

OPEN HEAT GRID

Definition und Grundstruktur von Hybridnetzen

Grundsätzliche Darstellung
zukünftiger Gegebenheiten
interagierender Netze
(Hybridnetz) sowie am
Energemarkt

R. Tichler

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

1a/2018

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>

OPEN HEAT GRID

Definition und Grundstruktur von Hybridnetzen

Grundsätzliche Darstellung zukünftiger Gegebenheiten
interagierender Netze (Hybridnetz) sowie am Energiemarkt

Energieinstitut an der JKU Linz
Robert Tichler

Linz, Juni 2016

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm Stadt der Zukunft des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm Haus der Zukunft auf und hat die Intention Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung von allen betroffenen Bereichen wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des bmvit publiziert und elektronisch über die Plattform www.HAUSderZukunft.at zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und AnwenderInnen eine interessante Lektüre.

DI Michael Paula
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Überblick zu den Berichtsteilen aus Open Heat Grid – es handelt sich um den Berichtsteil 1 / 8

Teil 1 des Endberichts erklärt die **Grundsätze eines zukünftigen Hybridnetzes**: die Auswirkungen und Vorteile einer smarten, bidirektionalen Verknüpfung der Energienetze wird dargestellt.

Teil 2 des Endberichts erläutert den Status Quo der **Preissetzung und Entgeltregulierung** in den drei betrachteten Energienetzen Strom, Gas und Wärme. Dabei wird qualitativ erhoben, über welche Preis- bzw. Entgeltkomponenten (einmalig, wiederkehrend pauschal, leistungsabhängig oder arbeitsabhängig) der Umsatz erzielt wird.

Teil 3 des Endberichts beschreibt erstens die grundsätzlichen, aktuellen Netzstrukturen im Strom- und Gasnetz; zweitens wird die **Industrie als Koppelstelle im Hybridnetz** dargestellt; drittens wird eine Literaturanalyse zur Entwicklung des Fernwärmebedarfs vor dem Hintergrund steigender Energieeffizienz durchgeführt.

Teil 4 des Endberichts beschäftigt sich mit dem **Wärmenetz im Hybridnetz**. Dieser Teil beschreibt erstens die aktuellen Netzstrukturvarianten, zweitens die Möglichkeiten und Technologien zur Integration von Abwärme und drittens die in Open Heat Grid betrachteten, technischen Potenziale.

Teil 5 des Endberichts beschreibt explizit die nach Literatur- und Expertenmeinung vorherrschenden **Herausforderungen für die Realisierung** der Vorteile eines Hybridnetzes: dieser Berichtsteil zeigt auf, welche Komponenten der Regulierung oder anderer gesetzlicher Vorgaben angepasst werden müssen, aber auch, auf Basis welcher gewachsener Standards aktuell ein Hybridnetz verhindert wird.

Teil 6 des Endberichts bestimmt auf Basis der Ergebnisse der Berichtsteile 2 und 5, wie eine optimale **Gestaltung der Tarifkomponenten** gemäß Regulierung bzw. auch Vorgaben der Gesetzgebung in den Energienetzen Strom und Gas aussehen würden, wobei ein Fokus auf die Koppelungstechnologien zwischen den beiden Netzen gelegt wird.

Teil 7 des Endberichts konzentriert sich auf **Konzepte für eine intensivierete Abwärmenutzung**. Ein Hybridnetz als smartes, energetisch und exergetisch optimiertes Netz sollte die Einspeisung von industrieller Abwärme forcieren. Dieser Berichtsteil untersucht, welche theoretischen ökonomisch-politischen Konzepte anzuwenden wären, sucht nach bestehenden rechtlichen Vorgaben zur Abwärmeintegration und beschreibt den rechtlich-organisatorischen Hintergrund für Best Practice-Beispiele.

Teil 8 des Endberichts analysiert die in Teil 7 identifizierten und als anwendbar bzw. wissenschaftlich interessant befundenen Konzepte. Dabei werden systemische, rechtliche, betriebswirtschaftliche und volkswirtschaftliche Evaluierungen durchgeführt. Abschließend wird ein **Konzept für eine Forcierung der Integration industrieller Abwärme** abgeleitet und dessen Implikationen auf das Hybridnetz untersucht.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	3
2	Definition eines Hybridnetzes	3
3	Grundstruktur eines Hybridnetzes.....	4
4	Intention der Entwicklung von Hybridnetzen.....	7
4.1	Grundintention 1: Erhöhung der Primärenergieeffizienz durch neue Speicheroptionen innerhalb der bestehenden Energie-Leitungsinfrastruktur.....	7
4.2	Grundintention 2: neue Formen des Energietransports.....	10
4.3	Fazit: übergeordnete Ziele eines Hybridnetzes	11
5	Herausforderungen und Problemstellungen von Hybridnetzen	12

1 Einleitung

Die Diskussion über eine Entwicklung und Weiterentwicklung sogenannter Hybridnetze ist aktuell im Kontext der Energieforschung als komplex und bei weitem noch nicht abgeschlossen zu bezeichnen. Die Begrifflichkeit des „Hybridnetzes“ ist hierbei ein relativ neuer Terminus, der im Jahr 2013 im wissenschaftlichen Grunddiskurs im Kontext seiner aktuellen Bedeutung zum ersten Mal auftaucht. Aus diesem Grund ist weder national noch international eine einheitliche Begriffsdefinition eines Hybridnetzes vorhanden. Dies erschwert den Überblick und die Darstellung der Grundstruktur eines Hybridnetzes immens. Im Folgenden wird versucht, auf Basis der im Moment spärlich vorhandenen Literatur und auf Basis eigener Analysen der Autoren eine grundlegende Darstellung zu Definition, Intention, Vorteile, Nachteile und der Grundstruktur eines Hybridnetzes zu geben.

