

**Policy Brief: Ausbaupläne für Energie
Wofür, wie und wo im Energiesystem
investieren?**

Stefan Schleicher, Angela Köppl



Policy Brief: Ausbaupläne für Energie

Wofür, wie und wo im Energiesystem investieren?

Stefan Schleicher, Angela Köppl

Februar 2019

Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung – Karl-Franzens-Universität Graz, Wegener Zentrum für Klima und Globalen Wandel

Rückfragen: stefan.schleicher@wifo.ac.at, angela.koeppel@wifo.ac.at

2019/036/S/ 000

© 2019 Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung, Karl-Franzens-Universität Graz, Wegener Zentrum für Klima und Globalen Wandel

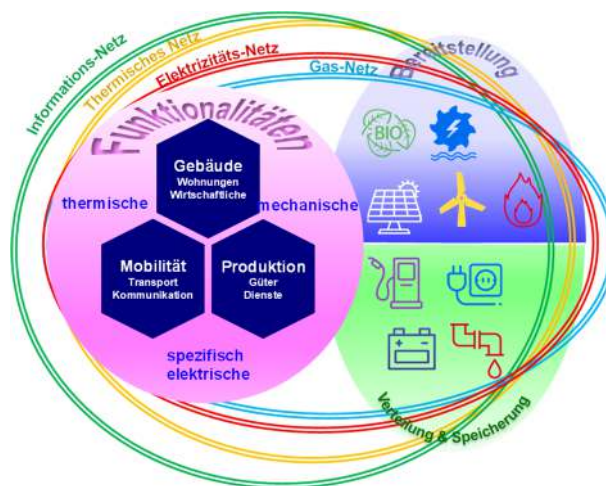
Medieninhaber (Verleger), Herausgeber und Hersteller: Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung,
1030 Wien, Arsenal, Objekt 20 • Tel. (+43 1) 798 26 01-0 • Fax (+43 1) 798 93 86 • <https://www.wifo.ac.at/> • Verlags- und Herstellungsort: Wien

Verkaufspreis: 20 € • Kostenloser Download: <https://www.wifo.ac.at/wwa/pubid/61656>

Ausbaupläne für Energie: Wofür, wie und wo im Energiesystem investieren?

Februar 2019

Stefan P. Schleicher
Angela Köppl



Stefan P. Schleicher

Wegener Center an der Universität Graz

stefan.schleicher@uni-graz.at

+43 (316) 380-7512

Angela Köppl

Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung

angela.koeppl@wifo.at

+43 (1) 798-2601-268

Wofür, wie und wo im Energiesystem investieren?

Der hohe Investitionsbedarf für die Transformation unserer Energiesysteme

Zwei Aussagen für das österreichische Energiesystem sind Fixpunkte: Sowohl sich abzeichnende technologische Veränderungen als auch zielorientierte Transformationen zur Erreichung der langfristigen Klimaziele werden bestehende Strukturen entscheidend verändern und dafür werden hohe Investitionen erforderlich sein.

Wie Investitionsentscheidungen treffen?

Dieses Policy Brief argumentiert

- warum eine isolierte Betrachtung von einzelnen Investitionen kontraproduktiv sein kann,
- welchen Kriterien Investitionsentscheidungen auszusetzen wären, und
- welche wirtschaftlichen Rahmenbedingungen mit diesen Kriterien kompatibel wären.

Leitlinien für Investitionsstrategien

Das wären einige Leitlinien für Investitionsstrategien zur Transformation unserer Energiesysteme:

- Die Systemgrenzen einer Investition offenlegen.
- Die Zielsetzung einer beabsichtigten Investition begründen und dafür Alternativen suchen.
- Die geplante Investition und die alternativen Investitionsmöglichkeiten für die Erfüllung des gewünschten Zweckes einer umfassenden Bewertung aussetzen, die auch die Folgeeffekte einer Investition berücksichtigt, wie Betriebskosten, Energie- und Emissionseffekte.
- Für die so ermittelten Investitionsstrategien ein anreizkompatibles institutionelles Umfeld schaffen, das von der Gestaltung von Märkten bis zu Fördermechanismen reicht.

