-Heat- und Power-to-Gas- bzw. Power-to-Liquid-Konzepte¹⁵ für den ländlichen Raum (z. B. hybride Heizungsanlagen für Einfamilienhäuser): Darstellung von geeigneten Bauformen/Bautypen und den damit verbundenen Kosten; Prognose des Wärmebedarfs im ländlichen Raum unter Berücksichtigung von fortschreitenden Sanierungsmaßnahmen und energieoptimiertem Neubau, zielführende Wärmeversorgungsvarianten
- Beschreibung der zukünftigen Energieinfrastruktur im städtischen und ländlichen Raum: geeignete Energieverteilnetze für unterschiedliche Raumtypen (unter Berücksichtigung von Verteilverlusten, z. B. Biogasnetze oder Niedertemperaturnetze anstatt traditioneller Fernwärmenetze bei geringen Anschlussdichten)

- Entwicklung geeigneter methodischer Ansätze für regionalspezifische Fragestellungen (städtische, ländliche Regionen, West-/ Ostösterreich)
- Good-Practice-Beispiele für Ansätze/Modelle zur Bestandskonversion von Raumstrukturen und Gebäuden (z. B. städtebauliche Verträge) und Ableiten von regionalspezifisch geeigneten Lösungsansätzen
- Regionalspezifische Bewertung von Lenkungsmaßnahmen (z. B. Umsetzungsrichtlinien, Subventionen etc.) zur kostenminimalen Umsetzung von hybriden Strukturen für unterschiedliche Raumstrukturen
- Erhöhung der Resilienz durch dezentrale Strukturen (z. B. Microgrids im E-Netz)
- Untersuchung der Notwendigkeit von Bidirektionalitäten der Netze (z. B. Endkundenebene oder Verteilerstationsebene)
- Entwicklung von optimalen Integrationskonzepten für E-Mobilität/alternative Antriebe: Potenzial von Elektro- und gasbetriebenen Fahrzeugen als Speicher bzw. Verbraucher (Power-to-Mobility) und die dafür geeigneten Raumstrukturen (Nutzungshäufigkeit/Nutzungsdauer/Nutzungsdistanzen der Fahrzeuge)
- Nutzenanalyse von Hybridnetzen differenziert nach Siedlungsstrukturen: Bestand vs. Neubau, Stadt vs. Land; Darstellung einer Priorisierung der Möglichkeiten (zum Beispiel ländliche Regionen, Ballungsgebiete) und einer Timeline
- Bedeutung von dezentralen Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen/Schwammstrom, Kleinspeichern etc. im ländlichen Raum, vor allem basierend auf alternativen Brennstoffen
- Beschreibung der Rollen von Prosumern, z. B. von Kläranlagen, lokaler Industrie und Gewerbe
- Potenzial von Trink- und Abwasserinfra-

¹⁵ Siehe z.B. kommunaler Multi-Energiespeicher <http://bayernplan.jimdo.com/kme-kommunaler-multi-energiespeicher/>

strukturen sowie Kläranlagen (v. a. im ländlichen Raum) für die Integration in Hybridnetze/-systeme (z. B. Nutzung der Abwärme mittels Wärmepumpen, Nutzung der Klärgase mittels KWK, Nutzung von Kläranlagen als Speicher (Gas, Strom, Wärme), Nutzung von Deponien und Abfallbehandlungsanlagen als CO₂-Quelle für die Umwandlung von H₂ aus volatilem Überschussstrom zu Methan, Nutzung von Pumpenanlagen der Trink- und Abwassersysteme quasi als „Pumpspeicherkraftwerke“); Analyse der damit verbundenen Risiken (Wasserversorgung als hochkritische Infrastruktur) und Sicherheitsstandards

Neben einer raumspezifischen Energieinfrastrukturentwicklung, die ganz gezielt auf die Möglichkeiten und Anforderungen der unterschiedlichen Raumstrukturen ausgerichtet ist, bedarf es einer Integration über die einzelnen Energieraumtypen hinweg. So wie eine Integration der energieträgerübergreifenden Netze die Flexibilität und Stabilität des gesamten Energiesystems erhöhen kann, so bietet auch die räumliche Integration Optimierungsmöglichkeiten, die innerhalb einzelner Regionen nicht geleistet werden können. Denn die Schwerpunkte für die Erzeugung erneuerbarer Energien decken sich meist nicht mit den Regionen, die den höchsten Energieverbrauch und somit die höchste Puffer- und Speicherkapazität aufweisen. Weiterer Forschungsbedarf besteht daher für eine **regionsübergreifende Energieinfrastrukturentwicklung**.

- Modellierung der langfristigen Entwicklung des Energieangebots (Energie/Strompreisentwicklung, Zuwachs an volatiler Erzeugung aus erneuerbaren Energien): erforderliche regionale Abstimmung von Energiebedarf (Demand Side Management) und Energieangebot (Bedarf

- nach Speicherung, Energieumwandlung)
- Potenziale für die Flexibilisierung des Energieversorgungs- und Energienutzungssystems der Stadt: die Stadt als „Energieschwamm“, welcher das (volatile) Energieangebot im Stadtgebiet und Umland optimal aufnehmen kann
- Erhebung der Potenziale von Power-to-Gas- bzw. Power-to-Liquid-Anlagen für Standorte in der Nähe von großen Windparks zur Verringerung der Netzbelastung und der Netzgebühren unter Berücksichtigung potenzieller neuer Konflikte und Infrastrukturanforderungen
- Verbrauchsspeicher und (Abwärme-)Potenziale in der industriellen Produktion: Power-to-Heat, Power-to-Gas und Power-to-Mobility-Konzepte
- Beitrag einer energieoptimierten Raum- bzw. Energieraumplanung zu einer energieeffizienten Entwicklung: Darstellung von geeigneten Instrumenten/Werkzeugketten; Wissenstransfer zu Entscheidungsträgern, Planern und Umsetzern
- Systemintegration über verschiedene Steuerungsebenen von gesamtstaatlicher Strategie bis zum einzelnen Consumer, Prosumer und Producer
- Abbau von Barrieren hinsichtlich der oftmals unterschiedlichen Governance-Strukturen zwischen Stadt und Land und zwischen Gemeinden bzw. Ländern
- Geschäftsmodelle für die Energieproduktion aus erneuerbaren Energiequellen im Umland und für die Versorgung der Stadt
- Finanzierungskonzepte zur Realisierung kostenintensiver Energie-Transportinfrastruktur vom Umland in die Stadt

4.3. Governance der Energiewende – Transition Governance

In Anbetracht der langfristigen Ausrichtung der SRA sind gesellschaftliche, ökonomische und soziotechnische Aspekte der Governance der Energiewende in mehrererlei Hin-

sicht von Bedeutung.

Da eine Energiewende und die damit verbundenen Strategie- und Planungsprozesse über mehrere Jahrzehnte ablaufen, ist es umso wichtiger, die Rahmenbedingungen der Entwicklungen der Energienetze im Blick zu haben, auch wenn es nicht möglich ist, die Zukunft vorherzusehen. Das ermöglicht den an der Energiewende beteiligten Akteuren und Stakeholdern sowie den von ihr unmittelbar Betroffenen vorausschauendes Handeln.

Besondere Bedeutung kommt der Transition der Energienetze zu, da Netzinfrastrukturen sehr lange Lebenszyklen durchlaufen und dadurch Pfadabhängigkeiten entstehen, die ihrerseits gesellschaftliche Entwicklungen über sehr lange Zeiträume prägen können. Aufgrund der langfristigen Investitionszyklen von Energieinfrastrukturen bilden Phasen der Erneuerung von Infrastrukturen neue Chancen (Zukunftssicherung, Effizienzgewinne, Komfort), aber auch Risiken (Fehlinvestitionen, Festlegung auf falsche Technologien und Energieträger, Lock-in-Effekte durch langfristige Infrastrukturentscheidungen) für die gesamte gesellschaftliche Entwicklung (Versorgungssicherheit, Verteilungsgerechtigkeit), die Entwicklung der Ökonomie (Standortsicherheit, Anpassungsfähigkeit an zukünftige Technologieentwicklungen) und die Umwelt (CO₂-Einsparungspotenzial).

Der Blick auf die Vergangenheit zeigt, wie weitreichende Veränderungen auf gesellschaftlicher Ebene im Laufe nur weniger Jahrzehnte (z. B. Beitritt Österreichs zur EU, Globalisierung, Wohlstand, Anti-AKW-Bewegung) stattfinden können und wie groß deren Einfluss auf die Veränderung/Veränderbarkeit von Energieinfrastrukturen (Aufbau von Gas- und Wärmenetzen seit den 1970/80er-Jahren, virtuelle Kraftwerke) ausfallen kann. Diese ge-

sellschaftlichen Veränderungen als Kontext der Energiewende zu verstehen und einordnen zu können wird zunehmend wichtiger.

4.3.1. Sozialer und gesellschaftlicher Kontext der Governance der Energiewende

Das gesellschaftliche Umfeld der Energiewende und damit einhergehend der strukturelle Wandel im Energiesystem in Richtung intelligenter Energienetze lässt sich in unterschiedlicher Form darstellen:

- **Akteure, Netzwerke, Institutionen und Visionen:** Gesellschaftliche Akteure, die einen Einfluss auf relevante strategische Entscheidungsprozesse haben, sind insbesondere die Folgenden: Wirtschaftsakteure, öffentliche Verwaltung, Massenmedien, politische Parteien und NGOs sowie auch zivilgesellschaftliche Akteure. In all diesen Bereichen bestehen spezifische soziale Netzwerke, formelle und informelle Normen und Institutionen, rationale Begründungsmuster und Bilder, wie die reale Welt wahrgenommen wird und welche Zukunftserwartungen vorherrschen.
- **Bedürfnisse von Akteuren, Stakeholdern, Betroffenen und Nutzern:** Aufgrund unterschiedlicher Bedürfnisse ist mitunter wichtig, zu berücksichtigen, welche gesellschaftlichen Gruppen als Akteure, Stakeholder, Betroffene oder Nutzer von der Entwicklung intelligenter Energienetze tangiert werden. Je nach Fragestellung sind unterschiedliche Kategorisierungen mehr oder weniger relevant (z. B. Wirtschaftstreibende, Beschäftigte, Junge, Alte, Randgruppen).
- **Veränderung in der Struktur sozialer Milieus:** Ein weiterer Faktor, dem eine Bedeutung für den Wandel von Energiesystemen zugeschrieben wird, wird als soziales Milieu beschrieben. Derzeit werden Milieustudien für mittelfristige strategische Überlegungen zur Vorhersage von

Investitionsentscheidungen von Kunden und beim Energiekonsum und für die Positionierung von wahlwerbenden Parteien gegenüber den Bürgern herangezogen. Dafür werden Milieus nach Grundhaltungen und Lebensweisen gegliedert. Für langfristige Veränderungsprozesse wie die Energiewende ist insbesondere die Veränderung in der Struktur dieser Milieus (etwa im Zuge des demografischen Wandels) von Bedeutung und spielt insbesondere in der Entwicklung von langfristigen Strategien auf der Ebene von Wirtschaft und Verwaltung, etwa bei langfristigen Infrastrukturentscheidungen wie im Bereich der intelligenten Energienetze, eine Rolle.

- **Langsame Veränderung der sozialen Praxis:** Für die Gestaltung von Energienetzen relevant ist das Verständnis der sozialen Praxis der Menschen in folgenden gesellschaftlichen Bereichen: Produktion, Handel, Arbeit, Wohnen, Mobilität, Ausbildung, Gesundheit etc. Für die Energiewende ist die langfristige Veränderung und Veränderbarkeit sozialer Praxis ausschlaggebend. Allerdings verändert sich die soziale Praxis aufgrund einer Vielzahl von Pfadabhängigkeiten wirtschaftlicher, sozialer, kultureller oder klimatischer Natur nur langfristig und es bedarf einer Vielzahl an orchestrierten Maßnahmen unterschiedlichster gesellschaftlicher Akteure, um diese Veränderungen herbeizuführen.
- **Spielregeln und Zeithorizont des Transitionsprozesses:** Entscheidend als Rahmen für die Veränderung des Energiesystems in Österreich sind seine Stabilität ebenso wie seine Veränderbarkeit im Rahmen der subsidiären Arbeitsteilung zwischen EU, nationaler und subnationaler Ebene durch Verfassung, Gesetze und Verordnungen. Die Spielregeln, die sich das Staatswesen gibt, kommen durch demokratische Entscheidungs(findungs)prozesse in Formen der repräsentativen

und zunehmend partizipativen Demokratie zustande. Davon abhängig sind auch der Handlungsspielraum für die Akteure im Transitionsprozess der Energiewende sowie die Taktung und der Zeithorizont für Entscheidungen und Maßnahmen in einzelnen Politikfeldern. Diese Spielregeln bestimmen außerdem den Rhythmus, in dessen Rahmen das Gestalten und Anpassen intelligenter Energienetze stattfinden kann. Zur Veränderung der Spielregeln zählt auch die Art der Steuerung im Staatswesen. In den letzten Jahrzehnten hat sich eine Veränderung von einem Interventionsstaat hin zu einem korporativen Staat vollzogen. Neben dem Staat sind dabei auch private korporative Akteure an der Steuerung beteiligt (Mayntz 2009), mit Konsequenzen für den Handlungsspielraum staatlicher Akteure und von Stakeholdergruppen in der Gestaltung des österreichischen Energiesystems. Insbesondere durch das Entbündeln der etablierten Organisationsstrukturen (Unbundling), die Auslagerung von vormalig ministeriellen Aufgaben in Agenturen (z. B. E-Control) und Privatisierungen hat die Zahl der Stakeholder und Akteure im Energiesystem deutlich zugenommen, ebenso wie sich die Komplexität der Governanceprozesse erhöht hat.

- **Die Rolle des Staates in der Forschungs-, Technologie- und Innovationspolitik:** Mit dem Wandel des Paradigmas der zentralen Steuerung hin zu Governance hat auch ein Wandel in der Forschungs-, Technologie- und Innovationspolitik stattgefunden. Zunehmend wird der technologiegetriebene Ansatz (technology-push) durch einen nachfrageorientierten Ansatz (demand-pull) ersetzt. Im Bereich der FTI-Politik in Hinblick auf große gesellschaftliche Herausforderungen (grand societal challenges) wie die Energiewende kann man auch zuneh-

mend von einer Bedarfsorientierung (need orientation) zur Lösung gesellschaftlicher Herausforderungen (challenge-driven) sprechen.

4.3.2. Gesellschaftliche und sozio-ökonomische Trends und Treiber

Gesellschaftliche und sozioökonomische Faktoren, welche neben technologischen Entwicklungen in den Bereichen Energie und IKT wesentlichen Einfluss auf die zukünftige Entwicklung intelligenter Energienetze haben können, lassen sich in folgende Kategorien zusammenfassen (Rohracher et al. 2011):

- Soziale Faktoren (demografischer Wandel, soziale Ungleichheit, individuelle Werte/ Konsum- und Lebensstile, Psychologie der Veränderungen, Sicherheit, digitale Gesellschaft)
- Ökonomische Faktoren (Wirtschaftswachstum, Energiepreise, Globalisierung, Veränderungen in der Produktionsweise und Nachfrage, Finanzierbarkeit)
- Politische Faktoren (Einfluss und Handlungsfähigkeit der Politik, Einfluss unterschiedlicher Governance-Ebenen, geopolitische Konstellationen, Politikkoordination, gesellschaftliche Bedrohungsbilder, Autonomie/Autarkiebestrebungen, klimapolitische Anpassungs- und Vermeidungsstrategien)

Die wichtigsten Trends und Treiber für Veränderungsprozesse mit Einfluss auf die Gestaltung intelligenter Energienetze stehen in Zusammenhang mit dem Klimawandel, der Ressourcensicherung und -nutzung und mit der Verschuldung öffentlicher Haushalte. Diese resultieren einerseits in einem dringenden Handlungsbedarf für unterschiedlichste Politikfelder auf mehreren Ebenen

von EU bis zur lokalen Politik und führen andererseits gleichzeitig zu Beschränkungen des Handlungsspielraums der staatlichen Akteure. Die gesellschaftlichen und ökonomischen Entwicklungspfade bis 2050 und darüber hinaus werden hierdurch stark beeinflusst werden.

Folgende Themen sind hier sowohl national als auch international von besonderer Bedeutung und werden in den kommenden Jahrzehnten zu grundlegenden Veränderungen im Bereich der Energienetze beitragen (EEGI 2013; ETP 2012; Grayson 2011; Rohracher et al. 2011):

- Eine Vielzahl an bisher noch nicht klar umrissenen Maßnahmen zur **Erreichung der klima- und energiepolitischen Ziele**. Dabei wird insbesondere die deutliche Reduktion der CO₂-Emissionen bis 2050 (EC 2011) eine große Rolle spielen.
 - Bereits jetzt besteht aber ein breiter Konsens, dass die zunehmende Integration erneuerbarer Energien in der Erzeugung, Speicherung, Umwandlung und Verteilung strukturelle Konsequenzen für die Energienetze haben wird.
 - Ebenso besteht Konsens über die Erfordernis substanzieller Energieeinsparungen durch steigende Energieeffizienz in der Industrie mit möglichen Auswirkungen auf das Zusammenwirken von unterschiedlichen Energienetzen und neuen Kooperationsformen zwischen Industrie und Netzbetreibern.
 - Weniger klar ist die Situation beim Energieverbrauch. Auch wenn mittlerweile evident ist, dass ein nicht regulierter Energieverbrauch zur Klimakatastrophe führen muss¹⁶, besteht kein

¹⁶ Two thirds of fossil fuel sources known today must not be used when limiting global warming to 2 °C (McGlade and Ekins 2015)

Konsens bei der Frage, ob ohne massiven Ausbau nuklearer Energiequellen auf signifikante Energieeinsparungen in vielen gesellschaftlichen Bereichen verzichtet werden kann. Damit ist unklar, ob bspw. der Verbrauch an Elektrizität in den nächsten Jahrzehnten steigen oder fallen wird und wie die Entwicklung der Energieinfrastruktur darauf reagieren soll.

- Langfristig wird auch der Klimawandel Auswirkungen sowohl auf das **Verbrauchsverhalten** (z. B. erhöhter Stromverbrauch zur Raumkühlung) als auch auf das **Risikomanagement der Infrastrukturbetreiber** (z. B. vermehrte Ausfallrisiken durch Extremwetterereignisse, Versicherbarkeit von Anlagen) haben.
- Veränderungen in der **Rolle von Akteuren** im Energiesystem: Konsumenten werden zu aktiven Teilnehmern in Energienetzen („Prosumern“), Smart Cities werden die Regeln in Energienetzen verändern. Wunsch nach Autonomie in der Energieversorgung wird den Bedarf nach dezentralen Lösungen einschließlich der Speicherung erneuerbarer Energien nach sich ziehen.
- Mit der Notwendigkeit struktureller Veränderungen tauchen zunehmend **neue Interessenskonflikte** auf. In einer Vielzahl von Fällen konnte schon bisher einiger Widerstand gegen den Ausbau der Energieinfrastrukturen festgestellt werden (z. B. Verlegen von Überlandleitungen, Verhinderung von Windparkprojekten). Bürger sind sich ihrer Rolle und Möglichkeiten als Souverän gegenüber den demokratischen Institutionen bewusst und nutzen diese auch zunehmend bei persönlicher Betroffenheit.
- Aufgrund der Privatisierungs- und Entbündelungsstrategie der europäischen und nationalen Energiepolitik der letzten Jahrzehnte stieg auch die **organisatori-**

sche Komplexität des Energiesystems (z. B. erhöhter Regulierungsbedarf durch eine Vielzahl neuer zu etablierender Marktmechanismen, Zunahme der Zahl der Akteure, Konflikte zwischen virtuellen Bilanzgruppen und physischen Netzkapazitäten). Es besteht kein Konsens darüber, inwiefern die Geschwindigkeit der Energiewende dadurch gebremst wird und die notwendigen Innovationen begünstigt oder gehemmt werden.

4.3.3. Forschungs- und Innovationsbedarf in der Transition zu intelligenten Energienetzen

Im Folgenden werden Herausforderungen, die bei der Transition zu intelligenten Energienetzen bestehen, und der daraus abgeleitete Forschungs- und Innovationsbedarf beschrieben. Weitestgehend richten sich die Themenstellungen an die Forschung im Bereich der Sozial-, Wirtschafts- und Rechtswissenschaften sowie an die öffentlichen und privaten Stakeholder mit der Möglichkeit zu institutionellen, organisatorischen und prozessorientierten Innovation in den Bereichen territorialer und sektoraler Governance.

Diese lassen sich in vier Clustern zusammenfassen: Sektorale Governance, Mehr-Ebenen-Governance, Entwickeln von Transitionspfaden zu intelligenten Energienetzen, und Transition zu intelligenten Energienetzen und Policy Making. Im Folgenden werden die drei letztgenannten Cluster näher beschrieben, während der Cluster „Sektorale Governance“ im Kapitel 4.6 *Cross-cutting Issues* behandelt wird.

Governance des Energiesystems

Hierbei geht es um das Verstehen bestehender und Entwickeln, Testen und Implementieren neuer Governance-Modelle und die Vernetzung neuer und alter Ak-

teursgruppen als Beitrag zu Entwicklung intelligenter Energienetze:

- Marktmechanismen, Kontrollmechanismen, Marktorganisationen und Industriestandards
- Kooperationen und Vernetzung neuer und alter Akteursgruppen innerhalb angestammter Sektoren (insbesondere für energieträgerübergreifende Lösungen), zwischen Wirtschaftssektoren, zwischen Infrastrukturbetreibern, einspeisenden und verbrauchenden Kunden
- sowie zwischen öffentlichen und privaten Kapitalnehmern und öffentlichen und privaten Kapitalgebern (z. B. PPP-Modelle, Crowdfunding etc.)

Forschungs- und Innovationsbedarf besteht in folgenden Bereichen:

- **Verbesserung der Koordination auf Systemebene und über den Energiesektor hinaus:** Neben der Koordination der Akteure auf Systemebene im Bereich der intelligenten Netze ist darüber hinaus auch eine Koordination über Sektoren erforderlich. Dafür braucht es ein gemeinsames „Big Picture“, aber auch eine konkrete Festlegung, wer für die Koordination und Steuerung in stark verschränkten (Strom-, Gas-, Wärme-) Hybridnetzen zuständig ist. Hierbei ist etwa an die zu erwartende stärkere Verzahnung des Energiesektors mit dem Mobilitätssektor zu denken (ETP 2012; IEA 2013).
- Verbindliche Festlegung von politischen Zielen und Indikatoren (Key Performance Indicators). Wenn das politische Ziel z. B. CO₂-Neutralität ist, bedarf es eines **Aufbaus von Daten und Berechnungsmethoden für Key Performance Indicators.**

- **Entwicklung und Einrichtung von Informationsaustausch über Sicherheitsvorfälle:** Das Erreichen eines hohen Sicherheitsniveaus ist nur durch „kollektives Lernen“ möglich; es sollte ein über die Cyber-Security-Meldepflicht¹⁷ hinausgehender Informationsaustausch zwischen Betreibern kritischer Infrastrukturen (auch sektor- und länderübergreifend) stattfinden, um aus Sicherheitsvorfällen die richtigen Schlüsse zu ziehen, ggf. rasch reagieren zu können und langfristig die Sicherheit und Resilienz des Gesamtsystems zu verbessern. Festlegen von technologischen Lösungen als Standards, um Sicherheitsstandards gewährleisten zu können.
- **Entwicklung und Anwendung integrierender und koordinierender Maßnahmen und Instrumente in bestehenden und neu entstehenden Akteursnetzwerken:** Vor dem Hintergrund der vielfältigen Treiber und Trends wird klar, dass die Anwendung eines Systemansatzes, welcher alle Dimensionen (siehe STEEP-Ansatz oben) berücksichtigt und adressiert, notwendig ist. Die Integration und Koordination von unterschiedlichen Sektoren und Akteuren ist essenziell zum Aufbau von intelligenten Energienetzen, insbesondere auch, um Synergien jenseits von einzelnen Sektoren in Zukunft nutzen zu können, z. B. aus der Verbindung von Mobilitäts- und Energiesystem (IEA Norden 2013). Hierzu sind auch neue Koordinationsmechanismen und Governance-Strukturen notwendig (ETP 2012; EC 2011; IEA Norden 2013).
- **Erarbeitung und Implementierung neuer Marktdesigns und Marktregeln:**

¹⁷ Zum Zeitpunkt der Entstehung der SRA lag diese EU Cyber-Security Richtlinie als Entwurf (DI-RECTIVE (EU) 2016/... concerning measures for a high common level of security of network and information systems across the Union) im Konsultationsprozess vor.