2 Definition eines Hybridnetzes

Eine erste spezifische Definition eines Hybridnetzes, auf die im aktuellen Diskurs prioritär verwiesen wird, erfolgte durch die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften - acatech im Jahr 2013:

„Unter einem Hybridnetz verstehen wir ein energiedomänenübergreifendes (oder auch intersektorielles) Energiesystem, in dem Energie jeweils in ihrer aktuellen Form verbraucht, gespeichert oder transportiert oder aber über eine Konversion in eine andere Energieform gewandelt werden kann, in der sie wiederum verbraucht, gespeichert oder transportiert werden kann.“¹

Diese Definition umfasst die grundlegende Intention einer Kopplung verschiedener Energie-Leitungsnetze und beinhaltet bereits die Verwendungszwecke Verbrauch, Speicherung und Transport, die durch ein „energiedomänenübergreifendes Energiesystem“ verbessert werden können. Ein abschließender Bezug auf die relevanten Leitungssysteme bzw. auf Ausschluss oder Integration nicht direkt energiebezogener Systeme wie das Wassernetz erfolgt hier nicht – dies ist allerdings noch in keiner Definition eines Hybridnetzes geklärt.

Eine dazu ähnlich Definition erfolgt gemeinsam durch TU Wien – ESEA und Energieinstitut an der JKU Linz im Zuge der Konzeptionierung des Projekts „Automatisierte Simulation und Analyse von smarten Hybridnetzen für Flexibilität und Energieeffizienz“:

„Unter einem Hybridnetz versteht man ein über (neue) Schnittstellentechnologien stark verbundenes/integriertes Netzsystem aus verschiedenen Energienetzen (z.B. Strom, Gas, Wärme), die bidirektional gekoppelt sind.“²

Diese beiden sich ergänzenden bzw. nicht stark differierenden Definitionen bilden die Basis für die folgende Darstellung und Diskussion eines Hybridnetzes.

¹ Appelrath et al. (2013) Hybridnetze für die Energiewende – Forschungsfragen aus Sicht der IKT. acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, S. 7.

² Vgl. Tu Wien ESEA, Energieinstitut an der JKU Linz (2013) Automatisierte Simulation und Analyse von smarten Hybridnetzen für Flexibilität und Energieeffizienz. Projektzept.

3 Grundstruktur eines Hybridnetzes

Wärme-, Strom- und Gasnetze verlaufen oftmals parallel ohne starke Verschneidung. Die Verknüpfungen der einzelnen großen Energienetze erfolgen bislang prioritär über die bekannten Knotenpunkte Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen und Gaskraft- bzw. -heizwerke. Etablierte Verknüpfungen existieren bislang somit vom Gas- zum Strom- und Wärmenetz in Form von KWK-Technologien, vom Gas- zum Stromnetz und zum Fernwärmenetz mittels Kraft- bzw. Heizwerken und vom Strom- zum (meist kleinen, lokalen) Wärmenetz mittels konventioneller Wärmepumpen. Auch diese Umwandlungspunkte bzw. Schnittstellen zwischen den Energienetzen sind weiterhin innerhalb des Begriffs der Hybridnetze zu verstehen.

Im Kontext der Entwicklung der Hybridnetze werden bzw. wurden neue Technologien entwickelt, die eine weitaus stärkere Verknüpfung der drei genannten Netze ermöglichen. Erst seit den letzten Jahren werden etwa Technologien wie Power-to-Gas, Brennstoffzellen oder Stirling-Motoren oder neue Wärmepumpen entwickelt, die eine engere Koppelung der Netze zulassen und dadurch in jenen Bereichen Möglichkeiten schaffen, in denen früher alleinstehende Netze an ihre Grenzen gestoßen sind. Diese verstärkte Kopplung der Netze lässt somit in der Folge das sogenannte Hybridnetz entstehen. Ein Hybridnetz ist hierbei wie bereits erläutert ein über (neue) Schnittstellentechnologien stark verbundenes/integriertes Netzsystem aus verschiedenen Energienetzen, die - soweit technisch möglich - bidirektional gekoppelt sind.

