

Hybridnetze und Synergie- potentiale mit kommunalen Infrastrukturen

Visions- und Strategiepapier R. Hinterberger

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

20/2015

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Hybridnetze und Synergiepotentiale mit kommunalen Infrastrukturen

Visions- und Strategiepapier

DI Robert Hinterberger
NEW ENERGY Capital Invest GmbH

Wien, September 2014

Vorbemerkung

In der Strategie der österreichischen Bundesregierung für Forschung, Technologie und Innovation ist deutlich verankert, dass Forschung und Technologieentwicklung zur Lösung der großen gesellschaftlichen Herausforderungen beizutragen hat, wobei die Energie-, Klima- und Ressourcenfrage explizit genannt wird. In der vom Rat für Forschung und Technologieentwicklung für Österreich entwickelten Energieforschungsstrategie wird der Anspruch an die Forschung durch das Motto „Making the Zero Carbon Society Possible!“ auf den Punkt gebracht. Um diesem hohen Anspruch gerecht zu werden sind jedoch erhebliche Anstrengungen erforderlich.

Im Bereich der Energieforschung wurden in den letzten Jahren die Forschungsausgaben deutlich gesteigert und mit Unterstützung ambitionierter Forschungs- und Entwicklungsprogramme international beachtete Ergebnisse erzielt. Neben der Finanzierung von innovativen Forschungsprojekten gilt es mit umfassenden Begleitmaßnahmen und geeigneten Rahmenbedingungen eine erfolgreiche Umsetzung der Forschungsergebnisse einzuleiten. Ein wesentlicher Erfolgsfaktor für die Umsetzung ist die weitgehende öffentliche Verfügbarkeit der Resultate. Die große Nachfrage und hohe Verwendungsquoten der zur Verfügung gestellten Ressourcen bestätigen die Sinnhaftigkeit dieser Maßnahme. Gleichzeitig stellen die veröffentlichten Ergebnisse eine gute Basis für weiterführende innovative Forschungsarbeiten dar. In diesem Sinne und entsprechend dem Grundsatz des „Open Access Approach“ steht Ihnen der vorliegende Projektbericht zur Verfügung. Weitere Berichte finden Sie unter www.NachhaltigWirtschaften.at.

DI Michael Paula

Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorbemerkung zur Smart Grids Begleitforschung

In den letzten Jahren setzt das BMVIT aufgrund der Aktualität des Themas einen strategischen Schwerpunkt im Bereich der Weiterentwicklung der Elektrizitätsversorgungsnetze. Dabei stehen insbesondere neue technische, aber auch sozio-technische und sozio-ökonomische Systemaspekte im Vordergrund.

Im Rahmen der „Smart Grids Begleitforschung“ wurden daher Fragestellungen von zentraler Bedeutung für die Weiterentwicklung diesbezüglicher F&E-Strategien identifiziert und dementsprechende Metastudien, Detailanalysen und Aktionspapiere initiiert und - zum Teil gemeinsam mit dem Klima- und Energiefonds - finanziert. Der gegenständliche Bericht dokumentiert eine in diesem Zusammenhang entstandene Arbeit, die nicht zwingend als Endergebnis zur jeweiligen Fragestellung zu verstehen ist, sondern vielmehr als Ausgangspunkt und Grundlage für weiterführende Forschung, Strategieentwicklung und Entscheidungsfindung.

Michael Hübner

Themenmanagement Smart Grids

Abteilung Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

0. Vorwort.....	3
1. Motivation, Rahmenbedingungen in Österreich	4
2. Definition und wesentliche Charakteristika von Hybridnetzen und -systemen	8
3. Zielsetzungen und Treiber von Hybridnetzen.....	12
4. Darstellung möglicher Kopplungs- und Umwandlungsprozesse	14
5. „Enabling technologies“ und nicht-technische Maßnahmen zur Koppelung der unterschiedlichen Systeme und Netze	18
6. IKT als „enabler“ von Hybridnetzen und -systemen	23
7. Security and Privacy	25
8. Tarif-, Geschäfts- und Marktmodelle als weitere „enabler“ oder „disabler“.....	25
9. Technische versus energiewirtschaftliche Betrachtung.....	28
10. Planungshorizonte und mögliche Entwicklungspfade	30
11. Empfehlungen für nächste Schritte	31
12. Literatur.....	33
13. Danksagung.....	34

0. Vorwort

Zielsetzung der BMVIT-Arbeitsgruppe Hybridnetze und der nun vorliegenden Strategiedokumente war es, erste Ansätze und Lösungsmöglichkeiten bezüglich der Umsetzung von Hybridnetzen zu erarbeiten und Empfehlungen hinsichtlich möglicher Entwicklungspfade zu geben.

In diesem Visions- und Strategiepapier wird hierzu das Themenfeld Hybridnetze erstmals umfassend umrissen und in den aktuellen Smart Grids Kontext gesetzt. Es wird dabei in seiner Vielfältigkeit dargestellt, um ein umfassendes „big picture“ zu vermitteln.

Dazu wurden die grundsätzlichen Möglichkeiten einer systemoptimierten Integration der unterschiedlichen Energienetze und –systeme sowie die Möglichkeiten von Energieeffizienzmaßnahmen im energieträger-übergreifenden Kontext, insbesondere im Zusammenhang mit kommunalen Infrastrukturen, adressiert. Des Weiteren wurde auf Fragen zu den „enablern“ und „disablern“, wie etwa Marktmodelle, Regulierungsregimes und spartenübergreifende IKT-Lösungen, eingegangen.

In ergänzenden Fact-Sheets werden technische und wirtschaftliche Potentiale aber auch Umsetzungshindernisse zu einzelnen ausgewählten Technologiefeldern bzw. Anwendungen dargestellt sowie in einem weiteren Dokument die Forschungsbedarfe für die Umsetzung von Hybridnetzen skizziert.

Es war jedoch nicht Ziel der Arbeitsgruppe Hybridnetze, einzelne Entwicklungspfade detaillierter zu beschreiben und zu analysieren. Die sich aus diesen Arbeiten ergebenden und erarbeiteten Forschungsbedarfe sind daher nicht als finale Forschungs-Roadmap zu verstehen, sondern sollen vielmehr Grundlage für weitere Diskussionen und tieferegehende Analysen sein.

1. Motivation, Rahmenbedingungen in Österreich

Die Europäische Kommission hat in ihrer **Strategie Europa 2020** konkrete CO₂-Ziele für das Jahr 2020 festgelegt sowie eine Leitinitiative für ein ressourcenschonendes Europa vorgeschlagen. Im Rahmen dieser Strategie haben sich die Mitgliedsstaaten verpflichtet, bis zum Jahr 2020 die Emission von Treibhausgasen um 20% zu verringern, den Anteil erneuerbarer Energieträger am Energiemix der EU auf 20% anzuheben und die Energieeffizienz um 20% zu verbessern.

Die langfristigen CO₂-Ziele sind noch deutlich ambitionierter. So sollen gemäß einem im Jahr 2011 veröffentlichten Fahrplan der Kommission [KOM 2011] die **Treibhausgasemission** bis zum **Jahr 2050 um 80% reduziert** werden. Dieser Übergang zu einer wettbewerbsfähigen CO₂-armen Wirtschaft – auch „**low carbon economy**“ genannt - ist eines der zentralen Ziele der Europäischen Union und findet sich in diversen Einzelstrategien oder Förderschwerpunkten wieder, wie etwa im Forschungsrahmenprogramm Horizon 2020 oder den Rahmenrichtlinien für die Strukturfondsmittel in der neuen Programmperiode 2014-2020.

Die Frage ist nun, welche **(unterschiedlichen) Beiträge Hybridnetze** zu diesem Ziel einer „low carbon economy“ leisten können.

Eine mögliche zukünftige Aufgabe von Hybridnetzen und –systemen ist jedenfalls die **energieträger-übergreifende Stromspeicherung**, da im Gegensatz zu Strom die Speicherung gasförmiger Energieträger und von Wärme einfach und kostengünstig möglich ist.

So können einzelne Elemente der Erdgas- und Fernwärmesysteme durch eine intelligente Verknüpfung der Strom-, Erdgas- und Fernwärmenetze zu funktionalen Stromspeichern werden, in denen sehr große zusätzliche Energiemengen gespeichert werden können. Aufgrund der stochastischen Natur der neuen Einspeiser wird diese (hybride) Energiespeicherung umso wichtiger, je höher deren Anteil an der gesamten Stromerzeugung wird.

Aus österreichischer Sicht darf die Bedeutung der Stromspeicherung jedoch nicht überschätzt werden. Es ist vielmehr zu hinterfragen, wie groß der Bedarf an der Speicherung von erneuerbarem Überschussstrom kurz- bis mittelfristig in Österreich überhaupt sein wird, auf welchen Spannungsebenen und in welchen Versorgungsgebieten.

So wird über die Verwertung von erneuerbarem Überschussstrom derzeit primär in Deutschland diskutiert, wo es im Laufe des letzten Jahrzehntes den stärksten Zubau an EE-Kapazitäten gab. Aus diesem Grund ist es naheliegend, diesbezüglich zunächst die **strukturellen Unterschiede** zwischen **Deutschland** und **Österreich** betreffend die Anteile erneuerbarer Energieerzeugung eingehender zu betrachten.

Während derzeit der **Anteil erneuerbarer Energieerzeugung** an der Stromerzeugung in Deutschland 20,4%¹ ausmacht, ist dieser mit 64,6%² in Österreich um das **Dreifache höher**. Dieser hohe Anteil von erneuerbarer Energie in Österreich ist jedoch durch die Wasserkraftnutzung bedingt.

Differenziert man hingegen zwischen volatilen EE-Anlagen und sonstigen, so verändert sich das Bild. So beträgt der **Anteil volatiler EE-Anlagen** (Windkraft, Photovoltaik) an der Stromerzeugung in Österreich lediglich 5,0%³, während dieser in **Deutschland** mit 11,2%⁴ **mehr als doppelt so hoch** ist^{5,6}.

In manchen Regionen Deutschland müssen regional jedenfalls bereits erhebliche Mengen an Windkraftherzeugung abgeregelt werden. So ist im Osten Deutschlands die Anzahl der Tage, an denen Maßnahmen gemäß § 13 Abs. 2 EnWG in Verbindung mit § 11 EEG bzw. gesetzt werden mussten - also durch Einspeisemanagement erneuerbare Energieerzeugungsanlagen abgeregelt wurden - , im Laufe der letzten Jahre dramatisch angestiegen (Abbildung 1).

