

MULTIENERGIESYSTEME MIT WASSERSTOFF

GESTALTUNGSFRAGEN UND HERAUSFORDERUNGEN

Um Wärme, Kälte und Strom sowie Energie für die Mobilität bereitzustellen, ist der Einsatz verschiedener Energieträger denkbar. Die Handlungsoptionen erhöhen sich durch die Kombination verschiedener Technologien zur Energieerzeugung, -umwandlung und -speicherung sowie durch verschiedene Transport- und Verteilungssysteme. Bei der Entwicklung solch eines gekoppelten Multienergiesystems bestehen neben technischen Herausforderungen auch neue Anforderungen an die Marktorganisation und die Regulierung.

Heike Worm*; Patrick Zenhäusern, Polynomics AG
Mathias Hafner, SVGW

RÉSUMÉ

LES DÉFIS DE L'OPTIMISATION DES SYSTÈMES MULTI-ÉNERGIE COUPLÉS LIÉS À L'HYDROGÈNE

La chaleur, le froid, l'électricité et l'énergie pour la mobilité peuvent être fournis de différentes manières. Au vu des objectifs de la Stratégie énergétique 2050, les technologies de couplage des secteurs jouent un rôle déterminant dans l'utilisation des énergies renouvelables réparties sur la superficie de la Suisse. Afin de garantir l'optimisation de l'intégralité du système, les systèmes multi-énergie doivent intégrer l'ensemble des sources d'énergie et infrastructures existantes sans préjuger des résultats. En effet, le développement actuel des systèmes multi-énergie n'est pas tout à fait impartial vis-à-vis des technologies. Les projets innovants intègrent également des sources d'énergie existantes. Cependant, d'autres projets ne tiennent pas compte de sources d'énergie telles que le gaz. Certes, le gaz provient (encore) en grande majorité de matières fossiles, mais il présente avec l'hydrogène en particulier un énorme potentiel pour le stockage et l'utilisation des énergies renouvelables au sein de systèmes multi-énergie couplés. En raison des réglementations et systèmes d'incitation actuels, mais également des considérations pratiques, les structures décentralisées sont au cœur de la recherche en matière de systèmes multi-énergie. La décentralisation ne doit cependant pas être une fin en soi lors de l'élaboration des conditions-cadres du système énergétique global. Les possibilités offertes par la coordination

EINLEITUNG

Die Energieversorgung wird mit der Umsetzung der Energiestrategie 2050 neu ausgerichtet. Zur Optimierung des Gesamtsystems sind die Vorteile unterschiedlicher Energieinfrastrukturen und Energieträger¹ für alle Anwendungsbereiche zu nutzen. Es sind Anreize zu schaffen, damit sich effiziente und klimafreundliche Technologien und Modelle der Nutzung von Produktion, Umwandlung und Verbrauch von Energie entwickeln können. Aktuell werden die verschiedenen Energieträger und -netze (Strom, Gas, Wärme, Kälte) überwiegend getrennt voneinander eingesetzt, betrieben, gesteuert, überwacht und reguliert. Mit Blick auf die zukünftige Energieversorgung sind Einschränkungen aufgrund historischer Top-down-Strukturen und die isolierte Betrachtung einzelner Energieträger – wo sinnvoll – aufzubrechen.

Entwicklungen hin zu einer dezentraleren Energieversorgung sollten ergebnisoffen und den Standortgegebenheiten angepasst sein. Wichtig ist, dass alle Energieträger einbezogen werden und dass die Marktorganisation eine gesamtwirtschaftliche

¹ Der Terminus Energieträger wird im Artikel vereinfachend sowohl für Energieträger wie Gase und Brennstoffe als auch für Energieformen wie Strom verwendet.

* Kontakt: heike.worm@polynomics.ch

(Bild: studiom1/123RF.com)

Optimierung erlaubt. Die zahlreichen Arbeiten zu gekoppelten Multienergiesystemen zeigen, dass es viele technische und regulatorische Gestaltungsmöglichkeiten gibt. Der Suchprozess zur Weiterentwicklung der Systeme steht noch am Anfang [1].

FUNKTIONEN VON MULTIENERGIE-SYSTEMEN

Multienergiesysteme beinhalten folgende Funktionen: Energie produzieren, sammeln, speichern, umwandeln und verteilen. Dabei werden verschiedene Energieträger gekoppelt.

Der Endverbraucher bestimmt, für welche Anwendung die Energie zu welchem Zeitpunkt benötigt wird. Je nach Anwendung und Technologie ist dabei der Zeitpunkt flexibel (z. B. für Warmwasserboiler). Auch kann beim Endverbrauch Energie in einer anderen Form entstehen (z. B. Abwärme).

Durch Sektorkopplung können verschiedene Energieträger für den Endverbrauch in Form von Strom, Wärme, Kälte oder für die Mobilität genutzt werden. Grundsätzlich kann die Energie direkt beim Verbraucher produziert werden (z. B. Strom via Photovoltaik, Warmwasser via Solarthermie); oder sie kann via Netze (Strom, Gas, Wärme, Kälte) oder alternative Transportsysteme (für feste, flüssige oder gasförmige Brennstoffe) zum Verbraucher gelangen. Die ankommende Energie wird beim Endverbraucher für die jeweilige Anwendung umgewandelt, z. B. Gas in Wärme, Strom in Licht (Fig. 1).