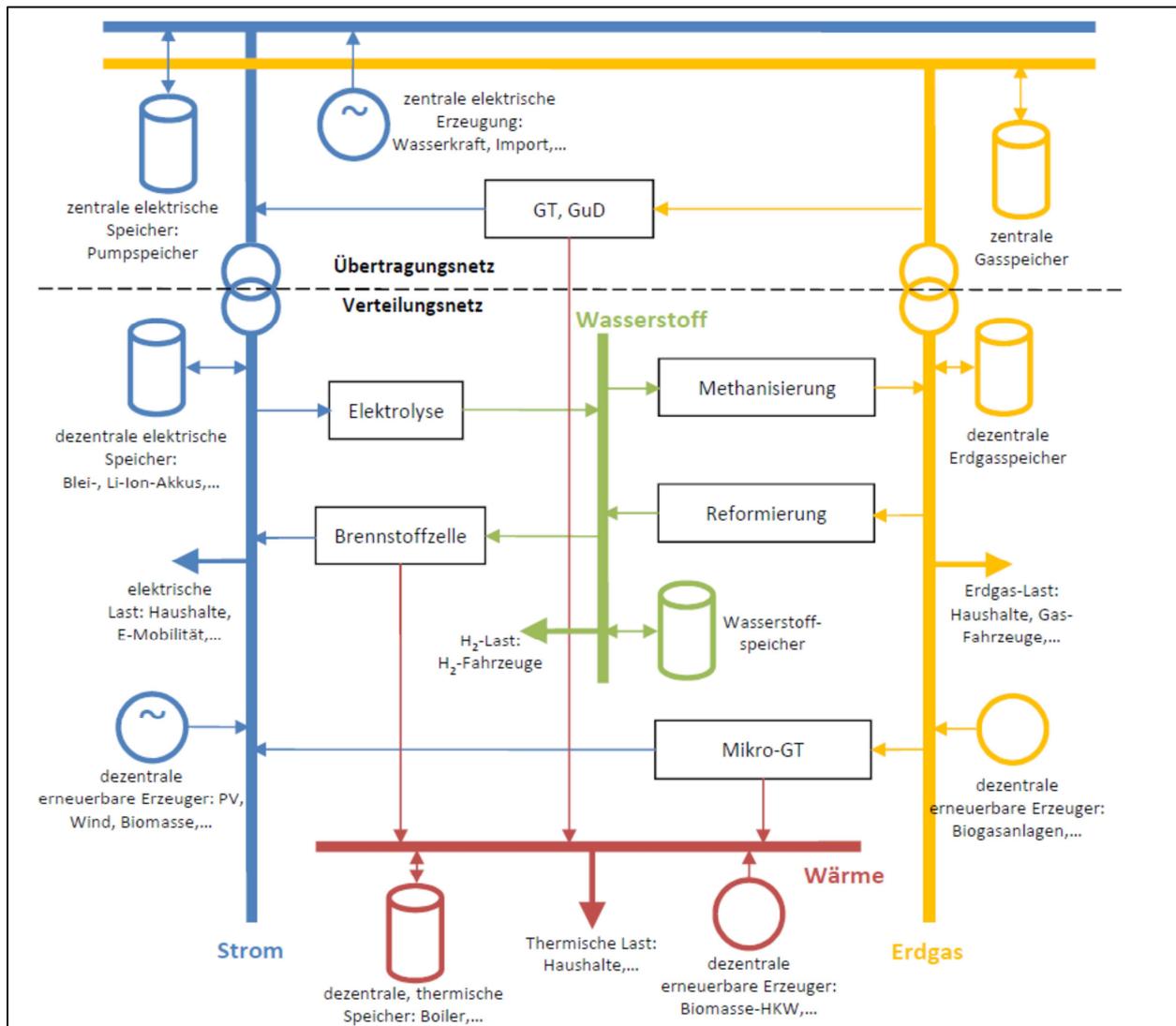
Die Realisierung von Hybridnetzen ermöglicht in Zukunft eine optimierte Integration bestehender Infrastrukturen mit Einbeziehung aller (Energie)Netze – Stromnetz, Gasnetz, Wärmenetz, Wassernetz, Verkehrsnetz. Darauf aufbauend können strategische Entscheidungen auch in der Energieraumplanung getroffen werden, wodurch das Energiesystem prioritär im regionalen Kontext weiterentwickelt wird und somit auch im überregionalen Kontext entscheidende positive Beiträge liefert, sodass eine Stärkung des heimischen Wirtschafts- und Lebensraumes forciert werden kann.

Neben der bereits seit langem implementierten Lösung der KWK-Technologie sind in diesem Zusammenhang insbesondere folgende Technologien und Systeme zu nennen:

- Power-to-Gas
- Power-to-Heat
- Brennstoffzellen
- Mikro-KWKs
- Stirling-Motoren
- Wärmepumpen
- Abwasser-Wärmepumpen
- Unterstützende Speicher in singulären Netzen (Batterien, Großwärmespeicher, etc.)

Abbildung 1 zeigt schematisch ein solches Hybridnetz mit energieträger-übergreifenden bidirektionalen Kopplungsmöglichkeiten. Es bietet gegenüber dem Stromnetz alleine wesentlich größere und zeitlich variabelere Speicher- und Transportmöglichkeiten.

Abbildung 1: Schematische Darstellung eines Hybrid-Netzes. Quelle: TU Wien, ESEA/EA (2014): SYMBIOSE - Systemübergreifende optimale dezentrale Hybridspeicher, Endbericht, FFG-Nr.: 834635.



Durch die Entwicklung neuer Technologien wird es in Zukunft möglich sein, vor allem auch den Energieaustausch bzw. die Energieumwandlung vom Strom- zum Gasnetz sowie in größerem Maßstab vom Strom- zum Wärmenetz zu realisieren. Missing Link wird zumindest nach aktuellem Technologie-Know-how in den nächsten Jahren der Energieaustausch vom Wärme- zum Gasnetz bleiben, sofern es sich nicht um Kühlung oder Beheizung von Übergabe- oder Verdichterstationen handelt.