Die physische und institutionelle Komplexität von intelligenten Energienetzen macht es unwahrscheinlich, dass es unter den bestehenden institutionellen Rahmenbedingungen zu einer breiten Entwicklung und Implementierung von intelligenten Energienetzen kommt (Grayson 2011; ETP 2012; IEA 2013). Unter der Frage „Wie schafft man effiziente/effektive Märkte?“ lassen sich dazu einige Fragen subsumieren. Ohne auf die Vielzahl von Märkten zwischen unterschiedlichsten Akteuren im Energiesystem (Netzbetreiber-Endkunden, Energielieferanten-Endkunden, Energielieferanten-Stromhändler, Netzbetreiber-Hersteller etc.) und für die unterschiedlichen Energienetze (Gas, Strom, Wärme, Kälte) und IKT-Netze eingehen zu können und ohne den Anspruch der Vollständigkeit zu haben, seien hier einige der Fragen aufgelistet, die in den nächsten Jahren behandelt werden sollten: Wie verhindert man Marktversagen? Wie stellt man Kostenwahrheit her? Was kann die Rolle von Ökosteuern im Kontext der Energiewende sein und welche Auswirkungen auf den Aufbau intelligenter Energienetze hätte dies? Welche ökonomischen Modelle können dazu beitragen, dass intelligente Energienetze klimapolitischen Zielsetzungen gerecht werden? Darüber hinaus gilt es Geschäftsmodelle zu entwickeln, welche den Nutzen von intelligenten Energienetzen insbesondere für Konsumenten und die Wirtschaft (Energieverbraucher, Energielieferanten, Anbieter von Energiedienstleistungen) sicherstellen (Grayson 2011; IEA 2013).

- **Besseres Verständnis der Konsumentenentscheidungen und des Nutzerverhaltens:** Derzeit besteht nur ein mangelndes Verständnis für das Verhalten von Kunden und Nutzern in zukünftigen

Energienetzen. Dabei ist zu betonen, dass hier Investitionsentscheidungen und Verhalten von Energienutzern im privaten wie auch im gewerblichen und industriellen Bereich zu betrachten sind. Es ist z. B. nicht geklärt, inwieweit Verhaltensänderungen erfolgen werden oder gar herbeigeführt werden können. Hierbei steht grundsätzlich eine Vielzahl von Instrumenten zur Verfügung (Preissignale, kulturelle Veränderungen). Während die sozialwissenschaftliche Forschung zu (bzw. im Rahmen von) nationalen und internationalen Demonstrationsprojekten wertvolle Erkenntnisse über die Rolle von privaten und betrieblichen Kunden und Nutzern in den Energienetzen der Zukunft erbracht hat, ist die Transferierbarkeit dieser Ergebnisse aufgrund unterschiedlicher kultureller Normen und Werte limitiert (Grayson 2011). Daher bedarf es einer breiter angelegten Forschung, um Lebensentwürfe, Lebensstile und Grundhaltungen der entsprechenden Akteure besser verstehen zu können (ETP 2012; Grayson 2011). Ergänzend zu den Erhebungen der Bedürfnisse der Nutzer – damit einhergehend eine Kategorisierung der Nutzer – ist zu berücksichtigen, dass das konkrete Verhalten nicht linear von geäußerten oder aus dem Lifestyle abgeleiteten Bedürfnissen abhängt, sondern ergänzende Aspekte einbezogen werden. „Studien zum Verhalten/der Verhaltensänderung“ sollten bereits gewonnene Erkenntnisse betreffend Nutzerverhalten ergänzen, um die Chancen zur Akzeptanz und damit zur Umsetzung innovativer Technologien zu erhöhen. Trotzdem sollte immer die kritische Frage gestellt werden, inwieweit welche Nutzergruppen, Kunden und Investoren einen signifikanten Beitrag zur Lösung anstehender Probleme beitragen können und ob sie daher als Gegenstand

der Forschung angesehen werden sollten.

Rolle der Mehr-Ebenen-Governance

Hierbei geht es um das Verstehen bestehender und zukünftiger Entwicklungen demokratischer Institutionen, Gesetze (einschließlich Datenschutz), Regulierungen und Standards **auf unterschiedlichen Governance-Ebenen** (global, EU, national, subnational, regional, lokal) sowie Politikfelder mit Bezug zur Energiewende (Energie, Wirtschaft, Forschung-Technologie-Innovation, Sicherheit etc.) – **und das Ableiten von Handlungsoptionen für die Entwicklung intelligenter Energienetze** aus diesen sich ändernden gesellschaftlichen Rahmenbedingungen.

Forschungs- und Innovationsbedarf besteht in folgenden Bereichen:

- **Entwicklung und Umsetzung adäquater Formen und Tools zur Koordination und Governance der Transition zu intelligenten Energienetzen:** Akteure im Energiesystem auf unterschiedlichsten Ebenen, wie Netzbetreiber in den Bereichen Strom, Gas und Wärme/Kälte, Produzenten erneuerbarer Energien sowie innovationsbereite Unternehmen, stellen einen erhöhten Koordinationsbedarf und die hohe Unsicherheit in Bezug auf die Entwicklung neuer Konzepte und Lösungen fest. Es besteht ein grundsätzliches Henne-Ei-Problem in Bezug auf die Festlegung auf bestimmte Entwicklungstrajektorien, die eng mit dem Fehlen von Orientierung in der Energiewende¹⁸ und den kaum ausgeprägten Governance-Strukturen zur Reduktion von Unsicherheiten zusammenzuhängen scheint.
- **Rechtliche und wirtschaftspolitische Rahmenbedingungen der Energiewen-**

de: Welche Handlungsspielräume lässt die gegenwärtige Rechtslage für wen und was zu? Welche Möglichkeiten und Hemmnisse ergeben sich daraus in unterschiedlichen Szenarien der Transition zu intelligenten Energienetzen? Darüber hinaus gilt es, rechtliche Grundlagen zu entwickeln, welche den Nutzen von „intelligenten“ Energienetzen auch für Konsumenten sicherstellen (Grayson 2011; IEA 2013).

- **Datenschutz und Datensicherheit:** In Anbetracht der gegebenen Möglichkeiten für Hacker, in intelligente Energienetze einzudringen, bestehen mehrere Problemlagen insbesondere im Bereich des Datenschutzes und der Datensicherheit.
 - Die Ausfallsicherheit ist durch mutwillige Angriffe von Hackern auf die Steuerung gefährdet.
 - Das Vertrauenskapital von Netzbetreibern hängt wesentlich davon ab, ob individuelle Daten von Privatkunden und Unternehmenskunden nicht an Unbefugte weitergegeben werden. Einmal verloren ließe sich dieses Vertrauenskapital auch nur mehr schwer wieder aufbauen. In Anbetracht der Häufigkeit von Erpressungsversuchen sind konkrete Hackerangriffe nicht unwahrscheinlich (McAfee 2011).
 - Neben der Sicherheit von Einzelkomponenten sind die sichere Integration in das Gesamtsystem und der sichere Betrieb entscheidend für die Umsetzung eines hohen Sicherheitsniveaus. Daher sollten Geschäftsprozesse für den sicheren Betrieb von Smart-Grid-Systemen über den gesamten Lifecycle der Systeme (von der Konzeption über Entwicklung, Konfiguration und Betrieb bis zur Außerbetriebnah-

¹⁸ Z.B. Entscheidungen über die langfristige Zusammensetzung des Energiemix, den Grad der Dezentralisierung und der Energie-Autonomie/Autarkie einzelner Regionen und die damit verbundenen institutionellen Rahmenbedingungen

me) etabliert werden. Teilweise fehlen hier noch entsprechende Rahmenbedingungen, beispielsweise eine verpflichtende Prüfung bzw. Zertifizierung der IKT-Sicherheit von Geräten, die im Smart Grid verbaut werden, wie sie auf anderen Ebenen (z. B. elektrische Komponenten) bereits vorhanden sind.

- **Wissen über Prozesse zur stärkeren Einbindung von Stakeholdergruppen, insbesondere der Zivilgesellschaft, in den Energiesystemwandel:** Es ist nur zu verständlich, dass ohne soziale Akzeptanz von alternativen Transitionspfaden im Rahmen der Energiewende deren Umsetzung in Frage steht. In Zusammenhang mit neuen Governance-Modellen wird eine stärkere Einbindung von Stakeholdergruppen entscheidend sein, um eine Akzeptanz bzgl. der Entwicklung und Implementierung von intelligenten Energienetzen (Grayson 2011; Rohrer et al. 2011) zu erreichen. In engem Zusammenhang mit Akzeptanzfragen steht auch die Notwendigkeit, bestehende Infrastrukturen zu modernisieren bzw. neue Infrastrukturen zu errichten, weil hier ein Mangel an Akzeptanz bei Stakeholdern und Betroffenen zu Verzögerungen der Genehmigungen und Errichtungen führen kann (EEGI 2013; ETP 2012). Beispielsweise fehlen deliberative Beteiligungsprozesse in einer frühen Phase der Projektentwicklung und -planung, die das Risiko des Scheiterns bei nachträglichen Genehmigungsverfahren unter Beteiligung der Öffentlichkeit deutlich verringern könnten.

Entwickeln von Transitionspfaden zu intelligenten Energienetzen

Stakeholder und Betroffene auf lokaler gesellschaftlicher Ebene, einschließlich der NGOs und zivilgesellschaftlichen Vertretungen, verlangen zunehmend nach der Ein-

bindung in strategische Entscheidungs- oder Konsultationsprozesse und, um an diesen auch kompetent teilnehmen zu können, nach Informationen und einer Wissensbasis zur Energiewende. Im Folgenden geht es daher um das Entwickeln von Heuristiken und kollektiven Zukunftsbildern für neue Transitionspfade, das Verstehen von Konfliktfeldern und Akzeptanzproblemen, aber auch um die Konzeption und Implementierung experimenteller Zonen (Policy Labs/Living Labs). Weiters fehlen zukunftsorientierte adaptive Strategie-, Planungs- und Abstimmungsprozesse für die entsprechenden Akteurs- und Stakeholdergruppen auf immer konkreter werdender Ebene.

Forschungs- und Innovationsbedarf besteht in folgenden Bereichen:

- **Entwickeln von Prozessen zur Bereitstellung von strategischem Wissen für alle Stakeholder und Betroffene:** Dies umfasst die Bereitstellung von vorausschauender Information und die Teilnahme an partizipativen Foresightprozessen. Um die raschen Veränderungsprozesse verstehen zu können, ist beispielsweise der Zugang zu Horizon-Scanning-Informationen, (Technik-)Folgenforschung und Foresightdatenbanken für alle Stakeholder und Betroffene über den Kreis bisheriger Akteure hinaus wichtig.
- **Verbesserung der Daten- und Informationsgrundlage und Indikatorensysteme für Evaluierungen und Monitoring des Transitionsprozesses:** Um die Entwicklung und Geschwindigkeit der Forschung, Entwicklung und Diffusion von intelligenten Energienetzen zu beobachten und frühzeitig unerwünschte oder verzögerte Entwicklungen zu erkennen sowie gegenseitiges Lernen zu ermöglichen, bedarf es der Erarbeitung einer vergleichbaren Da-

ten- und Informationsgrundlage und der Entwicklung von relevanten und vergleichbaren Indikatoren, welche sowohl technologische als auch institutionelle Dimensionen umfassen (IEA 2013). Das Etablieren von internen und externen Reflexionsschleifen in Innovationsprojekten durch Monitoringsysteme sollte zum Standard werden. Die enormen und komplexen Datenmengen, die in diesem Kontext gesammelt und verarbeitet werden müssen, übersteigen traditionelle Methoden der Datenanalyse. Weitergehende neue Methoden im Umgang mit Big Data, von Daten zu Information (wie etwa Visual Analytics) und von Information zu Wissen (z. B. Netzwerkanalysen, Horizon-Scanning etc.) ermöglichen den Umgang mit solchen Datenmengen, um bessere Entscheidungen zu treffen, neue Einsichten zu gewinnen und neues Wissen zu generieren.

- **Verbesserung des Wissens über die Hintergründe, Hindernisse und Handlungsoptionen zur Verbesserung der Akzeptanz von eingeschlagenen Transitionspfaden durch Marktteilnehmer, Stakeholder und direkt oder indirekt betroffene Dritte:** Dies gilt sowohl für die Marktakzeptanz durch die wirtschaftlichen Akteure und die soziopolitische Akzeptanz durch die Stakeholder als auch die lokale gesellschaftliche Akzeptanz durch die Betroffenen (Wüstenhagen et al. 2007).
- **Orientierung schaffen und kontinuierlich anpassen:** Vor dem Hintergrund aktueller Herausforderungen fehlt häufig die notwendige Langfristperspektive und an dieser ausgerichtetes Handeln, um eine Energiewende mit einem Zeithorizont 2030/2050 tatsächlich zu erreichen. Fehlende Vorhersehbarkeit langfristiger Rahmenbedingungen führt hierbei auch zu

einer verminderten Bereitschaft, in langfristige Forschung und Innovation auf Systemebene zu investieren (EEGI 2013). Darüber hinaus fallen kurz- und mittelfristig Kosten für eine Gruppe von Akteuren an, welche allerdings Nutzen für andere Akteure mit sich bringen, was zu einer Verminderung der kurz- und mittelfristigen Investitionen führen kann (IEA 2013). Eine wichtige Frage, die sich hier stellt, ist die nach dem Umgang mit den Widersprüchen zwischen Dringlichkeit von Lösungen auf der einen Seite und den Pfadabhängigkeiten und Hemmnissen, die teilweise nur einen langsamen Wandel erlauben, auf der anderen Seite. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, zu analysieren, welche Zielkonflikte zwischen einzelnen politischen Zielen herrschen, und darauf aufbauend die Frage zu stellen, mit welchen Werkzeugen/Indikatoren etc. politische Strategien optimal gestaltet werden können.

Innovationsökosystem für die Transition zu intelligenten Energienetzen

Zunehmend muss in Frage gestellt werden, ob ein Technology-Push-Ansatz in der energiebezogenen FTI-Politik noch zeitgemäß ist und ausreichen würde, um die adäquaten technologischen Entwicklungen ausreichend schnell zu entwickeln. In Anbetracht der Dringlichkeit und Wichtigkeit der Transition erscheint es erforderlich, den bisherigen Ansatz durch eine Bedarfsorientierung (need orientation) zur Lösung gesellschaftlicher Herausforderungen (challenge-driven) abzulösen und ein förderliches Innovationsökosystem zu schaffen.

Es müssen insbesondere gesellschaftliche Herausforderungen und Erfordernisse analysiert und der Innovationsbedarf formuliert werden. Nur so können intelligente Energienetze dazu beitragen, innovative

Produkte und Dienstleistungen zu entwickeln und umzusetzen, die nachhaltigen Nutzen für Wirtschaft und Gesellschaft bringen. Hierfür müssen Erkenntnisse aus den Geistes-, Sozial- und Kulturwissenschaften, den Ingenieurwissenschaften und den Wirtschafts- und Rechtswissenschaften in problemlösungsorientierter Weise zusammengeführt werden.

Forschungs- und Innovationsbedarf besteht in folgenden Bereichen:

- **Fokussierung auf Systeminnovationen:** FTI-politische Instrumente zielen vorwiegend auf technologieorientierte Forschung und Innovation ab. Dies wird auch durch die Orientierung am NASA-Konzept der Technology Readiness Levels (TRL) deutlich. Diese verwenden den Begriff System im Sinne der Einbettung einer Einzeltechnologie in ein größeres technologisches System oder Projekt (z. B. Apollo-Mission) und gehen von einem linearen Entwicklungsmodell aus. Systeminnovation (Weber et al. 2008) im Kontext von Energiewende umfasst allerdings eine enge Verflechtung von technologischen Entwicklungen und Systemkomponenten mit organisatorischen Innovationen, institutionellen Innovationen und sozialen Innovationen in einem langfristigen Transitionsprozess. Entsprechende FTI-politische Instrumente und Maßnahmen zur Koordination mit Instrumenten aus anderen Politikbereichen sowie zur Anpassung der Instrumente und eines Instrumentenmix an veränderte Rahmenbedingungen (z. B. Wildcards) sind noch zu entwickeln.
- **Steigerung der Innovationsgeschwindigkeit im Bereich der Netze:** Derzeit ist die Innovationsgeschwindigkeit im Be-

reich der Netze gering, wodurch die Gefahr besteht, dass diese zu einer Barriere für die Dekarbonisierung der Energie- bzw. Elektrizitätsnetze werden (EEGI 2013; Heinen et al. 2011; IEA SG 2011). Hindernisse sollten analysiert und Mechanismen identifiziert werden, die es ermöglichen, neue FTI-politische Instrumente zu entwickeln.

- **Effizientes und rasches Upscaling und Transferieren von Einzelprojekten auf die Systemebene:** Derzeit befinden sich viele technologische wie organisatorische Innovationen im Bereich der Demonstrationsprojekte, wobei klare Pläne zur Implementierung über diese Einzelprojekte hinaus sowohl in technologischer als auch soziotechnischer Hinsicht häufig fehlen. Weiters besteht Bedarf an Wissen, inwieweit und wie in einzelnen Projekten realisierte Innovationen breit diffundieren können und welche Rahmenbedingungen helfen, Demonstrationsprojekte auch in anderen Kontexten erfolgreich umzusetzen („Replicability“) (EEGI 2013). Zunehmend stellt sich auch die Frage, ob bisherige FTI-politische Instrumente geeignet sind, dem neuen bedarfsorientierten Ansatz entsprechende Innovationen zu fördern. Entsprechende neue Instrumente (z. B. Innovationszonen) müssten entwickelt und getestet werden (EEGI 2013; IEA SG 2011; IEA 2013).
- **Entwicklung und Verstetigung von ex-ante- und ex-post-Evaluierungen und Etablieren von reflexiven Monitoring- und Foresightprozessen sowie von Technikfolgenabschätzung:** Die kontinuierliche Einrichtung von Prozessen des kollektiven Lernens betroffener Akteure auf der Ebene von Forschungs- und Innovationsprojekten (z. B. in Forschungsprojekten, Living Labs etc.) und der Bedarf

an demokratischer Legitimierung der öffentlichen Mittelvergabe für Forschungs- und Innovationsprogramme bedarf der Etablierung einer Evaluierungskultur, die Lernprozesse (z. B. durch Analyse von erfolglosen Projekten) nicht hemmt. Für die gesellschaftliche Reflexion ist insbesondere auch eine Verstärkung von partizipativen Foresightprozessen und der Technikfolgenabschätzung relevant.

• **Unterstützung bei exante-Wirkungsanalysen für regulatorische und sonstige Maßnahmen der öffentlichen Hand:**

Aufgrund verstärkter Budgetrestriktionen und als Good Practice zur evidenzbasierten Legitimation politischen Handelns wird es zunehmend herrschende Praxis in der Verwaltung, exante-Wirkungsanalysen durchzuführen, die unterschiedliche Arten von Evaluierungsinhalten haben (makroökonomische Cost-Benefit-Analysen, Nachhaltigkeitsbewertungen, Integrated Environmental Assessments, Risikobewertungen, Technology Assessments etc.). Um hier zum Thema der Transition intelligenter Energienetze evidenzbasierte Wirkungsanalysen durchführen zu können, besteht der Bedarf nach rasch verfügbaren Studien und Modellrechnungen.

4.4. Elektrizitätssystem

4.4.1. Trends und Treiber im Elektrizitätssystem

Seit den Anfängen der Elektrifizierung hat sich diese Endenergieform als unersetzbar in der industrialisierten Welt etabliert. Das ging vom Aufbau kleiner dezentraler Gleichstromnetze Ende des 19. Jahrhunderts über die Entwicklung von Wechselstromnetzen und den Aufbau des zentralisierten Verbundnetzes in der Vor- und v. a. Nachkriegszeit bis zu einer zunehmenden Dezentralisierung (v. a. in Eu-

ropa) seit Beginn des 21. Jahrhunderts. Seit Mitte der 1970er-Jahre ist der Anteil der Elektrizität am Weltendenergieverbrauch von 9,4 auf 18,1 % gestiegen und wird weiter steigen.

In den letzten Jahren haben sich globale Trends und Treiber für die elektrische Energieinfrastruktur herauskristallisiert:

- Die europäische Energiepolitik ist stark getrieben durch Vorgaben zur CO₂-Reduktion und dem damit verbundenen Klimapakket. Dies äußerte sich in der Öffnung der europäischen Strommärkte, zur Stärkung des Binnenmarktes und zur Reduktion der Abhängigkeit von Energieimporten aus nicht europäischen Ländern. Um im ressourcenarmen Europa eine gleichzeitige Reduktion der Importabhängigkeit und der CO₂-Emissionen zu erreichen, wird energiepolitisch sehr stark auf erneuerbare Energieträger gesetzt (vgl. Erneuerbare-Energien-Richtlinie). Die Integration dieser Ressourcen erfolgt zu einem hohen Anteil in den Verteilnetzen, was zu einer starken Dezentralisierung der Stromnetze führt.
- Aufgrund der alternden Infrastruktur ist in den USA einer der Haupttreiber die Erhöhung und Beibehaltung der Versorgungssicherheit. Daneben spielen eine Effizienzsteigerung auf der Verbraucherseite und die Peak-Load-Reduktion eine große Rolle, um die Überlastung der bestehenden Infrastruktur zu vermeiden. Umweltaspekte spielen eine Rolle, sind aber nicht der Haupttreiber wie in Europa.
- In Asien gibt es eine Vielzahl von unterschiedlichen Treibern: In Indien sind dies die Elektrifizierung (200 Mio. Menschen ohne Stromversorgung), die Versorgungssicherheit (es sei an die Blackouts in 2012 erinnert) und die Reduktion der Netzverluste (derzeit 27 % technische und nicht technische Verluste – Stromdiebstahl). China ist mit einem steigenden Strom-

- verbrauch, der Elektrifizierung und der Integration erneuerbarer Ressourcen konfrontiert. Hochtechnologieländer wie Korea sehen als einen der Haupttreiber die Technologieführerschaft bei Smart-Grid-Anwendungen.
- In Afrika sind die beiden zentralen Treiber die Erhöhung der Versorgungssicherheit und die Elektrifizierung.

Ein wesentlicher Faktor, der die elektrische Energieinfrastruktur verändert hat und auch noch weiter verändern wird, ist die Verbindung von Stromnetzen mittels der Möglichkeiten von Informations- und Kommunikationstechnologien. Der vereinfachte und zeitnahe Austausch von Informationen zwischen einer steigenden Anzahl an Akteuren machte die Liberalisierung der Strommärkte und die Integration einer hohen Dichte an erneuerbaren Energien überhaupt erst möglich. Die zunehmende Vernetzung und die damit verbundene steigende Komplexität stellen einen wesentlichen Trend im Bereich der elektrischen Energieinfrastrukturen dar. Zusätzlich kam es im ersten Jahrzehnt des 21. Jahrhunderts zu einer massiven Preisreduktion bei dezentralen Stromerzeugern (vor allem Photovoltaik), und ein ähnlicher Trend ist mit einem Jahrzehnt Verzögerung derzeit bei elektrischen Speichern zu beobachten.

4.4.2. Innovationsbedarf

Das Energiesystem muss darauf vorbereitet sein, mit dem volatilen Verhalten von erneuerbaren Energien über die Wasserkraft hinaus sowie mit der Integration von Elektromobilität und dezentralen Speichern unter Berücksichtigung des Verhaltens und der Wünsche der Kunden umgehen zu können. Dies muss ohne Gefährdung der Versorgungsqualität geschehen. Speicher können dazu beitragen, die Eigendeckung

des Stromverbrauchs bei Prosumern zu erhöhen, Lastspitzen zu vermeiden und eine höhere Dichte an fluktuierenden Stromerzeugern zu integrieren. Des Weiteren wird sich das Netz auf neue Arten von Konsumenten einstellen müssen, welche auch als aktive Marktteilnehmer auftreten werden.