Die Herausforderung für die Energieversorgung ist, einen Ausgleich zwischen der zugeführten und abgeführten Energie zu gewährleisten. Beim Strom muss dieser Ausgleich unmittelbar stattfinden, d. h. es darf praktisch keinen Zeitversatz geben, da sonst die Netzstabilität nicht gewährleistet ist. Heute ist die Stromproduktion mit überwiegend Atom- und Wasserkraft am Bedarf ausgerichtet. Mit der angestrebten Zunahme der Stromproduktion aus erneuerbaren Quellen wird die Stromversorgung dargebotsabhängig, da die Verfügbarkeit von Sonne für die Photovoltaik (PV) und Wind vom Wetter abhängt. Um die Versorgungssicherheit und Netzstabilität zukünftig zu gewährleisten, braucht es neben einem kurzfristigen auch einen tageszeitlichen und saisonalen Ausgleich mithilfe von Speichern. In einem Multienergiesystem

können andere Energieträger diese Ausgleichsfunktion übernehmen. Strom, der nicht unmittelbar benötigt wird, wird zu diesem Zweck in andere Energieträger umgewandelt und gespeichert. Damit kann das Stromangebot jederzeit dem Bedarf gerecht werden. Mithilfe der Laststeuerung wird die Energieversorgung jederzeit sichergestellt, indem Energie in (dezentralen) Speichern gelagert und (dezentral) produzierte oder umgewandelte Energie bereitgestellt wird.

Je nach Art der Technologie kann die Energie kurz- oder langfristig gespeichert werden. Je schneller sich ein Speicher selbst entlädt, desto weniger ist er geeignet, Energie über einen längeren Zeitraum, insbesondere für den saisonalen Ausgleich, zu speichern.

Für die Schweiz ist aufgrund der zur Verfügung stehenden Ressourcen vor allem die Energieversorgung im Winter eine Herausforderung [2]. Zur Weiterentwick-

lung des erneuerbaren Energiesystems ist abzuklären, wie geeignete saisonale Speichertechnologien zum Einsatz kommen können. Grosses Potenzial bieten chemische Speicher wie Wasserstoff, Biogas oder synthetisches Methan, die für den saisonalen Ausgleich geeignet sind. In der Schweiz kommen dafür die Gasnetze infrage, um zusammen mit europäischen Gasspeichern die Energieversorgung im Winter zu sichern [3, 4]

Um gekoppelte Multienergiesysteme im Hinblick auf die Einbindung dargebotsabhängiger Stromerzeugung optimieren zu können, sollten grundsätzlich für alle Funktionen (produzieren, sammeln, speichern, umwandeln, verteilen, bereitstellen) alle verfügbaren Technologien einbezogen werden. Dazu gehören Umwandlungsverfahren wie Power-to-X [5] und gekoppelte Produktionstechnologien für Wärme und Strom wie Wärme-Kraftkopplung (WKK).

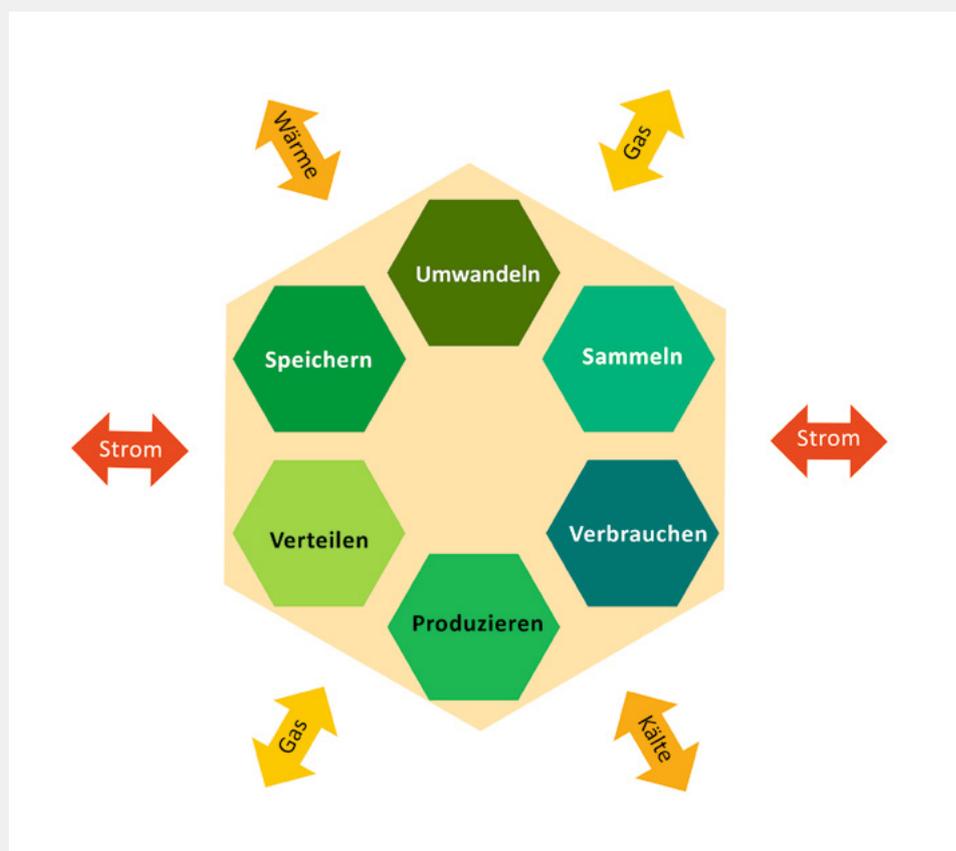


Fig. 1 Funktionen und Elemente in Multienergiesystemen. Die physikalischen Funktionen umfassen grundsätzlich die Produktion, Speicherung, Umwandlung, Sammlung, Verteilung und den Verbrauch von Energie. Sie können durch verschiedene Energieträger (Strom, Gas, Wärme) und Technologien erbracht werden. Einerseits interagieren die Funktionen innerhalb von Grundeinheiten (grosse hellgelbe Fläche). Andererseits sind die Grundeinheiten physisch über Transport- und Verteilungen der Energieträger mit weiteren Verbrauchern, Speichern, Umwandlern und Produktionsanlagen verbunden (umliegende Pfeile). Die einzelnen physikalischen Funktionen sind lokal an einen Ort gebunden. Welche Funktionen, welche Energieträger und welche Technologien in einer Grundeinheit anzutreffen sind, ist von den lokalen Gegebenheiten abhängig (Abwassereinigungsanlage, Solarstrom, Biogas usw.).