Die Fokussierung auf Strom-, Gas- und Wärmenetze spiegelt im Moment die Hauptstoßrichtungen in der Weiterentwicklung von Hybridnetzen wider. Eine Beschränkung auf diese drei Netzbereiche ist allerdings nicht im Sinne des Hybridnetz-Ansatzes. Es ist durchaus zweckdienlich, gemäß der Intention der Weiterentwicklung des Energiesystems im Kontext von Hybridnetzen, intelligente Einbindungen weiterer Netzstrukturen zu forcieren.

Folgende weitere Netzintegration wäre hierbei möglich und denkbar:

- Kältenetze
- Wassernetz
- Abwassernetz
- Ölpipelines
- Wasserstoffnetze
- Kohlendioxid-Pipelines
- Verkehrsnetze
- Telekommunikationsnetze

Hierbei ist vor allem die Integration folgender zusätzlicher zentraler Knotenpunkte, die mehrere Energienetze bedienen (können), relevant:

- Raffinerien
- Hochtemperaturprozesse
- Bioraffinerien
- Biogasanlagen
- Power-to-Gas-Anlagen
- Kläranlagen
- Verdichter- und Vorwärmanlagen

Eine sehr bedeutende Position kommt in der Entwicklung der Hybridnetze neuen IKT-Systemen zu. Gemäß acatech (2013) kommt es bei Hybridnetzen verstärkt „zu einer Konvergenz von Versorgungs- und Informationsinfrastrukturen, die den Anforderungen der Energiewende effizienter als bisher Rechnung trägt“. ³ Für das intelligente Design und den optimalen Betrieb ist die Verwendung bzw. der Einsatz von innovativen IKT-Lösungen Voraussetzung und Notwendigkeit. Erst dadurch lassen sich neue Steuerungen im Energiesystem, die über die Steuerung singulärer Netze hinausgehen, realisieren. Dies erfordert auch Anpassungen im Rechtsrahmen, da dadurch die aktuell relativ starren Zuweisungen im Energierecht flexibler handhabbar sein müssen, um eine Gesamtsteuerung eines Hybridnetzes überhaupt zu ermöglichen. Die Integration neuer IKT-Schnittstellen einerseits und neuer rechtlicher Schnittstellen andererseits sind bedeutende Punkte für die Weiterentwicklung und große Herausforderungen für Hybridnetze.

Hinzu kommt, dass durch diese Kopplungstechnologien bzw. durch die Realisierung von Hybridnetzen, heute die Übertragung zwischen den Energieträgern und somit zwischen den Netzen nicht nur „smart“ und über IKT optimierbar ist, sondern teils auch in beide Richtungen möglich ist. Damit ist eine Verschränkung bzw. Verbesserung des Energietransports bzw. der Netzplanung technisch möglich und volkswirtschaftlich erforderlich. Die netzübergreifende Optimierung dient der effizienten Nutzung der bestehenden Energie-Ressourcen (durch die verbesserte Nutzung der bestehenden Kapazitäten, Ressourceneffizienz gegebenenfalls auch durch vermiedenen Netzausbau). Durch die sich ergebenden Möglichkeiten, d.h. durch Überwindung der Probleme einzelner Netze (z.B. Kapazitätsgrenzen) kann eine erhöhte Primärenergieeffizienz erreicht werden (Beispiele: Nutzung ansonsten abgeregelter Windenergie, Abwärmenutzung, Vermeidung von Speicherverlusten).

³ Appelrath et al. (2013) Hybridnetze für die Energiewende – Forschungsfragen aus Sicht der IKT. acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, S. 11.

4 Intention der Entwicklung von Hybridnetzen

Die Implementierung von Hybridnetzen ist aus energiesystemischer Sicht sowohl aus der Perspektive der Versorgungssicherheit - für ein verbessertes Lastmanagement sowie zur Realisierung der Möglichkeit zur energieträgerübergreifenden Speicherung von Energie in anderen Netzen - als auch aus ökonomischer Sicht - zur Erhöhung der Ressourceneffizienz sowie zur Reduktion der Intensität eines singulären Netzausbaus - für die Zukunft des österreichischen sowie des mitteleuropäischen Energiesystems von entscheidender Bedeutung. Volatile erneuerbare Energieträger können mit Hybridnetzen weitaus effizienter in das Energiesystem integriert werden, indem die Kopplungstechnologien zwischen den Netzen auch neue Speicherformen in den zugeschalteten Netzen zulassen.

4.1 Grundintention 1: Erhöhung der Primärenergieeffizienz durch neue Speicheroptionen innerhalb der bestehenden Energie-Leitungsinfrastruktur⁴