Historisch entwickelt fährt derzeit die Erzeugung im Stromsystem dem Verbrauch nach (generation follows demand). Aufgrund zunehmend volatiler Einspeisung werden derzeit aber mehr und mehr Demand-Side-Management und Demand-Response als effiziente Maßnahmen für Lastausgleich in Betracht gezogen (demand follows generation). Vor dem Hintergrund derartiger Paradigmenwechsel müssen Netze in Summe noch effizienter werden und der Systembetrieb optimiert werden, um einen teuren Netzausbau zu reduzieren. Dies betrifft auch die Interaktion mit weiteren Energieträgern wie Fernwärme, Fernkälte und Gas und dem Mobilitätssystem über Elektromobilität. Generell ist es notwendig, Lösungen zu identifizieren und zu implementieren, die es ermöglichen, die vorhandene Flexibilität auf allen Ebenen für einen optimierten Systembetrieb (technisch, wirtschaftlich und ökologisch) nutzbar zu machen.

Die Komplexität im System wird weiter steigen und verlangt neue und robuste Ansätze für Netzplanung und auch den Netzbetrieb. Angesichts der raschen Veränderungen in einer Infrastruktur mit sehr langen Investitionszyklen und Kapitalbindungsdauern ist es notwendig, den Netzbetreibern, Regulierungsbehörden und der Industrie geeignete Werkzeuge für die Entscheidungsfindung bereitzustellen. Dies betrifft Aspekte wie Investitionsstrategien, Analyse und Planung, Einbindung neuer Regelungskonzepte und Komponenten, Netzanschlussbedingungen,

aber auch regulatorische Rahmenbedingungen. Diese neuen Methoden und Ansätze müssen kosteneffizient, übertragbar und in vielen Fällen skalierbar sein.

Die elektrische Energieversorgung ist ein komplexes Zusammenspiel aus technischen, wirtschaftlichen, ökologischen und regulatorischen (politischen) Herausforderungen. Vor diesem Hintergrund ist v. a. die Klärung des Umgangs mit widersprüchlichen Anforderungen aus Netzsicht und Marktsicht notwendig.

Die zunehmende kommunikationstechnische Vernetzung im Stromsystem verlangt eine langlebige, robuste und sichere IKT-Infrastruktur und die entsprechende Interoperabilität der Komponenten und Systeme (IKT-Standards).

4.4.3. Fragestellungen für die Stromnetze der Zukunft

Das europäische Stromsystem ist ein starkes Verbundsystem, in dem sich viele Fragen nicht aus der Sicht einzelner Länder beantworten lassen und sehr viele gemeinsame Fragestellungen bearbeitet werden müssen. Konkrete Themenstellungen mit Forschungsbedarf im Bereich der elektrischen Energieinfrastruktur wurden auf europäischer Ebene von der Europäischen Technologieplattform Smart Grids (ETP Smart Grids) und der European Electricity Grid Initiative (EEGI) identifiziert (vergleiche dazu auch ETP 2012 und EEGI 2013). Diese nachfolgend dargestellten Themen sind auch für Österreich von großer Bedeutung:

- Intelligente Verteilnetze und Verteilnetzautomatisierung
 - Strategien für Leistungs- und Energiemanagement im aktiven Verteilnetzbetrieb unter Einbindung von Speichern

- und Demand Response
- Resiliente Teilnetze (Micro- und Nano-Grids)
- Intelligente Übertragungsnetze
 - Entwicklung und Demonstration von Stromübertragung über lange Distanzen (z. B. VSC HVDC)
 - Multi-Terminal-HVDC-Netze und verkabelte Übertragungsnetze
 - Entwicklung von Technologien und Anreizen für Lastflexibilisierung bei Großverbrauchern
- Übergreifende Forschung für Verteil- und Übertragungsnetz
- Intelligente Systeme für den Stromhandel und für Konsumenten
 - Sichere IKT-Architekturen für standardisierte Dienstleistungen
 - Definition und Entwicklung von Schnittstellen zu den Konsumenten
 - Entwicklung von Plattformen für von Konsumenten getriebene lokale Märkte
 - Programme zur Aktivierung der Kunden
- Integriertes, nachhaltiges, sicheres und wirtschaftliches Stromsystem
 - Entwicklung von Werkzeugen, Ansätzen und Geschäftsmodellen für smarte, integrierte Energiedienstleistungen (Ancillary Services)
 - Entwicklung von erweiterten Prognose- und Systembetriebs-Techniken für einen nachhaltigen Systembetrieb (Verbrauch und Erzeugung)
 - Architekturen und Werkzeuge für Fehlervermeidung (Erkennung) und Netzwiederaufbau
 - Erweiterte Planung, Betrieb und Wartung von Elektrizitätssystemen über alle Spannungsebenen
 - Pre-Standardisierung: Standardisierung der Anbindung von dezentralen Energieerzeugungsressourcen. Entwicklung von harmonisierten Netzanschlussbedingungen, die über die derzeit übli-

- chen hinausgehen
- Neue Materialien (vgl. Fortschritte in der Nanotechnologie) und Lösungen für Smart Grids Technologien und Anwendungen
- Sozioökonomische Barrieren und Möglichkeiten
 - Entwicklung neuer Geschäftsmodelle
 - Entwicklung neuer Netztarife (z. B. Energie- vs. Leistungstarif, Kostenabwälzung zwischen den Netzebenen)
 - Regulative Anpassungen bzgl. Kostenerstattung für Netzbetreiber (OPEX vs. CAPEX)
 - Entwicklung von rechtlichen Rahmenbedingungen
 - Sicherstellung der Kompatibilität zwischen Smart Grids und Smart Cities
 - Untersuchung der Evolution und Transition in Richtung Smart Grids
 - Methoden zur Akzeptanzsteigerung von Netzprojekten
 - Untersuchung der Interaktion (sozial und politisch) zwischen Industrie, Regulierung und NGOs

Aufgrund der Struktur und der Größe Österreichs sowie der Einbettung in die europäischen Rahmenbedingungen wird national ein Schwerpunkt auf der Planung und dem Betrieb von elektrischen Verteilnetzen mit einem hohen Anteil dezentraler, erneuerbarer Stromerzeugung und der Interaktion mit dem Übertragungsnetz gesehen. Dies deckt sich auch mit den Ergebnissen der Forschungsroadmap (TPA 2010) und Technologieroadmap (TPA 2015) der Technologieplattform Smart Grids Austria.

Im europäischen Kontext stehen dabei die bisherigen österreichischen Erfahrungen in der Erforschung zukünftiger Strategien und Konzepte für elektrische Verteilnetze mit einem hohen Anteil an dezentraler Stromerzeugung, basierend auf erneuerba-

ren Energieträgern, flexiblen und intelligenten Konsumenten und Elektromobilität heraus, die weiter ausgebaut werden.

Einen wesentlichen Faktor stellt die Erforschung der langfristigen horizontalen und vertikalen Interaktion zwischen unterschiedlichen Akteuren dar, d. h. das komplexe Zusammenspiel von Playern (z. B. Erzeuger, Aggregatoren, Verbrauchern) in einer Spannungsebene (horizontal), aber auch spannungsebenenübergreifend (vertikal vom Niederspannungsnetz bis zum Höchstspannungsnetz). Vor allem im städtischen Kontext wird die Erforschung der Schnittstellen zu anderen Energieträgern und Infrastrukturen (z. B. Mobilität, thermische Netze, Gasnetze – siehe Kapitel 4.5.) ein Aspekt sein.

Neben den schon in Kapitel 4.2.3.2 ausgeführten Fragestellungen zur Energieraumplanung ergeben sich für das Themenfeld Elektrizitätssystem folgende spezifische Themencluster und Fragestellungen aus österreichischer Sicht:

Definition, Klärung und laufende Evaluierung des strategischen Rahmens für das Stromsystem der Zukunft

Eine Definition und laufende Evaluierung von möglichen Szenarien und Use-Cases (legistisch, technisch und ökonomisch) in der Entwicklung des Stromsystems in und aus Österreich 2030+ sind als Basis für die weiterführende Forschung auf der Grundlage eines gesellschaftlichen Konsenses, von Zielvorgaben und Rahmenbedingungen für alle Akteure unter Berücksichtigung von evolutionären, aber auch disruptiven Innovationen durchzuführen. Im Speziellen ist natürlich die allgemeine Fragestellung zu klären, was der Stromkunde braucht und will. Lösungen für die Datenverfügbarkeit und Methoden zur Definition und laufenden Anpassung der Szenarien und Use-Cases für

die Forschung müssen gemeinsam entwickelt werden (siehe auch Kapitel 4.6.1 Governance des Energiesystems).

Energieeffiziente Umwandlungskette in der Strombereitstellung

Es muss eine Optimierung der gesamten Umwandlungskette bis zum Strom (Stichwort Verluste) erfolgen, um Strom als hoch-effiziente Endenergieform zur Verfügung zu stellen. Dies bedarf einer laufenden Weiterentwicklung der Effizienz der einzelnen Komponenten von der Erzeugung bis zur Übergabe an den Kunden, aber auch der Weiterentwicklung von Ansätzen zum effizienten Betrieb des Gesamtsystems.

Betrachtung und Entwicklung des Stromsystems in Richtung synergetisch optimiertes Gesamtsystem vor dem Hintergrund „lokal handeln – global denken“

Für die Akteure im Stromsystem ist es notwendig, über Werkzeuge zu verfügen, die auch bei einer zukünftig stärker dezentralen Struktur ein effizientes Gesamtsystem gewährleisten. Dafür ist Folgendes erforderlich:

- Etablierung von intelligenter Steuerung in Verteilnetzen und Interaktion von sich weitgehend selbst regelnden Verteilnetzen (lokales und regionales Balancing) unter Berücksichtigung der Entwicklungen von Mikro- und Nanonetzen zur Steigerung der lokalen Leistungsautonomie
- Lösungen für das Nutzbarmachen von Flexibilität auf allen Ebenen im Stromsystem zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit und Stabilität im europäischen Verbundsystem unter zunehmender Berücksichtigung der Möglichkeiten von Netzdienstleistungen im und aus dem Verteilnetz (Stichwort weiter anhaltende Dezentralisierung des Stromsystems)
- Analyse der Interaktion von Regelungs-

konzepten in einzelnen Spannungsebenen und deren Auswirkung auf das Gesamtsystem im Sinne von Blindleistungsflüssen, Verlusten, Stabilität usw. Entwicklung und Bereitstellung dafür nötiger, einfacher Methoden und Werkzeuge unter Berücksichtigung einer massiv ansteigenden Anzahl von Akteuren und Sensoren im zukünftigen Stromnetz

- Weiterentwicklung und systematische Integration von direkten Stromspeichern, aber auch virtuelle Speicherung in Form von Demand-Response und Lastverschiebung und deren ökonomische Bewertung (zukünftige Strommärkte, Netzdienstleistungen etc.)
- Klärung der Fragestellung, wie Prosumern, Verbrauchern und Betreibern einer dezentralen Energieerzeugungsanlage Darstellungen und Visualisierungen bereitgestellt werden können, bzw. wie diese aussehen müssen, um sowohl die lokale Energieeffizienz zu erhöhen als auch Demand-Response als Maßnahme gegen regionale Netzengpässe zu ermöglichen
- Entwicklung von robusten Methoden zur Evaluierung der Skalen- und Nutzungseffekte von Erzeugungs-, Speicher- und DR-Technologien
- Methoden zur Beurteilung der Integration neuer Technologien und Ansätze ins Stromnetz
 - Neue Technologien in den Bereichen PV, Biogas, Wasserstoff, Brennstoffzelle
 - Die Rolle von Gleichstromnetzen auf allen Spannungsebenen (von HGÜ bis zu Gleichstromnetzen im Verbraucherbereich)

Versorgungssicherheit und -qualität

Es müssen in einem zukünftig noch mehr vernetzten Stromsystem Freiheitsgrade, Maßnahmen, Regeln und Methoden zur Gewährleistung der hohen Versorgungssicher-

heit und -qualität im Stromnetz zur Verfügung stehen, um folgende Fragestellungen klären zu können:

- Kann durch resiliente Teilnetze in Form von Mikro- und Nanonetzen die Versorgungssicherheit erhöht werden, bzw. wie sind diese aus Gesamtsystemsicht zu betrachten?
- Welche Auswirkungen haben mögliche neue Systemarchitektur- und Topologieansätze auf die Versorgungssicherheit?
- Entwicklung von Methoden zur vertiefenden Analyse und Bestimmung der Systemzuverlässigkeit unter Berücksichtigung der steigenden Dezentralisierung und der Zuverlässigkeit von Informations- und Kommunikationstechnologie im Stromnetz
- Entwicklung von Lösungen für den Umgang mit dem zunehmenden Fehlen von rotierenden Massen, Stabilität (dynamisch und statisch) unter Berücksichtigung der Kosten der Netzstabilität
- Werkzeuge für den Nachweis der Robustheit der Konzepte für ein zukünftiges Stromsystem im Störfall
 - Neue Konzepte und Ansätze für den Netzschutz in bidirektionalen Netzen bei sinkenden Kurzschlussströmen (Kurzschlussleistung) inklusive Inselerkennung
 - Zusammenspiel aller Flexibilitäten im Stromsystem und zugrunde liegender organisatorischer Maßnahmen zur Verhinderung von Blackouts bzw. Hochfahren im Falle eines solchen (Nachweis der Schwarzstartfähigkeit von Netzen)
 - Technische, wirtschaftliche und organisatorische Lösungen für eine Notstromversorgung mit dezentralen Energieerzeugungsanlagen unter Berücksichtigung der Frage, welche Grundver-

sorgung zur Aufrechterhaltung kritischer Infrastruktur sichergestellt sein muss (z. B. Gesundheitsinfrastruktur, Wasser, Kommunikation)

Interaktion des Stromnetzes mit anderen Infrastrukturen (Gas, Wärme, Mobilität)

Im Sinne einer domänenübergreifenden Betrachtung des Energiesystems ist es unabdingbar, Methoden und Werkzeuge für die Analyse und Bewertung der Interaktion des Stromsystems mit anderen Energiesystemen bereitzustellen, um folgende Fragestellungen klären zu können:

- Welche Freiheitsgrade für das Stromnetz können aus dem Gasnetz zur Verfügung gestellt werden – Stichwort Power-to-Gas – und wie sehen die dazugehörigen Planungs- und Betriebsführungsansätze aus?
- Welche Freiheitsgrade für das Stromnetz können aus den thermischen Netzen - Stichwort Power-to-Heat/Cold - sowie der Elektrobilität generiert werden und wie sehen die dazugehörigen Planungs- und Betriebsführungsansätze aus?
- Definition und Entwicklung der Beiträge des Stromnetzes zu einer nachhaltigen Mobilität in Österreich (öffentlicher Verkehr, z. B. „grüne Bahn in Österreich“, Elektrofahrzeugflotten in Industrie und Gewerbe, Elektrofahrzeuge für Individualverkehr) – Bereitstellung und Integration von Ladeinfrastruktur und energetische Nutzung von Batterien.

4.5. Leitungsgebundene Wärme- und Kälteversorgung (Wärme- und Gasnetze, Fernkälte)

4.5.1. Trends und Treiber

¹⁹Während die Begriffe „Nahwärme“ eher für kleinere, ländliche Wärmenetze und „Fernwärme“ eher für größere, städtische Wärmenetze verwendet werden, ist diese Unterscheidung technisch nicht von Bedeutung. Im Folgenden werden daher beide Begriffe synonym genutzt bzw. allgemein der Begriff „Wärmenetze“ verwendet.

Nah- und Fernwärmenetze¹⁹: Die leitungsgebundene Wärmeversorgung mithilfe von Heißwasser oder Dampf existiert schon seit vielen Jahrhunderten; schon die Römer der Antike verwendeten heißes Thermalwasser, das durch Rohre in Becken und Gebäuden geleitet wurde, für Bodenheizungen. Um die Abwärme der thermischen Kraftwerke zu nutzen, die zurzeit der Jahrhundertwende für die zunehmende Elektrifizierung der Städte entstanden, wurde die sogenannte „1. Generation“ der Fernwärme entwickelt. Dabei wurde Wasserdampf – mit Vorlauftemperaturen (VLT) über 130 °C – als Wärmeträger eingesetzt. Sinkende Kundenanforderungen in den 1930er-Jahren ermöglichten die „2. Generation“, bei der Wasser im flüssigen Phasenzustand als Wärmeträger (mit VLT über 100 °C) verwendet wird. Weitere technische Änderungen an den Kundenanlagen erlaubten seit den 1970er-Jahren eine Reduktion der VLT auf ca. 95 °C, die sogenannte „3. Generation“. Aktuelle Entwicklungen bei Fernwärmenetzen gehen in Richtung einer „4. Generation“ und damit verbundenen noch niedrigeren Vorlauftemperaturen unter 70 °C – sogenannte Niedertemperatursysteme, die die Verwendung von Niedertemperaturquellen wie Wärmepumpen ermöglichen. In diesem Zusammenhang sind auch sogenannte „Anergie-Netze“ oder „kalte-Nahwärme“-Netze zu nennen, die mit VLT von 10-20°C und dezentralen Wärmepumpen bei den Verbrauchern zur Temperaturerhöhung arbeiten.

Während insbesondere im skandinavischen Raum bereits diverse Netze der 4. Generation erprobt werden (der Anteil der Fernwärmeproduktion aus Wärmepumpen liegt z. B. in Schweden bei ca. 10 %) (Werner et al. 2014), sind die über 2.400 Fern- bzw. Nahwärmenetze (mit einer Gesamtabgabe

von 15.801 GWh) in Österreich fast ausschließlich als Systeme der 2. und 3. Generation ausgeführt. Die eine Hälfte der Fernwärmeaufbringung stammt derzeit aus Biomasse, Müllverbrennung (jeweils ca. 20 %) und industrieller Abwärme, Geothermie und sonstigen Quellen (9 %). Die andere Hälfte stammt aus fossilen Quellen, im Wesentlichen aus Erdgas. Das Erdgas wird großteils in hocheffizienten Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen zur Fernwärmeerzeugung eingesetzt, wobei der Anteil seit 2008 aufgrund der sinkenden Strom- und steigenden Gaspreise stetig sinkt.

Die erste **Fernkälte**anlage in Österreich ging im Jahr 1993 in Linz in Betrieb²⁰. Derzeit führt die Fernkälte mit weiteren Netzen in Wien, Mödling und St. Pölten noch ein Nischendasein. Die Fernkälteabgabe (89 GWh in 2013) entspricht circa der Hälfte des Wertes aus Finnland und Deutschland und rund 1/10 des Wertes aus Frankreich und Schweden. Die Tendenz in Österreich ist jedoch stark steigend, seit 2009 hat sich der Wert mehr als verdreifacht.

Wesentliche **Herausforderungen** für die Fern- bzw. Nahwärmenetze und die Fernkälte werden im Folgenden zusammengefasst:

- Bislang hat die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) basierend auf Erdgas mit einem Anteil von ca. 65 % eine dominante Rolle in der Fernwärmeerzeugung Österreichs. Die Minimierung des Einsatzes fossiler Energieträger bei gleichzeitiger Dominanz der Stromproduktion aus erneuerbaren Energieträgern reduziert die wirtschaftlichen Volllaststunden von KWK-Anlagen erheblich bzw. erfordert eine höhere Flexibilität der Anlagen bzgl. Last-

²⁰ http://www.linz.at/images/LL_202_34_41_LinzAG.pdf

- wechsel und Brennstoffe.
- Die Verwendung von biogenen Brenn- und Treibstoffen in Heiz(kraft)werken bekommt zunehmend Nutzungskonkurrenz, zum einen durch die energetische Nutzung in Mobilitätsanwendungen (z. B. als Bio-Diesel) oder in industriellen Produktionsprozessen mit hohem Temperaturbedarf, zum anderen durch die stoffliche Verwertung, z. B. in der Papierindustrie oder für die Nahrungsmittelproduktion.
 - Der spezifische Energiebedarf im Wohnbereich sinkt tendenziell aufgrund von Sanierungen im Gebäudebestand bzw. steigenden Energiestandards im Neubau. Gleichzeitig ist eine Zersiedelung urbaner Räume zu beobachten, sodass Energiedichten tendenziell sinken und so das Verhältnis von Verteilkosten zu Einnahmen aus dem Wärmeverkauf sinkt.
 - Trotz des Monopolstatus der Wärme- und Gasnetze stehen sie bei der Wahl der Wärmeversorgungsoption im Neubau in Konkurrenz zueinander (soweit der jeweilige Netzanschluss verfügbar ist) und zu individuellen Heizsystemen wie Biomasse oder Ölkesseln und Wärmepumpen. Entsprechend reduzieren sich die erreichbaren Anschlussdichten und damit die Wirtschaftlichkeit.
 - Bestehende Netze sind oftmals nicht für eine signifikante Einspeisung alternativer Wärmequellen wie Solarthermie, Geothermie, Umgebungswärme über Wärmepumpen und industrielle Abwärme ausgelegt, da diese Quellen häufig dezentral vorliegen und/oder ein niedriges Temperaturniveau haben und/oder zeitlich nicht (oder nur schwer) kontrollierbar sind.
 - Viele Netze weisen eine Strahlen- bzw. Baumtopologie auf, in der eine dezentrale Einspeisung bzw. Lastumkehr nicht bzw. nur mit erhöhtem Aufwand möglich ist.

- Aufgrund der geringen Effizienz vieler Kundenanlagen (hohe Vor- und Rücklauftemperaturen) und zur kosteneffizienten Übertragung der benötigten Wärmemenge werden i. A. relativ hohe Vorlauftemperaturen eingestellt.
- Es liegen oftmals relativ geringe Speicherkapazitäten im Netz vor, da die traditionell dominierenden thermischen Kraftwerksparks sich den Verbraucherprofilen relativ gut anpassen lassen bzw. kostengünstige Spitzenlastkessel vorgehalten werden.
- Sich ändernde Betriebsbedingungen aufgrund der dezentralen Einspeisungen alternativer Wärmequellen (erhöhte Lastwechsel und vermehrte Temperatursprünge) verursachen zusätzliche mechanische Belastungen der Netzinfrastruktur, die in Österreich bereits jetzt z. T. bis zu 40 Jahre alt ist. Das Risiko für Leckagen und die Notwendigkeit kostenintensiver Reparatur- bzw. Sanierungsmaßnahmen steigen.
- Die zunehmende Einspeisung von Abwärme aus industriellen Betrieben, dezentralen Wärmequellen und von „Prosumern“, die Bestrebungen zum Unbundling von Erzeugung und Verteilung (die teilweise schon umgesetzt wurden), die stärkere Interaktion mit dem Stromnetz über Wärmepumpen und das Auftauchen neuer Marktakteure wie z. B. Speicheranbieter resultieren in einem erhöhten Abstimmungsbedarf bei der Planung, Auslegung, Realisierung, dem Betrieb und der Sanierung von Wärmenetzen.
- Die aktuellen rechtlichen, organisatorischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und Geschäftsmodelle sind nicht ausreichend, um eine Einbindung alternativer Wärmequellen in Fernwärmenetze zu forcieren.

Erste **Gasnetze** wurden in Österreich Mitte

des 19. Jahrhunderts mit Stadtgas zur Straßenbeleuchtung, später auch zum Heizen, zur Warmwasserbereitung, zum Kochen und zum Betrieb von Absorptionskühlschränken etabliert. In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurde Stadtgas in den öffentlichen Gasnetzen in Europa durch Erdgas ersetzt. Heutzutage erreicht die Länge des österreichischen Erdgas-Transport- und Erdgas-Verteilnetzes (ohne Transitleitungen) mehr als 42.700 Kilometer und hat sich damit gegenüber 1990 beinahe verdreifacht. Die insgesamt in Österreich gelieferte Erdgasmenge lag 2013 bei 7,6 Mrd. m³ (18 % davon aus eigener Produktion). Hauptverbraucher war der produzierende Bereich (ca. 43 %), gefolgt von Strom- und Fernwärmeerzeugung (28 %) und Raumheizung (19 %). Bzgl. des Speichervolumens nimmt Österreich aufgrund geologischer Besonderheiten EU-weit eine Sonderstellung ein, die Speicherkapazität liegt bei ca. 92 % des Inlandsverbrauchs, etwa viermal so hoch wie im EU-Durchschnitt (FGW 2014).