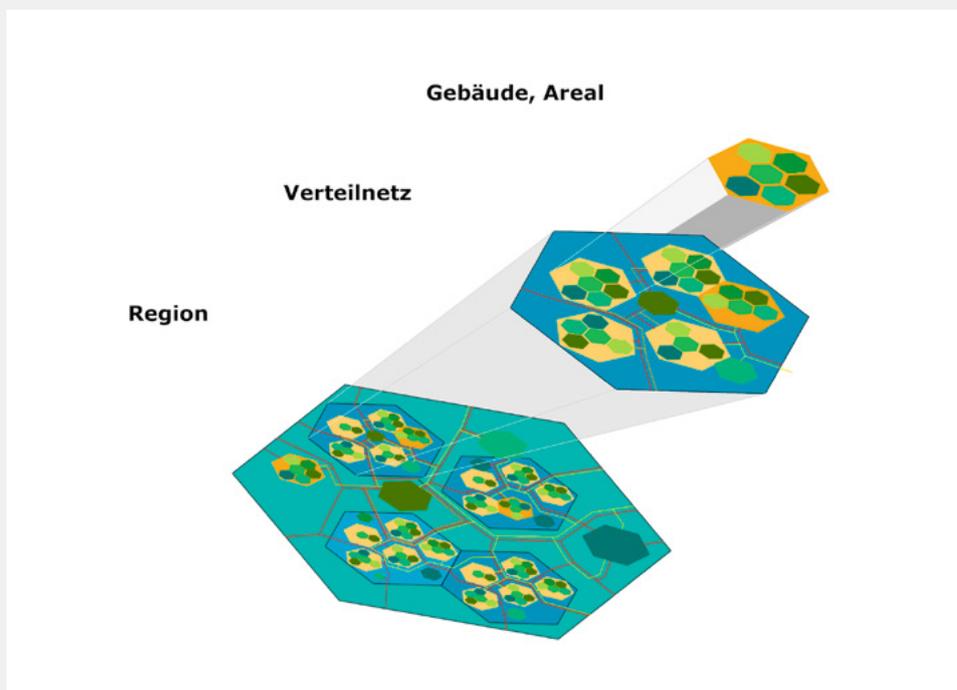


Fig. 2 Versorgungsebenen von Multienergiesystemen. Die Grundeinheiten sind in verschiedene Versorgungsebenen (Verteilnetz und Region) eingebettet. Diese liessen sich erweitern bis zur europäischen Versorgungsebene.



Fig. 3 Areal Viererfeld/Mittelfeld – ein Leuchtturmprojekt der Stadt Bern. Auf dem 190 000 m³ grossen Stadtquartier soll Wohn- und Lebensraum für rund 3000 Menschen geschaffen werden. Für das künftige 2000-Watt-Areal wird ein Gesamtenergiekonzept erarbeitet, das eine nachhaltige und ökologische Energieversorgung gewährleistet. (Quelle: Stadt Bern)

Grundsätzlich sind Multienergiesysteme auf allen Versorgungsebenen denkbar: innerhalb privater Areale, bei der Quartiersversorgung, auf Ebene der Verteilnetze von Städten und Regionen bis zur Ebene der Übertragungsnetze in Ländern und Kontinenten (Fig. 2).

Die Grenzen der einzelnen Versorgungsebenen sind nicht allgemein definiert; sie orientieren sich vielmehr an den jeweiligen lokalen Gegebenheiten. Viele Forschungsprojekte zu Energiehubs finden aktuell auf Quartierebene statt, wie zum Beispiel das Areal Viererfeld/Mittelfeld,

das Leuchtturmprojekt der Stadt Bern. Auf dem 190 000 m³ grossen Stadtquartier soll Wohn- und Lebensraum für rund 3000 Menschen geschaffen werden. Für das künftige 2000-Watt-Areal wird ein Gesamtenergiekonzept erarbeitet, das eine nachhaltige und ökologische Energieversorgung gewährleistet.

Auf Quartierebene sind die Koordinationsaufgaben überschaubar und technische sowie betriebswirtschaftliche Erfahrungen können mit einem relativ kleinen Kreis von Stakeholdern gesammelt werden (Fig. 3).

BEGRIFFSEINORDNUNG

In der Forschung und Diskussion finden sich verschiedene Begriffe zur Beschreibung von Multienergiesystemen, die nicht einheitlich verwendet werden. Relativ häufig anzutreffen sind die Begriffe des Energiehubs und der Energiezelle. Während Energiehubs bezüglich Organisationsmodell und Versorgungsebene keine Aussage beinhalten, liegt Energiezellen (zellulären Energiesystemen) ein subsidiäres Organisationsmodell zugrunde. Bereits rechtlich eingegrenzt ist im Gegensatz zu den beiden anderen genannten Bezeichnungen von Multienergiesystemen der Begriff des Zusammenschlusses zum Eigenverbrauch (ZEV) aus dem Strombereich [6]. Energiehubs und -zellen unterscheiden sich von ZEV im Kern darin, dass verschiedene Energieformen miteinander gekoppelt sind und keine Beschränkung auf Strom als Endenergie besteht (Box 1).

