

SYMBIOSE-4-IUG - VERSCHRÄNKUNG DER ENERGIEKETZE BEI INDUSTRIE- UND GEWERBEKUNDEN

Christoph Maier, Sabina Nemec-Begluk, Markus Heimberger, Wolfgang Gawlik

Technische Universität Wien, ESEA, Gußhausstraße 25/370-1, Tel: +43 (1) 58801 370142,
Fax: +43 (1) 58801 370199, christoph.maier@tuwien.ac.at, Web: www.ea.tuwien.ac.at

Kurzfassung: Der weitere Ausbau regenerativer Erzeuger ist unumgänglich für die Erreichung der „2020 Ziele“ in Österreich [1]. Auf eine massive Erhöhung der erneuerbaren Einspeisung (insbesondere Windkraft und Photovoltaik) ist das bestehende Stromnetz jedoch aufgrund deren volatiler und nur bedingt steuerbarer Einspeisecharakteristik nicht vorbereitet. Die Möglichkeit, bestehende Energieinfrastrukturen energieträger-übergreifend zu koppeln und dadurch Speicher- und Lastverschiebungspotenziale zu erzielen, kann hierbei Abhilfe schaffen.

Im Forschungsprojekt „Symbiose für Industrie und Gewerbe“ (Symbiose-4-IUG) wird daher die Rolle systemübergreifender, dezentraler Speicher- und Umwandlungstechnologien für vollständig regenerativ ausgebaute Modellregionen im Verteilnetz (Mittel- und Niederspannungsnetz) untersucht. Neben optimalem Einsatz und Verortung der Energiespeicher und Umwandlungstechnologien sollen die Möglichkeiten zur Kopplung der bestehenden Energieinfrastrukturen auf Verbraucherseite aufgezeigt werden. Dabei sollen insbesondere die Potenziale zur Verschränkung der Energienetze bei Industrie- und Gewerbekunden erhoben und deren Einsatz als Hybridspeicher untersucht werden.

Keywords: Hybridnetze, Industrie, Energiespeicher

1 Einleitung

Das Rückgrat der Energieversorgung bilden die Versorgungsnetze für Strom, Gas und Wärme, welche meist hierarchisch organisiert sind (Übertragungsnetze, Verteilnetze, etc.). Diese Netze sind derzeit nur teilweise gekoppelt (Verstromung von Erdgas, Kraft-Wärme-Kopplung in thermischen Anlagen, etc.)

Um den Bedarf an elektrischer Energie zu decken, werden in Österreich große, zentral angeordnete hydraulische und thermische Einheiten (hydro-thermischer Verbund) betrieben, welche in den oberen Netzebenen eingebunden sind. Zur Erhaltung der Stabilität und der Gewährleistung der ständigen Balance von Erzeugung und Verbrauch werden zentrale (Pump-)Speicherkraftwerke und schnell regelbare thermische Einheiten (z.B. Gasturbinen) eingesetzt.

Neben diesen klassischen Erzeugungstechnologien werden immer mehr neue erneuerbare, dezentrale Technologien (Windkraft, Photovoltaik, Biomasse, etc.) in das elektrische Netz (Mittel- und Niederspannungsnetz) integriert. Neben vielen Vorzügen (keine Emissionen, unerschöpfliche Primärenergieträger, etc.) zeichnen sich diese Technologien (v.a. Windkraft und Photovoltaik) jedoch durch eine hohe Volatilität der Erzeugung und geringe Volllaststunden aus. Um vergleichbare Energiemengen wie mit konventionellen

Umwandlungstechnologien bereitstellen zu können, sind hohe installierte Leistungen notwendig, welche die vorhandenen Stromnetze an ihre Leistungsgrenze bringen und damit die Versorgungssicherheit gefährden. Darüber hinaus sind größere Mengen an Regel- und Ausgleichsenergie notwendig, um die bedingt prognostizierbaren Erzeugungsänderungen ausgleichen zu können. Zudem stellt die langfristige Speicherung noch ein wesentliches Hindernis auf dem Weg zu einer überwiegend regenerativen Energieversorgung dar.