Das Energiesystem in seiner Gesamtheit verstehen

Entscheidungen über Investitionen sind auf allen Skalen von Energiesystemen erforderlich:

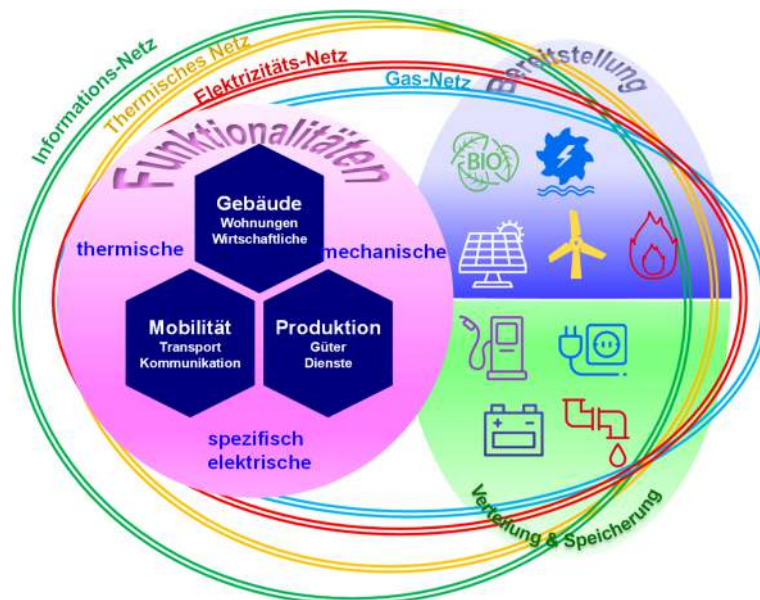
- In einem neuen Gebäudekomplex etwa wird zu überlegen sein, wie sich thermische Qualität, Bereitstellung und Verwendung von Energie zueinander verhalten sollen.
- Ein neuer Windpark wiederum braucht eine Anbindung an die Netze für Elektrizität, um schließlich auch den Endverbrauch erreichen zu können.
- Für das nationale Energiesystem stellt sich die Frage, wie Investitionen auf die Verwendung und auf die Bereitstellung von Energie aufgeteilt werden sollen.

Für eine bestmögliche Allokation von Investitionsmitteln, ist ein vertieftes Verständnis des gesamten Energiesystems erforderlich.

In Abbildung 1 werden die wesentlichen Elemente des Energiesystems sichtbar:

- Die unter **Funktionalitäten** zusammengefassten thermischen, mechanischen und spezifisch-elektrischen Dienstleistungen sind die zu erfüllende Aufgabe eines jeden Energiesystems.
- Diese Funktionalitäten sind für **Gebäude, Mobilität und die Produktion** zu erbringen.
- Die **Bereitstellung** von Energie erfolgt über die direkte Nutzung von Primär-Energie und deren Transformation in Wärme und Elektrizität, ergänzt durch Netze und Speicher.

Abbildung 1
Die wesentlichen Elemente eines Energiesystems



Quelle: Köppl und Schleicher (2018)