ENERGIEHUBS

Bei der Forschung zu Energiehubs stehen neben den energiepolitischen Zielen technische und betriebswirtschaftliche Optimierungen, Erfahrungen und Analysen im Mittelpunkt. Ausserdem werden ergebnisoffen Rahmenbedingungen und Anreizstrukturen untersucht [7]. Je nach örtlichen Gegebenheiten werden zusätzlich zu den netzgebundenen Energieträgern weitere Energieträger wie Holz einbezogen. Die räumliche Abgrenzung von Energiehubs ist nicht zwingend statisch. Eine Optimierung kann innerhalb oder zwischen verschiedenen Versorgungsebenen stattfinden [8].

ENERGIEZELLEN

In einer Energiezelle können grundsätzlich alle netzgebundenen Energieformen auftreten, die innerhalb der Zelle bzw. im

Zellverbund miteinander koppelbar sind. Die Begrenzung einer Zelle leitet sich jedoch immer vom Stromnetz ab, da Strom eine Schlüsselrolle in der Energieversorgung einnimmt: Strom ist in vielen Anwendungsarten nicht durch alternative Energieformen substituierbar. Einspeisung und Ausspeisung müssen aus technischen Gründen jederzeit ausgeglichen sein. Durch die Relevanz der Struktur des Stromnetzes ist im zellulären Ansatz die räumliche Abgrenzung auf den einzelnen Ebenen im Gegensatz zu Energiehubs zentral. Eine Zelle der Niederspannungsebene ist durch den Transformator zwischen Mittel- und Niederspannung begrenzt. Durch die Kopplung mit weiteren netzgebundenen Energieträgern, insbesondere mit Wasserstoff oder anderen Gasen, kann der Ausgleich des Stromangebots und der Nachfrage innerhalb einer Zelle und auch zwischen Zellen einer Spannungsebene ergänzt werden. Dies soll dazu beitragen, die Belastung der Stromnetze beim vertikalen Energieaustausch zwischen den Spannungsebenen zu minimieren.

Im zellulären Ansatz fungieren Energienetze primär zum Ausgleich des Ungleichgewichts zwischen Zellen [9] (Tab. 1). Subsidiär wird der Ausgleich auf der niedrigsten möglichen Ebene vorgenommen, d.h. zuerst auf der Niederspannungs-, dann auf der Mittelspannungs- und schliesslich auf der Hoch- bzw. Höchstspannungsebene [10]. Ist von Energiezellen im zellulären Ansatz die Rede, werden also implizit bereits Vorstellungen zur Marktorganisation angesprochen.

Wird im zellulären Ansatz die Subsidiarität so interpretiert, dass die Autonomie der Zellen und damit der intrazelluläre Ausgleich Vorrang vor dem interzellulären Ausgleich hat, impliziert dies eine fragmentierte Marktorganisation. Damit werden die Möglichkeiten zur Optimierung der Energieversorgung aus einzel- und gesamtwirtschaftlicher Sicht beschränkt. Für die einzelnen Akteure in einer Energiezelle erhöhen sich bei einem Vorrang des lokalen Ausgleichs die Kosten, um Energie ausserhalb des lokalen Gebiets zu beziehen und/oder zu vermarkten. Diese Überlegungen zeigen, dass Fragen der Vernetzung und Koordination in Multienergiesystemen von übergeordneter Bedeutung sind. Sie sind daher mit Blick aufs Gesamtsystem zu beantworten.

KOORDINATIONSMÖGLICHKEITEN IN MULTIENERGIESYSTEMEN

In einem gekoppelten Multienergiesystem müssen Energieflüsse über verschiedene Energieträger koordiniert werden. Voraussetzung dafür ist, dass die erforderlichen Informationen vorliegen und verarbeitet werden sowie Regeln zur Priorisierung bestehen.

Bei den Informationen handelt es sich um Daten zu Verbrauch, Produktion und zu Flexibilitäten wie Speicher- und Umwandlungskapazitäten. Mit dem geplanten *Smart-Meter-Roll-out* im Strombereich – 80% bis Ende 2027 – werden die diesbezüglichen Voraussetzungen zukünftig besser, was jedoch nicht ausreicht. Zur Optimierung eines Multienergiesystems

wäre eine Ausweitung auf weitere Energieträger wie Gas ein weiterer Schritt. Darüber hinaus ermöglicht das *Internet of Things* (IoT) die Nutzung detaillierter Daten zu einzelnen Wandlern und Geräten und kann so weiteres Optimierungspotenzial erschliessen: Sind die mit Sensoren ausgestatteten Geräte im IoT miteinander verbunden, ist der Abgleich von Echtzeit-Informationen zwischen den Produktions-, Transformations-, Speicher- und Endverbrauchseinheiten möglich [11]. Dies erleichtert die Koordination und Nutzung von Flexibilitäten in Multienergiesystemen. Die Koordination auf Basis der verfügbaren Daten kann durch einen Aggregator abgewickelt werden oder direkt zwischen den Akteuren. Im Pilotprojekt Walenstadt beispielsweise, bei dem die Stromversorgung weitgehend durch lokale dezentrale Erzeugung sichergestellt wird, erfolgt die Koordination mittels Blockchain-Technologie [12]. Im Folgenden wird beispielhaft nur auf den Fall eingegangen, dass ein Aggregator die Koordination übernimmt.

LOKALE KOORDINATION

Die lokale Koordination ist aufgrund des subsidiären Organisationsmodells insbesondere in den zellulären Multienergiesystemen von Bedeutung. Der Aggregator erfasst dabei das Nettoaggregat des Energieflusses der einzelnen Verbraucher, Produzenten, Speicher und Wandler einer räumlich abgegrenzten Zelle. Er verfügt zu jeder definierten Zeiteinheit für alle vorhandenen Energieträger über die Information, ob eine Zelle ausgeglichen, übertversorgt oder unterversorgt ist. Die-

EIGENVERBRAUCH, ENERGIEHUBS UND ENERGIEZELLEN

Zur Bezeichnung von Multienergiesystemen werden oft die Begriffe Energiehub und Energiezelle verwendet. Der Begriff der Energiezelle impliziert als Teil von zellulären Energiesystemen bereits Grundsätze der Marktorganisationen. Wird nur der Eigenverbrauch im Strombereich bezeichnet, gilt es in der Schweiz mit dem Zusammenschluss zum Eigenverbrauch (ZEV) eine rechtlich definierte Form der Nutzung von selbst produziertem Strom (Artikel 16 bis 18 des Energiegesetzes).