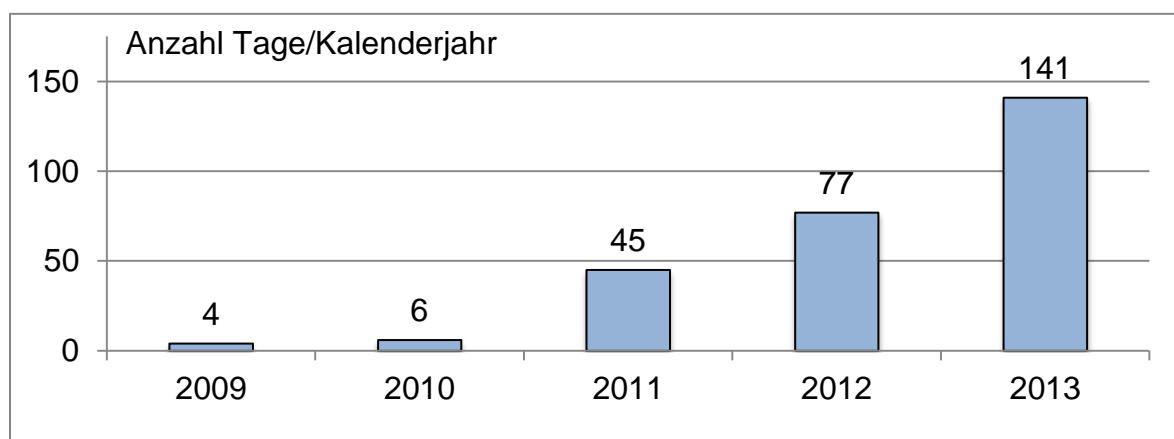


Abbildung 1: Beispiel 50 Hertz Regelzone: Anzahl der Tage im jeweiligen Kalenderjahr, an denen Maßnahmen gemäß §13 (2) i. V. m. § 11 EEG gesetzt werden mussten (Quelle: NEW ENERGY; Daten aus [Ziemann 2013], [50 Hertz 2014])

¹ [AGEB 2013]; Zahlen für das Jahr 2011

² [Statistik Austria 2013]; Zahlen für das Jahr 2011

³ ebenda

⁴ [AGEB 2013]; Zahlen für das Jahr 2011

⁵ Dieser Prozentsatz bezieht sich auf den Anteil an der Jahresarbeit. Der Anteil der erneuerbaren Erzeuger an der insgesamt installierten Leistung ist jedoch, vor allem in bestimmten Regionen, noch deutlich höher.

⁶ Mit einem Anteil von rund 30 % an Windenergie am gesamten Stromverbrauch im Jahr 2012 ist Dänemark Spitzenreiter bezüglich des Anteils volatiler EE-Produktion in Europa.

Aufgrund der zurückhaltenden Förderpolitik in Österreich ist jedoch kurz- und mittelfristig nicht damit zu rechnen, dass der Anteil volatiler EE-Anlagen in Österreich jenen in Deutschland erreichen wird.

Lediglich in bestimmten Regionen Österreichs herrschen bereits ähnliche Verhältnisse. So wird in Spitzenzeiten im Burgenland rd. 300 MW an Elektrizität verbraucht, während die installierte Windleistung bereits rd. 1.000 MW beträgt und in einigen Jahren auf 1.300 MW ansteigen wird.

Bei rein nationaler Betrachtung scheint sich auf den ersten Blick die Frage der Speicherung von erneuerbarem Überschussstrom in Österreich erst deutlich später zu stellen als in Deutschland. Als weiterer Unterschied zu Deutschland kann in Österreich auf eine große Anzahl von Pumpspeicherkraftwerken zurückgegriffen werden, was die Flexibilität des hiesigen Stromsystems um ein Vielfaches erhöht.

Eine solche Einschränkung der Betrachtung auf Österreich scheint jedoch nicht wirklich zielführend, da vor allem bei Stromnetzen eine geografische Begrenzung auf die Staatsgrenzen unmöglich bzw. methodisch zu hinterfragen ist. So ist etwa eine Überproduktion von Windenergie im Raum Ostösterreich noch kein Problem, wenn die bis an die Bundesgrenze transportierte elektrische Energie in anderen Ländern (Deutschland, Slowakei, Ungarn, Italien,...) in ausreichendem Maß übernommen werden könnte.

Die österreichische Energiewirtschaft konnte auch bisher nicht abgekoppelt vom Rest von Europa gesehen werden. So schuf bereits Oskar von Miller in den Jahren 1928-1929 mit der Ausarbeitung eines Generalplanes für die deutsche Stromversorgung die Grundlage für den Verbund aus (deutschen) Kohlekraft- und Wasserkraftwerken in Österreich und der Schweiz. Dieser durch den Bau einer ersten 220 kV Leitung von Mitteldeutschland nach Österreich in den 40-Jahren realisierte Kohle-/Wasserkraft Verbund wird bereits heute faktisch durch einen Verbund von Wind/PV und Wasserkraft in der D-A-CH Region abgelöst.

Neben der technischen Kopplung der Netze wird die österreichische Energiewirtschaft vor allem über den Umweg der Börsenpreise, etwa durch die Situation in Deutschland, massiv beeinflusst⁷. Die Notwendigkeit einer Flexibilisierung des Energiesystems in Österreich ist kurz- bis mittelfristig viel wahrscheinlicher von der Preisentwicklung am europäischen liberalisierten Strommarkt getrieben, als von den in Österreich installierten volatilen EE-Anlagen (mit regionalen Ausnahmen, z.B. Windkraft im Burgenland). Dem gegenüber zeigt sich bereits heute verstärkt Flexibilisierungsbedarf auf regionaler, kleinstädtischer

⁷ Einer der wichtigsten Einflussfaktoren für die schlechte Wirtschaftlichkeit der erdgasbetriebenen Kraftwerke (Mellach, KW der Wien Energie,..) ist die Entwicklung der europäischen Strombörsenpreise.

und städtischer Ebene, vor allem aufgrund von Engpässen auf der Niederspannungsebene bei ambitioniertem Ausbau von netzgebundenen PV-Anlagen.

Zwar ist es auch in Deutschland nicht unumstritten, ab wann bzw. in welchem Ausmaß erneuerbarer Überschussstrom tatsächlich anfallen wird. So gehen viele Studien und Experten inzwischen davon aus [VDE 2012], [Schill, W.-P. 2013], dass die tatsächlichen Überschussenergien deutlich geringer sein werden, als noch vor einigen Jahren erwartet.

Aus diesem Grund wird in den allermeisten Studien und Handlungsempfehlungen (die sich auf den deutschen Markt beziehen) etwa bezüglich der Power-To-Gas Technologie empfohlen, deren Markteinführung zurückzustellen, da diese Technologie im Laufe der nächsten Jahrzehnten (noch) nicht benötigt wird bzw. im Kostenvergleich andere, einfachere Technologien zu bevorzugen bzw. ausreichend wären [Groscurth 2013]. Power-To-Gas Technologien wären zwar zu erforschen und zu erproben, während ein großtechnischer Einsatz vor 2030 aus Gesamtsicht hingegen nicht zielführend wäre.

Aus dem Blickwinkel dieser nicht abschließend zu beantwortenden Grundsatzfrage, ob und zu welchem Zeitpunkt in Europa bzw. in Österreich überhaupt größere Mengen an erneuerbarem Überschussstrom verwertet werden müssen, liegt der Fokus dieses Diskussionspapiers nicht ausschließlich auf technischen Lösungen zur Verwertung von erneuerbarem Überschussstrom, sondern auf integrierten Systemen und Lösungen zur **Erhöhung der Effizienz von Infrastrukturen**, sowohl aus **energetischer Sicht** aber auch hinsichtlich von **Ressourceneinsatz und Kosten**.

Sowohl dieses Visions- und Strategiepapier sowie die Fact-Sheets und die daraus abgeleiteten Forschungsfragen haben die Optimierung der Wertschöpfung und die Generierung von Mehrwerten durch das Nutzen von Synergiepotentialen zwischen den einzelnen Infrastrukturen im Fokus, nicht jedoch ausschließlich die (hybride) Stromspeicherung als notwendige Voraussetzung zur Erhöhung des Anteils erneuerbarer Stromerzeugung.

2. Definition und wesentliche Charakteristika von Hybridnetzen und -systemen

Unter dem Begriff „Hybridnetze“ wird die **Koppelung unterschiedlicher Netze und Infrastrukturen** verstanden, **um Synergie-Potentiale** insbesondere im Energiebereich **zu heben**.

Der Nutzen von Hybridnetzen bzw. von „smarten“ Infrastrukturen liegt in der **Steigerung der Systemeffizienz** – sowohl technisch als auch wirtschaftlich - durch die intelligente Interaktion der unterschiedlichen Systeme und Netze, was deutlich über die reine Optimierung des Energieverbrauches hinausgeht.⁸

Beispielhaft ist in der folgenden Abbildung 1 die Kopplung von Strom-, Erdgas- und Wärmenetzen und –systemen dargestellt.

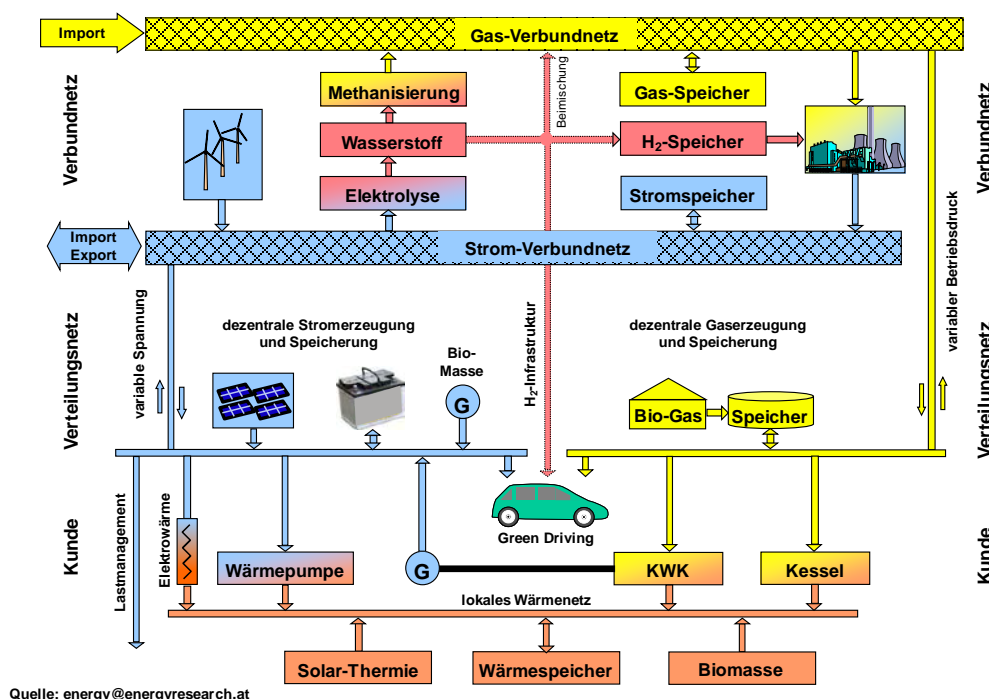


Abbildung 2: Kopplung von Strom-, Erdgas- und Wärmenetzen zu einem Hybridnetz (Quelle: Energy Research Austria)

Der Begriff Hybridnetze ist dabei **nicht** auf den **Energiesektor** bzw. die Steigerung der Energieeffizienz **beschränkt**. Neben den eigentlichen Energiesystemen und -netzen (Gas-, Strom-, Wärme- und Kältenetze) sollen insbesondere auch Wasser- und Abwasserinfrastrukturen, Verkehrssysteme und sonstige **kommunale**

⁸ Siehe dazu auch den folgenden Abschnitt „Zielsetzungen und Treiber von Hybridnetzen“

Infrastrukturen, wie etwa Straßenbeleuchtung oder Verkehrssteuereinrichtungen, mit einbezogen werden.