Warum dieses vertiefte Verständnis für Investitionsentscheidungen relevant ist

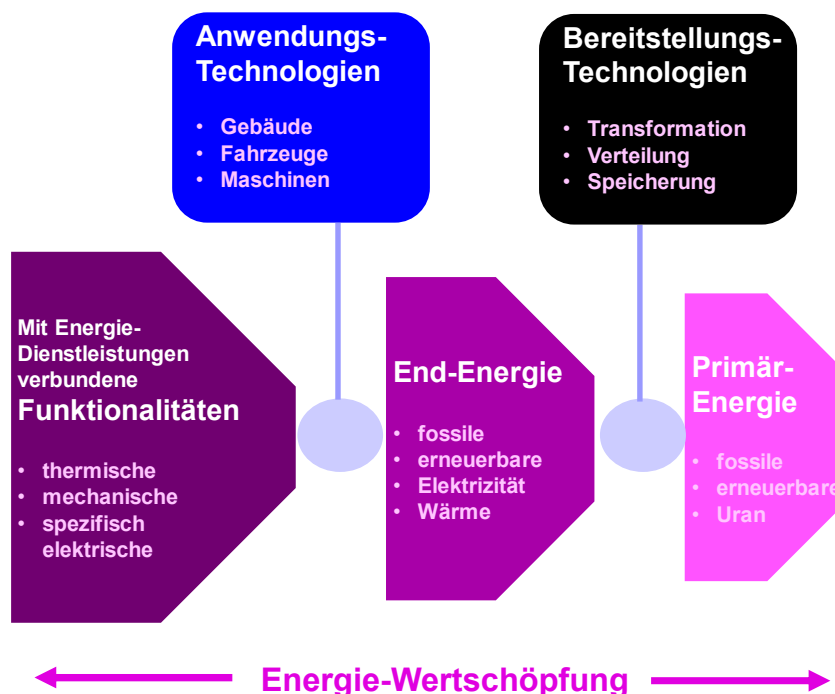
Dieses vertiefte Verständnis eines Energiesystems wird noch nicht ausreichend in energierelevanten Investitionsentscheidungen reflektiert. Dadurch kann sich die Wertigkeit von Investitionen jedoch entscheidend verringern.

Die Auswirkung einer Investition auf die gesamte mit Energie verbundene Wertschöpfung analysieren

Wie die vom Energiesystem zu erbringenden Funktionalitäten erbracht werden können, wird anhand der energetischen Wertschöpfungskette sichtbar.

In Abbildung 2 wird gezeigt, dass ein bestimmtes Bündel von Funktionalitäten mit unterschiedlichsten Mengen an Primär-Energie erreicht werden kann, abhängig von der Wahl der Anwendungstechnologien bei Gebäuden, Fahrzeugen und Maschinen, sowie von den gewählten Bereitstellungstechnologien für Transformation, Verteilung und Speicherung. Nicht nur die Mengen an Primär-Energie sind von Relevanz, sondern auch deren Mix aus Fossilen und Erneuerbaren, woraus letztlich die Menge an Treibhausgasemissionen folgt.

Abbildung 2
Die energetische Wertschöpfung



Warum für Investitionsentscheidungen die gesamte energetische Wertschöpfungskette zu beachten ist

Aus diesem Verständnis der gesamten energetischen Wertschöpfung kann nun der für Investitionen erforderliche Entscheidungsprozess abgeleitet werden:

- Welche Funktionalitäten an energetischen Dienstleistungen sind zu erfüllen?
- Welche Bewertungskriterien für Anwendungs- und Bereitstellungstechnologien sind anzuwenden?
- Welche Möglichkeiten für den Energie-Mix von Primärenergie sind verfügbar?

Zu jeder Investition alternative Investitionsmöglichkeiten suchen

Zwei Schritte sind für die Entscheidung über Investitionen im Energiesystem wesentlich:

- Das Ziel festzustellen, das mit einer Investition erreicht werden soll.
- Für dieses Ziel nach alternativen Investitionsmöglichkeiten suchen.

Das Ziel von Investitionen feststellen

Das wären typische Ziele, die mit Investitionen im Energiesystem verbunden sind:

- **Funktionalitäten ausweiten**, wie vermehrte energetische Dienstleistungen in Gebäuden, bei Mobilität oder der Produktion verfügbar machen.
- **Mengen und Emissionen bei Primär-Energie reduzieren**, wie durch eine Erhöhung der energetischen Produktivitäten entlang der energetischen Wertschöpfung und durch eine Veränderung im Mix der Primär-Energie.

Für den beabsichtigten Zweck einer Investition nach Alternativen suchen

Ein Blick auf die in Abbildung 2 dargestellte energetische Wertschöpfung zeigt, dass für fast jede Investition im Energiesystem Alternativen möglich sind:

- Eine bestimmte Funktionalität kann in der Regel mit unterschiedlichen Anwendungs- und Transformationstechnologien und einem unterschiedlichen Mix an Primär-Energie erfüllt werden.
- Für das Ziel von Emissionsreduktionen bietet sich somit nicht nur eine direkte Veränderung im Mix der Primärenergie an, sondern auch eine Erhöhung der energetischen Produktivitäten entlang der energetischen Wertschöpfung durch eine entsprechende Wahl von Anwendungs- und Transformationstechnologien, ohne damit die erforderlichen Funktionalitäten zu beeinträchtigen.