Eigenschaften	Energiehub	Energiezelle (zelluläres Energiesystem)	Zusammenschluss zum Eigenverbrauch (ZEV)
Produzieren, speichern, umwandeln, verbrauchen	ja	ja	grundsätzlich ja
Koppeln von Energieträgern	ja	netzgebundene Energieträger im Fokus	Strom (Produktion und Verbrauch)
Energieausgleich	offen	subsidiär auf der niedrigst möglichen Ebene	lokal hinter Messpunkt (innerhalb ZEV)
Datenverwaltung	offen	möglichst lokal	innerhalb ZEV
Nutzung öffentlicher Infrastruktur	möglich	möglich	nein

Tab. 1 Einordnung von Bezeichnungen von Multienergiesystemen und Eigenverbrauch

se Informationen bündelt er, sodass sie mit den Informationen zu anderen Zellen abgeglichen werden können.

Ausgangspunkt ist immer der lokale Ausgleich [9]. Begründet wird dies damit, dass dadurch die vorgelagerten Netze weniger belastet werden, der Ausbaubedarf eingegrenzt, die Netze verlustärmer betrieben und damit Kosten eingespart werden können. Wie hoch die Kosteneinsparungen in vorgelagerten Netzen sind, hängt jedoch von den lokalen Gegebenheiten ab und lässt sich nicht pauschal beantworten. Ausserdem ist lokal produzierte Energie in Abhängigkeit des Standortes nicht immer effizient. Sind die Kosten eines aufgrund der lokalen Fragmentierung eingeschränkten Marktes grösser als die eingesparten Kosten, ist dies gesamtwirtschaftlich von Nachteil. In diesem Fall wäre ein Vorrang lokaler Koordination weder nachhaltig noch effizient.

Wird die Top-down-Struktur des Energiesystems dogmatisch durch eine Bottom-up-Struktur (dezentrale Organisation) ersetzt, kann sich der Nutzen eines sek-

torgekoppelten Multienergiesystems mit den unterschiedlichen Energieträgern nicht vollständig entfalten. Übergeordnete Ziele wie Wirtschaftlichkeit oder Versorgungssicherheit lassen sich nicht erreichen und es entstehen neue Abhängigkeiten von lokalen Akteuren. Zu rechtefertigen wäre ein solches System nur, wenn es nachweislich auf entsprechende Präferenzen der Bevölkerung für Autonomie abgestützt werden kann.

Wird ein gekoppeltes Multienergiesystem auf dem Prinzip lokaler Koordination aufgebaut, sollte der Aggregator auch übergeordnete Ebenen auf Basis entsprechender Informationen zu Netzengpässen und Preisentwicklungen einbeziehen können (Fig. 4, links).

RÄUMLICH UNABHÄNGIGE KOORDINATION

Bei räumlich unabhängiger Koordination erfasst und bündelt der Aggregator die Energiedaten unabhängig vom Standort des Verbrauchers, des Produzenten oder des Speichers (Fig. 4, rechts). Der Aggregator verfügt zu jeder definierten

Zeiteinheit über ein digitales Abbild des von ihm koordinierten Teils seines Multienergiesystems. Dieses zeigt den aktuellen Verbrauch und die Bezugsquellen von Strom, Wärme, Kälte und Mobilität. Auf diese Weise lassen sich die Daten z. B. zum netzdienlichen Ausgleich (z. B. Optimierung auf Ebene Verteilnetz) und zur Optimierung der Gesamtenergiezusammensetzung innerhalb eines Landes oder auch zum lokalen Ausgleich nutzen [13]. Bei der Optimierung helfen Preissignale. Sie bilden die Engpasssituationen in Netzen oder die Angebots- und Nachfragesituation für verschiedene Energieformen zeitlich differenziert ab.

Die räumlich unabhängige Koordination ermöglicht losgelöst von festen Bottom-up- und Top-down-Strukturen eine Priorisierung energiepolitischer Ziele. Wie auch der lokale Ansatz erfordert dieser Ansatz ein effizientes und sicheres Datenmanagement. Ausserdem ist jeweils eine klare Definition der Rechte an den Flexibilitäten (Steuerung von Verbrauch, Produktion, Speichern) erforderlich.