Aufgrund der hohen Komplexität bei der Kopplung mehrerer Infrastrukturen scheint es jedoch **methodisch zielführend** zu sein, zunächst nicht alle, sondern einzelne **Teilsysteme zu betrachten**. So sind etwa in der obigen Abbildung flüssige Treibstoffe, als wichtigster Energieträger im Verkehrssektor, sowie IKT-Lösungen als „enabler“ von Hybridnetzen grafisch noch nicht berücksichtigt.

Als wesentlich für das **Verständnis von Hybridnetzen** und deren Potentiale werden **folgende drei Aspekte** gesehen:

Unterscheidung zwischen Infrastrukturen und „enabling technologies“

Im Kontext von Hybridnetzen und deren Koppelungen können einzelne Technologien bzw. Lösungen unter **zwei unterschiedlichen Blickwinkeln** betrachtet werden. Dies sei folgend am Beispiel von IKT-Infrastrukturen dargestellt.

So sind Breitbandkabel, Mobilfunksysteme oder Richtfunkstrecken einerseits wesentlicher Bestandteil der IKT-Telekominfrastruktur. Diese ist eng mit der Energieinfrastruktur verschränkt, sodass auf längere Dauer weder die Strom- noch die IKT-Infrastruktur ohne die jeweils andere funktionieren würde. Aus Sicht der Sicherheitsforschung ist damit sowohl die Energie- wie auch die IKT-Infrastruktur eine sogenannte „**kritische Infrastruktur**“.

Zum anderen können IKT-Lösungen und –systeme auch als „**enabling technology**“ verstanden werden. Viele IKT-Lösungen, wie etwa Prognoseverfahren, Mustererkennung, etc., sind weniger Infrastruktur im engen Sinne, sondern vielmehr Werkzeuge und Grundlage für die Steuerung sowie technische und wirtschaftliche Optimierung von (hybriden) Infrastrukturen.

Berücksichtigung des Gesamtsystems (und nicht nur der eigentlichen Netze)

Ähnlich wie im Themenfeld Smart Grids wäre es nicht sinnvoll, sich nur auf die Netzinfrastruktur alleine zu beschränken. Vielmehr ist das Gesamtsystem zu sehen, wobei **sowohl klassische Netzinfrastrukturen** wie auch **dezentrale Technologien und Lösungen** betrachtet werden und sich gegenseitig ergänzen sollen. Gleichmaßen sind auch die Anwendungen am Netzrand zu berücksichtigen, beispielsweise in Form von hybriden Verbrauchern [Hinterberger 2011].

Diesbezüglich ist es möglicherweise sinnvoll, sich vom Begriff Netz zu lösen (d.h. der Verwendung der Begriffe „Hybridsysteme und –netze“ oder „hybride Energiesysteme“ anstatt verkürzt „Hybridnetze“). Dies würde dann sämtliche relevanten Infrastrukturen mit einschließen („hybride Energiesysteme“ = Erzeugung + Verteilung (Netz) + Speicherung + Verbraucher + intelligente Regelung (IKT))

Berücksichtigung von Querschnittsthemen ist unerlässlich

Die Berücksichtigung einer Vielzahl von Querschnittsthemen wird als zentral für die Umsetzung von Hybridnetzen gesehen.

Eines dieser Themen ist beispielsweise die Frage, wie die Umsetzung finanziert werden kann, wobei dies jedoch über die Gestaltung von Geschäftsmodellen hinausgeht.

Ein weiteres, zentrales Querschnittsthema ist, wie die neuen (vernetzten) Infrastrukturen abgesichert werden können, da diese, umso mehr sie gekoppelt sind, auch entsprechend anfälliger in Richtung "Hacking" und ähnlichen Bedrohungsszenarien sind.

Diese Querschnittsthemen sollen jedenfalls bei der Festlegung von Entwicklungszielen berücksichtigt werden (siehe dazu Abschnitt „Zielsetzungen und Treiber von Hybridnetzen“).

Wichtige **Herausforderungen bei Konzeption und Umsetzung** von Hybridnetzen und -systemen sind beispielsweise weiters:

Hybridnetze nicht rein stromgeführt denken

Bei der Identifikation von Lösungen für das Themenfeld Hybridnetze sollte nicht ausschließlich bzw. schwerpunktmäßig auf die aktuellen Herausforderungen bei der (funktionalen) Stromspeicherung fokussiert werden. Falls Lösungen lediglich aus Sicht der Stromnetze angedacht werden, wird vielmehr nur ein Teil der möglichen Synergiepotentiale genützt.

Die Transformation des Energiesystems kann dabei jedoch nur schrittweise erfolgen. Das bedeutet auch, dass die bestehenden Infrastrukturen zuerst bestmöglich genutzt werden müssen (zumindest bis sie refinanziert sind), bevor im Zuge einer Evolution ein neues Energiesystem entsteht. In diesem Sinne muss beispielsweise dem Lebenszyklus der bestehenden Fernwärmeinfrastrukturen besonders Beachtung geschenkt werden.

Erzeugungsinfrastrukturen sind ebenfalls Teil von Hybridnetzen

Ähnlich wie Verbrauchseinrichtungen als (hybride) Verbraucher wären auch die Erzeugungsinfrastrukturen in die Betrachtung mit einzubeziehen, wenn alle Synergiepotentiale genützt werden sollen. Eine Berücksichtigung alleine der Netzinfrastrukturen wäre verkürzt.

Grundsätzlich sind sowohl Erzeuger und Verbraucher Teil eines hybriden Energiesystems. Diesbezüglich sei an dieser Stelle nochmals auf die Bedeutung von Demand-Side-Management Maßnahmen in Hinblick auf die Netzauslegung

hingewiesen, auch wenn diese Maßnahmen und Aspekte – als Kernbausteine eines „klassischen“ Smart Grids auf Ebene der Stromnetze - in diesem Papier nicht umfassend diskutiert werden.

Methodische Herangehensweise: Gesamtkontext versus Teilsysteme

Zwar ist es für das Verständnis und die Umsetzung von Hybridnetzen wichtig, ein „großes Bild“ hinsichtlich von Hybridnetzen und für die großen Zusammenhänge zu entwickeln. Zum anderen müssen aber auch Systemausschnitte bzw. Teilsysteme betrachtet werden, um konkrete Lösungen und „use cases“ zu identifizieren.

Governance- und Change Management Prozesse

Um die Synergiepotentiale zu nutzen, muss teilweise tief in betriebliche Abläufe eingegriffen werden. Governance- und Change Management Prozessen kommt daher eine wichtige Rolle bei der Begleitung von Umsetzungsprojekten zu.

Systembetrachtung und Grenzen der Systeme

Die Identifikation von bisher ungenutzten Effizienzpotentials erfordert zugleich immer eine Systembetrachtung. Eine der Kernfragen ist, wo die Systemgrenzen angelegt werden sollen.

Die Festlegung der Systemgrenzen ist eine sehr komplexe Aufgabe. Letztendlich wird es in vielen Fällen gar nicht so einfach möglich sein, eine klare Grenze zu ziehen. Es geht insbesondere auch darum, neben der Effizienz zum Beispiel auch Fragen zur Versorgungssicherheit und Ressourcenverfügbarkeit mit zu berücksichtigen.

Systementscheidung: Lokale Optimierung vs. „alles über das Netz beziehen“

Bei der Optimierung von Prozessen ist zu berücksichtigen, dass den vorhandenen Lösungen in vielen Fällen eine grundlegende Systementscheidung zugrundeliegt. So kann eine lokale Optimierung etwa im Widerspruch zur Gesamtoptimierung der übergeordneten Infrastrukturen stehen.

Beide methodischen Herangehensweisen – Top- Down oder Bottom-up – erscheinen gleichermaßen wichtig für die Zielerreichung.

Bei allen Optimierungsschritten – egal bei welcher Infrastruktur – sind allerdings immer ähnliche Themen und ggfs. grundlegende Nutzungskonflikte zu beobachten: lokale Optimierung versus "alles über das Netz"; mehr dezentral? mehr zentral?

3. Zielsetzungen und Treiber von Hybridnetzen

Motivation für und Zielsetzung bei der Umsetzung von Hybridnetzen sind **effiziente, flexible und finanzierbare Infrastrukturen**. Dies beinhaltet zum einen die unterschiedlichen Netze (Energienetze, sonstige Ver- und Entsorgungsnetze), aber ebenso die Erzeugungs- oder Entsorgungsinfrastrukturen wie auch die Kundenanwendungen.

Diesbezüglich stellt sich die Frage nach den Kriterien, nach denen die Ziele *effizient, finanzierbar, flexibel* bewertet werden können. Dabei handelt es sich um sehr komplexe Fragestellungen und letztendlich um die Optimierung von volkswirtschaftlichem Nutzen und Nachhaltigkeit.

Dabei erscheint es wichtig, die jeweilige Motivation bzw. die Entwicklungsziele bei der Umsetzung von Hybridnetzen klar zu benennen. Abhängig von den unterschiedlichen Entwicklungszielen (z.B. Flexibilität, Effizienz, Abkehr von fossilen Energieträgern, Resilienz/redundante Strukturen) bzw. deren Gewichtung sind jeweils unterschiedliche Technologien bzw. Lösungen optimal.