Wesentliche **Herausforderungen** für die Gasnetze Österreichs werden in Hinterberger 2011 genannt und im Folgenden zusammengefasst:

- Die Liberalisierung der Energiemärkte in Europa führt zu laufenden Änderungen der Rahmenbedingungen für die Gaswirtschaft. Die notwendigen strukturellen Anpassungen binden personelle Kapazitäten.
- Die weltweit massiv steigende Nachfrage nach Erdgas (der Verbrauch hat sich zwischen 1980 und 2006 nahezu verdoppelt) resultiert in einer stark steigenden Konkurrenz auf den Erdgasmärkten, insbesondere hinsichtlich der verbleibenden Erdgasreserven.
- Aufgrund der tendenziell rückläufigen Erdgasproduktion in Europa wird die Versorgungssicherheit mit Gas zunehmend gefährdet. Die Versorgungsrouten für den

Erdgasimport sind überwiegend von politisch wenig stabilen Ländern abhängig.

- Die weltweit zunehmende Bedeutung von Erdgas in verflüssigter Form (LNG) hat weitreichende Konsequenzen für lokale Gasmärkte: Durch das steigende alternative Angebot werden sich vorhandene Preisstrukturen hin zu volatilen Preisen ändern, zugleich kann eine höhere Versorgungssicherheit erreicht werden.
- Die EU-Richtlinie zur vermehrten Förderung des Einsatzes von erneuerbaren Energieträgern führt einerseits zu einer vermehrten Substitution von Erdgas mit erneuerbaren Energieträgern, andererseits gewinnt die Integration von erneuerbaren Energieträgern (z. B. Biomethan) in die Erdgasinfrastruktur vermehrt an Bedeutung.
- Der Trend zur thermischen Sanierung von Bestandsgebäuden bzw. dem energieeffizienten Neubau führt (vergleichbar den Wärmenetzen) zu einer Reduktion der Wirtschaftlichkeit der Gasnetze. Ebenso steht die Infrastruktur in Konkurrenz zur Fernwärme und individuellen Wärmeversorgungsanlagen.

4.5.2. Innovationsbedarf

Der nahezu vollständige Ausstieg aus den fossilen Energieträgern erfordert die massive Integration alternativer Energiequellen bei gleichzeitiger Maximierung der Primärenergieeffizienz im Gesamtsystem.

Zur Realisierung dieser (R)evolution im Wärmesektor bedarf es vorrangig einer akkordierten Strategie bzw. verbindlichen Energieraumplanung, um die volkswirtschaftlich optimalen Wärme- (und Kälte-) Versorgungsoptionen in Abhängigkeit globaler Zusammenhänge und unter Berücksichtigung lokaler Szenarien, Randbedingungen und Potentiale zu wählen.

Zusätzlich sind die Adaptierung und Opti-

mierung bestehender Umwandlungs- und Erzeugungstechnologien sowie die Weiterentwicklung und optimierte Integration neuer Technologien und die Entwicklung und der Einsatz neuer und robuster Ansätze bzw. Methoden zur Planung und Auslegung im Neubau, aber auch für den Betrieb und die Erneuerung der historisch gewachsenen Wärmeversorgungssysteme in Österreich notwendig.

Im Gegensatz zu traditionellen Strukturen, in denen im Allgemeinen eine zentrale Struktur und gerichtete Verbindung zwischen Erzeugung, Verteilung und Einsatz von Energie besteht, müssen bei zukünftigen Energiesystemen immer mehr dezentrale Strukturen und bidirektionale Verbindungen zwischen allen relevanten Komponenten und zusätzlichen Elementen wie Speichern berücksichtigt werden.

In diesem Zusammenhang zu berücksichtigen ist auch die steigende Komplexität des Systems, die sich insbesondere aufgrund der wachsenden Interaktionen zum Stromnetz und der steigenden Anzahl an Akteuren im Wärmesektor ergibt. Die bislang vorherrschenden statischen Betrachtungsweisen müssen um dynamische Elemente ergänzt werden.

Des Weiteren sind die bestehenden Geschäfts- und Finanzierungsmodelle zu adaptieren, bzw. neue zu erschaffen, um die Integration alternativer bzw. dezentraler Wärmequellen (insbesondere industrielle Abwärme) in Wärmenetze und alternativer bzw. dezentral anfallender Gase in Gasnetze zu ermöglichen.

Im Folgenden sind die als prioritär identifizierten Forschungsthemen für Wärme-

und Gasnetze zusammengefasst:

4.5.3. Fragestellungen für die leitungsgebundene Wärme- und Kälteversorgung (Wärme- und Gasnetze, Fernkälte) der Zukunft

Im Gegensatz zu den elektrischen Energienetzen kann Wärmeenergie aufgrund der relativ geringen Energiedichte nicht über sehr lange Distanzen wirtschaftlich sinnvoll transportiert werden²¹, die Erzeugung und Verteilung von Wärme und Kälte muss deshalb im Wesentlichen lokal erfolgen. Während es sich bei den Wärme- und Gasnetzen in Österreich um natürliche Monopole handelt, werden die Brennstoffe bzw. der Strom an internationalen Märkten gehandelt. Das erzeugt eine überregionale Komponente, die es im Gesamtsystem zu optimieren gilt. Aufgrund des historischen Wachstums der Städte und deren Wärmenetze sind die jeweiligen Herausforderungen und Fragestellungen der Wärmenetze z. T. lokal sehr unterschiedlich und erfordern eine individuelle Behandlung.

Konkrete Fragestellungen für die europäischen **Fernwärme- und Fernkältenetze** wurden auf internationaler Ebene bereits 2012/2013 in der Strategic Research Agenda der europäischen Technologie-Plattform DHC+ (DHC 2012) bzw. der Strategic Research and Innovation Agenda der europäischen RHC-Plattform behandelt (RHC 2014). Folgende Aspekte sind auch für die Wärmenetze in Österreich von großer Bedeutung:

- Techno-ökonomische Aspekte
 - Entwicklung von kostengünstigen, hocheffizienten und flexiblen KWK-Anlagen
 - Verbesserung der Performance von Kühltechnologien
 - Reduktion der thermischen Verluste in

²¹ Bei hohen Energiedichten lassen sich auch lange Transportleitungen realisieren.

Rohrleitungen

- Weiterentwicklung von minimalinvasiven Verlegeverfahren für Rohrleitungen
- Integrierte und standardisierte Rohrleitungssysteme
- Hocheffiziente Übergabestationen
- Integration unterschiedlicher Wärmequellen in Fernwärme- und Kältenetze
- Integration von Niedertemperatur- und Hochtemperaturnetzen
- Entwicklung von geeigneten Lösungen zur hygienischen Bereitung von Warmwasser bei niedrigen Vorlauf-temperaturen
- Nutzung von FWK-Netzen, um Überschussstrom aufzunehmen
- Weiterentwicklung und Implementierung von saisonalen Speichern
- Kombinierte Speicher für Wärme- und Kälteanwendungen
- Decision Support Tools für Stadt- und Raumplaner
- Bewertung der Möglichkeiten für lokale Mikronetze
- Optimierung der Interaktion zwischen Erzeugung, Verbrauch und Verteilung
- Integrierte Planung und Betrieb von Fernwärme- mit Fernkältenetzen
- Verbesserung der Interaktion mit und zwischen Kunden
- Integration der Energienetze, um lokale Erzeugungspotenziale bestmöglich zu nutzen
- Sozioökonomische Aspekte
 - Intensivierung der Ausbildung im Bereich FWK, Schaffung eines europäischen Masterprogramms
 - Entwicklung von Bewertungstools für Wärmeversorgungssysteme
 - Etablierung von europäischen und nationalen Strategien unter Einbeziehung lokaler Randbedingungen
 - Durchführung von detaillierteren Analysen des Kühlbedarfs
 - Verbesserung der Prognosequalität für

den zukünftigen Wärmebedarf

- Integration von Lastmanagementinstrumenten in Übergabestationen
- Untersuchung der Synergien zwischen unterschiedlichen Konsumentengruppen
- Entwicklung von nachhaltigen Geschäftsmodellen

Im Bereich der **Gasnetze** werden auf internationaler Ebene z. B. in der IEA Technology Roadmap Hydrogen and Fuel Cells (IEA Hydrogen 2015) oder in der Power to Gas Research Roadmap (Judd et al. 2013) folgende konkrete Fragestellungen genannt, die auch für Österreich relevant sind:

- Entwicklung eines europaweiten Energiesystemmodells inkl. Gasinfrastruktur
- Weiterentwicklung der internationalen Richtlinien und Standards zur Handhabung und Messung von Wasserstoff
- Entwicklung intelligenter Netzkonzepte für die Erzeugung, den Transport, die Speicherung und den Verbrauch von Gas
- Entwicklung von Maßnahmen zur Reduktion der Kosten und Erhöhung der Effizienz von Power-to-Gas-Anlagen
- Verbesserung bestehender und Entwicklung neuer Technologien zur Einspeisung erneuerbarer Gase in die bestehenden Infrastrukturen
- Adaptierung des bestehenden Erdgasnetzes inkl. der angeschlossenen Verbraucher (Gasturbinen, Gasbrenner etc.), um alternative bzw. erneuerbare Gase uneingeschränkt verwenden zu können
- Entwicklung geeigneter regulatorischer/politischer Randbedingungen, Fördersysteme und Geschäftsmodelle

Für die Entwicklung von folgenden spezifischen Clustern und Fragestellungen für das Themenfeld leitungsgebundene Wärme- und Kälteversorgung (Wärme- und

1.	2.	3.	4.	5.	6.
Einleitung	Motivation	Stakeholder im Energiesystem 2035	Strategische Forschungsfelder	Die österreichische Forschungslandschaft	Interaktion der österreichischen Forschungslandschaft mit internationalen Initiativen

Gasnetze, Fernkälte) aus österreichischer Sicht stammt ein wesentlicher Input aus dem parallel zu dieser SRA entwickelten F&E-Fahrplan Fernwärme und Fernkälte für Österreich (Schmidt et al. 2015). Zusätzlich wurde die für Österreich entwickelte Strategic Research Agenda für ein Smart Gas Grid (Hinterberger 2011) in Betracht gezogen.

Definition und Klärung des strategischen Rahmens für das Wärme- und Gassystem der Zukunft unter Berücksichtigung des Kühlbedarfs

Ziel ist die Bewertung unterschiedlicher Strategien zur Minimierung der CO₂-Emissionen im gesamten Wärme- und Kältesektor hinsichtlich der volkswirtschaftlichen Gesamtkosten, also der Vergleich von leitungsgebundenen Versorgungssystemen (Gas, Fernwärme, Fernkälte) untereinander und mit individuellen Heiz- und Kühlsystemen. Hierbei sind folgende Aspekte zu beachten:

- Die Bestimmung bzw. kontinuierliche Aktualisierung der **realisierbaren Potenziale von erneuerbaren Energiequellen, Umgebungswärme und Abwärme** aus Infrastruktureinrichtungen (z. B. Abwasser) sowie industriellen Produktionsprozessen und deren wirtschaftliche Integrationsmöglichkeiten unter Berücksichtigung der konkurrierenden Systeme.
- Die Bestimmung bzw. kontinuierliche Aktualisierung der **realisierbaren Potenziale von alternativen Gasen** (Biogas, Wasserstoff aus Power-to-Gas-Prozessen) und die Priorisierung des Verwendungszwecks (Gas-KWK, Gasthermen, Gasmotoren etc.) im Rahmen einer Gesamtenergiestrategie.
- Die Verbesserung und Anwendung von Modellen zur **realitätsnahen Prognose des Wärme- und Kältebedarfs** unter Berücksichtigung unterschiedlicher Faktoren (Sanierraten, Nutzerverhalten etc.).
- Die optimale **Balance** zwischen den Kos-

ten bzw. dem Einsatz an grauer Energie für Energieeffizienzmaßnahmen (Sanierungen) und der Wirtschaftlichkeit bzw. Nachhaltigkeit der Wärme- und Kältebereitstellung.

- Die Berücksichtigung des zusätzlichen Strombedarfs für Heiz- und Kühlzwecke bei fortschreitender Durchdringung von Power-to-Heat/Cold-Anwendungen im Rahmen einer Gesamtstrategie bzw. Sicherstellung der **Nachhaltigkeit der verwendeten elektrischen Energie**.
- Die Optimierung von **Synergien zwischen den Netzen** (KWK-Prozesse, Power-to-Heat/Cold- und Power-to-Gas-Anwendungen).
- Die Analyse des Speicherbedarfs (insbesondere unter Berücksichtigung von Power-to-Heat/Cold-Maßnahmen) und die Bestimmung bzw. kontinuierliche Aktualisierung von **Speicherpotenzialen** zum Ausgleich schwankender und nicht kontrollierbarer Energiequellen.
- Die unterschiedlichen notwendigen **Temperaturniveaus** der Verbraucher für Heizen und Kühlen (insbesondere im Bereich der Industrie werden z. T. hohe Temperaturniveaus benötigt, während Raumwärme bereits mit ca. 30 °C VLT erreicht werden kann) bzw. die jeweiligen Temperaturreduktionspotenziale.
- Die Evaluierung der Bedeutung bzw. Machbarkeit **dezentraler Strukturen** bei Wärme- und Gasnetzen bzw. der Anteil von dezentralen Systemen (Inselnetze/Mikronetze), welche ausschließlich aus lokalen Ressourcen gespeist werden.

Energieeffiziente Umwandlungskette in der Wärme-, Kälte- und Gasbereitstellung

Zum Erreichen einer hohen Primärenergieeffizienz im gesamten Energiesystem ist es wesentlich, einerseits die Effizienz der beteiligten Energieumwandlungskomponenten zu steigern und diese wirtschaftlich

optimal einzusetzen und andererseits die Energieverluste in der gesamten Umwandlungskette so gering wie (wirtschaftlich) möglich zu halten. Das inkludiert:

- Die Entwicklung von Maßnahmen zur optimalen **Integration von Wärmepumpen** in Wärmenetzen inkl. der Identifikation von technologischen Optionen für unterschiedliche Anwendungsgebiete im Gesamtsystem sowie der technologischen Weiterentwicklung von Wärmepumpensystemen hinsichtlich Jahresarbeitszahl, Kosten und Modulierbarkeit
- Die Adaptierung von **Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen** (KWK-Anlagen, inkl. Mikro- und Mini-BHKWs) an sinkende Wärmenetztemperaturen, sich ändernde Gasqualitäten aufgrund der Verwendung erneuerbarer (biogener) bzw. alternativer Brennstoffe (Power-to-Gas) sowie die Steigerung der Flexibilität zur Anpassung an das Aufkommen volatiler Energiequellen
- Die (Weiter-)Entwicklung und Bewertung von Technologien zur **Deckung eines steigenden Kühlbedarfs** (insbesondere im urbanen Raum), inkl. der systematischen Analyse der zur Verfügung stehenden Kältequellen im Kontext des Gesamtsystems. In Wärmenetzen mit Absorptionskältemaschinen zur Nutzung des sommerlichen Wärmeüberschusses zur Produktion von Fernkälte ist der Zielkonflikt zwischen den benötigten hohen Temperaturniveaus und dem Streben nach niedrigen Netztemperaturen zu lösen
- Das Entwickeln von Maßnahmen zur Reduktion der Produktionskosten für **alternative Gase** bei gleichzeitiger Sicherstellung der Gasqualität bei Netzeinspeisung, inkl. der Steigerung der Rohstoffeffizienz bei bestehenden Umwandlungs- und Aufbereitungstechnologien und die bestmögliche Nutzung bestehender Infrastrukturen
- Die (Weiter-)Entwicklung und Integration

unterschiedlicher **Speichertechnologien** zur Kompensation kurz-, mittelfristiger und langzeitlicher bzw. jahreszeitlicher Schwankungen bei alternativen Wärmequellen im Wärmenetz. Das inkludiert die Reduktion der Investitionskosten und des Platzbedarfs von Großspeichern, die Optimierung der Integrationsmöglichkeiten (zentral und dezentral) und Speicherbewirtschaftungsstrategien sowie die Entwicklung von geeigneten Finanzierungs- und Geschäftsmodellen für die Realisierung kapitalintensiver Speichertechnologien. Ebenso ist die Weiterentwicklung von Kältespeichern und kombinierten Wärme/Kältespeichern notwendig.

- Die Umsetzung virtueller **Speicherkonzepte im Gasnetz** inkl. der Entwicklung neuer Speicherverfahren und die Analyse der Optionen zur Nutzung von Gassystemen und -netzen als Stromspeicher (Power-to-Gas).
- Die Entwicklung von neuen **Rohrleitungskonzepten und Verlegetechnologien** zur Reduktion von Installationskosten und Wärmeverteilverlusten im Netz.
- Die Entwicklung und Implementierung von transparenten und langfristigen **Förderungsmodellen** für die Integration alternativer Energiequellen, inkl. der gesetzlichen Verankerung der Energieraumplanung sowie der integrativen Betrachtung des gesamten Energiesystems.

Betrachtung und Entwicklung des Wärme-, Kälte- und Gassystems in Richtung neuer Netzarchitekturen und Regelungsstrategien

Eine maximale Integration von alternativen Gasen (biogene Brennstoffe und über Methanisierung erzeugter Wasserstoff), erneuerbaren Wärmequellen (Solar- und Geothermie), Umgebungswärme (z. B. aus dem Grundwasser, Seen, Flüssen) und Abwärme aus industriellen Prozessen und Infrastruktureinrichtungen (z. B. Abwasser) sowie das

Erreichen einer maximalen Primärenergieeffizienz erfordern eine Transformation der Netzstrukturen auf verschiedenen Ebenen. Das inkludiert:

- Die Entwicklung von volkswirtschaftlich optimierten **Transformationsstrategien für Bestandsnetze (Gas- und Fernwärme, Fernkälte)** hinsichtlich der maximalen Integration erneuerbarer Energieträger und Erhöhung der Primärenergieeffizienz.
- Die (Weiter-)Entwicklung und Umsetzung von technischen und nicht technischen Maßnahmen zur signifikanten **Reduktion der Temperaturniveaus** der Wärmenetze. Das inkludiert insbesondere die Optimierung von Übergabestationen und gebäudeseitigen Heizsystemen.
- Die (Weiter-)Entwicklung von Optionen und Designprinzipien für die **dezentrale Einspeisung bzw. bidirektionale Netze** (Gas und Fernwärme), inkl. der bestmöglichen Integration von bislang nur punktuell eingesetzten Komponenten wie (Groß-) Wärmepumpen, Power-to-Gas-Anlagen und Speichern auf unterschiedlichen Ebenen.
- Die (Weiter-)Entwicklung von **Planungs- und Auslegungsmethoden** für Niedertemperatur- und Multitemperaturnetze unter Berücksichtigung dynamischer Effekte, kaskadischer Nutzungen, hybrider Betriebsweisen (siehe Abschnitt 4.2) und neuer Komponenten (z. B. Langzeitspeicher, Wärmepumpen). Das inkludiert die Entwicklung von reproduzierbaren Konzepten für Mikronetze und einen gebäudeübergreifenden Energieaustausch.
- Die (Weiter-)Entwicklung und Implementierung von **Regelungsalgorithmen und Betriebsstrategien** für Wärme- und Gasnetze der Zukunft unter Berücksichtigung des dynamischen Verhaltens der Netze (Netz als Speicher, dynamische wandern- de Netzschlechtpunkte), der Regelung

von verteilten/dezentralen Erzeugern/ Speichern und der Realisierung von hybriden Betriebsweisen (siehe Abschnitt 4.2).

- Die Analyse von Optionen für Maßnahmen des **Demand Side Managements** und deren Realisierung inkl. der Bewertung der verfügbaren bzw. realisierbaren Potenziale und die Integration von „Prosumern“ in Netzarchitektur und Regelung.
- Die effiziente Integration von **IKT-Systemen** in diversen Anwendungsfeldern von Wärme- und Gasnetzen (Planung, Auslegung, Implementierung, Betrieb, Abrechnung, Wartung und Sanierung). Das inkludiert die Schaffung einer dynamischen Preisgestaltung, die Entwicklung von Maßnahmen zur Sicherstellung von Transparenz in den Preisen und Verträgen für Fernwärme- und Gaskunden, die Entwicklung und Implementierung von zielgruppenspezifischen Bewusstseinsbildungsmaßnahmen, die Verknüpfung verschiedener Domänen (IKT im Stromnetz, Internet of Things etc.) mit Wärme- und Gasnetzen, das wirtschaftliche Optimum zur Integration von IKT in Bestandsnetze und Konzepte für Neubausysteme.
- Die verstärkte **Demonstration** neuer und innovativer Technologien, Konzepte und Systeme auf unterschiedlichen Größenskalen (vom Einzelgebäude über Gebäudeverbünde und Stadtteile/Sekundärnetze bis hin zu gesamten Fernwärmesystemen/Gasnetzen bzw. Fernkälteanlagen). Hierbei ist die wissenschaftliche Qualität der Ergebnisse mithilfe von Begleitforschung sicherzustellen.

Versorgungssicherheit und -qualität

Zukünftige Wärmeversorgungssysteme werden immer stärker von dezentralen und kleiner werdenden Strukturen unter Einbeziehung fluktuierender Erzeuger mit variierenden Einspeisequalitäten (Temperaturniveau bzw. Gasqualität) geprägt sein. Dazu

kommen eine stark wachsende Komplexität aufgrund der Verknüpfung unterschiedlicher Energiesysteme (Strom, Gas, Wärme) und die Einbeziehung vieler neuer Akteure und Stakeholder. In diesem Zusammenhang ist es wesentlich, die Versorgungssicherheit und -qualität für die Endverbraucher aufrechtzuerhalten. Das inkludiert:

- Die Entwicklung von Maßnahmen zur **Sicherstellung der Versorgung** beim Einsatz von Erzeugern mit geringer Langfristigkeit (insbesondere industrielle Abwärme) oder einer hohen zeitlichen Fluktuation (insbesondere Solarthermie) mit einem signifikanten Anteil an der Gesamtzeugung. Das inkludiert die Integration von Back-up und Speicherkapazitäten und die Entwicklung von Geschäftsmodellen für eine Trennung von Erzeugung (z. B. Abwärme) und Verteilung bzw. Vertrieb.
- Die Entwicklung von Modellen und Prozessen zur sicheren Auslegung und Implementierung von **Mikronetzen** mit nur sehr wenigen Verbrauchern und Erzeugern, inkl. der Kompensation von steigenden Gleichzeitigkeitsfaktoren bei sinkender Verbraucheranzahl durch z.B. Speicher und die Entwicklung von Geschäftsmodellen.
- Die Entwicklung von Analysemethoden, Maßnahmen zur Sicherstellung von hohen Lebensdauern und kosteneffizienten **Sanierungsstrategien** für Wärme- und Gasnetze und angeschlossene Komponenten bei erhöhtem Last- und Temperaturwechsel aufgrund der Einspeisung fluktuierender und Niedertemperaturquellen bzw. der Verwendung alternativer Brennstoffe.
- Die Entwicklung von Maßnahmen zur Sicherstellung der **Versorgungsqualität** hinsichtlich hygienischer Warmwasserbereitung und Einbehaltung optimaler Raumtemperaturen vor dem Hintergrund sinkender Netztemperaturen. Das inkludiert insbesondere die wirksame Bekämpfung/

Vermeidung von Legionellen.

Interaktion des Wärme- und Gasnetzes und der Fernkälte miteinander und mit anderen Infrastrukturen (Strom, Wasser/ Abwasser etc.)

Im Sinne einer domänenübergreifenden Betrachtung des Energiesystems ist es unabdingbar, Methoden und Werkzeuge für die Analyse und Bewertung der Interaktion des Wärme- und Gasnetzes mit anderen Energiesystemen bereitzustellen, um folgende Fragestellungen klären zu können:

- Wie kann die **Flexibilität** in Wärme-, Kälte- und Gasnetzen die Anforderungen im Stromnetz bestmöglich unterstützen – und das bei einer gleichzeitigen Optimierung der Primärenergieeffizienz und Maximierung des Anteils erneuerbarer Energieträger im Gesamtsystem?
- Wie können kommunale **Infrastruktureinrichtungen** (inkl. Abwassernetz, Stromnetz-Infrastruktur wie z. B. Transformatoren und Gasnetz-Infrastruktur wie z. B. Verdichterstationen) optimal zur Gewinnung von Abwärme- bzw. Brennstoffen genutzt werden – und das bei einer gleichzeitigen Optimierung der internen Prozesse?
- Wie können die Synergien zwischen den Energiesparten in der **Energieraumplanung** verortet und effizient implementiert werden?