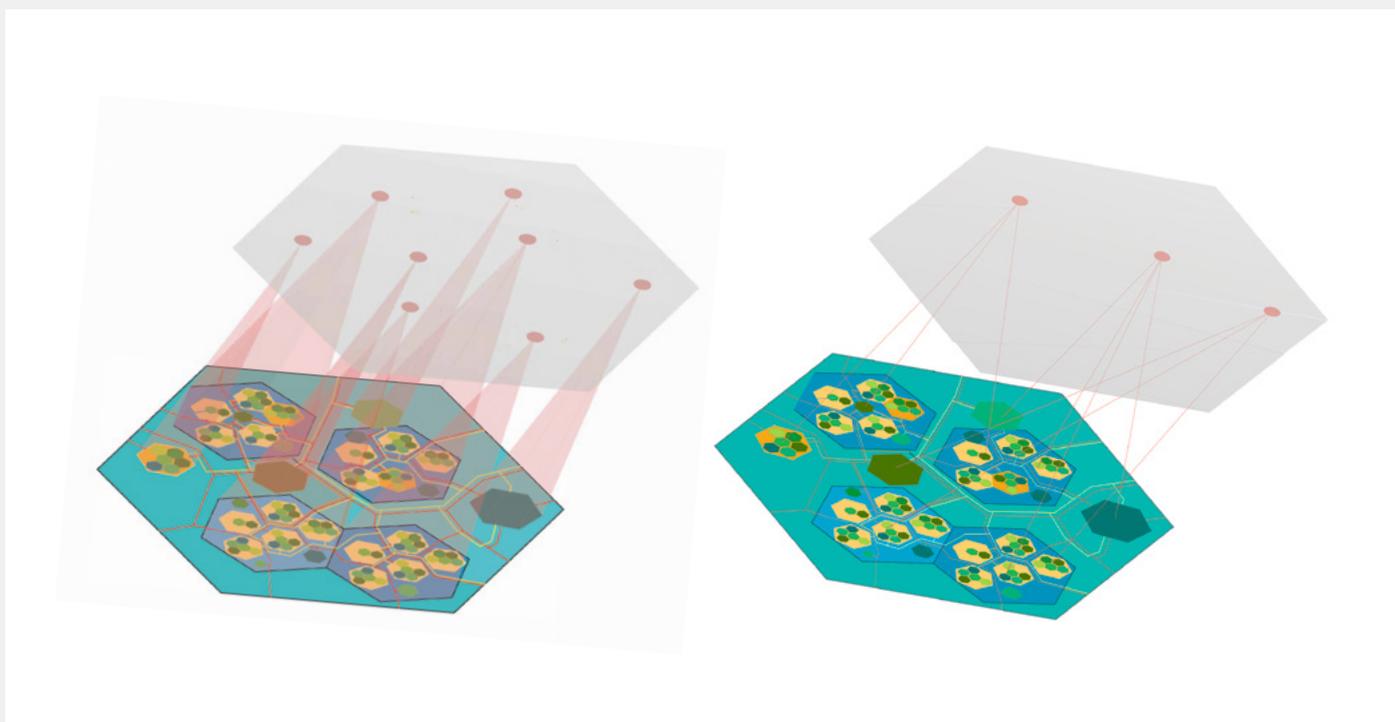


Fig. 4 Die verschiedenen Koordinationsformen.

Links: Lokale Koordination. Die Koordination des Multienergiesystems geht von der lokalen Grundeinheit aus (rote Kegel). Die lokal koordinierten Einheiten können in einem zweiten Schritt auf einer übergeordneten Ebene (grau) koordiniert werden. Die einzelnen Aggregatoren fassen die Funktionen (Speicher, Produktion, Verbrauch usw.) ortsgebunden zusammen (rote Punkte), sodass die Koordination des Gesamtsystems ausgehend von der physikalischen Grundeinheit stattfindet.

Rechts: räumlich unabhängige Koordination. Die Koordination ist räumlich unabhängig (rote Linien) und nicht an lokale Grundeinheiten gebunden. Auch hier ist eine Koordination der Aggregatoren auf einer übergeordneten Ebene (grau) möglich. Die einzelnen Aggregatoren fassen Funktionen räumlich unabhängig zusammen (rote Punkte), sodass die Koordination des Gesamtsystems von Anfang an unabhängig von der physikalischen Grundeinheit stattfindet.

Es sind Kombinationen lokaler und räumlich unabhängiger Koordination denkbar (nicht abgebildet).

DAS SILOPRINZIP

Die Marktordnung und Regulierung der Energieträger orientiert sich heute am Siloprinzip. Gas, Strom und Fernwärme unterliegen zum aktuellen Zeitpunkt in der Schweiz unterschiedlichen Regeln für die Marktleistungen wie Energieverkauf, Produktion und Speicher. Bei den Energieträgern Strom und Gas unterliegen die Netze in der Schweiz einer Zugangsregulierung (Strom) bzw. es ist eine geplant (Gas). Die Strom- und Gaslieferung ist bzw. wird von den öffentlichen Netzen losgelöst mit dem Ziel, Wettbewerb zwischen Strom- und unter Gaslieferanten zu ermöglichen. Ein Aufbrechen der Wertschöpfung im Bereich Wärme und Kälte gibt es bis jetzt in der Schweiz nicht. Im Strom- und Gasbereich unterliegen öffentliche und private Infrastrukturen (z. B. Arealnetze) unterschiedlichen Regeln. Multienergiesysteme verbinden die Energieträger und beanspruchen öffentliche und private Infrastrukturen. Regulierung der Energieträger gemäss Siloprinzip und die Art der Differenzierung der Regulierung und Abgrenzung öffentlicher und privater Infrastrukturen sind mit Blick auf die Weiterentwicklung in Richtung Multienergiesysteme zu überdenken.

