

# Energy Hubs als Lösung für die Zukunft

**Wie sollen die Energieversorgungsinfrastrukturen in 30 bis 50 Jahren aussehen, um den vielfältigen Anforderungen gerecht zu werden? Das an der ETH Zürich initiierte Projekt «Vision of Future Energy Networks» versucht, Antworten auf diese Frage zu finden.**

VON FLORIAN KIENZLE, MATTHIAS SCHULZE, MICHÈLE ARNOLD UND PATRICK FAVRE-PERROD

Der Grossteil der heutigen Energieinfrastrukturen ist in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts entstanden, und es ist fraglich, ob sie den Anforderungen der Zukunft genügen. Schon heute stossen Übertragungsnetze an die Grenzen ihrer Kapazität, und viele Kraftwerke nähern sich dem Ende ihrer Betriebszeit. Der Klimawandel und seine erwarteten Folgen verleihen den Forderungen nach einer nachhaltigeren und effizienteren Energiebereitstellung mehr Nachdruck. Gleichzeitig stellen die weltweit kontinuierlich steigende Nachfrage nach Energie, die anhaltende Abhängigkeit von endlichen fossilen Energieressourcen und die Umstrukturierung vieler Energieindustrien weitere grosse Herausforderungen dar.

## Projektidee

Das Projekt «Vision of Future Energy Networks» an der ETH Zürich hat sich zum Ziel gesetzt, langfristig orientierte Lösungen für Energieinfrastrukturen zu finden, die diesen

### Florian Kienzle

Dipl.-Ing., Doktorand am Institut für Elektrische Energieübertragung und Hochspannungstechnik der ETH Zürich.

### Matthias Schulze

Dipl.-Ing., Doktorand am Institut für Elektrische Energieübertragung und Hochspannungstechnik der ETH Zürich.

### Michèle Arnold

Dipl. El.-Ing. ETH, Doktorandin am Institut für Elektrische Energieübertragung und Hochspannungstechnik der ETH Zürich.

### Patrick Favre-Perrod

Dipl. El.-Ing. ETH, Doktorand am Institut für Elektrische Energieübertragung und Hochspannungstechnik der ETH Zürich.

Herausforderungen gewachsen sind. Zwei Hauptunterschiede kennzeichnen dieses Projekt im Vergleich zu anderen Projekten ähnlicher Art. Zum einen stellt die Betrachtung von hybriden Energiesystemen, die neben elektrischer Energie noch andere Energieträger nutzen, ein Schlüsselkonzept dar. Zum anderen liegt der Fokus nicht auf einer stückweisen Veränderung bestehender Netze. Stattdessen werden vorhandene Netzinfrastrukturen ignoriert und mit Hilfe eines Grüne-Wiese-Ansatzes neue Topologien unabhängig vom heutigen System entwickelt. Die Vorgehensweise ist in zwei Phasen gegliedert. In der ersten Phase wird für verschiedene Kriterien (z.B. Energiepreise, Emissionen und Ausfallhäufigkeit) mit Hilfe des Grüne-Wiese-Ansatzes eine optimale Energieversorgungsstruktur entwickelt. Diese wird anschliessend in der zweiten Projektphase mit den heutigen Strukturen verglichen, um Strategien zu entwickeln, wie mit schrittweisen Veränderungen und Weiterentwicklungen des bestehenden Systems eine Brücke zum optimierten zukünftigen System geschlagen werden kann. Abbildung 1 veranschaulicht diesen Prozess. Dieser Ansatz ermöglicht es, auch unkonventionelle Lösungen mit einzubeziehen und wirklich optimale Systeme zu entwerfen, die eventuell versteckt blieben, würde man heutige systemgegebene Einschränkungen berücksichtigen. Die einzigen Rahmenbedingungen, die vom bestehenden System übernommen werden, sind absehbare Energieverbrauchsstrukturen.

Die Betrachtung von hybriden Energiesystemen, die mehrere Energieträger nutzen, ist wie erwähnt das zweite Hauptmerkmal dieses Projektes. Heutzutage werden verschiedene Infrastrukturen wie Elektrizitäts-, Gas- oder Fernwärmenetze praktisch unabhängig voneinander betrieben.

Eine Kopplung und ein integrierter Betrieb dieser Systeme können sich in mehrerer Hinsicht positiv auswirken. Man kann sich spezifische Charakteristika der Energieträger zunutze machen und von auftretenden Synergieeffekten profitieren. Elektrische Energie lässt sich beispielsweise über grosse Distanzen mit verhältnismässig geringen Verlusten übertragen. Chemische Energieträger wie Erdgas können mit Hilfe relativ einfacher und kostengünstiger Technologien gespeichert werden. Eine Kopplung von Infrastrukturen bedeutet, Leistungsaustausch zwischen diesen zu ermöglichen. Diese Kopplungen werden durch Energiewandlereinrichtungen realisiert, zum Beispiel durch eine Mikroturbine, die chemische Energie in Form von Erdgas in Elektrizität und Wärme umwandelt.