Um den Bedarf an thermischer Energie zu decken, wird auf unterschiedliche Ansätze gesetzt. Neben Nah- und Fernwärmenetzen in dicht besiedelten Gebieten werden auch oft dezentrale Heizungen in den Haushalten und Industrien eingesetzt, welche mit unterschiedlichen Energieträgern (Öl, Gas, Biomasse, etc.) befeuert werden. Bei dezentralen Anlagen erfolgt die Bereitstellung der Primärenergie entweder leitungsgebunden (z.B. Gasnetze) oder durch Speicher (Öl, Pellets, etc.), welche auf alternativem Wege (z.B. LKW) angeliefert werden müssen.

In Städten sind häufig parallele Energieinfrastrukturen vorhanden (Strom/Gas, Strom/Fernwärme). Deshalb bietet es sich für urbane und suburbane Strukturen besonders an, die Kopplung von Energiesystemen auf dezentraler Ebene zu untersuchen. Die hierbei betrachteten Infrastrukturen wurden bisher unidirektional betrieben, d.h. ausgehend von einer zentralen Erzeugung bzw. Einspeisung wurde der Energieträger zum Kunden leitungsgebunden transportiert. Durch die Integration dezentraler Erzeugungseinheiten für Strom und die angestrebte Kopplung der Netze ist eine Richtungsumkehr des Energietransportes denkbar. Oft kommt es gerade in Zeiten der Energielastumkehr aufgrund der hohen Gleichzeitigkeit der Anlagen (alle PV-Anlagen in einem Gebiet produzieren gleichzeitig ihre Energie) zu großen Beanspruchungen der Stromnetze.

Um die dargelegten Probleme im Zusammenhang mit erneuerbaren, dezentralen Erzeugungstechnologien zu lösen, erscheinen dezentrale Energiespeicher und Kopplungen der Infrastrukturen als ein probates Mittel. Damit können die bedarfsgerechte Aufbringung und der Ausgleich von Schwankungen in der Erzeugung lokal bewältigt werden, ohne großflächige Adaptierungen der Netze durchführen zu müssen.

Speziell im Bereich der Speichertechnologien gibt es derzeit weltweit massive Bemühungen, um die Leistungsfähigkeit (Energie- und Leistungsdichte, Ladeleistungen, ...) solcher Systeme erhöhen. Im Bereich der elektrochemischen Speicherung sind Blei-Akkumulatoren seit Jahrzehnten erprobt. Große Chancen werden Lithium-Akkumulatoren eingeräumt, welche derzeit intensiv erforscht und weiterentwickelt werden (Zsfg. z.B. [2]). Die Entnahme von überschüssiger elektrischer Energie zur Erzeugung von Wasserstoff (Elektrolyse) und die bedarfsgerechte Rückverstromung in Brennstoffzellen sind in kommerziell erhältlichen Lösungen bereits realisiert. Die größten Probleme liegen hier im Bereich der effizienten Wasserstoffspeicherung und dem niedrigen Systemwirkungsgrad.

Um durch die Kopplung von bestehenden Infrastrukturen neue Speicher für nicht bedarfsgerecht erzeugte elektrische Energie aufzuzeigen, laufen derzeit Forschungsarbeiten und Tests an Prototypen, wie etwa im Bereich der Methanisierung [2, 3]. Hierbei wird Wasserstoff (H_2) und Kohlenmonooxid (CO) zur Reaktion gebracht und Methan (CH_4) und Wasser (H_2O) erzeugt. Die Idee „Power-2-Gas“, also die Umwandlung von Strom in Gas ist deshalb sinnvoll, weil im Gasnetz bereits heute sehr große Speicherkapazitäten erschlossen sind (z.B. Österreich: Größenordnung des jährlichen Stromverbrauchs), welche jene von

Pumpspeichern um Größenordnungen übertreffen. Speziell in Städten, in denen oft ein ausgedehntes Gasnetz vorliegt, kann das Netz selbst bereits als Speicher genutzt werden. Hierzu können die Druckbereiche, in denen das System betrieben werden darf, variiert werden.