Die Integration stetig wachsender dezentraler Erzeugungskapazitäten, die auf einem fluktuierenden Dargebot erneuerbarer Energieträger wie v.a. Wind und Photovoltaik basieren, in das Energiesystem stellt steigende Anforderungen insbesondere an die Übertragungs- und Verteilnetze im Stromsystem und auch an die in sie eingebundenen Strom-Speicherkapazitäten dar. In Österreich wird bereits jetzt ca. 60% des Bedarfs an elektrischer Energie durch Lauf- und Speicherkraftwerke, also aus der regenerativen Energie Wasserkraft gedeckt. Dennoch würde eine 100%ige Deckung des Bedarfs elektrischer Energie durch erneuerbare Energieträger und der dafür notwendige massive Ausbau **fluktuierender Erzeugungskapazitäten** aus Wind und Photovoltaik Speicher im Energiesystem erfordern, die hinsichtlich Ihrer Leistung das vorhandene Potential an Pumpspeicherkraftwerken um das 4 bis 5-fache sowie hinsichtlich Ihrer Kapazität um das 100fache übersteigen würden.⁵ Energiespeicher haben in einem Stromversorgungssystem mit hohem Anteil erneuerbarer Energieträger eine entscheidende Bedeutung. Neben volatilitätsbedingten Kurzzeitspeichern werden aufgrund der saisonalen Charakteristik von Photovoltaik und Wind insbesondere auch Langzeitspeicher benötigt. Das elektrische Energiesystem bietet dieses Speicherpotential bei weitem nicht. Deswegen wird verstärkt die Entwicklung von Hybridnetzen für den Energieaustausch und die damit mögliche Energiespeicherung in einem anderen Energienetz sowie die damit verbundene Entwicklung neuer Kopplungstechnologien forciert.

Aufgrund der definierten nationalen und internationalen Zielsetzungen wird der Anteil erneuerbarer Energien zur Bereitstellung von Elektrizität in den nächsten Jahren und Jahrzehnten auch bei einer möglichen Verbrauchszunahme weiter steigen. Zur Forcierung der Nachhaltigkeit des Energiesystems sowie zur Reduktion der Importabhängigkeit von Rohstoffen aus geopolitisch instabilen Regionen werden somit vermehrt Windkraftanlagen und Photovoltaik-Anlagen in Europa errichtet. Die umwelt- und energiepolitische Zielsetzung einer verstärkten Integration erneuerbarer Energieträger in den europäischen Energiemarkt und insbesondere in der Stromproduktion generiert hierbei neue große Herausforderungen für die europäischen Volkswirtschaften, insbesondere die Aufrechterhaltung eines hohen Niveaus an

⁴ Vgl. dazu Tichler (2014), S. 236ff, in: Steinmüller, H., Tichler, R., Reiter, G. et. al (2014) Power-to-Gas – eine Systemanalyse. Markt- und Technologiescouting und -analyse. Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz, TU Wien, MU Leoben, JKU Linz.

⁵ TU Wien, ESEA/EA (2011): Super-4-Micro-Grid - Nachhaltige Energieversorgung im Klimawandel, Endbericht, FFG-Nr. 818954.

Versorgungssicherheit bei einem simultanen Wachstum der Stromproduktion aus Windkraft- und Photovoltaikanlagen. Diese Herausforderung resultiert aus den starken Schwankungen im Energieangebot aus volatilen Quellen wie Windkraft und Solarenergie. Daraus folgt, dass bei einem steigenden Anteil dieser Energiequellen ein Ausgleich zwischen Stromüberschüssen in Zeiten eines hohen Angebotes und auftretenden Fehlmengen in angebotsschwachen Phasen verstärkt notwendig wird.

Eine entscheidende Rolle in der Integration der erneuerbaren Energieträger mit volatilen Erzeugungsstrukturen werden **Energiespeichersysteme** - neben Maßnahmen für ein optimiertes Lastmanagement - spielen. Die Speicherung von Energie, insbesondere von elektrischer Energie, und die Verfügbarkeit der Energiemengen in zeitlich optimalen Phasen stellt dabei die zentrale Herausforderung dar. Die Technologien Power-to-Gas, ein Kopplungssystem vom Strom- zum Gasnetz, und Power-to-Heat, ein Kopplungssystem vom Strom- zum Wärmenetz, werden zukünftig einen wichtigen Bestandteil des Speicherportfolios einnehmen. Dadurch kann sowohl eine Langzeitspeicherung als auch eine Kapazitätsverlagerung zwischen den Energienetzen realisiert werden, wodurch sich eine Speicherfunktion realisieren lässt und dadurch auch die Primärenergieeffizienz im System maßgeblich erhöht werden kann. Die Alternative dazu wäre zum einen ein topografisch und sozioökonomisch diffiziler Ausbau von Stromgroßspeichern u.a. auch in ökologisch eher sensiblen Bereichen oder insbesondere die Regulierung und Abregelung von Erzeugungsanlagen, wodurch das Gesamtsystem stark in seiner Effizienz leidet und dadurch nochmals redundante Systeme benötigt werden. Zudem bieten die neuen Kopplungstechnologien auch neue Möglichkeiten im Energietransport an, siehe dazu den nächsten Studienabschnitt.

Wie bereits erläutert, sind die in Österreich und in Mitteleuropa mit weiterhin starken Wachstumsraten ausgestatteten Primärenergieträger Windkraft und Sonnenenergie in ihrem Aufkommen mit starken zeitlichen Schwankungen konfrontiert, sodass auftretende regionale Überschüsse über eine entsprechende **Netzinfrastruktur** großräumig abtransportiert werden müssen. Sowohl die Stromerzeugung aus Wind- als auch Sonnenenergie zeigen ausgeprägte Schwankungen im Tages- und Jahresverlauf sowie eine mitunter noch relativ eingeschränkte Prognostizierbarkeit. Zusätzlich erfolgt die Nutzung der Windenergie häufig regional konzentriert, wie beispielsweise im Nordburgenland oder im Osten Niederösterreichs. Der hierfür häufig notwendige Ausbau der Stromnetze ist mit signifikanten Eingriffen in die Topografie verbunden, wodurch soziodemografische Probleme zu erwarten sind. Auch wenn der Ausbau der Übertragungsnetze eine - wenn auch problematische - Möglichkeit für den großräumigen Ausgleich von Erzeugungsschwankungen der erneuerbaren Energien darstellt, wird ein vollständiger Ausgleich über das Netz, abstrahiert von sozioökonomischen Problemstellungen, weder wirtschaftlich sinnvoll noch technisch möglich sein.