Investitionen durch umfassende Bewertungen vergleichbar machen

Investitionsentscheidungen betreffen in den meisten Fällen die Auswahl einer Alternative unter mehreren verfügbaren. Dafür gilt es diese Alternativen vergleichbar zu machen, etwa in Hinblick auf Wirtschaftlichkeit, Energiebedarf und Emissionen über die gesamte Nutzungsdauer.

Nachfolgend wird ein Zugang für eine vergleichbaren Bewertung von alternativen Investitionen dargestellt. Daraus wird ersichtlich, warum ein Fokus auf den Vergleich von Investitionskosten zu unerwünschten technologischen Lock-ins führen kann.

Eine Bewertungsmatrix für jede Investition

Für jede Investition sind zu deren Vergleichbarkeit mit alternativen Investitionen folgende Effekte darzustellen:

- Die Systemgrenzen, also welchen Teil der **Kaskade der energetischen Wertschöpfung** betrifft die Investition.
- Die Darstellung dieser **Effekte in realen Größen**, wie Energiemengen und Kapazitäten für Kraftwerke, Leitungen und Speicher.
- Die analoge Darstellung dieser **Effekte in monetären Größen**, also als Kosten.
- Zusätzlich sind diese Effekte noch aufzuteilen auf die **direkten Effekte** einer Investition (wie ein Windpark) und die **induzierten indirekten Effekte** (wie zusätzliche Investitionen in Leitungsnetze und Speicher).
- In vielen Fällen liegen die induzierten Folgeeffekte außerhalb der Geschäftstätigkeit des Investors, was zu einem Auseinanderklaffen zwischen einzel- und gesamtwirtschaftlichen Bewertungen führt.

Diese zur Bewertung einer Investition charakteristischen Effekte können in einer Bewertungsmatrix, wie in Tabelle 1 dargestellt, zusammengefasst werden.

Tabelle 1: Bewertungsmatrix für eine Investition

Effekte der Investition	Realer Aufwand		Monetärer Aufwand		
	Direkte Investitionen	Indirekte Investitionen	Direkte Kosten	Indirekte Kosten	Gesamte Kosten
Funktionalitäten					
thermische					
mechanische					
spezifisch elektrische					
Anwendungs-Technologien					
Gebäude					
Maschinen					
Fahrzeuge					
Bereitstellungs-Technologien					
Transformation					
Verteilung					
Speicherung					
Energie-Mix					
erneuerbare					
fossile					
Treibhausgas-Emissionen					

Darstellung der realen Effekte einer Investition

Direkte reale Effekte

Die direkten realen Effekte einer Investition werden dargestellt durch die unmittelbar ausgelösten Veränderungen auf der Kaskade der energetischen Wertschöpfung. Das sind somit Veränderungen bei Funktionalitäten, Technologien für die Anwendung und Bereitstellung von Energie, sowie beim Energie-Mix.

Die Dimension dieser Effekte sind reale Werte, wie Mengen an Primär-Energie, Kapazitäten für Anlagen bei der Bereitstellung über Transformation, Verteilung und Speicherung, sowie bei der Anwendung zur Erfüllung der Funktionalitäten bei Gebäuden, Mobilität und Produktion.

Beispiele dafür wären der Bau eines Gebäudes mit bestimmten thermischen Standards oder der Bau eines Windparks.

Indirekte reale Effekte

Mit fast allen Investitionen im Energiesystem sind jedoch auch indirekte reale Effekte verbunden, wie der vermehrte Bedarf an Energie durch die zusätzlichen Funktionalitäten, die mit dem Bau eines Gebäudes verfügbar werden, oder die Folgeeffekte eines Windparks für den Netzausbau und das Netzmanagement. Es macht einen Unterschied, ob etwa die Elektrizität einer PV-Anlage direkt in der Nähe der Bereitstellung genutzt wird oder über die öffentlichen Netze.

Emissionen aus direkten und indirekten Effekten der Investition

Sowohl die direkten als auch die indirekten Effekte einer Investition bewirken meist Änderungen bei den Mengen und beim Mix der Primärenergie und somit Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen.