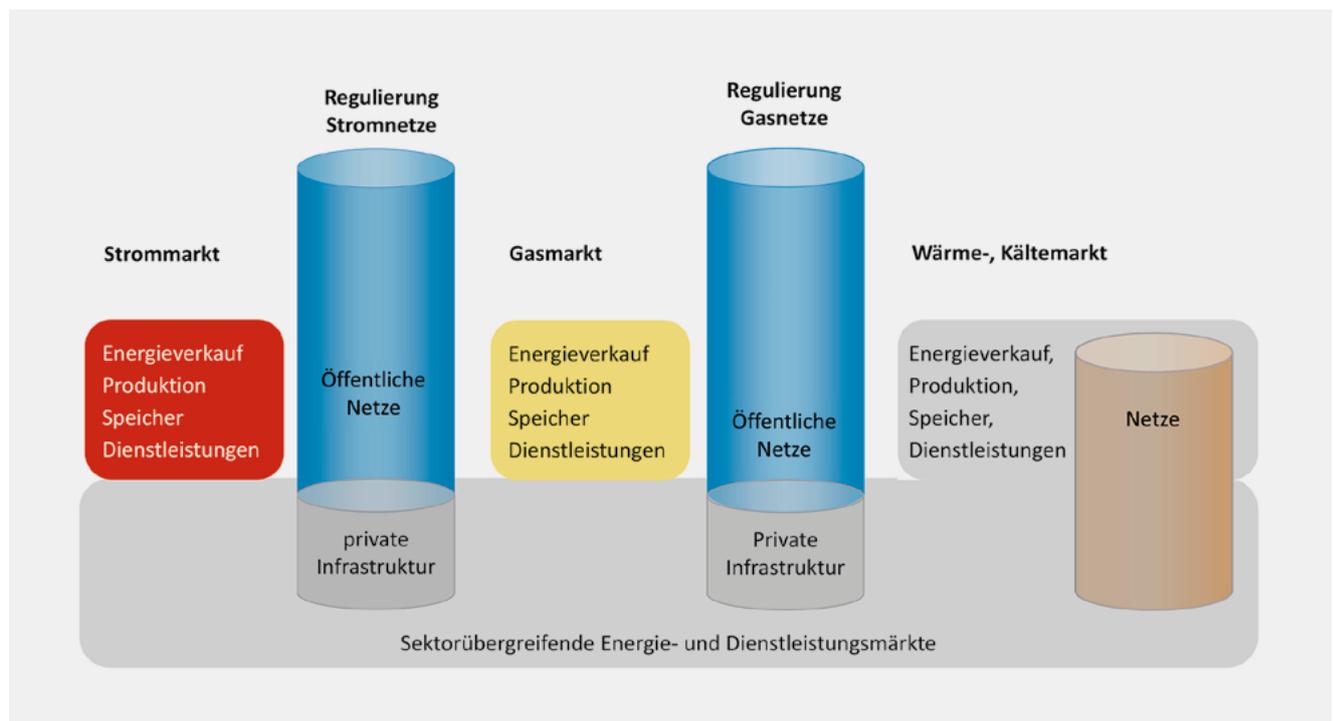


Fig. 5 Markt und Regulierung auf der öffentlichen und privaten Versorgungsebene

Box 2

INTEGRATIVE REGULIERUNG UND MARKTORGANISATION

Die effiziente Gestaltung von Multienergiesystemen, die sich an den gesellschaftlichen Präferenzen orientiert, sollte durch die Marktorganisation und Regulierung nicht behindert werden.

Die heutige Regulierung ist siloartig auf einzelne Energieträger ausgerichtet. Beispielsweise werden Netznutzungsentgelte und die Bepreisung von Flexibilitäten sektorspezifisch reguliert. Dadurch wird die Nutzung von Synergien zwischen den verschiedenen Energieträgern eingeschränkt. Die Umwandlung eines leitungsgebundenen Energieträgers in einen anderen (z.B. Power-to-Heat oder Power-to-Gas) wird regulatorisch (abgabe- und steuerrechtlich) sogar als Endverbrauch behandelt. Dies obwohl es

sich innerhalb des Multienergiesystems um eine Form der Speicherung handeln kann. Daraus ergibt sich eine Diskriminierung alternativer zur Dekarbonisierung beitragender Speicher gegenüber Pumpspeichern beim Netznutzungsentgelt.

Um die Nutzung von Speichern gemäss ihrem Beitrag zur Stabilisierung des Energiesystems zu ermöglichen, müssen entsprechende Preise der Speichernutzung und eine Gleichbehandlung beim Netznutzungsentgelt zugelassen werden. Damit verschiedene Energieträger in gekoppelten Multienergiesystemen effizient genutzt werden können, sollte die Regulierung der Netze generell technologie-neutral gestaltet werden.

Neben der getrennten Betrachtung der Energieträger ist ausserdem problematisch, dass die Regulierungen auf der

Logik der Top-down-Versorgung basieren. Dabei steht eine Trennung in Netz- und Marktthemen im Fokus und damit einhergehend notwendigerweise eine Regulierung der öffentlichen Netze. Gekoppelte Multienergiesysteme entwickeln sich aber oft dezentral in Arealen ohne Nutzung der öffentlichen Netzinfrastruktur. Im Gegensatz zu regulierten öffentlichen Netzen stehen bei privaten Infrastrukturen integrierte Lösungen im Mittelpunkt, bei denen das Zusammenwirken verschiedener Energieträger mit den jeweiligen Infrastrukturen und nicht Entflechtung im Vordergrund stehen (Fig. 5). Diese Lösungen stossen durch die sektorspezifische Regulierung der öffentlichen Netzinfrastrukturen an ihre Grenzen. Neue Energieträger wie Wasserstoff können so nicht optimal eingesetzt werden. Vor dem Hintergrund der techni-

schen Entwicklungen und Möglichkeiten sind zukünftig die Regeln für private und öffentliche Infrastrukturen zu überdenken und die Schnittstellen zu definieren (Box 2).

Neben der Regulierung der Netze sind für Multienergiesysteme auch Fragen der Marktorganisation, die sowohl den privaten als auch öffentlichen Bereich betreffen, zu betrachten. Die Systemverantwortung für das Netz liegt aktuell beim jeweiligen Verteilnetzbetreiber. Der Energieausgleich wird zentral über den Bilanzonenverantwortlichen sichergestellt. Mit Multienergiesystemen, die einen dezentralen Ausgleich ermöglichen, steigt die Anzahl und Heterogenität der involvierten Energieträger und Stakeholder. Dies erfordert eine klare Definition der zukünftigen Marktrollen und deren Verantwortlichkeiten.

AUSBLICK

Die Begriffe zur Beschreibung von dezentralen Energiesystemen werden nicht einheitlich verwendet und implizieren oft bereits Strukturen der Marktorganisation und möglicherweise interessengebundene Positionen. Im Sinne einer Optimierung des Gesamtsystems sollten Multienergiesysteme alle bestehenden Energieträger und Infrastrukturen ergebnisoffen einbeziehen.