Neben der Speicherung von elektrischer Energie stellt die Wärmespeicherung einen zweiten zentralen Baustein für die Energiesysteme der Zukunft dar. Thermische Energiespeicher, bei denen die Prozessgröße Wärme entweder fühlbar (durch die Temperaturerhöhung des Speichermediums) oder latent durch Phasenwechsel gespeichert oder freigesetzt wird, wurden in den letzten Jahrzehnten bereits intensiv analysiert (Zsfg. z.B. [2]). Die charakteristischen Probleme dabei sind Leistungslimits, die sich aus den Stoffeigenschaften (spez. Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit von Speichermaterial und Hülle) ergeben, sowie je nach Speichermedium die volumetrische Energiedichte, die abhängig vom Stoff und je nachdem, ob die Isolation in die Berechnung einbezogen wird, unterschiedliche Werte annehmen kann. Es stehen in jedem Energiesystem auch weitere unkonventionelle Speichermöglichkeiten bereit, die zukünftig genutzt werden könnten (thermochemische Speicher mit Phasenmedien die noch nicht detailliert erforscht sind; Pumpspeicher in Schotterwerken, usw.).

Zur dezentralen Strom- und Wärmebereitstellung sind heutzutage Mikro-Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (Mikro-KWK) auf dem Markt erhältlich. Durch die Kopplung der parallelen Infrastrukturen, welche oft auch bei Industrie oder Gewerbebetrieben eingesetzt wird, kommt auch dieser Umwandlungstechnologie ein besonderer Stellenwert im Projekt zu. Hinsichtlich der Umwandlungstechnologien gibt es, bedingt durch den eingesetzten Primärenergieträger, verschiedene Technologien: klassische Verbrennungsmotoren (Erdgas, Flüssiggas, Heiz- und Pflanzenöl), Stirlingmotoren (feste, flüssige bzw. gasförmige Brennstoffe), Brennstoffzellen (Wasserstoff, Erdgas), etc. Durch die kombinierte Nutzung von Strom und Wärme können sehr hohe Systemwirkungsgrade erreicht werden.

2 Aufgabenstellung

Im Forschungsprojekt „Symbiose“ [4] wurde der Einsatz systemübergreifender dezentraler Speicher- und Umwandlungstechnologien für vollständig regenerativ ausgebaute Modellregionen (Stadt, Land) im Verteilnetz (Mittel- und Niederspannungsnetz) untersucht. Die Motivation für das Projekt „Symbiose“ war es, zu ermitteln wie der optimierte Einsatz dezentraler Speicher- und Umwandlungstechnologien die Einhaltung der Betriebsgrenzen im Stromnetz wie z.B. Vermeidung einer Überlastung der Betriebsmittel oder Nichteinhaltung des zulässigen Spannungsbandes, gewährleisten kann. Zudem wurde untersucht, wie die Anwendung der dezentralen Speicher- und Umwandlungstechnologien unterschiedlichen Stakeholdern in der Modellregion (Netzbetreiber-technische Sicht, Haushalt-ökonomische Sicht, Gemeinde-ökonomische Sicht und bezugsminimale Gemeinde-CO₂ optimale Sicht) dienen kann. Das Projekt zeigte, dass mit sinnvollem Speichereinsatz ein hoher Grad an erneuerbaren Erzeugern in das elektrische Netz integriert werden kann. Besonders durch die Kopplung bestehender Energieinfrastrukturen auf Verbraucherseite konnte eine deutliche Reduktion des Gesamtenergiebezugs aus übergeordneten Netzebenen erreicht werden. Die Verbrauchergruppen im Projekt „Symbiose“ berücksichtigten das Verbraucherverhalten von

Haushaltskunden und der Landwirtschaft. Industrie- und Gewerbekunden wurden in beiden Modellregionen des Projekts jedoch nicht betrachtet.