Darstellung der monetären Effekte einer Investition

Vergleichbarkeit der monetären Effekte durch Nutzungskosten

Alternative Investitionen unterscheiden sich durch unterschiedliche Kosten bei der Umsetzung dieser Investition, bei deren Betrieb und bei der Lebensdauer. Um alternative Investitionen dennoch vergleichbar zu machen, werden deren Nutzungskosten ermittelt.

Berechnet werden die jährlichen Nutzungskosten durch die Annuisierung der Investitionskosten und durch Berücksichtigung der jährlichen Kosten für den Betrieb der mit der Investition verbundenen Funktionalität:

$$\text{Nutzungskosten} = \text{Investitionskosten} \cdot (\text{Kapitalverzinsung} + \text{Abschreibungsrate}) + \text{Betriebskosten}$$

Dieses Kostenmaß zeigt einerseits dessen Einflussgrößen auf, nämlich Kapitalverzinsung und Abschreibungsraten, sowie die für Betriebskosten relevanten Preise, und macht andererseits höchst unterschiedliche Investitionen auf der Kaskade der energetischen Wertschöpfung vergleichbar.

Bewertung der direkten und der indirekten Effekte einer Investition durch Nutzungskosten

Nutzungskosten machen die monetären Effekte einzelner Investitionen transparenter und helfen unterschiedlichste Alternativen für eine Investition vergleichbar zu machen.

Bei Gebäuden mit hohen thermischen Standards relativiert sich der Effekt höherer Investitionskosten durch eine Ausweitung der Abschreibungsdauer und durch verringerte Betriebskosten.

Bei Investitionen in intermittierende Erneuerbare, wie Wind und PV, wird durch die indirekten Effekte dieser Investitionen der Aufwand für die Netz-Integration sichtbar, der wiederum abhängig ist von der geografischen Positionierung und den Möglichkeiten einer Kompensation der Schwankungen beim Angebot durch Speicher und Nachfragemanagement.

Leitlinien für Investitionen zur Transformation des Energiesystems

Für die erforderlichen Investitionen zur Erreichung der Ziele für die Energie- und Klimapolitik zeichnen sich aus dem vertieften Verständnis von Energiesystemen zwei strategische Leitlinien ab:

- Aus gesamtwirtschaftlicher Sicht lassen sich durch einen Fokus auf die **Integration aller Komponenten** des Energiesystems Synergien und eine damit verbundene Erhöhung der energetischen Produktivität und eine Reduktion von Treibhausgasemissionen erschließen.
- Ein entsprechendes **anreizkompatibles institutionelles Umfeld** reicht von einem Umfeld für neue Märkte bis zur Überprüfung bestehender Regulierungen und zur Entwicklung von neuen Fördermechanismen.

Investitionen mit hohen Synergieeffekten forcieren

Welche Potentiale an Synergien im Energiesystem erschließbar wären, kann anhand von einigen herausragenden Projekten in der Schweiz demonstriert werden.

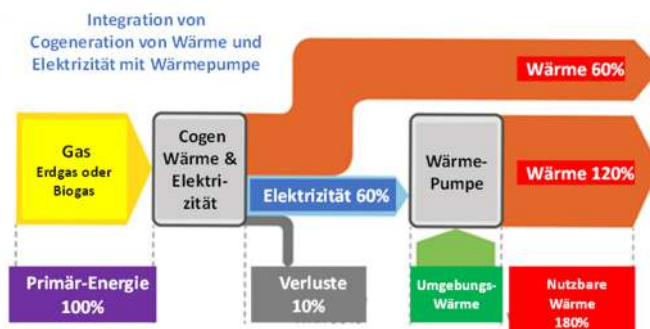
Die Cogeneration von Wärme und Elektrizität in

Da auf absehbare Zeit in unseren Energiesystemen Wärme über thermische Prozesse – egal mit welcher Primär-Energie - bereitgestellt wird, sind

Verbindung mit Wärmepumpen

dafür dringend **Cogeneration-Technologien** zu empfehlen, mit denen auch die in Exergie ausgedrückte Arbeitsfähigkeit der Primär-Energie über die Konversion in Elektrizität genutzt wird. In **Verbindung mit Wärmepumpen** kann damit der nutzbare Output der Primär-Energie durchaus verdoppelt werden, wie aus Abbildung 3 ersichtlich. Mit dieser Technologie kann somit ein bestimmter Wärmebedarf mit der Hälfte von Primär-Energie und der entsprechenden Reduktion von Emissionen bereitgestellt werden, weil über die Nutzung der Arbeitsfähigkeit der Primär-Energie freie und erneuerbare Umgebungswärme in das System gebracht wird.