4.6. Cross-cutting Issues

4.6.1. Informations- und Kommunikationstechnologien

Im Zuge der massiven Anstrengungen, den Anteil erneuerbarer Energieträger vor allem in der elektrischen Energieversorgung zu erhöhen, wurden in den letzten Jahren innovative Smart-Grid-Technologien für die Systemintegration einer dezentralen, volatilen Erzeugung entwickelt.

1.	2.	3.	4.	5.	6.
Einleitung	Motivation	Stakeholder im Energiesystem 2035	Strategische Forschungsfelder	Die österreichische Forschungslandschaft	Interaktion der österreichischen Forschungslandschaft mit internationalen Initiativen

Schrittweise wird ein bisher nie dagewesener Grad der informationstechnischen Vernetzung von Komponenten im elektrischen Energiesystem umgesetzt. Diese Entwicklung steht erst am Anfang. Smart-Metering-Rollouts und erste aktiv betriebene Mittel- und Niederspannungs-Smart-Grids in Österreich zeugen vom beginnenden Paradigmenwechsel, der weg von einer „blind“ betriebenen Infrastruktur hin zu einem aktiv betriebenen Gesamtsystem mit enger Vernetzung der Einzelkomponenten führt.

Informations- und Kommunikationstechnologien spielen auch eine zentrale Rolle im Aufbau eines intelligenten Energiesystems mit der Kopplung bisher getrennt betrachteter Domänen. Die Umbrüche im Energiesystem in den letzten Jahrzehnten waren vielfach erst durch die rasante Entwicklung im Bereich IKT möglich, jedoch wurden und werden nach wie vor vielfach proprietäre und in sich geschlossene Teilsysteme verwendet. Diese Systeme sollen künftig vermehrt miteinander verbunden werden.

Die mit der Einführung von Smart-Grid-Technologien einhergehende informationstechnische Vernetzung von bisher isolierten Betriebsmitteln und Anlagen vor allem auf der Verteilnetzebene führt zu zwei wesentlichen, miteinander einhergehenden Herausforderungen für das Systemdesign: erstens die Interoperabilität im Sinne eines funktionierenden Gesamtsystems, zweitens die Sicherheit gegenüber Cyberangriffen im Sinne der Beibehaltung hoher Versorgungssicherheit. Zugleich ist die Entwicklung effektiver Maßnahmen für diese Herausforderungen nur unter konsequenter Ein-

beziehung aller relevanten Stakeholder, wie z. B. Netzbetreiber, Energieversorger, Regulatoren und öffentlicher Bedarfsträger, möglich.

Während im Stromnetz die Durchdringung von IKT-Systemen bereits weit fortgeschritten ist bzw. durch die Anforderungen der Intelligente Messgeräte-Einführungsverordnung²² auch in den Niederspannungsnetzen rasant steigen wird, ist die Verbreitung in Wärmenetzen noch relativ gering. Vor allem in städtischen Netzen mit historisch gewachsenen Strukturen werden oftmals nur manuell jährliche Wärmeverbräuche gemessen.

Bei der Weiterentwicklung der Anwendung von IKT im Energiesystem müssen auch mögliche Synergien mit Domänen außerhalb des Energiebereichs berücksichtigt werden. Im Speziellen seien an dieser Stelle das Internet of Things, E-Health und E-Government genannt. Im Sinne der Betrachtung eines ganzheitlichen IKT-Systems stellt das Energiesystem wiederum nur einen Teilbereich dar.

Im Folgenden sind die als prioritär identifizierten Forschungsthemen im IKT-Bereich zusammengefasst:

- **Komplexität:** Die deutlich höhere Anzahl von Automatisierungskomponenten und vernetzten Akteuren erhöht die Systemkomplexität und damit auch die Fehleranfälligkeit; dadurch kommt es zu einer Vergrößerung der Angriffsfläche und Verstärkung der Auswirkungen eines erfolgreichen Angriffs. Diesen Gefahren muss in allen Sicherheitsaspekten konsequent Aufmerksamkeit gewidmet werden. Eine systemweite IKT erfordert systemweite standardisierte Sicherheitskonzepte.

²² Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft, Familie und Jugend, mit der die Einführung intelligenter Messgeräte festgelegt wird (Intelligente Messgeräte-Einführungsverordnung – IME-VO) – BGBl. II Nr. 138/2012.

- **Datenmenge und -verwendung:** Durch die wachsende Durchdringung mit IKT und neuartigen Sensoren vervielfachen sich die im Energienetz verfügbaren Daten, was zugleich Chancen und Risiken birgt. Der Daten- und Konsumentenschutz muss auch weiterhin gewährleistet bleiben, um das Vertrauen der Endkunden in die Sicherheit ihrer Daten und damit ihre Akzeptanz von zukünftigen Energienetzen nicht zu gefährden. Die Verwendung von Daten, die beim Verbraucher erhoben werden, muss daher transparent sein; der Verbraucher muss außerdem die Hoheit über seine Daten behalten und durch die Bereitstellung neuer Konzepte die Möglichkeit haben, flexibel und benutzerfreundlich über die Verwendung und Granularität seiner Daten zu entscheiden. In diesem Zusammenhang ist auch zu klären, welche Granularität und Latenz je Anwendung tatsächlich erforderlich ist.
- **Security by Design:** Ein mittelfristiges Ziel besteht darin, einerseits die Interoperabilität zwischen verschiedenen (Teil-) Systemen und Komponenten in Energienetzen sicherzustellen, und andererseits effektive Sicherheits- und Datenschutzmaßnahmen zu setzen, um den Schutz vor Cyberangriffen zu verstärken und die Akzeptanz der Verbraucher zu erhöhen. Nur wenn beide Herausforderungen bereits beim Design zukünftiger Energienetze berücksichtigt werden, kann auf Dauer eine hohe Versorgungssicherheit garantiert werden. Daher muss eine einheitliche Referenzarchitektur für Energienetze in Österreich definiert werden, welche Interoperabilitäts-, Security-, Safety- und Privacy-Aspekte bereits im Systemdesign berücksichtigt. In weiterer Folge kann eine entsprechende Referenzarchitektur zur Grundlage für Standardisierungsaktivitäten werden.
- **Sichere Systemintegration:** Neben der Sicherheit von Einzelkomponenten sind die sichere Integration in das Gesamtsystem und der sichere Betrieb entscheidend für die Umsetzung eines hohen Sicherheitsniveaus. Daher sollten Geschäftsprozesse für den sicheren Betrieb von Smart-Grid-Systemen über den gesamten Lifecycle der Systeme (von der Konzeption über Entwicklung, Konfiguration und Betrieb bis zur Außerbetriebnahme) etabliert werden. Teilweise fehlen hier noch entsprechende Rahmenbedingungen, beispielsweise eine verpflichtende Prüfung bzw. Zertifizierung der IKT-Sicherheit von Geräten, die im Energienetz verbaut werden, wie sie auf anderen Ebenen (z. B. elektrische Komponenten) bereits vorhanden ist.
- **Nachhaltiges Risikomanagement:** Es müssen effektive Risikomanagementmethoden für Energienetze entwickelt werden, welche eine kontinuierliche Auswertung des aktuellen Sicherheitsrisikos und die Definition entsprechender Maßnahmen erlauben. Dazu gehört auch die rasche Erkennung und Behandlung von Anomalien im Energienetz (z. B. Fehlkonfigurationen oder Cyberangriffe, insbesondere Advanced Persistent Threats).

4.6.2. Energieeffizienz

Die Forschung im Bereich der Energieeffizienz von Einzeltechnologien ist nicht Inhalt der vorliegenden SRA, da hier der Fokus auf die Umwandlungskette im Gesamtsystem gelegt wird. Es wird an dieser Stelle davon ausgegangen, dass zukünftig verwendete Technologien über hohe Wirkungsgrade verfügen und es dahingehend laufend Fortschritte gibt.

Aus Systemsicht liegt die Fragestellung

in der Gestaltung eines effizienten Energiesystems mit der Integration von effizienten Einzeltechnologien und der Nutzung von nicht weiter vermeidbaren Abwärmepotenzialen. Ein wesentlicher Aspekt dahingehend sind die orts- und zeitnahe Nutzung des vorhandenen Dargebots von erneuerbaren Energiequellen und Abwärmepotenzialen und darüber hinaus ein überregionaler Ausgleich über eine hocheffiziente Energieinfrastruktur mit niedrigen Verlusten. Ziel ist eine effiziente Umwandlungskette von der Energieaufbringung bis zur Endenergiebereitstellung. In diesem Zusammenhang ist bei der thermischen Gebäudesanierung bzw. den Neubaustandards der Endverbraucher auf eine Balance zwischen den Investitionskosten bzw. dem Einsatz an grauer Energie (CO₂-Emissionen für die Herstellung und das Recycling der Dämmstoffe) und der Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit der Wärme- und Kältebereitstellung (CO₂-Emissionen im Betrieb, Primärenergiebedarf) zu achten. Bei einem immer weiter sinkenden Wärmebedarf werden investitionskostenintensive Systeme wie die leitungsgebundene Wärmebereitstellung (Wärme- und Gasnetze), aber auch Solarthermie und Wärmepumpen zunehmend unwirtschaftlich. Somit besteht die Gefahr, dass verstärkt Wärmeerzeugungssysteme mit geringen Investitionskosten zum Einsatz kommen, wie Öl-Kessel oder rein elektrische betriebene Systeme²³, wodurch die Bestrebungen zu einem hocheffizienten und erneuerbaren Energiesystem massiv konterkariert werden.

Neben den technischen Aspekten sind vor allem die Bedürfnisse der Menschen von zentraler Bedeutung. Es müssen gesell-

schaftliche Anreize inklusive der zugrunde liegenden sozioökonomischen Konzepte zur Steigerung der Energieeffizienz und vor allem zur Verhinderung von Rebound-Effekten entwickelt werden.

4.6.3. Energiespeicher

Wie bereits in den einzelnen strategischen Forschungsfeldern dargestellt, spielt im Sinne der Steigerung der Flexibilität im zukünftigen Energiesystem die Energiespeicherung auf unterschiedlichen Zeitskalen eine entscheidende Rolle. Speichertechnologien und deren Systemintegration im Bereich Strom, Wärme und Mobilität rücken ins Zentrum und werden als einer der Schlüsselfaktoren für die Energiezukunft gesehen.

Im Sinne der energieträgerübergreifenden Funktion des Energiesystems ist es im Zuge des Designs und der Gestaltung des zukünftigen Energiesystems notwendig, die Anforderungen an den Speicher zur konkreten Spezifizierung der Technologien zu definieren, um darauf basierend eine weitere technologische Entwicklung aus System-sicht zu ermöglichen. Dies umfasst die integrative Analyse von Speichersystemen in den Einzeldomänen Strom (Stromspeicher), Wärme (Wärme- und Kältespeicher) und Gas (Gasspeicher) unter der Betrachtung möglicher Weiterentwicklungen in den Bereichen Power-to-Gas und Power-to-Heat bzw. in die umgekehrte Richtung als Kopplungspunkte zwischen den einzelnen Domänen. Dazu ist die systematische Erforschung der Einbindung der Speichertechnologien in das Gesamtsystem wesentlich.

Ergänzend zur Systembetrachtung sind konkrete Schlüsselaktionen für die nächsten

²³ Im Vergleich zu Wärmepumpen sind rein elektrische Wärmeerzeugungssysteme sehr ineffizient. Während letztere Wirkungsgrade von bis zu 100% aufweisen, können erstere unter Berücksichtigung der einbezogenen Umweltenergie Wirkungsgrade von 300% und mehr erreichen.

1.

Einleitung

2.

Motivation

3.

Stakeholder im Energiesystem 2035

4.

Strategische Forschungsfelder

5.

Die österreichische Forschungslandschaft

6.Interaktion der österreichischen Forschungs-
landschaft mit internationalen Initiativen**7.**

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

8.

Anhang

1.	2.	3.	4.	5.	6.
Einleitung	Motivation	Stakeholder im Energiesystem 2035	Strategische Forschungsfelder	Die österreichische Forschungslandschaft	Interaktion der österreichischen Forschungslandschaft mit internationalen Initiativen

Die nachfolgende Darstellung zeigt die für ein intelligentes Energiesystem relevanten österreichischen Forschungsakteure und deren Schwerpunkte, eingeordnet in die Forschungsfelder bzw. -cluster der SRA. Demnach werden alle in Kapitel 4 dargestellten Themen von mindestens vier österreichischen Instituten behandelt. Um sicherzugehen, dass tatsächlich keine „weißen Flecken“ auf einer österreichischen Forschungslandkarte vorhanden sind, müssten sowohl die Themen wie auch die Organisationen weiter aufgegliedert werden.



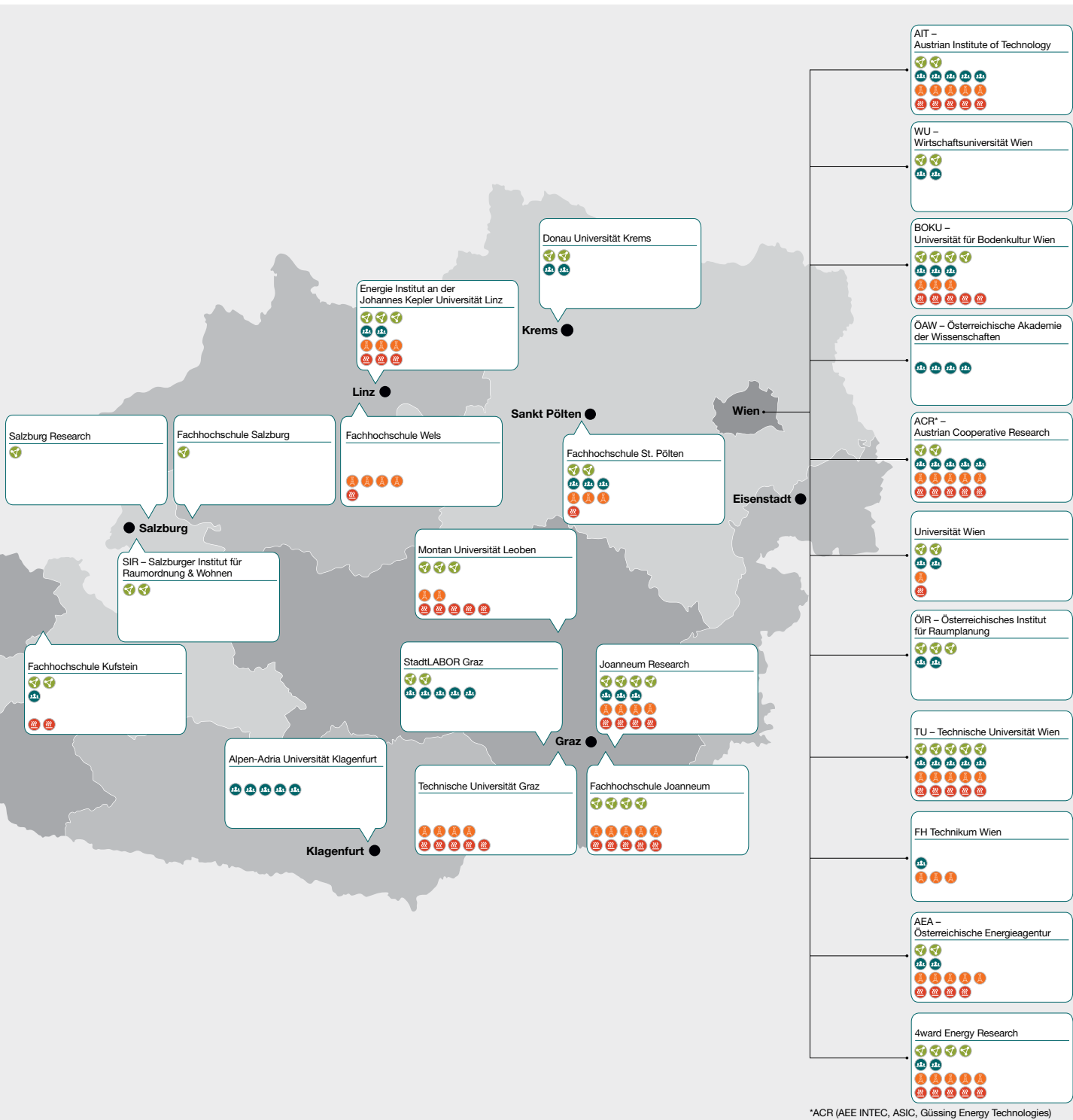


Abbildung 3: Intelligentes Energiesystem: Die österreichische Forschungslandschaft

1.	2.	3.	4.	5.	6.
Einleitung	Motivation	Stakeholder im Energiesystem 2035	Strategische Forschungsfelder	Die österreichische Forschungslandschaft	Interaktion der österreichischen Forschungslandschaft mit internationalen Initiativen

1.

Einleitung

2.

Motivation

3.

Stakeholder im Energiesystem 2035

4.

Strategische Forschungsfelder

5.

Die österreichische Forschungslandschaft

6.

Interaktion der österreichischen Forschungslandschaft mit internationalen Initiativen

7.

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

8.

Anhang

Die in der SRA identifizierten Forschungsthemen und -inhalte werden nicht losgelöst von internationalen Initiativen betrachtet. Die Interaktion der Aktivitäten geht in zwei Richtungen: Die einzelnen internationalen Initiativen und zugrunde liegenden Diskussionen wurden und werden auch weiterhin in die österreichische Strategieentwicklung Eingang finden. Über die internationale Vernetzung der österreichischen Akteure wird aber

auch sichergestellt, dass die integrative Betrachtung des zukünftigen Energiesystems auf nationaler Ebene den Weg in internationale Initiativen finden wird. Neben der Vernetzung mit den Aktivitäten der Internationalen Energieagentur zur globalen Diskussion und Gestaltung der Energiezukunft sind für Österreich, als Teil des europäischen Energiebinnenmarktes, die Initiativen in Europa von entscheidender Bedeutung.

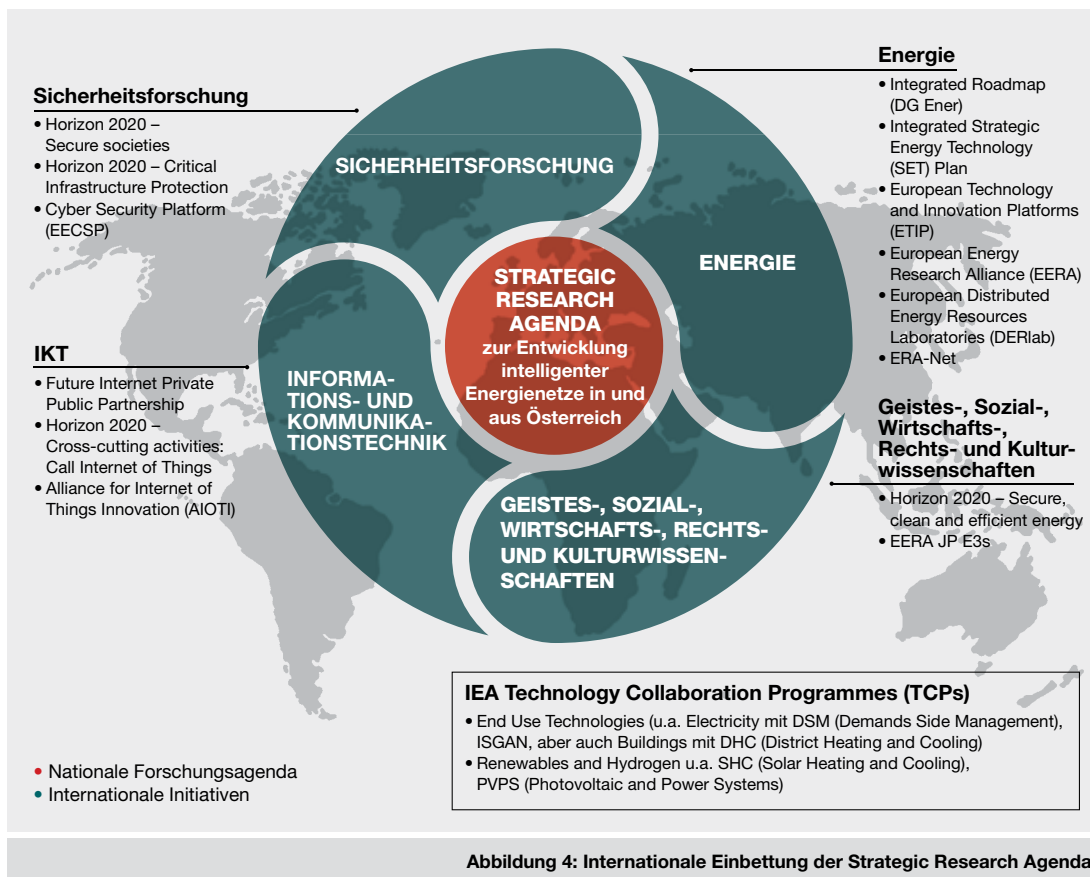


Abbildung 4: Internationale Einbettung der Strategic Research Agenda

In Bezug auf die vorliegende SRA sind auf europäischer Ebene vor allem vier thematische Initiativen von Interesse, die einen domänenübergreifenden Bezug zum Energiethema herstellen (siehe Abbildung 4). Namentlich sind

dies die Initiativen in den Bereichen Energie, Sozialwissenschaften, Informations- und Kommunikationstechnik sowie Sicherheitsforschung. Im Folgenden werden die einzelnen Initiativen kurz vorgestellt:

Energie

Der Strategieplan für Energietechnologie (SET-Plan) der EU hat die Entwicklung kohlenstoffarmer Technologien und die Verbesserung ihrer Wettbewerbsfähigkeit als wesentlichstes Ziel. Die Generaldirektion Energy (DG ENER) der Europäischen Kommission hat im Dezember 2014 eine Integrated Roadmap (EC 2014) veröffentlicht. Die Integrated Roadmap legt die Prioritäten für Technologien der Energieforschung und -innovation fest, indem sie aufgrund ihres ganzheitlichen Ansatzes alle Energiethemata sowie relevante Querschnittsaspekte berücksichtigt. Aus der Integrated Roadmap wurde ein Action Plan abgeleitet, der zeitnah die Umsetzung gemeinsam koordinierter Projekte und Maßnahmen von EU-Mitgliedsstaaten möglich machen soll. Im Dokument wurden vier integrierte Herausforderungen identifiziert:

- Der aktive Konsument im Zentrum des Energiesystems
- Fokus auf den Verbrauch – steigende Energieeffizienz im gesamten Energiesystem
- Systemoptimierung
- Sichere, kosteneffiziente, saubere und wettbewerbsfähige Versorgung

Auf Basis der Integrated Roadmap wurde 2015 der SET-Plan überarbeitet und ein integrierter SET-Plan (EC 2015b zur Beschleunigung der Transformation des Energiesystems) veröffentlicht. Im neuen SET-Plan wurden basierend auf einer Beurteilung der Anforderungen des Energiesystems und deren Bedeutung für die Transformation des Systems zehn Maßnahmen für Forschung und Innovation identifiziert:

- Beibehalten der technologischen Führerschaft durch die Entwicklung von hochperformanten Erneuerbare-Energien-Technologien und deren Integration in das

europäische Energiesystem

- Kostenreduktion bei Kerntechnologien
- Entwickeln von Technologien und Dienstleistungen für Smart Homes, welche intelligente Lösungen für den Energiekunden bieten
- Erhöhen der Resilienz, Sicherheit und Intelligenz des Energiesystems
- Entwickeln von neuen Materialien und Technologien für und zur Kommerzialisierung von Energieeffizienzlösungen für Gebäude
- Weiterführen von Bestrebungen, die europäische Industrie weniger energieintensiv und wettbewerbsfähiger zu machen
- Wettbewerbsfähiger werden im globalen Batteriesektor, um die Elektromobilität zu fördern
- Stärken der Marktfähigkeit von erneuerbaren Treibstoffen für nachhaltige Transportlösungen
- Aufsetzen von Forschung und Innovation in der Anwendung von CO₂-Abscheidung und Speicherung und der Wirtschaftlichkeit von CO₂-Abscheidung und Verwendung
- Beibehalten der hohen Sicherheit von Nuklearreaktoren und zugehörigen Brennstoffzyklen während des Betriebs und der Außerbetriebsetzung, unter Steigerung der Effizienz

Im Sinne der österreichischen SRA spielen vor allem die ersten sechs Maßnahmen eine wichtige Rolle und werden von ihr stark unterstützt. Durch die Einbettung österreichischer Akteure in europäische Technologieplattformen, Industrieinitiativen, Member-States-Initiativen und auch die European Energy Research Alliance, welche allesamt die Umsetzung des SET-Plans unterstützen, ist auch zukünftig eine enge Abstimmung mit den österreichischen Forschungsvorhaben gewährleistet.