Industrie- und Gewerbekunden stellen einen besonderen Kopplungspunkt der Energienetze im Verteilnetz dar, der eine Vielzahl von Umwandlungspfaden beinhalten kann. Die Koppelpunkte, die bei Industriekunden vorhanden sein können, werden in Abbildung 1 dargestellt und beschreiben die möglichen Bezüge bzw. Einspeisungen der vier unterschiedlichen Energieträger Strom, Wasserstoff, Erdgas und Wärme. Über die Energieknoten kann die Energie in die zugehörigen Energienetze eingespeist, dort direkt verbraucht oder gespeichert werden. Der Industriekunde stellt somit einen möglichen Koppelknoten für alle Energienetze dar.

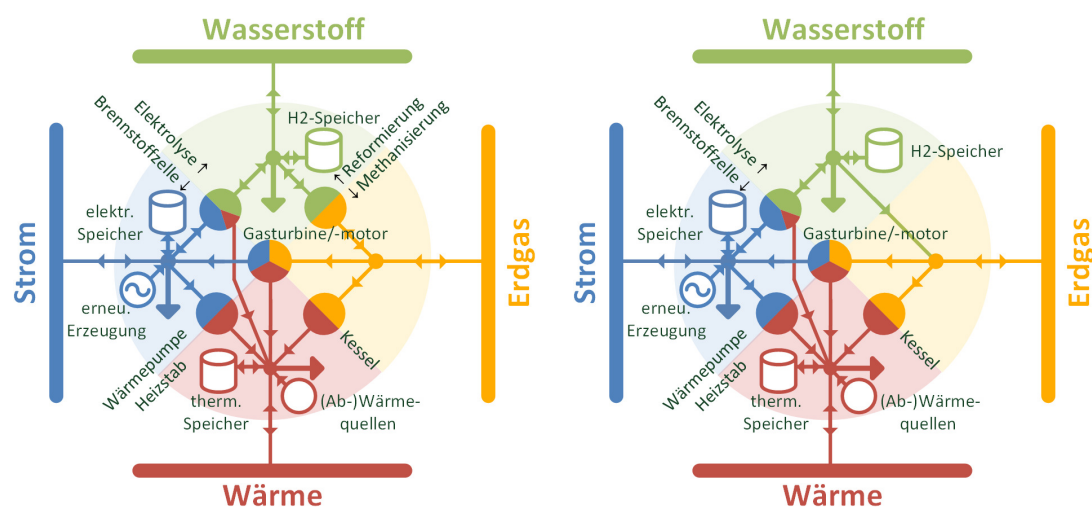


Abbildung 1: Mögliche Koppelungen der Energienetze bei Industrie- und Gewerbekunden (mit und ohne bidirektionale Verbindung zwischen Erdgas und Wasserstoff)

Darüber hinaus weisen Industrie- und Gewerbekunden ein spezifisches Verbrauchsverhalten auf, das sich wesentlich von der Haushaltskundencharakteristik und dementsprechend in der bezogenen Leistung und der genutzten Energiemenge unterscheidet. Nachdem das Verbrauchsverhalten von Industrie- und Gewerbekunden meist nicht explizit saisonabhängig ist, könnte der regenerativ erzeugte Überschussstrom zeitgleich in thermische Energie umgewandelt bzw. gepuffert werden. Damit könnten zusätzliche Verschränkungen von unterschiedlichen Energieträgern in der städtischen Modellregion erschlossen werden. Zudem haben Industrie- und Gewerbekunden deutlich größere Lastverschiebungsmöglichkeiten zwischen den bezogenen Energieträgern Strom, Wärme und Gas. Zusätzliche Flexibilitätspotentiale zwischen unterschiedlichen Energieformen könnten auf diese Weise im Energiesystem erschlossen werden.