## Das Konzept «Energy Hub»

Im Rahmen des Projekts «Vision of Future Energy Networks» wurde ein generelles Modell einer solchen Energiewandlereinrichtung entwickelt – der so genannte «Energy Hub». Ein Energy Hub ist eine Einheit, die Energie umwandeln, anpassen und speichern kann. Er fungiert als Schnittstelle zwischen verschiedenen Energieinfrastrukturen und/oder Lasten. Dabei ist das Konzept flexibel für jegliche Art von Technologie und Netzstruktur anwendbar. Ein Energy Hub bezieht Energie an seinen Eingängen, z.B. über Verbindungen zum Strom- und Gasnetz, und stellt an den Ausgängen bestimmte Energiedienstleistungen wie elektrische Energie, Heizwärme oder komprimierte Luft zur Verfügung. Die Umwandlung von Energie innerhalb eines Energy Hubs kann beispielsweise mit WKK-Anlagen, Wärmepumpen, Fotovoltaik-Anlagen, Transformatoren und Verdichtern erfolgen. Vom Flughafen über die industrielle Fabrikanlage bis hin zur

Solarzelle kann letztlich alles als Energy Hub beschrieben werden.

### Beispiel Wohnanlage

Um das Konzept des Energy Hub deutlicher zu veranschaulichen, betrachten wir das Beispiel einer grossen Wohnanlage. Abbildung 2 zeigt die Energieversorgung dieses Wohnkomplexes (Abb. 2a) und deren Darstellung als Energy Hub (Abb. 2b). Das Gebäude bezieht Energie aus dem Strom-, Gas- sowie dem Fernwärmenetz. Mit Hilfe einer im Gebäude installierten Mikroturbine wird Erdgas in Elektrizität und Wärme umgewandelt. Eine Biomasseheizung bezieht über eine Förderschnecke Holzpellets von einem Pelletslager und erzeugt ebenfalls Wärme. Sowohl die im Gebäude selbst produzierte als auch die vom Fernwärmenetz bezogene Wärme kann entweder direkt an den Heizkreislauf oder an einen Wärmespeicher abgegeben werden. Ausserdem bezieht eine Absorptionskältemaschine Wärme und erzeugt daraus Kälteleistung zur Raumklimatisierung. Generell besteht neben dem Energiebezug aus einem Netz auch die Möglichkeit, Energie in ein Netz einzuspeisen. So kann beispielsweise immer dann, wenn dies lukrativ ist, der mit Hilfe der Mikroturbine erzeugte Strom ins elektrische Netz eingespeist werden. Auf diese Weise wird der Energy Hub vom passiven zum aktiven Netzteilnehmer.

In Abbildung 2b wird deutlich, dass innerhalb des Hubs zwischen Ein- und Ausgängen redundante Verbindungen auftreten. So kann zum Beispiel die elektrische Last entweder direkt vom elektrischen Netz oder über die Mikroturbine indirekt vom Gasnetz versorgt werden. Diese Redundanz bietet zwei wesentliche Vorteile. Zum einen erhöht sich die Versorgungssicherheit, da die Last nicht mehr nur von einem einzigen Netz abhängig ist. Wahlweise könnte auch – beispielsweise durch geringere Wartung – die Zuverlässigkeit der einzelnen Komponenten verringert werden, ohne dass die Gesamtverfügbarkeit für die Last darunter leidet. Zum anderen kann dank der Freiheit, elektrische Energie auf mehreren Wegen beziehen zu können, die Versorgung der Last optimiert werden. Die Energieträger am Eingang des Hubs können basierend auf Kosten, Emissionen, Verfügbarkeit oder weiteren Kriterien beschrieben werden. Mit Hilfe dieser Kriterien können dann die Eingänge optimal gesteuert werden. Durch die Verwendung von Energiespeichern (Wärmespeicher, Batterien usw.) kann der Betrieb eines Energy Hubs weiter verbessert werden. Besonders wenn

Energie aus stochastisch fluktuierenden erneuerbaren Energiequellen wie Wind und Sonne gewonnen wird, sind Energiespeicher wichtige Elemente, die es ermöglichen, Energieflüsse zu puffern und zu steuern. Vor allem in einem liberalisierten Markt bieten Speicher weitere Möglichkeiten, einen Energy Hub so zu betreiben, dass die Last möglichst kostengünstig mit Energie versorgt wird.