Abbildung 3
Das Konzept der Wärme-Kraft-Kopplung mit Wärmepumpe

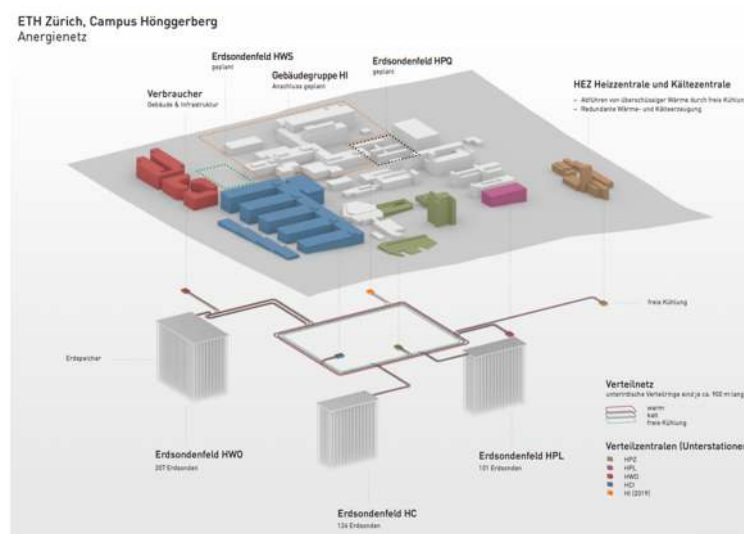


Quelle: Adaptiert von Schweizer Energiefachbuch (2016).

Recycling von Wärme in Anergie-Netzen

Eine weitere Technologie mit hohen Synergieeffekten sind neue Niedertemperatur-Wärmenetze, die wegen ihrer niedrigen Temperatur und der Nutzung von Abfall-Wärme als Anergie-Netze bezeichnet werden,

Abbildung 4
Das Design eines Anergie-Netzes



Quelle: ETH Zürich

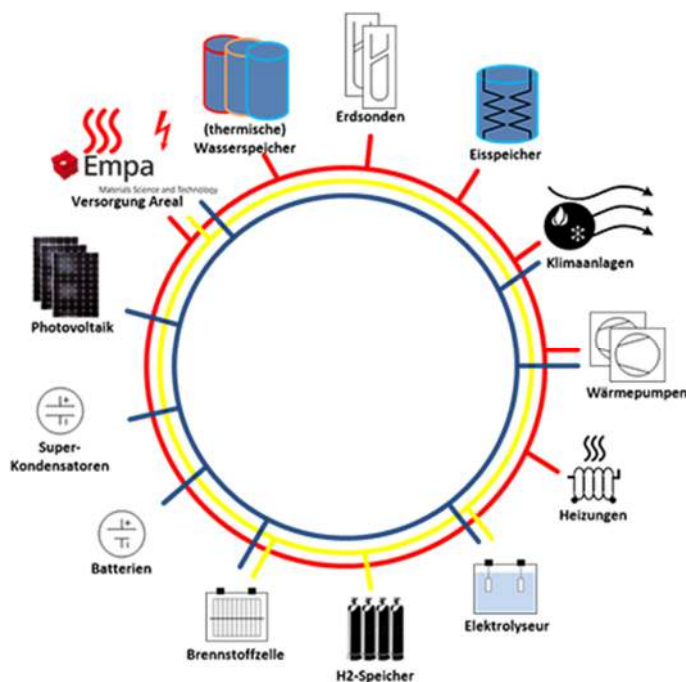
Die Integration aller Komponenten des Energiesystems in Energy Hubs