SSH – Social Sciences and Humanities²⁴ (Geistes-, Sozial-, Wirtschafts-, Rechts- und Kulturwissenschaften)

Insbesondere aufgrund der zunehmenden Bedeutung nachfrageseitiger Aspekte und der zunehmenden Verknüpfung großer gesellschaftlicher Herausforderungen (z. B. Klimawandel, Ressourcenverfügbarkeit) mit der Entwicklung intelligenter Energienetze ist im internationalen Kontext zu erkennen, dass folglich mehr Bedarf an SSH-Forschung besteht.

Beispielsweise fand im Rahmen der Forschungs-, Technologie- und innovationspolitischen Förderung auf EU-Ebene durch Horizon 2020 eine Schwerpunktverschiebung in Richtung voller Integration der SSH im Bereich der F&E zu Energiethemen (Societal Challenge 3, „Secure, Clean and Efficient Energy“) statt. Eine Zwischenevaluierung der ersten Horizon 2020 Calls (EC 2015c) kommt zu folgenden Schlussfolgerungen: (a) Die Integration der SSH ist bereits während der Entwicklung der Förderprogramme wichtig; (b) die Beiträge in den bisherigen Calls kamen aus einem breiten Kreis von Akteuren, sowohl in Bezug auf Art der Projekte und Herkunftsländer als auch in Bezug auf die Zahl an SSH-Disziplinen; (c) die Qualität der Verknüpfung von SSH-Forschung insbesondere mit ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen in den Projekten ist äußerst ungleich verteilt.

Die 2011 gegründete European Energy Research Alliance (EERA; Europäische Energieforschungsallianz)²⁵ hat ein Joint Programme für ökonomische, ökologische und

soziale Wirkungen (JP e3s) eingerichtet und reagiert damit auf die Neuorientierung der Energiepolitik, ausgehend vom bisherigen Schwerpunkt bei technologischen Lösungen und „Märkten“ in Richtung Systemtransformation. Die Programmschwerpunkte sind: öffentliche Wahrnehmung und Einbindung; Analyse innovationsfördernder Maßnahmen für Low-Carbon-Technologien; Lebenszyklus-Ansätze zur Wirkungsanalyse nachhaltiger Energietechnologien; Energiesystemmodellierung (Märkte, Umweltfolgen und volkswirtschaftliche Effekte) zur Bewertung europäischer Low-Carbon-Energiepfade; Plattform für nachhaltige Low-Carbon-Energie.

Eine Stellungnahme der League of European Research Universities der wichtigsten europäischen Forschungsuniversitäten zu SSH in Horizon 2020 (LERU 2013) empfiehlt der EU-Kommission folgende Schwerpunkte für die SSH-Forschung im Bereich Energie:

- Energieeffizienz
- Konsumentenverhalten und Energiemarkt
- Transportsysteme und Stadtplanung
- Governance und Geschäftsmodelle
- Wirtschaft und Governance von Energiemärkten
- Politik, Wirtschaft, Ethik und Energieversorgung

Das deutsche Akademieprojekt „Energiesysteme der Zukunft“ als Begleitforschung zur Energiewende hat den SSH ebenfalls einen sehr hohen Stellenwert gegeben, da sie einen bedeutenden Beitrag zur

²⁴ In der EU wird der englische Begriff Social Science and Humanities verwendet. Er umfasst folgende Disziplinen bzw. Cluster von Disziplinen: anthropology (excluding physical anthropology) and ethnology; economics, business and marketing; demography and geography (excluding physical geography); education and communication; history; humanities and the arts (archaeology, area studies, ethics, interpretation and translation, languages and cultures, literature, linguistics, philosophy, religion and theology); political science, public administration and law; psychology; sociology.

²⁵ <http://www.eera-set.eu/eera-joint-programmes-jps/economic-environmental-and-social-impacts-jp-e3s/>

Ausrichtung und Legitimierung der Energiewendepolitik leisten. Die Forschung im Bereich der Technikfolgenabschätzung trägt beispielsweise dazu bei, dem Deutschen Bundestag fundierte Entscheidungsgrundlagen zu liefern (Grünwald 2014).

Informations- und Kommunikationstechnologien

Als weiterer Beitrag zum SET-Plan wurde 2014 die Initiative „ERA-Net Smart Grids Plus“ gestartet. Diese beinhaltet einerseits Ausschreibungen zu F&E-Themen mit Fokus auf existierende Smart-Grids-Demo-Projekte, Pionier- und Modellregionen und sieht andererseits die Etablierung europäischer „Knowledge Communities“ zu verschiedenen Themen vor. Ein wichtiges Thema im Bereich IKT- und Sicherheitsforschung, nämlich die Entwicklung und Modellierung sicherer Smart-Grid-Architekturen (basierend auf dem Smart Grid Architecture Model aus M/490 etc.), wird innerhalb der Community „System Architecture and Implementation Modelling“ betrachtet.

2011 startete die Europäische Kommission das Programm *Future Internet Public-Private Partnership (FI-PPP)*, um technologischen, sozialen und regulatorischen Herausforderungen zu begegnen, die sich im Zusammenhang mit dem zukünftigen Internet ergeben werden. In der ersten Phase (2011-2014) lag der Fokus auf technologischen Grundlagen und der Schaffung von Voraussetzungen für den einfachen Zugang zu Internetdiensten etc. (*FIWARE*). Die zweite Phase (2013-2015) beschäftigte sich mit der Implementierung dieses Ansatzes, während die dritte Phase (2014-2016, *FIWARE Accelerator Programme*) die Umsetzung in die Praxis zum Ziel

hat und dazu v. a. Start-up-Unternehmen einbezieht.

Die im März 2015 von der Europäischen Kommission gegründete *Alliance for Internet of Things Innovation (AIOTI)*²⁶ zielt darauf ab, den Dialog zwischen verschiedenen Stakeholdern im Bereich Internet of Things zu fördern. Diese Plattform bietet eine Fülle von Informationen bei gleichzeitig einfacher Zugänglichkeit.

Sicherheitsforschung

Wie in der SRA dargestellt und auch im SET-Plan wiederzufinden ist es notwendig, auch weiterhin ein resilientes und sicheres Energiesystem zu gestalten. Daher spielt die europäische Sicherheitsforschung eine wichtige Rolle bei der Umsetzung der österreichischen SRA.

Einen wesentlichen Rahmen dafür stellt eine der von der Europäischen Kommission identifizierten gesellschaftlichen Herausforderungen (Societal Challenge) dar, nämlich jene der „Sicheren Gesellschaft – Schutz des Friedens und der Sicherheit von Europa und den Einwohnern“. Diese gesellschaftliche Herausforderung wird im Arbeitsprogramm Horizon 2020 für die Jahre 2016 und 2017 durch folgende Punkte adressiert:

- Digital Security (H2020-DS) – mit Überlapung zum Thema IKT im vorigen Punkt
- Security (H2020-SEC)
- Critical Infrastructure Protection (H2020-CIP) zur Verhinderung, Erkennung, Reaktion auf und Entschärfung der Kombination von physischen und Cyberattacken auf kritische Infrastruktur in Europa

Die Europäische Kommission verfolgt außerdem das Ziel, eine energiesektorüber-

²⁶ <https://ec.europa.eu/digital-agenda/en/alliance-internet-things-innovation-aioti>

greifende Expertengruppe zur IKT-Sicherheit aufzusetzen. Aufgabe der *Energy Expert Cyber Security Platform (EECSP)* ist es, die Kommission in der Definition gemeinsamer Richtlinien und Policies u.a. im Hinblick auf Infrastrukturfragen und Versorgungssicherheit zu unterstützen.

Die Sicherheitsforschung in Österreich wird vor allem durch das Forschungsprogramm KIRAS des BMVIT unterstützt. Im Programm werden u.a. die Sektoren Energie, Verkehr und Transport sowie Kommunikation und Information abgedeckt.

Seit dem Beitritt Österreichs zur IEA beteiligt sich Österreich aktiv an den Programmen zur Technologiekollaboration²⁷ (IEA Technology Collaboration Programmes – TCPs). Diese stellen eine wichtige Ergänzung zur österreichischen Energieforschung dar und spiegeln sich auch in den bisherigen nationalen Forschungsschwerpunktsetzungen wider. Ziel der TCPs ist eine Zusammenarbeit von Experten aus Regierungen, Industrie und Forschungsorganisationen in der Erforschung von Energietechnologien, um Ergebnisse ihrer Arbeit auf globaler Ebene auszutauschen und zu diskutieren. Im Sinne der vorliegenden Forschungsagenda sind aus österreichischer Sicht folgende Programme und Initiativen von hoher Wichtigkeit:

- Endverbrauchertechnologien
 - Elektrizität (Electricity)

- Smart Grids (International Smart Grid Action Network – ISGAN)
- Demand-Side-Management (DSM)
- Gebäude (Buildings)
 - Gebäude und Kommunen (Buildings and Communities – EBC)
 - Nahwärme und -kälte (District Heating and Cooling – DHC)
 - Energieeffiziente Endgeräte (Energy Efficient End-Use Equipment – 4E)
 - Energiespeicherung (Energy Storage ECES)
 - Wärmepumpentechnologien (Heat Pumping Technologies – HPT)
- Erneuerbare Energien und Wasserstoff (Renewable Energies and Hydrogen)
 - Photovoltaik (Photovoltaic and Power System – PVPS)
 - Solares Heizen und Kühlen (Solar Heating and Cooling – SHC)
 - Bioenergie (Bioenergy)
 - Konzentrierte Solarenergie (Concentrating Solar Power – CSP)
 - Windenergie (Wind)

Nur durch eine intensive Interaktion der österreichischen Forschungslandschaft mit internationalen Initiativen ist eine aktive Einbindung der österreichischen Sichtweise und Erkenntnisse in die langfristige internationale Energieforschung und -politik wie auch die frühzeitige Berücksichtigung internationaler Trends in der nationalen Energieforschung gesichert.

²⁷ <http://www.iea.org/tcp/>

1.	2.	3.	4.	5.	6.
Einleitung	Motivation	Stakeholder im Energiesystem 2035	Strategische Forschungsfelder	Die österreichische Forschungslandschaft	Interaktion der österreichischen Forschungslandschaft mit internationalen Initiativen

1.

Einleitung

2.

Motivation

3.

Stakeholder im Energiesystem 2035

4.

Strategische Forschungsfelder

5.

Die österreichische Forschungslandschaft

6.

Interaktion der österreichischen Forschungslandschaft mit internationalen Initiativen

7.

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

8.

Anhang

Auf Basis des im Prozess der SRA definierten thematischen Rahmens bzw. der gemeinsam generierten Vision des Energiesystems 2050 wurden von den österreichischen Forschungsakteuren und Stakeholdern im Energiebereich vier strategische Themenfelder definiert:

- Energieträgerübergreifende und raumspezifische Infrastrukturentwicklung
- Governance der Energiewende
- Elektrizitätssystem
- Leitungsgebundene Wärme- und Kälteversorgung (Wärme- und Gasnetze, Fernkälte)

Es hat sich in allen Themenfeldern gezeigt, dass übergreifende Lösungen und integrative Systembetrachtungen besonders wichtig sind, um die tatsächliche Umsetzung eines integrierten Energiesystems voranzutreiben.

Für eine integrative Infrastrukturentwicklung werden übergeordnet **energieträgerübergreifende wie auch raumspezifische Entwicklungen sowie eine Gesamtsystemoptimierung und Vernetzung** betrachtet. Für eine energieträgerübergreifende Planung bedarf es einer grundsätzlichen Abschätzung des zukünftigen Bedarfs an Hybridnetzen, v. a. unter dem Aspekt der Integration von volatilen erneuerbaren Energien und daraus abgeleitet einer Weiterentwicklung dafür nötiger spezifischer Hybridnetz-Einzeltechnologien. Dabei müssen Unsicherheiten hinsichtlich der zukünftigen Entwicklungen (Verbrauch, Technologien, Energiepreise) berücksichtigt und bestmöglich abgeschätzt werden. Für eine Gesamtoptimierung braucht es Ansätze und Lösungen für eine systemische Integration und Optimierung von technologischen Komponenten in zukünftigen Hybridnetzen. Zusätzlich

müssen die Wirtschaftlichkeit und der organisatorische Rahmen definiert werden. Unterschiedliche Raum- bzw. Siedlungsstrukturen, die den Energiebedarf sowie die Möglichkeiten zur Erzeugung erneuerbarer Energien wesentlich beeinflussen, müssen in einer raumspezifischen Infrastrukturentwicklung berücksichtigt werden. Für die Erforschung von Lösungsansätzen ist eine grundlegende Identifikation von Energieraumtypen notwendig, um darauf basierend eine raumspezifische Energieinfrastrukturentwicklung zu definieren. Es müssen darüber hinaus Ansätze für eine regionsübergreifende Energieinfrastrukturentwicklung gestaltet werden, die optimale überregionale Energielösungen (z. B. Stadt als „Energieschwamm“, Erzeugung von Windenergie am Land) ermöglichen.

Für die Weiterentwicklung und den Umbau des Energiesystems sind gesellschaftliche, ökonomische und soziotechnische Aspekte mitentscheidend für die **Governance der Energiewende**. Da Strategie-, Planungs- und Entscheidungsprozesse im Bereich der Energieinfrastruktur aufgrund langfristiger Innovations- und Investitionszyklen ihre Wirkung über mehrere Jahrzehnte zeigen, ist es unumgänglich, gesellschaftliche (ökonomische, politische, soziale) Entwicklungen zu betrachten. Gleichzeitig ist es zunehmend wichtig, sowohl öffentliche als auch private und zivilgesellschaftliche Stakeholder mit transdisziplinärer Forschung zu unterstützen. Der Forschungsbedarf in der Transition zu intelligenten Energienetzen inkludiert die Bereiche der Sozial-, Wirtschafts-, Geistes- und Rechtswissenschaften und lässt sich in vier Clustern zusammenfassen: sektorale Governance im Energiesystem, Mehr-Ebenen-Governance auf und zwischen unterschiedlichen Verwaltungsebenen (global, EU, national, subnational, regional, lokal),

1.	2.	3.	4.	5.	6.
Einleitung	Motivation	Stakeholder im Energiesystem 2035	Strategische Forschungsfelder	Die österreichische Forschungslandschaft	Interaktion der österreichischen Forschungslandschaft mit internationalen Initiativen

Entwickeln von Transitionspfaden zur Implementierung intelligenter Energienetze, und Schaffen eines Innovationsökosystems für intelligente Energienetze.

Bei der **sektoralen Governance** geht es um das Verstehen bestehender und das Entwickeln, Testen und Implementieren neuer Governance-Modelle (Marktregeln, Businessmodelle, Standards etc.) sowie die Vernetzung als Beitrag zur Entwicklung intelligenter Energienetze. Bei der **Mehr-Ebenen-Governance** geht es um das Verstehen bestehender und zukünftiger Entwicklungen demokratischer Institutionen, Gesetze (einschließlich Datenschutz), Regulierungen und Standards auf unterschiedlichen Governance-Ebenen (global, EU, national, subnational, regional, lokal) sowie der Politikfelder mit Bezug zur Energiewende (Energie, Wirtschaft, Forschung-Technologie-Innovation, Sicherheit etc.) und das Ableiten von Handlungsoptionen für die Entwicklung intelligenter Energienetze aus diesen sich ändernden gesellschaftlichen Rahmenbedingungen. Die Gestaltung von **Transitionspfaden zu intelligenten Energienetzen** inkludiert das Entwickeln von Heuristiken und kollektiven Zukunftsbildern in Bezug auf neue Transitionspfade, das Verstehen von Konfliktfeldern und Akzeptanzproblemen, aber auch die Konzeption und Implementierung experimenteller Zonen (Policy Labs/Living Labs). Weiters fehlen noch zukunftsorientierte adaptive Strategie-, Planungs- und Abstimmungsprozesse für die entsprechenden Akteurs- und Stakeholdergruppen auf immer konkreter werdender Ebene. In Anbetracht der Dringlichkeit und Wichtigkeit der Transition zu intelligenten Energienetzen erscheint es erforderlich, ein **förderliches Innovationsökosystem zu schaffen** und den bisherigen Technology-Push-Ansatz durch eine Bedarfsorientierung (need orientation) zur Lösung gesellschaftli-

cher Herausforderungen (challenge-driven) abzulösen. Dazu müssen insbesondere gesellschaftliche Herausforderungen und Erfordernisse analysiert und der Innovationsbedarf formuliert werden. Erkenntnisse aus den Geistes-, Sozial- und Kulturwissenschaften, den Ingenieurwissenschaften und den Wirtschafts- und Rechtswissenschaften müssen in problemlösungsorientierter Weise zusammengeführt werden. D.h. es ist eine Fokussierung auf Systeminnovationen inklusive einer Steigerung der Innovationsgeschwindigkeit im Bereich von Energienetzen notwendig. Dies bedarf auch eines effizienten und raschen Upscaling und Transferierens von Einzelprojekten auf die Systemebene.

Im **Elektrizitätssystem** wird aufgrund der Struktur und der Größe Österreichs in der SRA ein Schwerpunkt bei der Planung und dem Betrieb von elektrischen Verteilnetzen mit einem hohen Anteil dezentraler, erneuerbarer Stromerzeugung und der Interaktion mit dem Übertragungsnetz gesehen. Dies deckt sich auch mit den Ergebnissen der Smart Grid Forschungs-roadmap (TPA 2010) und Technologieroadmap (TPA 2015) der Technologieplattform Smart Grids Austria. Ein wesentlicher Aspekt im Stromsystem ist die Erforschung der langfristigen horizontalen und vertikalen Interaktion von unterschiedlichen Akteuren. Dies umfasst das komplexe Zusammenspiel von Playern (Erzeuger, Aggregatoren, Verbraucher etc.) in einer Spannungsebene (horizontal), aber auch spannungsebenenübergreifend (vertikal).

Die Forschungsfragen im Bereich des Elektrizitätssystems umfassen die Betrachtung und Entwicklung in Richtung eines synergetisch optimierten Systems vor dem Hintergrund „lokal handeln – global denken“. Dies beinhaltet vor allem die Etablierung von intelligenter Steuerung in Verteilnetzen so-

wie die Interaktion dieser sich weitgehend selbst regelnden Verteilnetze und das Nutzbarmachen von Flexibilität auf allen Ebenen im Stromsystem. Zentrale Fragestellungen sind die Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit und -qualität im sich verändernden Stromsystem unter Berücksichtigung von resilienten Teilnetzen, der Umgang mit fehlenden rotierenden Massen und die Robustheit der Konzepte für ein zukünftiges Stromsystem im Störfall. Vor allem im städtischen Kontext wird die Erforschung der Schnittstellen zu anderen Energieträgern und Infrastrukturen (z. B. thermische Netze, Gasnetze, Mobilität) ein Aspekt sein.

Bei der **leitungsgebundenen Wärme- und Kälteversorgung** liegt die Herausforderung in der Integration erneuerbarer und nachhaltiger Quellen in die bestehende Infrastruktur. Diese umfasst die Produktion und Aufbereitung alternativer Gase und alternativer Wärmequellen (wie Solarthermie, Umgebungswärme, industrielle Abwärme). Aufgrund der hohen Speicherkapazitäten und Energiedichten bzw. Trägheiten haben Gasnetze bzw. Wärmenetze besonders hohes Potenzial als Flexibilitätsoption in einem integrierten Energiesystem. Eine Senkung des Temperaturniveaus der Wärmenetze ist ein wichtiger „Enabler“ für Hybridnetze bzw. Power-to-Heat-Anwendungen, da so die Wirtschaftlichkeit von Wärmepumpenanwendungen massiv gesteigert wird.

Neben der Definition und Klärung des strategischen Rahmens für die Wärme- und Gasnetze der Zukunft ist die Steigerung der Energieeffizienz in der Umwandlungskette eine zentrale Fragestellung. Weiters ist eine Betrachtung und Entwicklung des Wärme- und Gassystems in Richtung neuer Netzarchitekturen und Regelungsstrategien zu berücksichtigen. Dies beinhaltet sowohl neue Ansätze für die Netzauslegung als auch die

zukünftige Regelung und den Betrieb unter Berücksichtigung der Möglichkeiten, die IKT und Demand Side Management bieten. Wie im Stromsystem ist auch hier die Frage nach der Beibehaltung und langfristigen Sicherung der Versorgungssicherheit und -qualität ein wichtiger Faktor. Im Sinne der vorliegenden SRA liegt ein weiterer Fokus auf der Erforschung der Interaktion von Wärme- und Gasnetz miteinander und mit anderen Infrastrukturen (Strom, Wasser/Abwasser etc.)

Im Zuge der Erstellung der SRA hat sich gezeigt, dass sich die integrative und systemische Erforschung des zukünftigen Energiesystems nicht der klassischen technologischen Innovationskette von Grundlagenforschung zu industrieller Forschung, experimenteller Entwicklung und schließlich Demonstration zuordnen lässt. Vielmehr handelt es sich um eine iterative Weiterentwicklung, wobei auf Basis der Erfahrungen grundlegend neue Forschungsaspekte entstehen können. So kann zum Beispiel das Zusammenführen ausgereifter Einzeltechnologien aus systemischer Sicht grundlegend neue Forschungsfragen aufwerfen.

Für die Erforschung des Energiesystems der Zukunft sind eine Definition und laufende Evaluierung des energiepolitischen Rahmens, der Szenarien und langfristigen System- und Technologieentwicklungen notwendig. Dafür ist ein laufender, begleitender Evaluierungsprozess unter Einbindung der Forschungsakteure sämtlicher energietechnischer und sozialwissenschaftlicher Domänen erforderlich und zu etablieren (siehe Abbildung 5 oben).

Die vorliegende SRA zu intelligenten Energiesystemen fokussiert auf interdisziplinäre und systemische Fragestellungen und nicht auf die ebenfalls notwendige Erforschung von Einzeltechnologien im Energie-

1.	2.	3.	4.	5.	6.
Einleitung	Motivation	Stakeholder im Energiesystem 2035	Strategische Forschungsfelder	Die österreichische Forschungslandschaft	Interaktion der österreichischen Forschungslandschaft mit internationalen Initiativen

bereich. Nichtsdestotrotz besteht natürlich eine starke Interaktion zwischen Technologieforschung und Systemforschung (Abbildung 5 unten). Aus System-sicht werden neue Anforderungen an Technologien definiert, die in deren Weiterentwicklung berücksichtigt werden. Aus Sicht der Erforschung des Gesamtsystems werden absehbare Entwicklungen auf Einzeltechnologieebene, die einen Einfluss auf das Gesamtsystem haben, berücksichtigt. In diesem Kontext muss zwischen evolutionären und disruptiven Technologieinnovationen unterschieden werden. Während evolutionäre Entwicklungen auch

längerfristig gut abschätzbar sind, ist die Abschätzung bei disruptiven Innovationen, die einen entscheidenden Einfluss auf das Gesamtsystem haben, schwieriger. Als Beispiel sei an dieser Stelle ein plötzlicher technologischer Sprung bei Stromspeichersystemen genannt, der natürlich zentralen Einfluss auf die Gestaltung des zukünftigen Energiesystems hat.