Aufgrund aktueller Regulierungen und Anreizsysteme, aber auch aus technischen Erwägungen, stehen bei der Forschung zu Multienergiesystemen oft dezentrale Strukturen im Mittelpunkt. Bei der Gestaltung der Rahmenbedingungen des Gesamtenergiesystems darf Dezentralität aber kein Selbstzweck sein. Es ist vertieft zu analysieren, inwieweit die bestehende Top-down-Koordination durch Bottom-up- oder räumlich unabhängige integrierende Koordinationsformen abgelöst werden können. Mit anderen Worten gilt es Systeme zu finden, mit denen die Ziele der Energiestrategie 2050 möglichst kostengünstig und unter Berücksichtigung der Präferenzen der Bevölkerung erreicht werden können. Prämissen solcher Systeme sollten Technologieneutralität, Vermeidung neuer Abhängigkeiten der Endverbraucher von einzelnen (lokalen) Akteuren sowie der Abgleich der Regeln für öffentliche und private Infrastrukturen sein.

In Zusammenarbeit verschiedener Stakeholder sollte ein Leitfaden als Orientierungshilfe für die Akteure zu den Gestaltungsoptionen von gekoppelter Multienergiesystemen erarbeitet werden. Auf diese Weise erhielten Entscheidungsträger eine Hilfe, um ein austarierendes Multienergiesystem zu etablieren. Ergänzend ist die technische Sichtweise auch bei Arbeiten zur Gestaltung der Marktorganisation und Regulierung einzubringen.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Wietschel, M.; Plötz, P.; Pfluger, B. et al. (2018): «Sektorkopplung – Definition, Chancen und Herausforderungen», Working Paper Sustainability and Innovation, Fraunhofer ISI, No. S 01/18
- [2] EICOM (2020): «Rahmenbedingungen für die Sicherstellung einer angemessenen Winterproduktion». Verfügbar unter <https://www.elcom.admin.ch/dam/elcom/de/dokumente/2020/grundlagenpapierwinterproduktion.pdf.download.pdf/Grundlagenpapier%20Winterproduktion.pdf> (zuletzt abgerufen am 1.4.2020)
- [3] ADEME (2018) : «Un mix de gaz 100% renouvelable en 2050?». Verfügbar unter <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/france-independante-mix-gaz-renouvelable-010503a.pdf> (zuletzt abgerufen am 1.4.2020)
- [4] Fraunhofer ISI (2019): «Roadmap Gas für die Energiewende – Nachhaltiger Klimabeitrag des Gassektors». Verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/roadmap-gas-fuer-die-energiewende-nachhaltiger> (zuletzt abgerufen am 1.4.2020)
- [5] PSI, Empa, ETH Zürich, Université de Genève, ZHAW, HSR, Universität Luzern (2019): «Power-to-

X: Perspektiven in der Schweiz. Ein Weissbuch». Zürich et al.

- [6] Bundesamt für Energie BFE (2019): «EnergieSchweiz, Leitfaden Eigenverbrauch, Version 2.1.». Bern
- [7] Orehounig C.; Evins, R.; Dorer, V. (2015): «Integration of decentralized energy systems in neighbourhoods using the energy hub approach». *Applied Energy*, 154, 277–289
- [8] Gabrielli, P. et al. (2017): «Multi-Energy-Hubs in Quartieren. Simulation dezentraler Energiesysteme». Verfügbar unter <https://www.bulletin.ch/de/news-detail/multi-energy-hubs-in-quartieren.html>, 10, 39–42
- [9] Krause, H.; Huttenrauch, J.; Zöllner, S. (2018): «Zellulare Energienetze. Wissenschaftliche Studie gefördert durch den Deutschen Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.». Verfügbar unter <https://www.dvgw.de/themen/forschung-und-innovation/forschungsprojekte/dvgw-forschungsbericht-g-201740/?type=98> (zuletzt abgerufen am 1.4.2020)
- [10] VDE/ETG (2015): «Der zelluläre Ansatz, Grundlage einer erfolgreichen, regionenübergreifenden Energiewende». Frankfurt am Main
- [11] Knieps, G. (2017): «Internet of Things and the economics of microgrids». *Innovation and Disruption at the Grid's Edge*. Academic Press. 241–258
- [12] Ableitner, L. et al. (2019): «Quartierstrom – Implementation of a real world prosumer centric local energy market in Walenstadt, Switzerland». *arXiv:1905.07242 [cs]*. Verfügbar unter <http://arxiv.org/abs/1905.07242> (zuletzt aufgerufen am 1.4.2020)
- [13] Thiel, D.; Danuser, A. (2020): «Das digitale EVU». In: Etezadzadeh, C. (Hrsg.) «Smart City – Made in Germany. Die Smart-City-Bewegung als Treiber einer gesellschaftlichen Transformation». Springer Vieweg. Stuttgart. 338–348

> SUITE DU RÉSUMÉ

locale ne doivent être intégrées que dans la mesure où elles contribuent à optimiser le système global. Cela permet aussi d'éviter la fragmentation locale des marchés et l'apparition de nouvelles dépendances des conditions et acteurs locaux. Le couplage des systèmes énergétiques nécessite par conséquent le développement d'un cadre réglementaire qui équilibre le système énergétique global. Étant donné que les systèmes multi-énergie incluent également des infrastructures énergétiques privées non soumises aux mêmes réglementations, il convient de continuer à développer les limites et règles à cet égard. Il est aussi nécessaire de trouver des stratégies permettant d'atteindre les objectifs de politique énergétique avec une approche intégrative prenant en compte toutes les technologies et variantes d'organisation du marché en fonction des préférences de la population.