Welche weiteren Potentiale für Innovation und Integration im Energiesystem zu hohen Synergieeffekten führen und Orientierungen für zukunftsfähige Energiesysteme bieten können, zeigt das Konzept von **Energy Hubs**, an dem EMPA forscht und das in Abbildung 5 visualisiert ist:

- Die Systemgrenzen werden schrittweise erweitert und erfassen neben den Funktionalitäten für Gebäude auch jene für Mobilität, indem beispielsweise für Fahrzeuge Elektrizität und Wasserstoff verfügbar gemacht wird.
- Vier Netze, nämlich für Elektrizität, Niedertemperaturwärme, Gas und IT, verbinden alle Komponenten des Energiesystems und operieren bidirektional.

- Die entstehenden Cluster-Strukturen sind wohl weiterhin mit übergeordneten Netzen für Elektrizität und Gas verbunden, agieren aber zunehmend autonom und sind auch in einem Krisenfall funktionsfähig.

Abbildung 5
Die Integration aller Komponenten des Energiesystems in Energy Hubs



Quelle: EMPA

Anreizkompatible Märkte einrichten

Sollen wirklich diese dargestellten Strukturen von hochintegrierten Energiesystemen die Orientierung für die nächsten Investitionen im Energiesystem geben, so stellt sich die Frage nach den dafür kompatiblen Anreizmechanismen für ihre Realisierung.

Wünschenswert sind Marktmechanismen, die die Ziele der damit verbundenen Strukturen unterstützen. Beispiele wären dafür Märkte für die Bereitstellung aller in einem Wohn-Areal oder einem Büro-Komplex erforderlichen energetischen Dienstleistungen, ein Wettbewerb um alle Krankenhäuser mit Energy Hubs auszurüsten, die auch für die Krisenfall eine Notversorgung für die Kommunikationsnetze bereitstellen, oder die Ausstattung von Universitäten mit Anergie-Netzen.

Innovative Fördermechanismen entwickeln

Unter dem Blickwinkel von hochintegrierten Energiesystemen wären bestehende Fördermechanismen auf ihre Anreizwirkung zu überprüfen und ihre ursprünglichen Zielsetzungen unter Einbezug innovativer Entwicklungen zu diskutieren.

Konkret könnte das bedeutet, dass nicht mehr das einzelne Gebäude, sondern ein Gebäudekomplex auf einen Förderbedarf zu überprüfen wäre, wenn bestimmte energetische Strukturen angestrebt werden. Gleiches könnte für die Abschätzung des Förderbedarfs für Erneuerbare unter dem Aspekt einer Einbindung in das gesamte Energiesystem relevant sein.

Weiterführende Literatur

Einige Quellen für das vertiefte Verständnis von Energiesystemen und die daraus resultierenden Investitionsstrategien

In Österreich

Das als WIFO-Folgenabschätzung bekannte Forschungsprojekt zu innovativen Energiestrukturen:

Stefan Schleicher, Angela Köppl, Mark Sommer, Stephan Lienin, Martin Treberspurg, Doris Österreicher, Roman Grüner, Reinhold Lang, Manfred Mühlberger, Karl W. Steininger, Christian Hofer (2018).

Welche Zukunft für Energie und Klima? Folgenabschätzungen für Energie- und Klimastrategien.

Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung (WIFO).

https://www.wifo.ac.at/jart/prj3/wifo/resources/person_dokument/person_dokument.jart?publikationsid=61014&mime_type=application/pdf.

Eine analytische Aufbereitung des vertieften Verständnisses von Energiesystemen:

Angela Köppl, Stefan P. Schleicher (2018).

What Will Make Energy Systems Sustainable?

Sustainability 2018, 10, 2537.

<https://doi.org/10.3390/su10072537>

In der Schweiz

Die mit der ETH Zürich verbundene Forschungseinrichtung EMPA und deren Projekt NEST:

<https://www.empa.ch/de/web/nest/aboutnest>

In den Niederlanden

Eine aktuelle Dokumentation über dort sichtbare hochintegrierte dezentrale Energiesysteme:

<https://www.metabolic.nl/wp-content/uploads/2018/09/SIDE-Systems-Report.pdf>