Diese Kriterien bzw. deren Gewichtung unterliegen letztendlich einem politischen Entscheidungsprozess, der unterschiedlichen Einflüssen und einem laufenden Wandel unterworfen ist (Beispiel: „Energiewende“ in Deutschland).

Bestimmte Entwicklungsziele können jedoch unserer Meinung jedenfalls außer Streit gestellt werden. Eine nicht abschließende Auflistung ist in Tabelle 1 angeführt.

Effizienzsteigerung (Energie, Rohstoffe, etc.)	Erhöhung der Versorgungssicherheit
Steigerung der nationalen Wertschöpfung	Stabilität der gekoppelten Systeme
Reduktion der Importabhängigkeit	Sicherstellung von Security und Privacy
Leistbarkeit und Kosteneffizienz	Schaffung von Flexibilitäten (z.B. zur vermehrten Integration von erneuerbaren Energieträgern und zur Erhöhung der Systemstabilität der gekoppelten Systeme ⁹)
Unterstützung von wirtschaftlichem Wandel (Transformationsszenarien und -prozesse)	Flexibilität der Infrastrukturen (z.B. hinsichtlich demographischer Wandel) und Adaption auf Klimawandel ¹⁰

Tabelle 1: Entwicklungsziele für Hybridnetze und-systeme (Auswahl)

⁹ Anmerkung: Damit der Gesamtbetrieb läuft, bedarf es einer entsprechenden Automatisierung.

¹⁰ Wichtig aufgrund der langen Planungshorizonte für Infrastrukturen mit 50 Jahren und mehr.

Neben diesen übergeordneten, volkswirtschaftlichen Entwicklungszielen sind die unternehmerischen Zielsetzungen der jeweiligen Infrastrukturbetreiber zu berücksichtigen.

Dabei spielt - neben direkten gesetzlichen Vorgaben und davon abgeleiteten Regularien (Tarifmodelle, Marktregeln) - die Steuer- und Förderpolitik eine entscheidende Rolle als Werkzeug des Interessenausgleiches zwischen den unterschiedlichen AkteurlInnen.

Die volkswirtschaftlich sinnvollste Lösung wird nur dann von den jeweiligen Betreibern unterstützt bzw. tatsächlich umgesetzt, wenn diese – auf Basis der jeweiligen Regulative und Marktregeln – für die Betreiber betriebswirtschaftlich ausreichend attraktiv und darstellbar ist.

Wichtig bei der Implementierung von multimodalen Netzen ist es jedoch, die Optimierungskriterien von vornherein festzulegen, da Fragen wie z.B. Architektur und Kopplung der Netze davon stark abhängig sind.

Der zwangsläufig schrittweise Umbau des bisherigen Energiesystems ist als **Transformationsprozess** zu sehen, der in den unterschiedlichen Domänen durchaus unterschiedlich (schnell) ablaufen kann. Beispielhaft wird in folgendem Kasten der Fernwärmesektor adressiert.

Beispiel: Zukunft der Fernwärmesysteme als Transformationsprozess

Die sich ändernden Herausforderungen, insbesondere die teilweise bereits drastisch sinkenden Wärmelasten, machen es laufend schwieriger, die bestehende Fern- oder Nahwärmenetze wirtschaftlich zu betreiben. Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese bereits heute - bzw. zukünftig vermehrt - durch dezentrale Lösungen und Systeme ergänzt werden.

Unter diesen Rahmenbedingungen ist es sowohl eine volkswirtschaftliche wie eine betriebswirtschaftliche Herausforderung, dass „Überleben“ der bestehenden Infrastrukturen zu sichern.

Die volks- bzw. betriebswirtschaftlichen Optima können, müssen aber nicht zwangsläufig konsistent sein. Es ist Aufgabe von Regulativen und sonstigen politischen Werkzeugen, diese - unter Umständen gegenläufigen Ziele - in Einklang miteinander zu bringen.

4. Darstellung möglicher Kopplungs- und Umwandlungsprozesse

4.1. Koppelungsmatrix als erste Annäherung

Zwischen den einzelnen Energienetzen und –systemen sind unterschiedliche Kopplungs- und Umwandlungsprozesse möglich. Gleiches gilt für die sonstigen Infrastrukturen und Domänen.

Die interessantesten Möglichkeiten zur Steigerung der Systemeffizienz finden sich dabei an den Verschneidungspunkten der unterschiedlichen Netze und Systeme sowie am Netzrand [Hinterberger 2010], [Hinterberger 2012a]. Kaskadische Nutzungen bieten sich vor allem dort an, wo der jeweilige Energieträger einer Energieumwandlung unterzogen wird oder sein Spannungs-, Druck- oder Temperaturniveau verändert. Weiters müssen dezentrale Energieerzeugungstechnologien in die übergeordneten Netze integriert werden.

Eine vereinfachte Kopplungsmatrix ist in Abbildung 3 dargestellt. Eine detailliertere Kopplungsmatrix mit einzelnen Umwandlungstechnologien und gemeinsam mit weiteren Infrastrukturen (z.B. Trink- und Abwasser, Verkehr,...) findet sich in der Anlage.

	Power	Gas	Heat
Power	power storage	P2G	P2H
Gas	G2P	gas storage	G2H
Heat	H2P	H2G	heat storage

Abbildung 3: Vereinfachte Kopplungs- und Umwandlungsmatrix (Quelle: New Energy)

4.2. Darstellung einzelner Umwandlungstechnologien

Bereits in mehreren Vorprojekten [Hübner 2011], [Hinterberger 2011] konnten im Kontext von hybriden Systemen eine Vielzahl vielversprechender Umwandlungs- und Speichertechnologien identifiziert werden, die unterschiedliche technische und wirtschaftliche Potentiale aufweisen und stark von den jeweiligen örtlichen Gegebenheiten abhängig sind.

Die wichtigsten davon werden folgend angeführt und sind u.a. in [Hinterberger 2012a] und [Hinterberger 2014a] näher beschrieben.

Gas to Power (G2P)

Bei G2P-Technologien handelt es sich um klassische, gasbetriebene KWK-Anlagen oder reine Spitzenlastkraftwerke. Im Kontext von Hybridnetzen ist v.a. die zeitliche Entkopplung der Strom- von der Wärmeproduktion entscheidend. Bei Entnahme-Kondensationsturbinen ist dies im beschränkten Ausmaß durch die Umschaltung von Kondensations- auf KWK-Betrieb (und vice versa) zwar ohnehin möglich. Ansonsten sind zur zeitlichen Entkopplung Speichereinrichtungen nötig, die als große Fernwärmespeicher oder auch als dezentrale Anlagen ausgeführt sein können. Die Nutzung der Speicherfähigkeit der Fernwärmenetzinfrastruktur durch intelligente („smarte“) Steuermechanismen ist eine weitere Möglichkeit.

Power to Gas (P2G)

Unter P2G versteht man die Umwandlung von elektrischem Strom in gasförmige Energieträger. So kann mittels großtechnischer Elektrolyseverfahren aus anderweitig nicht nutzbarem Strom Wasserstoff erzeugt werden. Bevorzugt sollte Wasserstoff zwar direkt in der industriellen und chemischen Prozesstechnik genutzt werden bzw. als gut speicherbarer Kraftstoff für zukünftige Elektrofahrzeuge mit Brennstoffzellen eingesetzt werden. Wasserstoff kann aber auch entweder, wenn auch nur in begrenzten Mengen, direkt in die Erdgasnetze eingespeist oder - unter Zugabe von CO₂ - über den Sabatier-Prozess in Methan umgewandelt werden. Die gasförmigen Energieträger können dann über die bestehende Erdgasinfrastruktur transportiert und in den vorhandenen Untertagespeichern auch saisonal gespeichert werden.

Power to Heat (P2H)

Überschüssiger Strom aus erneuerbaren Energiequellen kann alternativ auch direkt am Wärmemarkt verwertet werden. Dies kann zentral im Fernwärmenetz, beispielsweise mittels Elektrodenheizkesseln, über dezentrale Lösungen oder in Kombination mit saisonalen Wärmespeichern erfolgen. In Kombination mit intelligent

gesteuerten Wärmepumpen kann der Gesamtwirkungsgrad deutlich gesteigert werden.

Hybride Verbraucher/Erzeuger

Unter hybriden Verbrauchern/Erzeugern werden solche verstanden, die alternativ durch unterschiedliche Energieträger oder –netze versorgt werden. Bekannt sind hybride Wärmeerzeuger im Zusammenhang mit solarthermischen Anlagen: Bei mangelnder Sonneneinstrahlung können diese auf eine Wärmeerzeugung mit Gas oder Öl umstellen. Aber auch viele industrielle Prozesse, die üblicherweise mit Erdgas betrieben werden, können zeitweise (z.B. durch Vorwärmestufen) auch mit elektrischem Strom betrieben werden.

Neben typischen Wärme- oder Schmelzprozessen in der Industrie können selbst klassische Gaskesselanlagen in Haushalten oder Gewerbebetrieben mit einem zusätzlichen Heizwiderstand ausgestattet oder die Verdichterstationen bzw. Gasreduzierstationen in den Erdgasnetzen alternativ mit Gas oder Strom betrieben werden. Die Möglichkeiten des Lastmanagements werden dadurch deutlich erweitert.

Synergieeffekte mit kommunalen Infrastrukturen

Insbesondere im Zusammenspiel mit kommunalen Verbrauchern und Infrastrukturen können zusätzliche Flexibilitäten für hybride Speicherlösungen generiert werden. So können etwa die in Trink- und Abwassersystemen vorhandenen Pumpenanlagen entsprechend dem Stromangebot gesteuert werden. Eine intelligente Steuerung vorausgesetzt, können damit ganze Trinkwassernetze ähnlich wie Pumpspeicherkraftwerke betrieben werden. Weiters kann beispielsweise mittels Wärmepumpen die Abwärme aus dem Kanalnetz in Fern- oder Nahwärmesystemen genutzt oder Erdgasentspannungs-, KWK-Anlagen und/oder Fernkältenetze miteinander kombiniert werden.

Integration solar-/geothermischer Einspeiser

In einem Gesamtportfolio von Umwandlungs- und (hybriden) Speichertechnologien spielen neben klassischen Pumpspeicherkraftwerken und funktionalen Stromspeichern auch die Integration von solarthermischen oder geothermischen Einspeisern in die Wärmenetze sowie saisonale Wärmespeicherlösungen eine ebenfalls wichtige Rolle.

4.3. Grenzen der Darstellung in einer Koppelungsmatrix

Die vereinfachte Koppelungsmatrix von Abbildung 3 sowie die umfangreichere Darstellung in der Beilage kann sehr hilfreich für einen ersten Überblick sein.