Die begleitende Forschung zur Transition in Richtung eines integrativen, intelligenten Energiesystems wird sich aufgrund der historischen Trennung der Themenfel-

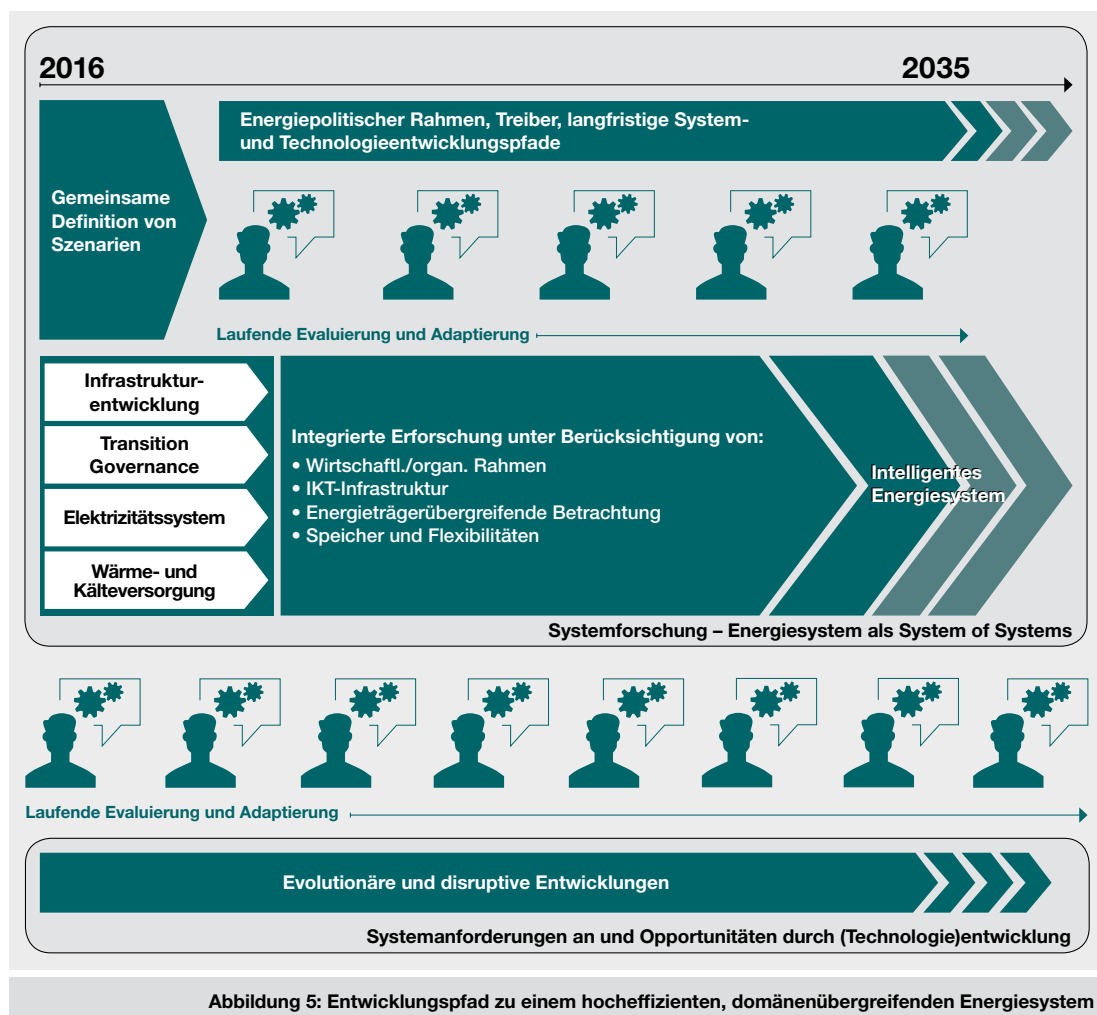


Abbildung 5: Entwicklungspfad zu einem hocheffizienten, domänenübergreifenden Energiesystem

der und der langen Zeitkonstanten im Wandel des Energiesystems in drei Phasen gliedern (Abbildung 5 Mitte). In der bereits gestarteten ersten Phase liegt der Fokus auf der Weiterentwicklung von Methoden und Lösungen für die einzelnen der vier identifizierten Themenfelder unter vermehrter Betrachtung der Schnittstellen zu den anderen. Dies legt die Basis für die zweite Phase, in der eine tatsächliche interdisziplinäre, integrierte und systemische Erforschung des zukünftigen Energiesystems erfolgt. In der dritten Phase wird auf die Weiterentwicklung des in der Praxis zunehmend integrierten Energiesystems und der gesammelten Erfahrungen fokussiert.

Neben der Zusammenarbeit bereits etablierter Akteure im Energiesystem spielt für die Erforschung und Umsetzung des integrierten Energiesystems der Zukunft die Definition, Klärung und Etablierung neuer Rollen und Akteure und deren Systemintegration eine entscheidende Rolle.

Wenn es gelingt, die vorliegende strategische Forschungsagenda umzusetzen, wird Österreich eine internationale Vorreiterrolle in der Erforschung und Entwicklung eines integrativen, intelligenten Energiesystems übernehmen. Damit ist die langfristige Positionierung der österreichischen Forschungslandschaft im internationalen Umfeld gesichert, inklusive der verstärkten Möglichkeit zur Gestaltung und integrierten Weiterentwicklung der einzel-

nen europäischen Initiativen. Dies umfasst in einem ersten Schritt die in Kapitel 6 dargestellten Initiativen in den Bereichen Energie, Sozialwissenschaften, Informations- und Kommunikationstechnologien und Sicherheitsforschung.

Die Bearbeitung und Beantwortung der in den vier Forschungsthemen im Detail definierten Herausforderungen und damit verbundenen Forschungsaufgaben bzw. -fragen ermöglicht das Erreichen der europäischen Ziele eines unabhängigen Energiebinnenmarkts und der Vision für das zukünftige intelligente Energiesystem in Österreich: „Das intelligente Energiesystem basiert auf einer über alle energietechnischen Domänen durch IKT integrierten Infrastruktur mit einem sehr hohen Anteil an erneuerbarer Energieerzeugung. Es berücksichtigt den Gesichtspunkt der sozialen Gerechtigkeit in einer sich wandelnden Gesellschaft. Viele NutzerInnen von Energienetzen machen von der Möglichkeit Gebrauch, eine aktive Rolle als EinspeiserInnen oder als BereitstellerInnen von Speicher- und Flexibilitätsservices zu spielen. Innovative Lösungen zur Gestaltung energieeffizienter, nachhaltiger, resilienter und durch IKT verknüpfter Energienetze ermöglichen und befördern diesen Gebrauch. Nach der Einführung intelligenter Energienetze auf dem Leitmarkt Österreich kann das Land europäische und internationale Vorbildfunktion erlangen und als Inkubator neuer Geschäftsmodelle, Dienst-

1.	2.	3.	4.	5.	6.
Einleitung	Motivation	Stakeholder im Energiesystem 2035	Strategische Forschungsfelder	Die österreichische Forschungslandschaft	Interaktion der österreichischen Forschungslandschaft mit internationalen Initiativen

1.

Einleitung

2.

Motivation

3.

Stakeholder im Energiesystem 2035

4.

Strategische Forschungsfelder

5.

Die österreichische Forschungslandschaft

6.

Interaktion der österreichischen Forschungslandschaft mit internationalen Initiativen

7.

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

8.

Anhang

8.1. Details zum partizipativen Prozess (Workshops)

Die SRA wurde in einem partizipativen Prozess unter Einbindung der Forschungscommunity erstellt. In den ersten beiden Workshops wurden Szenarien zukünftiger Energienetze erarbeitet, aus denen der notwendige Forschungsbedarf bzw. die thematischen Schwerpunkte abgeleitet wurden. Darauf aufbauend wurde das Kapitel der „Strategischen Forschungsfelder“ gedrahtet, welches von zahlreichen Akteuren mitgestaltet wurde. In einem dritten Workshop wurden die Themen unter besonderer Berücksichtigung der systemübergreifenden Aspekte konsolidiert.

Big Picture Workshop (11. Dezember 2013)

Das Ergebnis des ersten Workshops sind vier Rahmenszenarien, welche die wesentlichen Faktoren und Trends für mögliche Entwicklungspfade bis ins Jahr 2050 bestimmen.

Szenario 1: Nachhaltigkeit mit dezentralen Energienetzen

Das Szenario beschreibt eine wünschenswerte und auch weitgehend machbare positive Entwicklung bis 2050 in Bezug auf soziale, ökonomische und ökologische Nachhaltigkeitskriterien. Es beinhaltet Teilszenarien für urbane wie auch ländliche Räume. Sowohl im ländlichen als auch im urbanen Teilszenario ist es gelungen, stabile Verteilnetze zu etablieren, die dezentrale Energieerzeugung ermöglichen und über adäquate Speichertechnologien verfügen, um weitgehend lokal erzeugte Energie auch lokal zur Verfügung zu stellen.

Nachhaltiger Netzstrukturwandel – Teilszenario für dezentrale urbane Energiesysteme

Die Umwelt- und Klimapolitik war über die letzten Jahrzehnte ein wichtiger gestalten-

der Faktor für die Entwicklung urbaner Räume. So wurde auch die Raumordnung als Instrument aktiver Klimapolitik eingesetzt und zeigt merkliche Auswirkungen auf den Städtebau. Standortpolitische Entscheidungen basierend auf komplementären Wirtschafts- und Energiepolitikmaßnahmen haben effiziente Energielösungen (z. B. Kombination von Strom und Wärmeerzeugung/-speicherung, Einsatz von Wärmepumpen in Verbindung mit Fernwärme) ermöglicht und zur Technologieführerschaft bei der KWK beigetragen.

Der Energiebedarf wird durch ein breites Energieträgerportfolio mit einem hohen Anteil an erneuerbaren Energieträgern abgedeckt. Virtuelle Kraftwerke erlauben einen optimierten Energiemix, um den Anteil der fossilen Energie gering zu halten, und liefern auch einen Beitrag zur Netzstabilität.

Der Wohnhausbestand hat sich durch den Urbanisierungstrend in den großen Städten und Ballungsräumen erhöht und modernisiert. Wohnhausanlagen werden häufig durch Mini-KWK-Anlagen, betrieben mit Biomasse und/oder Gas, versorgt, die mittels Wärmespeicherung einen Ausgleich der Stromerzeugung durch Wind und Solaranlagen ermöglichen. Sie tragen dadurch zur Stabilisierung der Verteilnetze bei.

Fernwärmenetze konnten wegen des geringeren Heizbedarfs von Haushalten und Bürogebäuden (Klimawandel, Energieeffizienzmaßnahmen im Gebäudebereich) ausgebaut werden. Neue Netze können auf niedrigerem Temperaturniveau operieren und dadurch die Netzverluste und damit die Betriebskosten senken.

Regional erzeugte Energieproduktion wird durch Finanzierungsmodelle mit Bürgerbeteiligung ermöglicht.

1.	2.	3.	4.	5.	6.
Einleitung	Motivation	Stakeholder im Energiesystem 2035	Strategische Forschungsfelder	Die österreichische Forschungslandschaft	Interaktion der österreichischen Forschungslandschaft mit internationalen Initiativen

Rettet den ländlichen Raum – Teilszenario für dezentrale rurale Energiesysteme

Außer im Umland größerer Städte und Industrien und in Tourismusgebieten ist der ländliche Raum nicht mehr ausreichend attraktiv, um ohne massive raumplanerische Maßnahmen (z. B. kurze Wege) und Subventionen (einschließlich Steuervergünstigungen) eine regionale Entwicklung zu ermöglichen. Daher ist die problemlose Versorgung des ländlichen Raums durch Energienetze abseits von Ballungsräumen nicht mehr gewährleistet. Immer wichtiger ist eine weitgehend autonome lokale Energieversorgung, die aufgrund neuer Speichertechnologien auch machbar ist. Die verbleibende, vorwiegend ältere Bevölkerung gewöhnt sich aber auch an den geringeren Grad der Versorgungssicherheit. In industrieintensiven und touristischen Gebieten ist eine bessere Anbindung an Energienetze im Hochspannungsbereich gesichert und keine autonome Versorgung nötig.

Szenario 2: Nachhaltigkeit mit einem international gut integrierten Übertragungsnetz

Der Hauptunterschied zu Szenario 1 liegt in der stärkeren Bedeutung der Energieversorgung über transeuropäische Netze und große (auch virtuelle) Kraftwerke und dem geringeren Bedarf an intelligenten Verteilnetzen.

Zentrale nationale Energiesysteme – der Nationalstaat bringt Stabilität

Ein erstarkter Nationalstaat hat einen Pfad zu einem nachhaltigen Energiesystem umgesetzt und hatte damit auf die Lebensqualität und Wettbewerbsfähigkeit in Österreich einen positiven Einfluss. Die Energiewende erfolgte trotz oder gerade wegen wirtschaftlicher, geopolitischer und klimatischer Turbulenzen erfolgreich, da dem Staat zugetraut wurde, mit den etablierten

Institutionen (z. B. Sozialpartnerschaft) Solidarität und Risikoabsicherung zu gewährleisten. Dafür war eine staatlich unterstützte, orchestrierte und kontinuierlich angepasste Energiewendestrategie ausschlaggebend. Prozesse wurde aufgesetzt, die es ermöglichen, die Energiestrategie und daraus folgende Maßnahmen an sich rasch verändernde Rahmenbedingungen anzupassen. Naturschutzpolitik steht nicht mehr im Vordergrund der Umwelt- und Klimapolitik, da andere Themen an Bedeutung zugenommen haben (z. B. Energiearmut, Alterung und Erhalt der Wirtschaftsleistung durch Migration). Versorgungssicherheit wird weitestgehend für alle gesellschaftlichen Gruppen gewährleistet und Energiearmut vermieden.

Für Strom und Wärme werden zu 90 % erneuerbare Energieträger (neben Wasserkraft insbesondere Wind, Biomasse und Photovoltaik) verwendet.

Basierend auf der Energiewendestrategie von 2020 entwickelte der Staat sowohl ein fiskalpolitisches als auch ein netzregulatorisches Modell zur Flexibilisierung der Energienachfrage. Die Flexibilisierung gestaltet sich dermaßen, dass sowohl die Effizienz der eingesetzten Energie deutlich verbessert werden konnte als auch – und vor allem – ein geringerer Energieverbrauch besteht. Technologisch erreichte man das vor allem durch neue Speichertechnologien und Innovationen in Dienstleistungen, u. a. mithilfe der Nutzung von Big-Data-Analyseinstrumenten und anderer IKT-Lösungen (z. B. P2H, gesteuertes Laden von E-Mobilen). Institutionelle und soziale Innovationen zur Steuerung komplexer Energiesysteme und -netze beförderten die Netzoptimierung. Der geringere Energieverbrauch konnte insbesondere durch Businessmodelle erreicht werden, die durch die Kombination von

technologischen und sozialen Innovationen ermöglicht wurden und deren Profitabilität nicht von der Menge der genutzten kWh abhängt.

Szenario 3: Klimapolitikversagen

In diesem **Laissez-faire-Szenario** werden bestehende Praktiken, Spielregeln und Akteurskonstellationen basierend auf den liberalisierten Energiemärkten fortgeschrieben. Im Vergleich zu dem häufig verwendeten Business-as-usual-Ansatz geht dieses Szenario allerdings von zunehmenden Turbulenzen auf unterschiedlichsten Ebenen aus. Die Resilienz des etablierten Energiesystems wird immer wieder deutlich auf die Probe gestellt (z. B. Zunahme von Extremereignissen durch Klimawandel, Energieknappheiten, Finanz- und Budgetkrisen, geopolitische Spannungen, demografischer Wandel).

Globales Politikversagen führte dazu, dass heute, im Jahr 2050, der Einfluss des Klimawandels auch in Österreich bereits deutlich spürbar ist und die Klimamodelle für die nächsten Jahrzehnte eine weitere Zunahme der Klimafolgen vorhersagen. Sowohl die Lebensqualität hat sich verändert (für viele zum Schlechteren), als auch die damit verbundene Energienutzung. So ist etwa der Wärmebedarf im Winter deutlich geringer, dafür aber der Kühlbedarf (insbesondere in den wachsenden Städten und dort vor allem in Heat-Islands) deutlich höher als 2015. Im Vergleich zu anderen Gebieten in Europa und weltweit geht es den Menschen in Österreich aber gut.

Die Energieinfrastruktur ist immer noch stark von zentraler Energieproduktion geprägt. Sie ist bis heute schrittweise an die zunehmenden Extremwetterereignisse angepasst worden, es ist allerdings unvorhersehbar und unsicher, welche Folgeinvestitionen da-

mit in Zukunft noch verbunden sein werden. Dazu trägt auch die geringe Akzeptanz von langfristigen Infrastrukturinvestitionen in der Bevölkerung bei, und man stellt sich nun die Frage, ob große Investments in neue Infrastruktur vorteilhafter gewesen wären. Neue Speichertechnologien helfen noch, den mangelnden Energienetzausbau auszugleichen, wodurch eine akzeptable Versorgungssicherheit besteht, auch wenn diese langfristig gefährdet sein könnte.

Einige technologische Innovationen haben sich durchgesetzt, wie z. B. E-Mobilität in urbanen Räumen. Trotzdem wird deutlich, dass die klimapolitischen Zielsetzungen nicht erreicht wurden und Österreich keine Vorreiterrolle übernommen hat.

Szenario 4: Politikversagen und Strategielosigkeit

Das vierte Szenario ist ein **Breakdown-Szenario**. Es beschreibt, was alles schiefgehen kann. Dieses Szenario erklärt sich zum Teil durch das Fehlen einer an die wirtschaftspolitischen Entwicklungen angepassten Energiewendestrategie.

Die globale Wirtschaft ist starken Schwankungen unterworfen und Österreich kann sich im Export nicht durchsetzen. Es kam zu keiner einheitlichen Energiewendestrategie; in der Folge haben hohe Energiepreise und geringe Energieeffizienz zur Verschlechterung der Wettbewerbsfähigkeit beigetragen.

Heute erkennt man, dass Österreich im Rahmen einer angepassten Energiewendestrategie national in alternative Energieträger mit Schwerpunkt auf erneuerbaren Energieträgern investieren hätte sollen. Dadurch hätten sich neue Exportmärkte erschließen und gleichzeitig Energieimporte beschrän-

1.	2.	3.	4.	5.	6.
Einleitung	Motivation	Stakeholder im Energiesystem 2035	Strategische Forschungsfelder	Die österreichische Forschungslandschaft	Interaktion der österreichischen Forschungslandschaft mit internationalen Initiativen

ken lassen.

Die Bevölkerung ist stark überaltert. Die sinkende Kaufkraft älterer Menschen hat auch zur Konsequenz, dass Investitionen in Energieeffizienzmaßnahmen nicht rechtzeitig erfolgen. Die aus diesem Grund oft sehr stark steigenden Energiekosten wirken sich auf die älteren Bevölkerungsgruppen besonders stark aus. Energiearmut ist die Folge und findet sich dort, wo Menschen immer noch die veralteten Heizungssysteme nutzen oder in nicht wärmesanierten Wohnbauten leben müssen. Smart-Meter-Anwendungen erleichtern es den Anbietern, die Versorgung dieser Kunden ohne Weiteres einzustellen.

Die Überalterung wirkt sich insbesondere im ländlichen Raum aus und zeigt sich in Zersiedelung und geringer Kaufkraft in ländlichen Gemeinden ebenso wie in wenig attraktiven kleineren und mittleren Städten.

Visioning Workshop (25. Februar 2014)

Im zweiten Workshop wurde eine Vision des „intelligenten Energienetzes“ für das Jahr 2050 formuliert. Zielkriterien dabei waren eine gesicherte Daseinsvorsorge bei hoher Lebensqualität, Versorgungssicherheit, Umwelt- und Klimaverträglichkeit sowie die Wettbewerbsfähigkeit des Wirtschaftsstandortes Österreich. Die Workshopteilnehmer haben eine Liste von kritischen bzw. Erfolgsfaktoren erstellt, welche geclustert wurden und sich nun als „strategische Forschungsfelder“ in der SRA wiederfinden. Die folgenden Listen sind Abschriften der Workshop-Ergebnisse; sie bilden eine Grundlage für die Erstellung der SRA, sind aber nicht als Teil der SRA zu verstehen:

- Energieträgerübergreifende und raumspezifische Infrastrukturentwicklung
 - Roadmap Primärenergieeinsatz

- Vereinfachte Modelle des Gesamtsystems für Sensitivitätsanalysen
 - Komplexität beherrschen
 - Bewertungskriterien zur Entscheidung über Netzauswahl
 - Spartenübergreifende Infrastrukturentwicklung (Strom-Fernwärme-Gas)
 - Wie können Energienetze zusammengebracht werden
 - Wie berücksichtige ich regionale Gegebenheiten in der Infrastrukturentwicklung
 - Unterschiedliche Modelle für urbane und ländliche Räume
 - Regionalspezifische Modelle
 - Energieeinsparungspotenziale beim Gesamtenergieverbrauch und Auswirkung auf die einzelnen Infrastrukturen
 - Wie erfolgt die lokale Kältebereitstellung
 - Erneuerbare Energien im Energiemix der Industrie
 - Was ist das optimale Speichermedium
 - Sichere und kosteneffiziente IKT
 - Datensicherheit verbessern
-
- Gesellschaftliche, ökonomische und sozio-technische Aspekte der Energiewende (Titel des Themenbereichs in der SRA: Governance der Energiewende)
 - Entwicklung und kontinuierliche Anpassung eines Masterplan Energie
 - Bewusstsein für Energie schaffen (inklusive Kostenwahrheit)
 - Faktor Mensch verstehen und adressieren
 - Nutzerverhalten verstehen/Nutzerfreundlichkeit
 - Living Lab – sozialwissenschaftliche Forschung
 - Gesellschaftliche Akzeptanz
 - Entwicklung neuer Tarifsysteme
 - Rechtliche Rahmenbedingungen (konkret: Einbindung industrieller

- Abwärme)
 - Politische Bildung zur Machtkontrolle
- Elektrizitätsnetze
 - Matchen von Flexibilitäten
 - Optimierung Umwandlungskette bis zum Strom (Verluste)
 - Strom als hocheffiziente Endenergieform
 - Flexibilität im Übertragungsnetz
 - Intelligente Steuerung in Verteilnetzen
 - Interaktion sich selbst regelnder Verteilnetze
 - Speicherung
 - Virtuelle Speicherung
 - Spitzenstromimport
 - Kosten der Netzstabilität
 - Rotierende Massen, Stabilität (dynamisch und statisch)
 - Speicherung
 - Power-to-Gas
 - Neue Technologien in den Bereichen PV, Biogas, Wasserstoff, Brennstoffzelle
 - Schutz in bidirektionalen Netzen
 - Erhalt der „grünen Bahn in Österreich“
 - Rebound-Effekte verhindern
- Nah-, Fernwärme und Gasnetze
 - Klimawandel und Auswirkung auf Wärme- und Kältenachfrage
 - Kältenachfrage nicht nur über Strom abdecken
 - Neue Technologien
 - Speicherung
 - Kopplung Strom-Wärme
 - Hochtemperatur-Wärmepumpen für Einspeisung ins Fernwärmenetz
 - Umstellung von Industrierwärme auf Niedrigtemperatur
 - Bereitstellung von Prozesswärme durch erneuerbare Energien
 - Optimierung erneuerbare Energien in der Industrie
 - Nutzbarmachen von Umweltwärme
 - Fernwärmeverdichtung
 - Langfristige Gaslieferverträge
 - Alternative Gase

Abschlussworkshop (6. November 2015)

Zur Konsolidierung der SRA seitens der Forschungsakteure auf Einladung des BM-VIT wurde ein Abschlussworkshop durchgeführt. Hierbei wurde der Entwurf der SRA vorgestellt und diskutiert. Die Ergebnisse wurden in die Draft-Final Version der SRA

1.	2.	3.	4.	5.	6.
Einleitung	Motivation	Stakeholder im Energiesystem 2035	Strategische Forschungsfelder	Die österreichische Forschungslandschaft	Interaktion der österreichischen Forschungslandschaft mit internationalen Initiativen

8.2. Stakeholder im Energiesystem 2035

Folgende Tabelle beschreibt eine mögliche Akteurslandschaft im intelligenten Energiesystem 2035, wobei die Rollen domänenübergreifend zu planen und zu denken sind.