Durch den in der Vergangenheit bereits stark gestiegenen Stromverbrauch (wenn vom kurzfristigen Einbruch aufgrund der Wirtschaftskrise abgesehen wird) in vielen Bereichen der österreichischen Volkswirtschaft stoßen in einer beträchtlichen Anzahl an Stunden die Stromnetze in Spitzenzeiten auch in Österreich bereits jetzt an ihre Kapazitätsgrenzen. Dadurch steigt auch weiterhin die Gefahr großflächiger Stromausfälle mit signifikanten Folgen für Bevölkerung und Wirtschaft. Basis für eine qualitativ hochwertige Versorgungszuverlässigkeit mit elektrischer Energie sind zum einen adäquate Investitionen in Ausbau und Wartung des Stromnetzes und zum anderen langfristige Konzepte der Kompensation von großem Lastausgleich im Stromnetz. Diverse Studien (etwa von Brauner oder Reichl et al.) quantifizieren das Ausmaß von kaskadenartigen Auswirkungen sowie die

Kosten großflächiger Stromausfälle.⁶ Die Bedeutung der Einbindung von zusätzlichen Speichertechnologien wird hierbei immer augenscheinlicher.

In Zeiten hoher Leistung aus volatilen Erzeugungsanlagen wie aus Windkraftanlagen wird es daher erforderlich sein, Maßnahmen zur Stabilisierung des Netzes in Form von Implementierungen von Energiespeichersystemen zu ergreifen. Als Beispiel in Österreich wird hier die Situation im Burgenland beschrieben, wo die Stromeinspeisung aus regenerativen Quellen den Stromverbrauch zeitweise signifikant übersteigt, während es auch längere Zeitabschnitte gibt, in denen die Einspeisung nur etwa 20% des Verbrauchs abdeckt.

Hybridnetze und die damit verbundenen Kopplungstechnologien offerieren nun neue Möglichkeiten, die Angebotsspitzen und -überschüsse insbesondere des Stromnetzes in andere Energienetze zu verlagern und zu speichern und damit die **Ressourcen- und Primärenergieeffizienz** des Gesamtsystems zu erhöhen. Dies trifft neben dem Stromnetz auch auf das Gasnetz zu, in dem etwa Brennstoffzellen, Stirling-Motoren und andere Mikro-KWK-Technologien eingesetzt werden können, um die im Gasnetz vorhandene Energie in das Strom- und Wärmenetz auch in einem kleineren und dezentraleren Maßstab transferieren zu können.

Die netzübergreifende Optimierung dient somit der effizienten Nutzung der bestehenden Netz-Ressourcen:

- durch die verbesserte Nutzung der bestehenden Erzeugungskapazitäten,
- durch eine effizientere Bedienung der Nachfragepotentiale
- durch neue Möglichkeiten der Energieraumplanung
- Ressourcen- und Flächeneffizienz durch vermiedenen Netzausbau.⁷

Durch die sich ergebenden Möglichkeiten, d.h. durch Überwindung der Probleme einzelner Netze (z.B. Kapazitätsgrenzen) kann eine erhöhte Primärenergieeffizienz erreicht werden. Beispiele:

- Nutzung ansonsten abgeregelter Windenergie
- Dezentrale und bedarfsorientierte Bereitstellung elektrischer Energie
- Verbesserte Abwärmenutzung
- Vermeidung von Speicherverlusten.⁸

⁶ Vgl. Brauner G. Blackout – Ursachen und Kosten, energy 4/03, 2003 und Reichl, J., Kollmann, A., Tichler, R., Schneider, F. Umsorgte Versorgungssicherheit, Trauner Verlag, 2006.

⁷ Vgl. TU Wien ESEA, Energieinstitut an der JKU Linz (2013) Automatisierte Simulation und Analyse von smarten Hybridnetzen für Flexibilität und Energieeffizienz. Projekt-konzept.

⁸ Vgl. TU Wien ESEA, Energieinstitut an der JKU Linz (2013) Automatisierte Simulation und Analyse von smarten Hybridnetzen für Flexibilität und Energieeffizienz. Projekt-konzept.