Das Forschungsvorhaben „Symbiose-4-luG“ wird daher Möglichkeiten und Potenziale von Industrie- und Gewerbekunden zur Kopplung von Energienetzen und zur Speicherung von erneuerbarer Energie aufzeigen. Durch das Einbeziehen des Stakeholders „Industrie- und Gewerbekunden“ sollen neue Aussagen bezüglich dem Energiebezug, Einsatz der Speicher und Umwandlungstechnologien und CO₂-Emissionen getroffen werden und folgende Fragestellungen beantwortet werden:

- Wie groß ist der notwendige Speicherbedarf für eine vollständig regenerativ ausgebaute städtische Modellregion unter Berücksichtigung von unterschiedlichem Nutzen der Stakeholder?
- Wie groß ist der notwendige Umwandlungstechnologiebedarf für eine vollständig regenerativ ausgebaute städtische Modellregion unter Berücksichtigung von unterschiedlichem Nutzen der Stakeholder?
- Wie ist bezüglich der ersten zwei Punkte die optimale Betriebsweise der Speicher und Umwandlungstechnologien?
- Wo sollen die Speicher und Umwandlungstechnologien (Kopplungspunkte der vorhandenen Netze) platziert werden?
- Wie groß sind die Verschiebemöglichkeiten zwischen den bezogenen Energieträgern Strom, Wärme und Gas?
- Welchen Effekt hat das Einbinden von Industrie- und Gewerbekunden mit ihren eigenen installierten Speichertechnologien und Verwendung von Umwandlungstechnologien für die Modellregion Stadt?
- In wie weit ist eine Übertragung der Optimierungsergebnisse für die Modellstadt auf andere Städte in Österreich möglich und in wie fern ist eine Übertragung dieser Ergebnisse sinnvoll?

3 Methodische Vorgangsweise

Um die Rolle von Industrie- und Gewerbebetrieben in einem zukünftigen hybriden Energiesystem zu bestimmen, wird ein lineares Optimierungsmodell mit der Software GAMS entwickelt. Die Aufgabe der Optimierung ist die optimale Positionierung, Dimensionierung und Bewirtschaftung dezentraler Energiespeicher und Kopplungspunkte (u.a. Industriekunden) im Verteilnetzgebiet bei minimalen Kosten und unter Einhaltung der Systemnebenbedingungen der Energienetze. Für einen Zeithorizont der Optimierung wird ein Jahr angedacht, um saisonale Effekte zu berücksichtigen. Die Topologie des Modells ist in der Abbildung 2 dargestellt.

Die Zielfunktion des Optimierungsmodells ist die Minimierung der Gesamtsystemkosten, welche sich aus unterschiedlichen Kostenparametern zusammensetzen. Neben Kostenfaktoren für die Einhaltung von Strom- und Spannungsgrenzen im elektrischen Netz und für die Sicherstellung eines verlustarmen Betriebs der Energienetze sollen auch Kosten inkludiert werden, die wirtschaftliche Anreize für die Integration dezentraler Speicher- und Umwandlungstechnologien aus unterschiedlichen Gesichtspunkten berücksichtigen (Installationskosten der Speicher und Umwandlungstechnologien, Erlöse/Kosten durch den Energiebezug).

Die Interaktion zwischen den Modellelementen (Erzeuger, Verbraucher, Netze und Speicher und Umwandlungstechnologien) im Energiesystem und alle relevanten Netzgrenzwerte werden als Nebenbedingungen in der Optimierung abgebildet.

Die Optimierung des Energiesystems und die Beantwortung der Fragestellungen werden mit angepassten Netzinfrastrukturen der städtischen Modellregion aus dem Vorprojekt „Symbiose“ [4] untersucht. Die notwendigen Ausbaumaßnahmen für das elektrische Netz zur Anbindung der Industrie- und Gewerbekunden werden mit Netzsimulationssoftware

Nutzung vorhandener Modellbibliotheken aus Vorprojekten. Unter Verwendung von historischen Daten wird eine Validierung der Modelle durchgeführt.

Schließlich sollen durch eine Analyse hinsichtlich energetischer und demographischer Gesichtspunkte der österreichischen Städte Faktoren für eine Skalierung der Ergebnisse extrahiert werden. Darauf aufbauend werden die Optimierungsergebnisse auf weitere Städte hochskaliert und die Übertragung der Optimierungsergebnisse überprüft.

4 Ziele und erwartete Ergebnisse

Da sich das Projekt „Symbiose-4-IuG“ erst in der Startphase befindet, werden nachfolgend die angestrebten Ziele und zu erwartenden Ergebnisse angeführt.