### Eine Fallstudie

Die Ideen und die Herangehensweise des Projektes «Vision of Future Energy Networks» werden seit Kurzem in einer Fallstudie für die Regionalwerke Baden weiterentwickelt und validiert. Ziel der Studie ist es, eine Aussage über die zukünftige Entwicklung und den Ausbau der Netzinfrastruktur in der Region Baden treffen zu können. Dazu wird in einem ersten Schritt die heutige Ausgangslage bezüglich der Primärenergieversorgung mit verschiedenen Szenarien für das Jahr 2050 verglichen. Die Betrachtung der Primärenergieträger statt nur der elektrischen Energie bildet dabei die Basis für die Analyse von stärker interagierenden Netzinfrastrukturen. Durch einen Vergleich der Ergebnisse der Primärenergieanalyse können anschliessend notwendige Schritte hinsichtlich des Netzausbaus, Auswirkungen der zunehmenden Verbreitung des Minergie-Standards auf die Fernwärmeversorgung und Antworten auf andere relevante Aspekte abgeleitet werden. Einer dieser Aspekte, die die Fallstudie mit einbezieht, ist die Mobilität, d.h. die Betrachtung von Verkehrsteilnehmern als Netzteilnehmer. Es soll dabei untersucht werden, wie neuartige Antriebskonzepte (Brennstoffzelle, Erdgas usw.) die Primärenergieversorgung beeinflussen und wie ein System aussieht, das die Bedürfnisse der Stromnetz- und der Verkehrsteilnehmer am besten befriedigt. Unter diesem Aspekt werden auch mögliche zukünftige Energieträger wie Wasserstoff betrachtet. Die Anwendung des Energy-Hub-Ansatzes auf die Region Baden soll des Weiteren die Möglichkeiten zur Nutzung von Synergieeffekten in einem hybriden System mit mehreren Energieträgern aufzeigen. Das daraus resultierende Einsparungs- und Optimierungspotenzial und der mögliche Beitrag zu einer nachhaltigen Versorgung der Region Baden mit Energie sollen bestimmt werden.

### Fazit

Die spezifischen Charakteristika des Forschungsprojektes «Vision of Future Energy Networks» im Vergleich

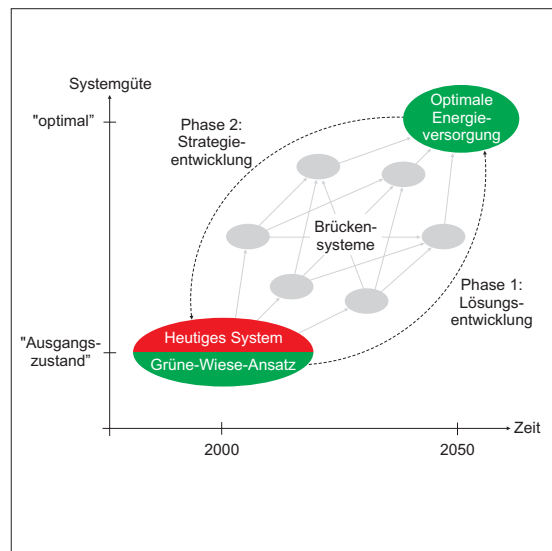


Abbildung 1: Vorgehensweise und Phasen des Projektes «Vision of Future Energy Networks».

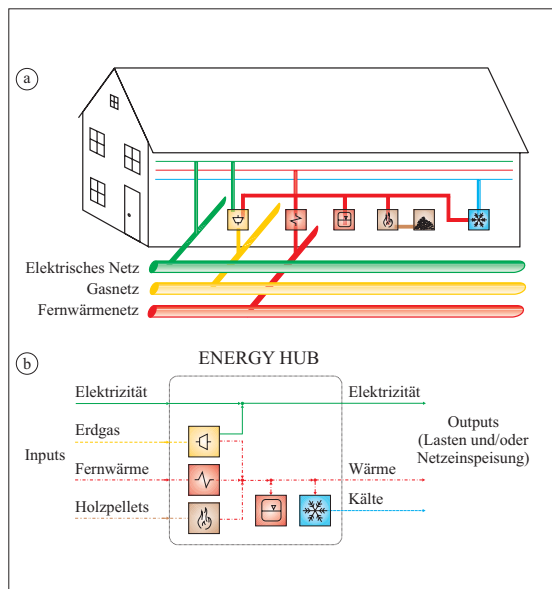


Abbildung 2: Energieversorgung einer Wohnanlage mit Darstellung als Energy Hub.

zu anderen Projekten sind der Grüne-Wiese-Ansatz, die Einbeziehung von mehreren Energieträgern und der betrachtete Zeitraum von 30 bis 50 Jahren. Diese Merkmale ermöglichen es, Energiesysteme wirklich von Grund auf langfristig und ganzheitlich zu planen. Das Schlüsselkonzept des Projektes, der Energy Hub, ermöglicht die Analyse von Infrastrukturen, die mehrere Energieträger nutzen. Mit Hilfe dieses flexibel anwendbaren Konzeptes können hybride Energieversorgungsstrukturen für die Zukunft entworfen werden, die den gesellschaftlichen Anforderungen in Bezug auf Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit besser Rechnung tragen als dies heutige Strukturen tun.

Für weitere Informationen und projektrelevante Publikationen: [www.future-energy.ethz.ch](http://www.future-energy.ethz.ch)