4.2 Grundintention 2: neue Formen des Energietransports⁹

Neben der Speicherfunktion und der damit verbundenen Erhöhung der Primärenergieeffizienz bieten Hybridnetze auch neue Möglichkeiten im Energietransport. Eine alternative Lösung zum Ausbau von Leitungsnetzen stellen die Speicherung und der Transfer der Energie mit anschließendem Transport und auch optional die direkte Verwendung in und über alternative Energienetze dar. Beispiele hierfür sind der Transfer von Strom zum Gasnetz über Power-to-Gas-Anlagen (Wasserstoff und/oder synthetisches Methan im Gasnetz), der Transfer von Strom zum Wärmenetz mittels Power-to-Heat-Anwendungen (ohne Möglichkeit der effizienten Rückverstromung) oder der Transfer von Erdgas zum Strom- und Wärmenetz über KWK-Technologien oder Brennstoffzellen und Hybrid-Wärmepumpen. Eine bidirektionale Kopplung im Sinne eines Rücktransfers bietet vor allem die Power-to-Gas-Technologie, weshalb die folgenden Erläuterungen sich forciert darauf beziehen.

Mit **Power-to-Gas** etwa kann Überschussstrom gespeichert werden, indem die elektrische Energie in die Energieträger Wasserstoff oder Methan umgewandelt wird. Diese können anschließend in das Erdgasnetz eingespeist und - mit Ausnahme der Notwendigkeit eines vorhandenen Erdgasnetzes - ortsunabhängig genutzt werden. Power-to-Gas-Systeme können durch eine intelligente Standortentwicklung der Anlagen auch ein größeres soziodemografisches Problem des Energiemarktes reduzieren: die Realisierung von großen Hochspannungstrassen durch Mitteleuropa, die mit großen Widerständen in der Bevölkerung konfrontiert sind. Die immer stärker auftretenden Stromüberschüsse etwa aus Windkraft müssen entweder direkt zu den Nachfragern oder zu den konventionellen Stromspeichern wie Pumpspeichern transportiert werden. Dadurch sind in Zukunft enorme Investitionen in den Ausbau der europäischen Stromnetze zu erwarten. Dieser Ausbau der Stromnetze, etwa für den Transport von elektrischer Energie aus der Nordsee, aus Nordafrika oder aus den Speichergebieten in Skandinavien, wird mit signifikanten Eingriffen in die Topografie verbunden sein, wodurch ein bedeutendes soziodemografisches Problem auftreten wird: ein großer Widerstand in der Bevölkerung gegenüber neuen Stromleitungen. Die Akzeptanz der Bevölkerung gegenüber großen Infrastrukturprojekten, die signifikante Eingriffe in das Landschaftsbild verursachen, ist aktuell als nicht sehr hoch einzuschätzen. Diese großen Stromtrassen, die aufgrund des relativ hohen Zersiedlungsgrades in Mitteleuropa häufig mit mangelnder Akzeptanz bzw. Widerstand von Anrainern verbunden sein werden, können durch eine Verlagerung des Energietransports vom Stromnetz in das Gasnetz zu einem Teil ersetzt werden, sodass der Transport nicht ausschließlich über das Stromnetz erfolgen muss. Dadurch können soziale Spannungen aus alternativ notwendigen Strominfrastrukturprojekten reduziert werden, da das Gasnetz noch zusätzliche Kapazitäten ohne Ausbau aufnehmen kann.¹⁰

Diese partielle Verlagerung des Energietransportes vom Strom- zum Gasnetz und somit in Form eines Hybridnetzes würde den alternativ erforderlichen großflächigen Ausbau des Stromnetzes, der aufgrund der energiepolitischen Entwicklungen insbesondere der deutschen Energiewende notwendig wird, auf der Hochspannungsebene nicht mehr in der gleichen Intensität erforderlich machen. Durch die Umwandlung und Speicherung der Energie in Form von Wasserstoff oder Methan wird eine Energieform erzeugt, die eine hohe Energiedichte aufweist, sodass die erzeugte Energie in den bereits bestehenden Gasnetzen zu den

⁹ Vgl. dazu Tichler (2014), S. 239ff, in: Steinmüller, H., Tichler, R., Reiter, G. et. al (2014) Power-to-Gas – eine Systemanalyse. Markt- und Technologiescouting und -analyse. Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz, TU Wien, MU Leoben, JKU Linz.

¹⁰ Vgl. dazu auch Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz GmbH. Technologiekonzept Power to Gas. Broschüre, 2012.

Verbrauchszentren transportiert werden kann. Die Intensität des notwendigen aber problematischen Stromnetzausbaus in Mitteleuropa kann dadurch reduziert werden.

Mit neuen Kopplungstechnologien zwischen den Energienetzen kann die Gefährdung der Umsetzung des alternativ erforderlichen Ausbaus des Stromnetzes aufgrund des bereits jetzt vorhandenen großen Widerstands der Bevölkerung gegen große Stromleitungen und -trassen aufgrund des erheblichen Eingriffs in die Landschaft und die Siedlungsräume durch eine breite Anwendung der Power-to-Gas-Technologie reduziert werden. Die Verlagerung des Energietransports vom Strom- zum Gasnetz wird hier in zwei Dimensionen zusammengefasst:

1. Die weitaus höhere Energiedichte im Erdgasnetz und die Struktur des aktuellen Erdgasnetzes erfordern bei einer zusätzlichen Einspeisung von signifikanten Kapazitäten keinen großvolumigen Ausbau der Leitungsnetze, wodurch Infrastrukturinvestitionen reduziert werden können.
2. Auch ein Ausbau des Erdgasnetzes hätte in Relation zu einem Ausbau des Stromnetzes einen weitaus geringeren topografischen Eingriff zur Folge, wodurch die Akzeptanz der Bevölkerung erhöht sowie die Grundstückskosten gesenkt werden können. Somit erfordert die Errichtung von zusätzlichen potentiellen Gaspipelines weitaus geringere Eingriffe in das Landschaftsbild bzw. die Siedlungsstrukturen als es Stromtrassen mit der identen transportierten Energiemenge erfordern.