Zugleich kann eine solche Darstellung in Form einer (technischen) Kopplungsmatrix auch missverständlich sein. So muss bei Umwandlungsprozessen das jeweilige Druck-, Spannungs- oder Temperaturniveau berücksichtigt werden, was in einer zweidimensionalen Kopplungsmatrix nur bedingt abgebildet werden kann.

Zum anderen fehlen in einer solchen (vereinfachten) Darstellung sowohl „enabling technologies“ wie z.B. IKT-Lösungen oder Wärmepumpen. Auch Systemkomponenten wie hybride Verbraucher oder Querschnittsthemen (z.B. Geschäftsmodelle) lassen sich in einer solchen Matrixdarstellung nur ungenügend darstellen.

Vielfach sind auch mehr als nur zwei Netze bzw. Energieträger involviert, vor allem bei den energetisch interessantesten Kopplungen. So kann etwa mit Hilfe von Wärmepumpen aus Niedertemperaturwärme und Strom Hochtemperaturwärme erzeugt werden, unter Umständen auch in Kombination mit Kälte. Für komplexere Umwandlungen würden sich Prozessketten daher noch besser als eine Koppelungsmatrix eignen.

5. „Enabling technologies“ und nicht-technische Maßnahmen zur Koppelung der unterschiedlichen Systeme und Netze

Im Kontext von Hybridnetzen werden unter „enabling technologies“ solche Technologien verstanden, die zwei oder mehrere Energieträger miteinander verbinden und dabei Synergiepotentiale nutzbar machen. Gleiches gilt für den Übergang von einem Spannungs-, Druck- oder Temperaturniveau auf ein anderes bzw. auch für nicht nicht-technische, d.h. z.B. organisatorische Maßnahmen.

Die geschaffenen Synergiepotentiale können dabei entweder technischer (z.B. Ersparnis bei Energie- und Rohstoffeinsatz) und/oder wirtschaftlicher Natur sein (z.B. Reduktion Betriebskosten, Mehrwerte durch neue Dienstleistungen, etc.).

Folgend einige ausgewählte Technologien und Maßnahmen:

Flexibilitäten und Effizienzsteigerungen bei Kopplung von Strom und Wärme (sowie ggfs. Kälte)

Bei netzgebundener Wärme/Kälte

- Verwertung von erneuerbarem Überschussstrom in Fernwärmesystemen (P2H)
- Entkopplung von Strom- und Wärmeerzeugung durch Wärmespeicher im Fernwärmenetz (Großspeicher oder dezentrale Speicher)
- Dynamische Optimierung der Vorlauftemperatur im Fernwärmenetz (Netz als Speicher)
- Einbindung von solarthermischen Großanlagen in Fern-/Nahwärmesysteme; Koppelung und Steuerung gemeinsam mit Wärmepumpen und/oder P2G-Umformern
- Optimierungsstrategien im Zusammenhang mit der Einbindung von geothermischen Quellen
- Saisonale Wärmespeicher (Bohrlochspeicher, Wasserspeicher,...)
- Hydraulisch entkoppelte Wärmenetze für Niedrigenergiequartiere (geringere Vorlauf-/Rücklauftemperaturen); Kombination mit Abwärme- oder sonstige dezentrale Einspeiser (Hinweis: singuläre Wärmelösung)
- Nutzung der Wärme im Fernwärmerücklauf (Hinweis: singuläre Wärmelösung)
- Kopplung von thermischen Kältemaschinen und Kompressions-KM in Kältenetzen (hybride Kältenetze)

- „kalte“ Fernwärme / Niedertemperaturfernwärme und dezentrale Wärmepumpen (zur Brauchwarmwasserbereitung)

Bei nicht netzgebundener Wärme

- Bivalenter Betrieb von Heizungsanlagen in privaten Haushalten oder für Gewerbeflächen (Erdgas oder Strom; „Windkraft-Stromheizung 2.0“; PV-Stromheizung; bivalente Heizungssysteme mit solarthermischen Anlagen)
- Einsatz von intelligenten Gaswärmepumpen in Gewerbe und Facility Management (gleichzeitige Erzeugung von Wärme und Kälte); Kombination mit KWK-Anlagen (Trigeneration – Wärme, Kälte, Strom)
- Einsatz von Eisspeichern; Integration in Hausanlagen oder Micro-Netzen
- Sonstige innovative Hybridsysteme (z.B. Kombination von Solarthermie und Abwasserwärmenutzung; Solarthermie und KWK-Anlagen)
- Nutzung / Aktivierung von Gebäudespeichermassen bzw. gezielte Be- und Entladung von zusätzlichen Kapazitäten (Speicher) mittels Wärmepumpen

Flexibilitäten und Effizienzsteigerungen bei Kopplung Strom/Gas

- Power-To-Gas Umwandlung → Direkteinspeisung von Wasserstoff ins Erdgasnetz (Elektrolyse)
- Power-To-Gas Umwandlung → Sabatier Prozess, Erzeugung von Methan und Substitution von Erdgas
- P2G-Umwandlungstechnologien: Synergiepotentiale mit Industrieanlagen (u.a. bzgl. CO₂-Quellen, Verwertung von Sauerstoff, Wärmenutzung)
- P2G-Umwandlungstechnologien: Synergiepotentiale mit kommunalen Kläranlagen (u.a. bzgl. CO₂-Quellen, Verwertung von Sauerstoff, Wärmenutzung)
- Untersuchungen und Weiterentwicklung von Erdgas-Untertagespeichern (bei Speicherung erhöhter Anteile von Wasserstoff; Ziele: Erhöhung Betriebssicherheit, Verringerung Diffusionsverluste,..)
- Nutzung von Erdgasentspannungsanlagen zur Stromerzeugung, kombiniert mit KWK-Anlagen und/oder Kältenetzen

Flexibilitäten und Effizienzsteigerungen bei Kopplung mit bzw. zwischen kommunalen und öffentlichen Infrastrukturen

- Nutzung von Trink- und Abwasserinfrastrukturen (Pumpen) als flexible Lasten im Stromnetz
- Betrieb von Trinkwassersystemen (Speicher, Netze) als Pumpspeicherkraftwerk
- Abwasserwärmenutzung und Einspeisung in Nah- oder Fernwärmnetze; zugleich Nutzung der Wärmepumpen als flexible Lasten im Stromnetz
- Erzeugung von Biomethan in Kläranlagen (beispielsweise mittels Membrandestillation); Netzeinspeisung ins Erdgasnetz und/oder zu Nutzung als Treibstoff (CNG-Fahrzeuge)
- Dynamische Steuerung/Anpassung elektrischer Lasten und lokaler Energieproduktion in Kläranlagen; insb. Optimierung der Zwischenspeicherung von Klärgas
- Nutzung von Smart Metering/Smart Grids Infrastrukturen für sonstige Anwendungen (z.B. Steuerung kommunaler Beleuchtung)

Telekom-/IKT-Netze mit sonstigen Infrastrukturen (Energie, Verkehr)

- Telekommunikation in den Bauvorhaben berücksichtigen („Mitverlegung statt Leerverrohrung“)
- Nutzung von vorhandener IT Rechenzentrums-Infrastruktur (Erhöhung der Betriebssicherheit, Unterstützung von hochverfügbaren IT Applikationen und Telekommunikationsnetzen)
- Nutzung bestehender Telekommunikationsinfrastruktur für Datentransfer bei Smart Metering
- Redundante hochverfügbare Vernetzung kritischer Infrastruktur (Kraftwerke, Umspannwerke)
- Redundante hochverfügbare kabelgebundene und mobile Vernetzung von Trafostationen
- Kabelgebundene und mobile Vernetzung von steuerbaren Verbrauchern (Wärmepumpen, Kühlaggregate...)
- Vernetzung und Bezahlösungen von E-Mobility Ladeinfrastruktur
- Anbindung von Smart Home Lösungen in Gebäuden an übergeordnete IKT-Infrastrukturen

Kanalnetze und Verbindung zu anderen Leitungsträgern bzw. Infrastrukturen

- Bau-, und Sanierungsstrategien
- Mitbenützung des Kanalprofils (Kabelgebundene Versorgung)
- Energetische Synergien: Thermisch, BHKW (Gas und Strom)
 - Regionale Raumwärme
 - Nutzung von nicht anderweitig nutzbarer Abwärme aus Kläranlagen zur Obst- und Gemüseproduktion

Sonstiges, Verkehr, Querschnittsthemen

- Hybride Verbraucher (Erdgas oder Strom; bivalenter Betrieb) in Industrie- (z.B. Vorwärmung, Schmelzprozesse) oder Infrastrukturanlagen (z.B. Verdichterstationen, Gasdruckreduzieranlagen)
- Harmonisierung und Abstimmung von Netztarifen (integrierte Betrachtungsweise); integrierte Netztarife für Erdgas und Strom
- Spartenübergreifende Geschäftsmodelle (z.B.: Wärme, -Kältespeicher und/oder Stromspeicher + Wärmepumpen als Querschnittstechnologien zur wirtschaftlichen Optimierung einer Strom- und Wärmekopplung)
- Einsatz von Erdgasentspannungsanlagen zur Stromproduktion (anstatt adiabatischer Drosselung); Kombination mit KWK-Anlagen oder Kältenetzen
- Einbindung von Tankstelleninfrastruktur (sowohl Erdgastankstellen wie E-Mobilität)
- Sonstige Schnittstellen zur E-mobilität („smart fill“)
- Planungs- und Optimierungsalgorithmen
- Sicherheits- und Governance-Fragen
- Simulationen (co-Simulationen) und Modellierung: Zusammenschluss der einzelnen domänenspezifischen (fachspezifischen) Simulations-/Modellierungstools. Und daraus folgend bzw. aufbauend:
 - Referenzarchitektur für Hybridnetze (siehe auch: IKT als enabler)
 - Planungsmethoden und -werkzeuge für Hybridnetze sowohl Top-Down (ganzheitliche Energiesystemanalysetools) als auch Bottom-up (hochauflösend, flexibel adaptierbar, etc.)
- Safety AND Security, d.h. integriert (funktionale Sicherheit UND Schutz vor Mißbrauch), sowie Datenschutzaspekte (Privacy)

- Berücksichtigung bzw. Einbindung von Gebäuden aufgrund von Baustandards (z.B. Niedrigenergiehäuser bzw. Plus-Energie-Gebäude); dies muss ohnehin zentraler Teil der Betrachtungen sein
- Einfluss des Nutzerverhaltens in allen Bereichen
- „Politische“ Rahmenbedingungen (Lobbying....)
- Technologischer Ausblick: dezentrale KWK-Anlagen (Brennstoffzellen) vs. zentrale KWK-Anlagen
- Flexibilisierung von Industriestandorten: Nutzung von Speichern für Produktionsmedien (Druckluft, Wärme, Kälte) für Demand Side Management
- Anlagen für die Bereitstellung synthetischer Gase und Treibstoffe aus Biomasse (Bio-Raffinerien)
- Anlagen zur Herstellung gasförmiger und flüssiger Kraftstoffe aus Strom, H₂O und CO₂
- Rolle der Verbraucher hinsichtlich Lastausgleich und aktivierbare Speichermassen
- Energieträger-übergreifende Effizienzpotentiale, Exergieoptimierung

Je nach Blickwinkel bzw. Zielsetzung lassen sich jeweils mehrere dieser Technologien bzw. organisatorischen Maßnahmen zu einer übergeordneten Kategorie von Maßnahmen bzw. Maßnahmenbündeln zusammenfassen. Zwei Beispiele für solche Maßnahmenbündel wären:

Bei Fokussierung auf Optimierung der Infrastrukturkosten in einem konkreten Stadtentwicklungsgebiet:

Energieträger-übergreifende Energie- und Infrastrukturplanung unter Berücksichtigung der lokalen Potentiale sowie der vorhandenen (übergeordneten) Infrastrukturen.