Stakeholder im Energiesystem 2035		
Akteursrolle	Beschreibung	Stakeholder in Österreich
		Unternehmen oder Organisationen, die die Akteursrolle übernehmen bzw. jene, die in wirtschaftlichem Austausch mit diesen stehen (insbesondere Kunden, Lieferanten, Gläubiger, Schuldner), werden nicht explizit genannt.
Marktteilnehmer (Gas)	Bilanzgruppenverantwortliche, Bilanzgruppenmitglieder, Versorger, Erdgashändler, Produzenten, Netzbenutzer, Kunden, Endverbraucher, Bilanzgruppenkoordinatoren, Fernleitungsnetzbetreiber, Verteilernetzbetreiber, Marktgebietsmanager, Verteilergebietsmanager, Speicherunternehmen, Börseunternehmen und Hub-Dienstleistungsunternehmen.	Gaswirtschaftsgesetz 2011 (GWG 2011)
Erdgasunternehmen	Eine natürliche oder juristische Person oder eingetragene Personengesellschaft, die in Gewinnabsicht von den Funktionen Fernleitung, Verteilung, Lieferung, Verkauf, Kauf oder Speicherung von Erdgas, einschließlich verflüssigtes Erdgas, mindestens eine wahrnimmt und für die kommerziellen, technischen oder wartungsbezogenen Aufgaben im Zusammenhang mit diesen Funktionen verantwortlich ist, mit Ausnahme der Endverbraucher. Speicherunternehmen, Marktgebietsmanager und Verteilergebietsmanager sind Erdgasunternehmen.	
Erdgashändler	Eine natürliche oder juristische Person oder eingetragene Personengesellschaft, die Erdgas kauft oder verkauft, ohne innerhalb oder außerhalb des Netzes, in dem sie eingerichtet ist, eine Fernleitungs- oder Verteilerfunktion wahrzunehmen.	
Entnehmer Gas	Eine natürliche oder juristische Person oder eingetragene Personengesellschaft, die Erdgas an einem Ausspeisepunkt übernimmt.	

Endverbraucher Gas	Eine natürliche oder juristische Person oder eingetragene Personengesellschaft, die Erdgas für den Eigenbedarf kauft.	
Einspeiser Gas	Eine natürliche oder juristische Person oder eingetragene Personengesellschaft, die Erdgas oder biogenes Gas an einem Einspeisepunkt zum Transport übergibt.	
Hub-Dienstleistungsunternehmen (Gas)	Ein Unternehmen, das Dienstleistungen zur Unterstützung von Erdgas-Handelstransaktionen erbringt.	
Speicherunternehmen (Gas)	Eine natürliche oder juristische Person oder eingetragene Personengesellschaft, die die Funktion der Speicherung wahrnimmt und für den Betrieb einer Speicheranlage verantwortlich ist; hierzu genügt es, dass das Unternehmen die Speicheranlage bloß verwaltet.	
Versorger	Eine natürliche oder juristische Person oder eingetragene Personengesellschaft, die die Versorgung wahrnimmt.	
Energiekunden	Endverbraucher, Händler oder Unternehmen, die Energie kaufen.	
Börsen	Ein Börseunternehmen oder eine Abwicklungsstelle für Börsegeschäfte am Erdgasmarkt und Strommarkt.	Z. B. CEGH Gas Exchange, EXAA Energy Exchange Austria
Derzeitige Marktteilnehmer (Strom)	Bilanzgruppenverantwortliche, Versorger, Stromhändler, Erzeuger, Lieferanten, Netzbenutzer, Kunden, Endverbraucher, Bilanzgruppenkoordinatoren, Strombörsen, Übertragungsnetzbetreiber, Verteilernetzbetreiber und Regelzonenführer.	Festgelegt in: Gesamte Rechtsvorschrift für Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz 2010, Fassung vom 07.02.2014, http://www.e-con-trol.at/portal/page/portal/medienbibliothek/recht/dokumente/pdfs/EIWOG-2010-Fassung-vom-07.02.2014-1.pdf
Speicherunternehmer auf der Verteilebene	Noch nicht etabliert, aber erforderlich.	
Kunden (Strom)	Endverbraucher, Stromhändler sowie Elektrizitätsunternehmen, die elektrische Energie kaufen.	

1.	2.	3.	4.	5.	6.
Einleitung	Motivation	Stakeholder im Energiesystem 2035	Strategische Forschungsfelder	Die österreichische Forschungslandschaft	Interaktion der österreichischen Forschungslandschaft mit internationalen Initiativen

Lieferant (Supplier)	Eine natürliche oder juristische Person oder eingetragene Personengesellschaft, die Elektrizität anderen natürlichen oder juristischen Personen zur Verfügung stellt.	
Endverbraucher – Konsument (Strom)	Eine natürliche oder juristische Person oder eingetragene Personengesellschaft, die Elektrizität für den Eigenverbrauch kauft; Inanspruchnahme von Energieprodukten und -Dienstleistungen. Darunter wird auch der Verbraucher von Endenergie verstanden. Dies können Personen, Wohnungen, Haushalte und Gemeinschaften sein, ebenso wie Landwirtschaft, Gewerbe und Industrie.	Regulierungsbehörden Arbeiterkammer Verein für Konsumenteninformation Datenschutzbehörde ARGE Daten
Prosumer	Ein Konsument, der gleichzeitig Energie verbraucht und selbst Energie erzeugt.	Regulierungsbehörden Wirtschaftskammer Verein für Konsumenteninformation
Stromhändler	Eine natürliche oder juristische Person oder eingetragene Personengesellschaft, die Elektrizität in Gewinnabsicht verkauft. Verkauft Energie und Energiedienstleistungen an Konsumenten.	Wirtschaftskammer Österreichs Energie
Aggregatoren	Kaufen und verkaufen Energie und Energiedienstleistungen im Auftrag von Konsumenten und/oder Prosumern.	
Erzeuger im Verteilnetz	Große, zentralisierte Energieerzeuger.	Einzelunternehmen und Branchenvertreter Österreichs Energie
Verteilte Erzeuger	Kleine und mittelgroße Energieerzeuger, die hauptsächlich geografisch verteilt zu finden sind und basierend auf erneuerbaren Energien produzieren.	Einzelunternehmen und diverse Verbände
Verteilernetzbetreiber (DSOs)	Planung, Bau, Erhaltung und Betrieb von Verteilernetzen.	Ca. 120 Verteilernetzbetreiber und Branchenvertreter Österreichs Energie
Übertragungsnetzbetreiber (TSOs)	Planung, Bau, Erhaltung und Betrieb von Übertragungsnetzen.	Österreichs Energie
EE-Industrie	Erzeugung von Technologien für Erneuerbare- Energien-Systeme	Einzelunternehmen plus diverse Verbände: Verband Erneuerbare Energie Österreich EEÖ, Dachverband Energie-Klima (WKO), Austria Solar, Wärmepumpe Austria, PV Austria, Biomasseverband, ACR-Austrian Cooperative Research

Bereitsteller von Energiedienstleistungen	Bereitstellung von Services wie z. B. Spannungs- und Frequenzregelung im Stromsystem.	
Telekommunikationsanbieter	Bereitstellung von Telekommunikationsdienstleistungen basierend auf spezieller oder öffentlicher Infrastruktur.	
Energiepolitik und -regulierung	<ul style="list-style-type: none"> • Gesetzgebung und Umsetzung der Energiepolitik auf europäischer, nationaler und föderaler Ebene • Definition und Gestaltung der europäischen Energiepolitik • Umsetzung europäischer Richtlinien in nationales Recht und Länderrecht • Definition und Gestaltung der österreichischen Energiepolitik • Definition und Gestaltung der österreichischen Forschungs-, Technologie- und Innovationspolitik für energierelevante Themen • Definition von effizienten Energiemärkten • Definition und Überwachung der Regeln und Anforderungen der wirtschaftlichen Akteure in den Energienetzen 	<p>EU-Ebene: Europäisches Parlament Europäische Kommission ACER, European Agency for the Cooperation of Energy Regulators</p> <p>Nationale Ebene: Nationalrat Bundesregierung: Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wassertechnik Energie-Control Austria Datenschutzbehörde</p> <p>Föderale Strukturen: 9 Landtage 9 Landesregierungen</p>
Energiepolitik und -regulierung Politik – Gemeinden/ Städte	obliegt Flächenwidmung -> energieorientierte Raumordnung	Bürgermeister, Städtebund, ÖROK
Energieagenturen	Beratung, Evaluierung, Umsetzung, Teilnahme an Programmen	Landes-Energieagenturen, Österreichische Energieagentur
Forschung	Forschung/Beratung, Teilnahme an Programmen	Universitäten und Forschungsinstitute
Forschungs-, Technologie- und Innovationspolitik	Definition und Gestaltung der österreichischen Forschungs-, Technologie- und Innovationspolitik für energierelevante Themen	<p>DG Research and Innovation</p> <p>Europäische Technologieplattformen</p> <p>Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie</p> <p>KLIEN</p> <p>FFG</p> <p>Rat für Forschungs- und Technologieentwicklung</p>
Komponentenhersteller	Entwicklung und Bau von technologischen Komponenten des österreichischen Energiesystems	Multinationale Konzerne KMU

1.	2.	3.	4.	5.	6.
Einleitung	Motivation	Stakeholder im Energiesystem 2035	Strategische Forschungsfelder	Die österreichische Forschungslandschaft	Interaktion der österreichischen Forschungslandschaft mit internationalen Initiativen

Systemanbieter und Softwarehersteller	Entwicklung der technologischen Intelligenz des Energienetzes	
Architekten	Planung und Umsetzung von energieeffizienten Gebäuden	Architektenkammer
Bauträger und Haustechniker	Detailplanung und Ausführung von Gebäuden und Heizsystemen	Verband der gemeinnützigen Bauträger
Industrie- und Gewerbebetriebe	Besitzen teilweise eigene Energiehändler, die für eigene Prozesse benötigte Energie oder Überschüsse aus eigener Energieerzeugung am Markt handeln bzw. Abwärme an Fernwärmenetze liefern	WKÖ, IV
Stadtplaner, Stadtentwickler	Ihre Entscheidungen haben entweder direkt oder indirekt Einfluss auf das Vorhandensein oder die Machbarkeit von Energieinfrastruktur (insb. Fernwärme und Gasnetze)	MA18, MA20, MA21 etc.
Installateure	Installieren Heizsysteme + Übergabestationen für Fernwärmenetze + Solaranlagen + WP etc.	
Baubranche	Bau von Energieinfrastruktur und Gebäuden/ Gebäudekomplexen	
Investoren, Finanzierungseinrichtungen	Finanzieren große (Energie-)Infrastruktur- und Gebäudeprojekte über neue Investitions- oder Beteiligungsmodelle	KPC, private Banken
Facility Manager	Verantwortlich für eine möglichst kosteneffiziente Energieversorgung größerer Gebäude (meist gewerbliche Nutzung)	
Eigentümer von Gebäuden und Gebäudekomplexen	Geringstmögliche Investitions-, Wartungs- und Betriebskosten, höchstmögliche Erträge (z. B. durch Mieteinnahmen)	
Landwirtschaftliche Betriebe	Liefern teilweise biogene Brennstoffe (Einspeisung von Biogas in das Gasnetz, Lieferung von Hackschnitzeln für Heizwerke etc.), betreiben teilweise selbst Fernwärmenetze	
Ingenieur- und Planungsbüros	Planung von Energieinfrastruktur und Begleitung der Realisierung	

1.	2.	3.	4.	5.	6.
Einleitung	Motivation	Stakeholder im Energiesystem 2035	Strategische Forschungsfelder	Die österreichische Forschungslandschaft	Interaktion der österreichischen Forschungslandschaft mit internationalen Initiativen

9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Neue Akteursgruppen im Energiesystem	25
Abbildung 2: CO ₂ -Emissionsreduktions-Ziele für 2050 und der erwartete Beitrag der einzelnen Sektoren	28
Abbildung 3: Intelligentes Energiesystem: Die österreichische Forschungslandschaft	66
Abbildung 4: Internationale Einbettung der Strategic Research Agenda	69
Abbildung 5: Entwicklungspfad zu einem hocheffizienten, domänenübergreifenden Energiesystem	78

10. Quellenverzeichnis

- Acatech 2012 - Acatech Studie Future Energy Grid - Migrationspfade ins Internet der Energie, Acatech, 2012
http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Publikationen/Projektberichte/acatech_STUDIE_Future-Energy-Grid_120131_WEB_final.pdf
- Appelrath et al. 2012 - Appelrath H.-J., Lehnhoff S., Rohjans S., König A.: Hybridnetze für die Energiewende – Forschungsfragen aus Sicht der IKT, Acatech Materialien, Berlin, 2012
- Berger et al. 2014 - Berger M., Hofer T., Judex F., Jung M., Kienesberger G., Meisel M., Pichler M., Prost S., Prügler W., Röderer K.: SGMS – Smart Web Grid. Endbericht zu Neue Energien 2020, Wien, 2014
- BMVIT 2011 - Republik Österreich, Strategie der Bundesregierung für Forschung, Technologie und Innovation: Der Weg zum Innovation Leader – Potenziale ausschöpfen, Dynamik steigern, Zukunft schaffen, Wien, März 2011
- Cavallaro et al. 2014 – Cavallaro A., Di Gennaro F., Euzenat J., Peters-Anders J., Osello A.: Vision of Energy Systems for Smart Cities. Deliverable D5.2 from READY4SmartCities - ICT Roadmap and Data Interoperability for Energy Systems in Smart Cities, 2014
- DHC 2012 – DHC+ Technology Platform: District Heating & Cooling Strategic Research Agenda, Brüssel, März 2012
http://www.dhcplus.eu/wp-content/uploads/2012/05/120529_DHC+SRA_final.pdf
- EC 2010 - European Commission, The European Strategic Energy Technology Plan: SET-Plan Toward a low-carbon future, Luxemburg, 2010
- EC 2011 - European Commission: A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the Europe-an Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Brussels, 2011
- EC 2014 – Strategic Energy Technology (SET) Plan – Towards an Integrated Roadmap: Re-search & Innovation Challenges and Needs of the EU Energy System, Brussels 2014
https://setis.ec.europa.eu/system/files/Towards%20an%20Integrated%20Roadmap_0.pdf
- EC 2015a - European Commission: Renewable energy progress report, Brussels, 2015
- EC 2015b – Communication from the Commission: Towards an Integrated Strategic Energy Technology (SET) Plan: Accelerating the European Energy System Transformation, Brussels, September 2015
https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/1_EN_ACT_part1_v8_0.pdf
- EC 2015c - European Commission: Integration of social sciences and humanities in Horizon 2020: Participants, Budget and Disciplines, Brussels, 2015
https://ec.europa.eu/research/social-sciences/pdf/other_pubs/integration_ssh_h2020.pdf
- Edler 2013 - Edler, C.: Das österreichische Gasnetz, Bachelorarbeit PR 370005, TU Wien, Juli 2013
- EEGI 2013 - European Electricity Grid Initiative (EEGI): Research and Innovation Roadmap 2013 – 2022, EEGI, Brüssel 2013
http://www.gridplus.eu/Documents/20130228_EEGI%20Roadmap%202013-2022_to%20print.pdf
- ETP 2012 - Europäische Technologieplattform Smart Grids: SmartGrids SRA 2035 - Summary of Priorities for SmartGrids Research Topics, Europäische Technologieplattform Smart Grids, Brüssel, 2012,
<http://www.smartgrids.eu/>
- FGW 2014: Fernwärme in Österreich. Zahlenspiegel 2014,
https://www.gaswaerme.at/ufile/9/2619/zahlenspiegel_fw2014.pdf
- Grayson 2011 - Grayson, H.: Smart Grid - Smart Customer Policy Needs, International Energy Agency, Paris, 2011
- Granström 2013a - Granström, P.O.: The Benefits of SmartGrids in Spain. FutuRed, Sustainable Energy Week, Brussels, 2013

Granström2013b - Granström, P.O.: The European Electricity Grid Initiative at a glance: Smart Grids at European and National level: Converging activities on energy efficiency. EDSO for smart grids, EEGI (European Electricity Grid Initiative), Sustainable Energy Week, Brussels, 2013

Grünwald 2014 - Grünwald, Reinhard: Moderne Stromnetze als Schlüsselement einer nachhaltigen Energieversorgung. Endbericht zum TA-Projekt. Hg. v. TAB. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) (Arbeitsbericht, 162), 2014

Heinen et al. 2011 -, in: Heinen, S., Elzinger, D., Kim, S.-K., Yuichi, I.: Impact of Smart Grid Technologies on Peak Load to 2050, International Energy Agency, Paris, 2011

Hinterberger 2011 - Robert Hinterberger: Strategische Research Agenda für ein Smart Gas Grid, Energy Research Austria, Wien, März 2011

Hinterberger 2015a - Hinterberger R.: Hybridnetze und Synergiepotentiale mit kommunalen Infrastrukturen. Visions- und Strategiepapier. Bericht aus Energie- und Umweltforschung, 20/2015. BMVIT.

Hinterberger 2015b- Hinterberger R.: Forschungsbedarf: Hybridnetze und Synergiepotentiale mit kommunalen Infrastrukturen. Bericht aus Energie- und Umweltforschung, 24/2015. BMVIT.

IEA Perspectives 2014 - International Energy Agency: Energy Technology Perspectives, 2014
<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/energy-technology-perspectives-2014---executive-summary---german-version.html>

IEA Storage 2014 - International Energy Agency: Technology Roadmap: Energy Storage, 2014
<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/technology-roadmap-energy-storage-.html>

IEA PV 2014 - International Energy Agency: Technology Roadmap: Solar Photovoltaic Energy, 2014
<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/technology-roadmap-solar-photovoltaic-energy---2014-edition.html>

IEA Wind 2014 - International Energy Agency: Technology Roadmap: Wind Energy, 2014
<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/technology-roadmap-wind-energy---2013-edition.html>

IEA SG 2011 – International Energy Agency:

Technology Roadmap: Smart Grids, 2011.
https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/smartgrids_roadmap.pdf

IEA 2013 - International Energy Agency: Tracking Clean Energy Progress 2013. Input to the Clean Energy Ministerial, 2013
http://www.iea.org/publications/tcep_web.pdf

IEA Hydrogen 2015 – International Energy Agency: Technology Roadmap: Hydrogen and Fuel Cells, 2015
<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapHydrogenandFuelCells.pdf>

IEA WES 2015 - International Energy Agency: Key World Energy Statistics 2014

JRC 2010 – JRC: Quantitative Assessment of the Impact of the Strategic Energy Technology Plan on the European Power Sector. International Energy Agency, Seville, Spain, 2010

Judd et al. 2013 – Judd R., Pinchbeck D.: Power to Gas Research Roadmap, Brüssel, Februar 2013

LERU 2013 – League of European Research Universities: The future of the social sciences and humanities in Europe: Collected LERU Papers on the SSH Research Agends, Advice Paper No. 13, September 2013

Lund et al 2014 - Lund, H. et. al: 4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems, Energy, Volume 68, 15 April 2014, Pages 1-11

Mayntz 2009 – Mayntz, R.: Über Governance. Institutionen und Prozesse politischer Regelung, Köln, 2009

McAfee 2011 - McAfee; CSIS: In the Dark. Crucial Industries Confront Cyberattacks (McAfee second annual critical infrastructure protection report written with the Center for Strategic and International Studies (CSIS), 2011

IEA Norden 2013 - Nordic Energy Technology Perspectives - Pathways to a Carbon Neutral Energy Future. Norden (Nordic Energy Research), IEA (International Energy Agency), Paris & Oslo, 2013

OECD/IEA 2014 - OECD/IEA: Linking Heat and Electricity Systems. Paris, 2014

Pol et al. 2016 - Pol O. und Schmidt R.-R.: Development of district heating and cooling in the ur-ban planning context. In: Advanced District Heating and Cooling (DHC) Systems. Elsevier Ltd., S.319–337, 2016

- PwC 2015 - 14th PwC Global Power&Utilities Survey – A different energy future – Where energy transformation is leading us, 2015
- RHC 2014 – Renewable Heating & Cooling European Technology Platform: Common Implementation Roadmap for Renewable Heating and Cooling Technologies, Brüssel, Juni 2014
- Rohracher et al. 2011 - Rohracher, H., Schreuer, A., Späth, P., Knoflacher, M., Kubeczko, K., Paier, M., Weber, K.M., E-Trans 2050, Nachhaltige Energie der Zukunft: Soziotechnische Zukunftsbilder und Transformationspfade für das österreichische Energiesystem, Graz & Wien, 2011
- Schmidt et al. 2015 – Schmidt R., Tichler R., Amann C., Schindler I.: F&E-Fahrplan Fernwärme und Fernkälte: Innovationen aus Österreich, Wien, Oktober 2015
- Stoeglehner et al. 2011 - Stoeglehner G., Niemetz, N., Kettl, K.-H.: Spatial dimensions of sustainable energy systems: new visions for integrated spatial and energy planning. *Energy, Sustainability and Society*, 2011
- Stoeglehner et al. 2016 - Stoeglehner, G., Narodoslowsky, M., Erker, S., Neugebauer, G.: Integrated Spatial and Energy Planning - Supporting Climate Protection and the Energy Turn with Means of Spatial Planning. Springer, 2016
- Stutz et al. 2016 – Stutz M., Strasser B., Lonauer T., Pichler M., Röderer K., Prost S., Judex F., Kaiser B., Raudaschl S. (eingereicht, 2016): Smart Grids Modellregion Salzburg – Häuser als interaktive Teilnehmer im Smart Grid: Begleitforschung“, Publizierbarer Endbericht, FFG 834676
- Tichler et al. 2014 - Tichler R., Lindorfer J., Friedl C., Reiter G., Steinmüller H.: FTI-Roadmap Power-to-Gas für Österreich. Zeithorizont bis 2030. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 50/2014.
- TPA 2010 – Roadmap Smart Grids Austria - Der Weg in die Zukunft der elektrischen Stromnetze!, Technologieplattform Smart Grids Austria, Wien, 2010 <http://www.smartgrids.at/termine-downloads/#downloads>
- TPA 2015 – Technologieroadmap Smart Grids Austria – Umsetzungsschritte zum Wandel des Stromsystems bis 2020, Technologieplattform Smart Grids Austria und Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, April 2015 <http://www.smartgrids.at/termine-downloads/#downloads>
- VDE/DKE 2013 - VDE/DKE: The German Roadmap E-Energy / Smart Grids 2.0, Smart Grid Standardization, Status, Trends and Prospects. VDE, DKE in cooperation with E-Energy, Berlin.
- Weber et al. 2008: Weber, K.M., Kubeczko, K. and Rohracher, H.: System Innovations in Innovation Systems. Conceptual foundations and experiences with Adaptive Foresight in Austria. Tukker, A., Charter, M., Vezzoli, C., Sto, E., Munch Andersen, M. (Eds.), System Innovation for Sustainability 1. Perspectives on Radical Changes to Sustainable Consumption and Production, Greenleaf Publishing Ltd., Sheffield, 345-368, 2008
- Werner et al. 2014 - Werner S. et.al.: On the use of surplus electricity in district heating systems, 2014
- Wüstenhagen et al. 2007: Wüstenhagen, Rolf; Wolsink, Maarten; Bürer, Mary Jean: Social acceptance of renewable energy innovation. An introduction to the concept. In: *Energy policy* 35 (5), S. 2683–2691, 2007

11. Abkürzungen

AKW	Atomkraftwerk
BHKW	Blockheizkraftwerk
BMVIT	Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
CAPEX	Capital Expenditures
CO₂	Kohlendioxid
D-A-CH	Deutschland, Österreich, Schweiz
DHC	District heating and cooling = Fernwärme- und Fernkälte
EERA	European Energy Research Alliance
EII	European Industry Initiative
EU	Europäische Union
EVU	Elektrizitätsversorgungsunternehmen
FTI	Forschung, Technologie und Innovation
F&E	Forschung und Entwicklung
FWK	Fernwärme- und Fernkälte
GWh	Gigawattstunden
HGÜ	Hochspannungsgleichstromübertragung
HVDC	High Voltage Direct Current
IEA	Internationale Energieagentur
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
ISGAN	International Smart Grid Action Network
JPI	Joint Programming Initiative
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LNG	Liquified Natural Gas
NIMBY	Not In My Back Yard
NGO	Non-Governmental Organisation
OPEX	Operational Expenditures
PPP	Privat Public Partnership
PV	Photovoltaik
SRA	Strategic Research Agenda
SET-Plan	Strategic Energy Technology Plan
SSH	Social Sciences and Humanities
ST	Solarthermie
STEEP	Social, Technological, Economical, Environmental and Political
TCP	Technology Collaboration Programmes
ToU	Time of Use
TRL	Technology Readiness Level
VSC	Voltage Source Converter
VLT	Vorlauftemperatur
WP	Wärmepumpen