4.3 Fazit: übergeordnete Ziele eines Hybridnetzes

Grundsätzlich sind somit im Kontext der Entwicklung von Hybridnetzen folgende übergeordnete Ziele verbunden, die als Intention mit dem neuen System erreicht werden sollen:

- Erhöhung der Primärenergieeffizienz (inkl. Optimierung von Erzeugung und Verbrauch, Erhöhung des Lastverschiebungspotentials im Energiesystem)
- Speicherung fluktuierender Energie
- Neue Transportoptionen im Energiesystem
- Reduktion von Netzausbaukosten bzw. stranded investment (siehe nächstes Kapitel)

Die Implementierung von Hybridnetzen ist aus energiesystemischer Sicht sowohl aus der Perspektive der Versorgungssicherheit (verbessertes Lastmanagement, Möglichkeit zur energieträgerübergreifenden Speicherung von Energie in anderen Netzen) als auch aus ökonomischer Sicht (Erhöhung der Ressourceneffizienz, Reduktion der Intensität eines singulären Netzausbaus) für die Zukunft des österreichischen sowie des mitteleuropäischen Energiesystems von entscheidender Bedeutung.

Die Weiterentwicklung von Hybridnetzen wirkt somit langfristig durch die erhöhte Ressourceneffizienz kostensenkend auf die gesicherte und hochqualitative Bereitstellung von Energie, sodass auch die Sicherstellung der Versorgungssicherheit und -qualität einen zentralen Faktor von Hybridnetzen darstellt. Die Kostensenkung führt zu kompetitiveren Unternehmen und, zumindest hypothetisch, auch zu geringeren Energieendkunden-Gesamtpreisen (Netz- plus Energiekomponente).

Dadurch werden bedeutende Grundlagen für eine ressourcenoptimierte Versorgung von Haushalten und Unternehmen in Ballungsräumen geschaffen - die Nutzung vorhandener Ressourcen bzw. Energieströme ist Basis für eine zukünftige smarte Struktur der kommunalen Versorgung in städtischen Regionen. Dabei werden sowohl die Energieproduzenten als auch die Energieverbraucher in die Systemgrenze inkludiert. Neben den Haushalten und Gewerbebetrieben sollten hierbei insbesondere die großen industriellen Energieverbraucher betrachtet bzw. integriert werden.

5 Herausforderungen und Problemstellungen von Hybridnetzen

Die Weiterentwicklung bzw. Entwicklung ist aufgrund des Technologiestadiums der einzelnen neuen Umwandlungstechnologien noch mit betriebswirtschaftlichen Herausforderungen konfrontiert. Die technologische, ökonomische und rechtliche Weiterentwicklung auch im Sinne einer Realisierung von Lernkurven und von Skaleneffekten ist somit als essentiell für die zukünftige Umsetzung der Systemlösungen zu bezeichnen. Exemplarisch für Kopplungstechnologien sei hierbei etwa auf die FTI-Roadmap des bmvit (Tichler et al., 2014¹¹) oder auf Steinmüller, Tichler, Reiter et al. (2014) für das System Power-to-Gas zu verweisen. Generell ist zu konstatieren, dass die Umsetzung von Hybridnetzen mit signifikantem Forschungs- und Entwicklungsbedarf konfrontiert ist.

Zudem ist zu erwähnen, dass durch das Konzept und die Struktur von Hybridnetzen gemäß Fraunhofer (2013) eine Komplexitätsfalle entsteht. Es besteht die Gefahr, dass essentielle Entwicklungen aufgrund der herausfordernden und komplexen Themenstellung nicht angegangen werden. Das Hybridnetz mit seiner komplexen Struktur ist hierbei ein Paradebeispiel für eine potentielle Komplexitätsfalle, die es zu vermeiden gilt.

Die Weiterentwicklung von Hybridnetzen bedingt auch per se das Vorliegen von verschiedenen Energienetze, somit auch in einer Mehrzahl an Fällen die Existenz eines Wärmenetzes und eines Gasnetzes an einem bestimmten Standort, vorwiegend in verdichteten Ballungsräumen. Es ist eine bedeutende Herausforderung und eine essentielle Notwendigkeit im Kontext von Hybridnetzen, Parallelnetze und somit redundante Infrastrukturen zu vermeiden. Es gilt in der Entwicklung von Hybridnetzen die Stärken der beiden bzw. der verschiedenen Netze zu kombinieren und einfache Parallelnetze mit neuen Leitungsnetzerrichtungen zu vermeiden. Diese Herausforderung ist somit eine fundamentale Notwendigkeit in der intelligenten Entwicklung von Hybridnetzen. Ein Vorteil von Hybridnetzen liegt auch darin, dass dadurch im Sinne einer intelligenten Energieraumplanung stranded Investment in Infrastruktur vermieden.

¹¹ Siehe Tichler, Steinmüller, Reiter et al. (2014) „Power-to-Gas – eine Systemanalyse. Internationales Technologie- und Marktscouting und -analyse“, Energieinstitut an der JKU Linz, TU Wien, MU Leoben, JKU Linz.