Bei Fokussierung auf die hybride Stromspeicherung:

Energieträger-übergreifende Last- und Erzeugungsverschiebung durch anreizbasierte Systeme mit variablen Tarifen sowie mit Formen der Direktsteuerung

6. IKT als „enabler“ von Hybridnetzen und -systemen

Die Realisierung von Hybridnetzen ist ohne den vermehrten Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien nicht möglich. Die eingesetzten Lösungen müssen dabei eine Vielzahl von Steuer- und Optimierungsaufgaben übernehmen, um sowohl den laufenden Betrieb, das betriebswirtschaftliche Optimum wie die Systemstabilität sicherzustellen.

Insbesondere müssen ganz unterschiedliche, bestehende IT-Infrastrukturen der jeweiligen Netze miteinander verbunden werden. Dies stellt hohe Anforderungen an die Interoperabilität der unterschiedlichen Systeme wie auch an die Informationssicherheit.

Insbesondere zur Sicherstellung der Interoperabilität sind Schnittstellen und Standards umgänglich. Ähnlich wie bei Smart Grids im Strombereich wird es daher mittelfristig notwendig werden, eine eigene (IKT-)Referenzarchitektur für Hybridnetze zu entwickeln.

Diesbezüglich wäre es naheliegend, die auf Ebene der Stromnetze bereits geschaffenen Strukturen weiterzuentwickeln. Im Bereich von intelligenten Stromnetzen wurde, aufbauend auf ein konzeptionelles Modell des US-amerikanischen National Institute of Standards and Technology (NIST), im Rahmen der CEN-CENELEC-ETSI Smart Grids Coordination Group eine an europäische Verhältnisse angepasste Smart Grids Referenzarchitektur, das sogenannte SGAM Modell, entwickelt (siehe Abbildung 4).

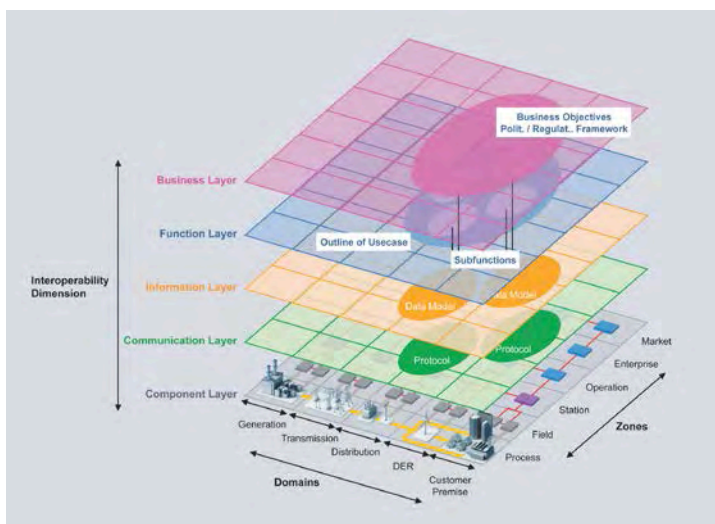


Abbildung 4: SGAM Modell (Smart Grid Reference Architecture, Gremium CEN-CENELEC-ETS, Nov. 2012)

Dieses Modell, in dem zwischen drei unterschiedlichen Dimensionen unterschieden wird, dürfte zumindest in Teilen auch auf Hybridnetze übertragbar sein.

Während sich zwar die sogenannten „domains“ und „zones“ zwischen den einzelnen Netzen und Systemen unter Umständen erheblich unterscheiden werden, erscheint die dritte Dimension, die sogenannten „interoperability layers“ gleichermaßen relevant für Hybridnetze, um unterschiedliche Systeme verschiedener Domänen¹¹ miteinander zu verbinden. Diese fünf Schichten bzw. deren Aspekte sind in Abbildung 5 dargestellt.

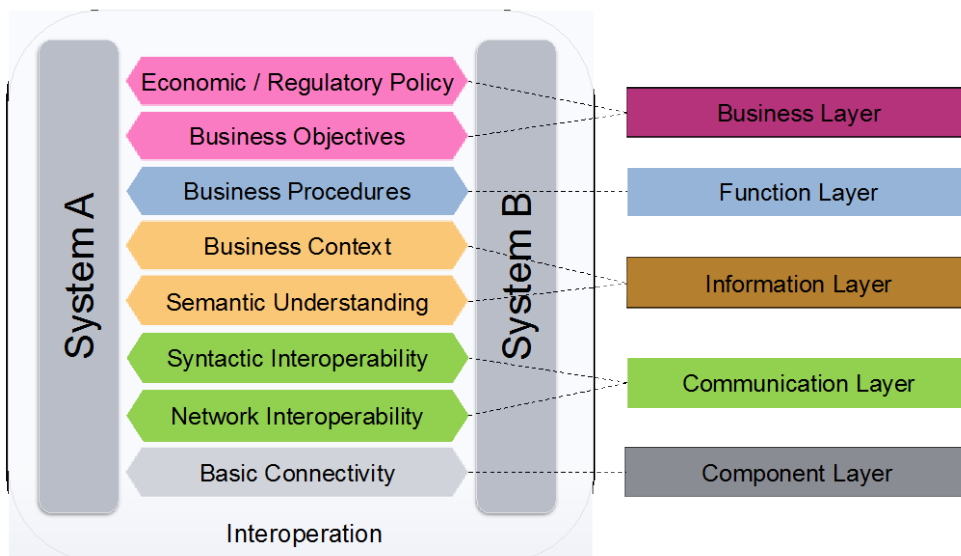


Abbildung 5: Fünf Schichten des SGAM-Modells zur Sicherstellung der Interoperabilität von zwei Systemen (Quelle: [CENELEC 2012])

Arbeitshypothese: Da es sich bei der Umsetzung von Hybridnetzen/-systemen um die Verschränkung ganz unterschiedlicher Systemkomponenten der jeweiligen Domänen (Netze und Systeme) handelt, ist – zumindest grundsätzlich - die Interoperabilität der unterschiedlichen IKT-Systeme auf allen 5 Schichten gemäß SGAM Modell notwendig, wenn die technischen Potentiale von Hybridnetzen auch voll genutzt werden sollen.

¹¹ Als Domänen werden hier z.B. das Stromnetz/-system, Erdgasnetz/-system, Fernwärmenetz/-system oder Trinkwassernetz/-system verstanden. Dies ist jedoch nicht zu verwechseln mit den „domains“ im Sinne des SGAM Frameworks.

7. Security and Privacy

Energienetze wie auch sonstige Ver- und Entsorgungsnetze sind kritische Infrastrukturen. Insbesondere auch die Sicherheit und Robustheit der diese verbindenden IKT-Systeme sind eine unbedingte Voraussetzung zu deren Schutz.

Die diesbezüglichen europäischen und nationalen Strategien für den Schutz kritischer Infrastrukturen (z.B. Nationale IKT-Sicherheitsstrategie Österreich; Österreichische Strategie für Cyber Sicherheit) gelten im verstärkten Maße auch für Hybridnetze beziehungsweise die damit zusammenhängenden IKT-Infrastrukturen, da mit zunehmender Komplexität und Vernetzung sowohl die Verletzbarkeit ansteigt als auch die möglichen Schäden (z.B. durch Kaskadeneffekte und Rückwirkungen auf andere Netze und Systeme) höher sein können wie bei komplett voneinander getrennten Systemen.

Da die Bedrohungslage jedoch grundsätzlich ähnlich ist, kann bezüglich der notwendigen Handlungsfelder diesbezüglich auf bereits vorhandene Strategien und Konzepte verwiesen werden (z.B. [KOM 2009], [BKA 2012], [BKA 2013]).

Aber auch bezüglich des Themas Datensicherheit und Privacy hat es grundlegende Konsequenzen, mit welchen Systemen und Infrastrukturen die jeweils eigenen gekoppelt werden. Zugleich sind beim Thema Privacy völlig unterschiedliche Trends bzw. Strömungen zu beobachten. Zum einen stellen Nutzer vermehrt ihre eigenen Daten den neuen „Datensammlern“ wie etwa Google oder Facebook zur Verfügung. Auch Open Data Initiativen gewinnen immer mehr an Bedeutung, insbesondere in urbanen Ballungsräumen bzw. im Smart Cities Kontext. Zugleich steigt jedoch die Gruppe der „Verweigerer“, die bezüglich einer Datenweitergabe höchst sensibel sind. Viele Geschäftsmodelle und Lösungen, die etwa im asiatischen Raum sehr gut funktionieren, wären in Österreich aufgrund von grundsätzlichen Privacy-Überlegungen und der fehlenden Nutzerakzeptanz nicht umsetzbar.

8. Tarif-, Geschäfts- und Marktmodelle als weitere „enabler“ oder „disabler“

Neben der notwendigen Konvergenz der IKT-Systeme gilt ähnliches für Tarif-, Geschäfts- und Marktmodelle der jeweiligen Domänen, sowohl für die im europäischen und nationalem Energierecht regulierten Sektoren Strom und Erdgas, wie auch für die anderen Domänen wie Fernwärme/-kälte oder sonstige Ver- und Entsorgungsinfrastrukturen.