Nutzen unterschiedlicher Stakeholder in der Stadt:

Ziel ist es den Nutzen von optimal dimensionierten und angeordneten Speicher- und Umwandlungstechnologien für unterschiedliche Stakeholder (Netzbetreiber, Modellregion, Haushaltskunde und Industriekunde/Gewerbe) in der städtischen Modellregion zu bestimmen. Als erstes Ergebnis sollen Position, installierte Leistung und Kapazität der Speicher- und Umwandlungstechnologie für jeden Stakeholder in der Modellstadt bestimmt werden. Darauf aufbauend soll der gemeinsame Nutzen aller Stakeholder ermittelt werden. Zusätzlich soll das CO₂ – Reduktionspotenzial für alle Stakeholder berechnet werden.

Der Stakeholder Industrie-/ Gewerbekunde:

Es soll gezeigt werden, welche Rolle der Stakeholder Gewerbe, Industrie durch die Integration der eigenen regenerativen Erzeugungstechnologien, Speicher und Umwandlungstechnologien, Berücksichtigung der Verschiebungsmöglichkeiten zwischen den Energieträgern Strom, Wärme und Gas für die Erhöhung der Nachhaltigkeit in der Stadt haben kann.

Als Ergebnis sollen die Speicher- und Verschiebungspotentiale bei Gewerbe- und Industriekunden bestimmt werden. Darauf aufbauend sollen Empfehlungen zu Betriebsführung und Speicherdimensionierung bei diesem Stakeholder bestimmt werden.

Kopplung von Energienetzen:

Die Fragestellung hier ist, wie sich die Integration und der koordinierte Betrieb von dezentralen Speichern und Koppeltechnologien auf den Betrieb der unterschiedlichen Netze und somit auf die Auslastung der einzelnen Betriebsmittel auswirken. Als Ergebnisse sollen die ermittelten, geänderten Betriebsweisen dargestellt und Maßnahmen zur weiterhin sicheren Betriebsführung erstellt werden.

Übertragung der Fragestellung auf weitere Städte:

Ziel ist es, das untersuchte Energiesystem auf weitere Städte in Österreich zu übertragen und damit aufzuzeigen, welche Rolle Städte der Zukunft hinsichtlich dezentraler Speicher und Umwandlungstechnologien für Österreich haben könnten. Als Ergebnis werden die Faktoren

für die Übertragbarkeit der Optimierungsergebnisse ermittelt und Aussagen über Minderungspotenziale bei Importabhängigkeiten der fossilen Energieträger und CO₂-Reduktionspotenziale für Städte in Österreich berechnet.

5 References

- [1] BMWFJ, "Nationaler Aktionsplan 2010 für erneuerbare Energie für Österreich (NREAP-AT)," 2010.
- [2] M. Sterner, et al, *Energiespeicher - Bedarf, Technologien, Integration*. Berlin: Springer Vieweg, 2014.
- [3] M. Specht, et al, "Speicherung von Bioenergie und erneuerbarem Strom im Erdgasnetz," *Jahrestagung des Forschungsverbunds Erneuerbare Energien in Kooperation mit der Agentur für Erneuerbare Energien, Umweltforum Berlin, 24.-25. November 2009*, p. Tagungsband S. 69-78, 2009.
- [4] M. Sterner, "Bioenergy and renewable power methane in integrated 100% renewable energy systems," Universität Kassel, 2009.
- [5] TU Wien - ESEA, "Symbiose - Endbericht," 2014.

Das Projekt „Symbiose-4-IuG“ wird aus den Mitteln des BMVIT gefördert und im Rahmen des Programms „Stadt der Zukunft“ durchgeführt. Stadt der Zukunft ist ein Forschungs- und Technologieprogramm des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie. Es wird im Auftrag des BMVIT von der Österreichischen

Forschungsförderungsgesellschaft gemeinsam mit der Austria Wirtschaftsservice Gesellschaft mbH und der Österreichischen Gesellschaft für Umwelt und Technik ÖGUT abgewickelt.