So ist zwar in den einschlägigen gesetzlichen Bestimmungen in Österreich, sowohl betreffend der Gas- wie der Stromnetze, grundsätzlich geregelt, dass die Entgelte für die Netz- bzw. Systemnutzung verursachergerecht umzulegen ist. Die Tarifmodelle werden für Gas und Strom jedoch völlig getrennt betrachtet und berücksichtigen

daher nicht mögliche Synergieeffekte oder Wechselwirkungen zwischen diesen beiden Domänen.

So würden etwa Power-To-Heat Anlagen, die ausschließlich in Zeiten erhöhter Netzbelastung durch erneuerbare Energieträger betrieben werden - und dadurch die Netze entlasten bzw. die Abregelung von erneuerbaren Einspeisern hintanhalten - für ein solches Betriebsverhalten nicht belohnt. Vielmehr machen etwa in Deutschland bei solchen Anlagen die Netztarife und sonstige Gebühren und Abgaben ein Vielfaches der eigentlichen Strombezugskosten aus [Hinterberger 2014].

Aufgrund der ungenügenden rechtlichen Rahmenbedingungen ist die Verwertung von „Überschussstrom“¹² derzeit nur mit wirtschaftlichem Verlust möglich, selbst bei vorhandenen Anlagen und bei Strombezugskosten von Null Euro. Dies verhindert den Einsatz solcher Anlagen für netzdienliche Zwecke. Aktuell werden daher in Deutschland erneuerbare Einspeiser abgeregelt, anstatt diesen „Überschussstrom“ in solchen Anlagen zu verwerten.

Ähnliches gilt für hybride Verbraucher, die nach der derzeitigen Regelung doppelte Leistungspreise zahlen müssten (sowohl auf Ebene der Strom- wie der Erdgasnetze), obwohl sie – eine entsprechend gesteuerte Betriebsweise vorausgesetzt – durch eine Leistungsabnahme das Stromnetz nicht be-, sondern entlasten würden.

Das Zusammenwachsen bisher nur einzeln betrachteter Energiesysteme bedingt daher zwingend auch die Integration ihrer jeweiligen Tarifsysteme. Markthemmnisse und Umsetzungsbarrieren müssen im energieträger-übergreifenden Kontext betrachtet und systematisch beseitigt werden.

Die Rolle des politischen und wirtschaftlichen Rahmens kann daher nicht überbetont werden. Derzeit fehlen vielerorts geeignete Markt- und Geschäftsmodelle bzw. kommt es aufgrund von Systemschwächen vermehrt zu Fehlentwicklungen und Marktversagen. Des Weiteren wird die Forschungs- und Innovationsbereitschaft der Netzbetreiber durch das herrschende Regulierungsmodell nicht ausreichend aktiviert.

Abgesehen von den eigentlichen Geschäftsmodellen sind bei so tiefgreifenden Transformationsprozessen auch die Themen Finanzierbarkeit und Skalierbarkeit¹³ von besonderer Bedeutung. So mögen zwar bestimmte Lösungen für Metropolen oder Großstädte wie Dubai, Singapur oder Wien machbar sein. Für Klein- und

¹² Als „Überschussstrom“ wird aus erneuerbaren Quellen erzeugter Strom verstanden, der aufgrund nicht genügender Leitungskapazitäten oder mangelnder Nachfrage nicht genutzt werden kann und daher abgeregelt werden muss.

¹³ Entscheidende Fragen bezüglich Skalierbarkeit sind - neben der technischen Machbarkeit - insbesondere die Kostenabschätzung und die Finanzierbarkeit des Transformationsprozesses.

Mittelstädte sind diese als singuläre Lösungen nicht finanzierbar, was neue Ansätze erfordert.

9. Technische versus energiewirtschaftliche Betrachtung

Hybridnetze und –systeme können auf zwei unterschiedliche Arten und Weisen betrachtet werden. So sind aus einem technischen Blickwinkel heraus grundsätzlich umso mehr Kopplungsmöglichkeiten möglich - und damit Möglichkeiten vorhanden, Synergiepotentiale zu nutzen -, je größer die Vielfalt der technischen Infrastrukturen ist und umso komplexer und vernetzter die Systeme sind.

Aus diesem Grund werden sich im Regelfall in städtischen Gebieten eine größere Anzahl an Möglichkeiten der Kopplung finden lassen, wie etwa in ländlichen Gebieten, wo weniger (parallele) Infrastrukturen vorhanden sind. Daher werden Hybridnetze vor allem bei der Transformation unserer Städte in Richtung von Smart Cities große Bedeutung erlangen.

So stehen insbesondere in städtischen Ballungsgebieten ganz unterschiedliche, leitungsgebundene Energieinfrastrukturen und –systeme parallel zur Verfügung. Auch die Dichte sonstiger Ver- und Entsorgungseinrichtungen ist deutlich höher wie in ländlichen Gebieten. Ähnliches gilt für Steuer- und Regeleinrichtungen, z.B. zur Steuerung von öffentlichem oder privatem Verkehr.

Während parallele Infrastrukturen daher aus technischer Sicht viele Möglichkeiten eröffnen, ist dies in einer energiewirtschaftlichen Betrachtung – auch im Kontext von Hybridnetzen – durchaus kritisch zu betrachten.

So treten aufgrund von geringeren Wärmelasten durch neue Gebäudestandards und Energieeffizienzmaßnahmen (thermische Sanierungen) die bestehenden Infrastrukturen – aus einer wirtschaftlichen Betrachtung heraus - immer mehr in Konkurrenz zueinander. Zugleich werden vermehrt solarthermische und PV-Anlagen sowie Wärmepumpen eingesetzt, die zu einem verminderten Energiebezug aus den übergeordneten Netzen führen.

Durch diesen Rückgang der Wärmelasten wird die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Netzinfrastrukturen, insbesondere von Erdgas und Fernwärme, immer schwieriger darstellbar. Diese zunehmende wirtschaftliche Konkurrenz der leitungsgebundenen Infrastrukturen ist in Abbildung 6 symbolhaft dargestellt.

Aus einer energiewirtschaftlichen Betrachtung heraus wäre daher in vielen Fällen – vor allem in neuen Stadtentwicklungsgebieten - ein Verzicht auf den parallelen Ausbau von Infrastrukturen zu empfehlen. So wird sich in energetisch besonders hochwertigen Wohnquartieren zukünftig weder das Erdgas- noch ein Fernwärmenetz wirtschaftlich rechnen können. Damit wird die Anzahl der möglichen, lokalen Kopplungsmöglichkeiten naturgemäß stark eingeschränkt.

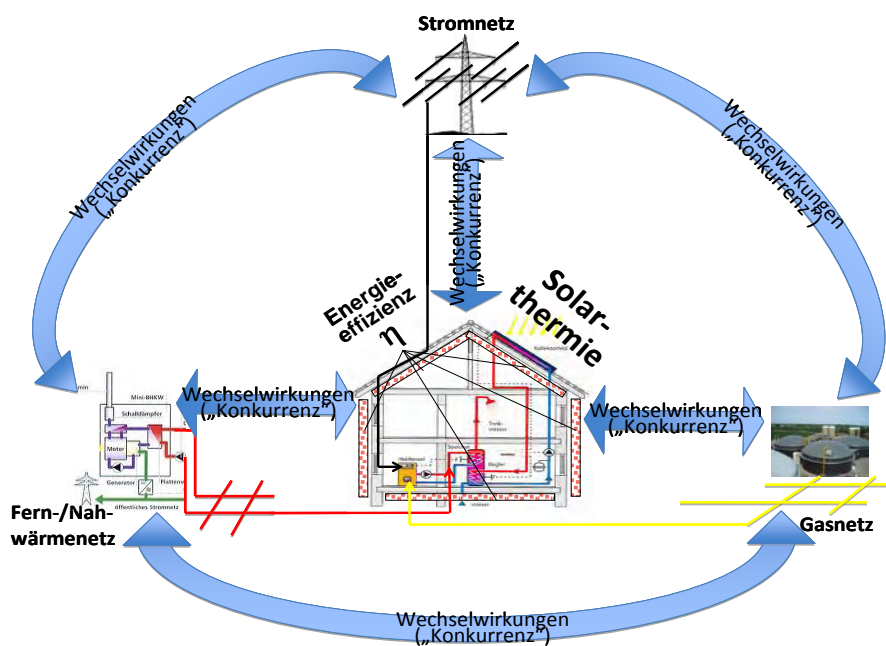


Abbildung 6: Konkurrenz der leitungsgebundenen Energieinfrastrukturen (Quelle: EEG/TU Wien)

Daraus folgt aber auch, dass der gesamtwirtschaftliche Nutzen von Hybridnetzen bzw. der Vergleich unterschiedlicher Optionen nicht durch eine einfache Betrachtung von nur einem Teilsystem beurteilt werden kann.

Eine Nutzenanalyse kann vielmehr nur gesamthaft und energieträger-übergreifend (Strom, Erdgas, Wärme) erfolgen, wobei die unterschiedlichen Ausbau- und Investitionsszenarien sowohl in technischer wie wirtschaftlicher Hinsicht miteinander verglichen werden müssen.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass es je nach Betrachtungs- und Planungsebene bzw. der jeweiligen Systemgrenzen ganz unterschiedliche Optima geben wird. Insbesondere bei der Umsetzung von Modellvorhaben auf Quartiersebene ist daher die Verknüpfung der lokalen Vorhaben mit den gesamstädtischen Energiekonzepten sowie den Infrastrukturplanungen der unterschiedlichen Netz- und Infrastrukturbetreiber von hoher Wichtigkeit.

Demonstrationsprojekte zu Hybridnetzen/-systemen, die nicht zugleich in eine integrierte Energie- und Infrastrukturplanung eingebettet sind, mögen zwar gelungene technische *showcases* sein, werden aber nur in wenigen Fällen einen tatsächlichen Mehrwert im Sinne der Erhöhung der Gesamtenergieeffizienz liefern können.

10. Planungshorizonte und mögliche Entwicklungspfade

Unstrittig ist, dass bei Umsetzung und „roll out“ von Hybridnetzen und –systemen sehr lange Planungshorizonte, teilweise mehr als 50 Jahre, zu berücksichtigen sind. Daher ist insbesondere bei kommunalen Infrastrukturen wie Kanal- oder Trinkwassersystemen, aber auch bei den eigentlichen Energienetzen – abgesehen von der nur sehr schwierigen Einschätzung der möglichen technischen Entwicklung und zukünftigen Kosten – vor allem die raumplanerische und demographische Entwicklung von großer Bedeutung.

Hinsichtlich der möglichen Entwicklungspfade und der methodischen Herangehensweise sind unterschiedliche Ansätze denkbar und haben auch ihre jeweilige Berechtigung.

Zum einen könnte eine gesamtheitliche Energiesystemanalyse als Grundlage verwendet werden. Bei Anwendung eines solchen **Top-Down** Ansatzes würde man – auf Basis von zuvor festgelegten Entwicklungszielen – die Machbarkeit von Hybridnetzen untersuchen und entsprechende Umsetzungsschritte planen. Ressourcenverfügbarkeit und Energieeffizienzziele wären dabei die Basis¹⁴. Mögliche Systemgrenzen für einen solchen Top-Down Approach könnte Österreich oder auch Europa in seiner Gesamtheit sein. Relevante Fragestellungen wären u.a.:

- Sind vorhandene EE Ressourcen grundsätzlich ausreichend?
- Muss Österreich zukünftig auch überregional, für andere europäische Länder, Speicheraufgaben übernehmen?

Gleichermaßen könnte man aber auch durch einen **Bottom-up** Ansatz jeweils lokale Potentiale ermitteln und Entwicklungspfade identifizieren. Bei einer solchen Herangehensweise würde man, basierend auf regionalen Ressourcen, Infrastrukturen und Stadtmorphologien sowie die möglichen intersektoriellen Wechselwirkungen detailliert abbilden. Die jeweiligen Systemgrenzen wären dann jeweils regional oder z.B. die städtische Ebene.

Zum anderen kann der Umbau des Energiesystems auch als **Transformationsprozess** gesehen werden. So kann durchaus zutreffend argumentiert werden, dass aufgrund der langen Planungszeiträume, möglicher neuer, „disruptiver“ Technologien, der nur schwer zu beurteilenden künftigen Technologiekosten wie auch sonstiger, sich laufend ändernder Rahmenbedingungen, eine Planung im klassischen Sinne ohnehin nicht möglich ist.

¹⁴ Ein möglicher Ausgangspunkt in Österreich wäre z.B. die Studie Energieautarkie 2050 (siehe: <http://www.nachhaltigwirtschaften.at/e2050/results.html/id6747?active=474>)

Vielmehr wäre in dieser Betrachtungsweise die Umsetzung von zukünftigen Hybridnetzen als das Management eines Transformationsprozesses zu sehen.

Die Planung eines solchen multimodalen Systems, wie es Hybridnetze darstellen, bedarf jedenfalls neuer Simulationsmodelle bzw. -umgebungen. Simulationen könnten vorhandene Monitoringsysteme insbesondere dann unterstützen, wenn es z.B. zu Ausfällen kommt und Handlungsoptionen bezüglich Ihrer Auswirkungen zu bewerten sind.

Insbesondere wird die Notwendigkeit für einen „Szenario-Manager“ für Entscheidungsträger gesehen. Typische Probleme bei der Anwendung sind aber die Datenbeschaffung und die Datenqualität.

In Blickrichtung auf Planungshorizonte von 50 Jahren wäre weiters die Flexibilität der Infrastrukturen (z.B. hinsichtlich demographischer Wandel) und Adaption auf Klimawandel sehr wichtig. Die integrierte Planung von Infrastrukturen erfolgt in Praxis derzeit aber (noch) nicht. Insbesondere das Bewusstsein für Resilienz fehlt¹⁵.

11. Empfehlungen für nächste Schritte

Das Thema Hybridnetze sowie deren Synergiepotentiale mit kommunalen Infrastrukturen sollten als wichtiges Themenfeld in künftigen Förderausschreibungen der Energieforschung entsprechend prominent berücksichtigt werden.

Grundsätzlich sollte der Schwerpunkt der Forschungsaktivitäten – neben der Weiterentwicklung einer Vielzahl von relevanten Einzeltechnologien - vor allem auf der Untersuchung von systemischen Zusammenhängen liegen. Diesbezüglich sollten geeignete Systemarchitekturen und Teilsysteme für Energie-Hybridnetze, entsprechend den in typischen Siedlungsstrukturen (z.B. Großstadt, Mittel- oder Kleinstadt, ländliche Gemeinde), unterschiedlichen räumlichen und sonstigen Anforderungen, identifiziert und darauf aufbauend „smarte“ Elemente für diese Netze bzw. Systemarchitekturen (weiter)entwickelt und zur Marktreife gebracht werden.

Aufgabe von F&E sollte es hier sein, konsistente Methoden und zugehörige Tools zu entwickeln, die solche Analysen und Optimierungen auf unterschiedlicher Ebene (lokal, regional, überregional – bzw. top-down / bottom-up) ermöglichen.

Im Rahmen von Demonstrations- und Leuchtturmprojekten sollten die identifizierten und entwickelten Systemkomponenten – sowohl hinsichtlich deren technischen

¹⁵ Resilienz verursacht zwar kurzfristig Investitionskosten, rechnet sich aber langfristig. So ist das Thema Resilienz etwa bereits ein wichtiges Ziel in der Stadtplanung/-entwicklung in New York.

Integration wie hinsichtlich des Erprobens von neuen Geschäfts- und Tarifmodellen bzw. Marktregeln – auch praktisch erprobt werden.

Als besonders wichtig wird dabei die frühzeitige Berücksichtigung und Einbindung in das jeweilige energiewirtschaftliche Umfeld sowie die Erprobung geeigneter Tarif-, Geschäfts-, und Finanzierungsmodelle in realem Umfeld angesehen.

Bei bestimmten Technologien wie z.B. Power-To-Gas sollte man sich hingegen auf die Grundlagenforschung fokussieren bzw. beschränken, da diese auch mittelfristig, zumindest im großindustriellen Maßstab, wahrscheinlich noch keine Relevanz in Österreich haben werden.

Ein detailliertere Abschätzung und Beurteilung der Forschungsbedarfe erfolgt in einer ergänzenden Darstellung.

12. Literatur

[AGEB 2013] AG Energiebilanzen e.V.: Bruttostromerzeugung in Deutschland von 1990 bis 2012 nach Energieträgern. Abzurufen unter: http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=20130809_brd_stromerzeugung1990_2012.pdf. Zuletzt abgerufen am 2. 1. 2014.

[BKA 2012] Bundeskanzleramt (Hrsg.): Nationale IKT-Sicherheitsstrategie Österreich. Wien. 2012.

[BKA 2013] Bundeskanzleramt (Hrsg.): Österreichische Strategie für Cyber Sicherheit. Wien. 2013.

[CENELEC 2012] CEN-CENELEC-ETSI Smart Grids Coordination Group (Hrsg.): Smart Grids Reference Architecture. Document for the M/490 Mandate. Abzurufen unter: http://ec.europa.eu/energy/gas_electricity/smartgrids/doc/xpert_group1_reference_architecture.pdf. Brüssel 2012.

[Groscurth 2013] Groscurth, H.-M.; et al.: „Power-to-heat“ oder „Power-to-gas“?. Discussion Paper Nr. 9. Arrhenius Institut für Energie- und Klimapolitik. Hamburg 2013.

[Hinterberger 2010] Hinterberger, R.; Kleimaier, M.: Intelligente Gasnetze der Zukunft und ihr Beitrag zu einem nachhaltigen Energiesystem – vom Smart Gas- zum Smart PolyGrid. Proceedings zum 11. Symposium Energieinnovationen an der TU Graz. Graz 2010.

[Hinterberger 2011] Hinterberger, R.; et al: Enderbericht zu FFG-Projekt Nr. 815756, Programmlinie Energie der Zukunft. Wien 2011.

[Hinterberger 2012] Hinterberger, R.: Hybridnetze für die Energiewende. Diskussionspapier. Ergänzungsvorschläge zum Basispapier des acatech-Workshops zur Identifikation der wissenschaftlichen Leitfragen. Wien 2012.

[Hinterberger 2012a] Hinterberger, R.; Kleimaier, M.: Energieversorgung der Zukunft: Intelligente Gasnetze und Energie-Hybridnetze. In: Aqua&Gas. Verbandsorgan des Schweizerischen Vereins des Gas- und Wasserfaches SVGW, Ausgabe Nr. 10/2012. Zürich 2012.

[Hinterberger 2014] Hinterberger, R.: Hybridnetze in urbanen Modellquartieren der D-A-CH-Region. In: bbr - das Fachmagazin für Leitungsbau, Brunnenbau und Geothermie. Ausgabe 1/2014. WVGW Verlag. Bonn 2014.

[Hinterberger 2014a] Hinterberger, R.; Hinrichsen J.; et al.: Thesenpapier: Power-To-Heat als Instrument zur Effizienzsteigerung der Energiewende (Entwurfssfassung). Berlin 2014.

[Hübner 2011] Hübner, M; Hinterberger, R.: Smart Gas Grids – Smart Cities; Projektforum 2011. Intelligente vernetzte Energieinfrastrukturen in der Stadt von morgen. Berichte aus Energie- und Umweltforschung Nr. 19/2011. Wien 2011.

[KOM 2009] Europäische Kommission (Hrsg.): Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen über den Schutz kritischer Informationsinfrastrukturen. KOM(2009) 149 endgültig. Brüssel 2009.

[KOM 2011] Europäische Kommission (Hrsg.): Fahrplan für den Übergang zu einer wettbewerbsfähigen CO₂-armen Wirtschaft bis 2050. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. KOM (2011) 12 endgültig. Brüssel 2011.

[Schill, W.-P. 2013] Schill, W.-P.: Integration von Wind- und Solarenergie. Flexibles Stromsystem verringert Überschüsse. In: DIW Wochenbericht 34/2013. Berlin 2013.

[Statistik Austria 2013] Statistik Austria (Hrsg.): Gesamtenergiebilanz Österreich 1970 bis 2012. Internetinformation der Statistik Austria abzurufen unter: http://www.statistik.at/web_de/static/gesamtenergiebilanz_oesterreich_1970_bis_2012_detailinformation_029955.xlsx. Zuletzt abgerufen am 31. 12. 2013.

[VDE 2012] Verband der Elektrotechnik (Hrsg.): Energiespeicher für die Energiewende. Speicherungsbedarf und Auswirkungen auf das Übertragungsnetz für Szenarien bis 2050. VDE Studie. Frankfurt 2012.

13. Danksagung

Die Arbeiten zu diesem Visions- und Strategiepapier erfolgten im Rahmen der BMVIT-Arbeitsgruppe „Hybridnetze und Synergiepotentiale mit kommunalen Infrastrukturen“.

Die redaktionellen Arbeiten sowie inhaltliche und organisatorische Vorbereitung und Unterstützung der Arbeitsgruppe wurde durch eine Beauftragung der NEW ENERGY durch das BMVIT und die FFG ermöglicht.