

Faktenblatt zur Entwicklung erneuerbarer, dezentraler Energiesysteme

Umbau des Energiesystems für «Netto-Null»

Das Klimaziel der Schweiz heisst «Netto-Null»: Bis 2050 ist der inländische Treibhausgasausstoss entsprechend zu senken. Und bis 2030 sind die CO₂-Emissionen in allen Konsumbereichen zu halbieren. Um den Energiebedarf im Siedlungsraum für Raumheizung, Kühlung, Warmwasser und den Haushaltsstrombedarf emissionsfrei zu decken, muss thermische und elektrische Energie aus erneuerbaren Quellen lokal bereitgestellt werden (siehe «Reichhaltiges Angebot im Siedlungsraum», S. 6). Areale und andere dichte Siedlungsräume werden so zu Musterstandorten für eine Versorgung mit erneuerbarer Energie. Wird dieses Angebot gezielt erweitert, lässt sich die Nachfrage im Gebäudebereich ohne grossen Transportaufwand dezentral decken.

Eine wichtige Erkenntnis aus der Energieforschung ist: **Der Umbau des Versorgungssystems von fossil zu erneuerbar und von zentral auf dezentral ist systemisch anzupacken.** So sind Gebäude und Areale nicht nur auf erneuerbare Energieträger umzurüsten, sondern es gilt, auch deren Bedarfsmenge zu reduzieren. Dabei können energetische Gebäudeerneuerungen die Nachfrage erheblich senken (siehe Abb. 1). Auch können Gebäude oder Areale etwa mit Hilfe von Solaranlagen und/oder Energiespeichern aktiv ins Energiesystem eingebunden werden. Die Abwärme von Zweckbauten kann zudem in benachbarten Wohngebäuden wieder genutzt werden

(siehe «Energie-Sharing im Siedlungsraum», S. 9). Das Netto-Null-Ziel lässt sich im Siedlungsraum so mit unterschiedlichen Strategiefpfaden erreichen.

Der FEEB&D-Forschungsverband beschreibt in seinem Handbuch, wie mit Hilfe von lokaler Energieproduktion ein dezentrales Versorgungssystem aufgebaut werden kann und welche Inputs die Forschung für die praktische Umsetzung liefert. Auf den folgenden Seiten werden die Erkenntnisse zusammengefasst wiedergegeben, damit sich die Energie-Akteure in Politik, Verwaltung und Wirtschaft aktiv am Umbau des Energiesystems für «Netto-Null» beteiligen können. Die ausführliche Version des «Handbuchs» ist abrufbar unter: www.hslu.ch/feebd.

Um Gebäude und/oder Areale möglichst CO₂-arm betreiben zu können, sollten bauliche und technische Verbesserungen optimal kombiniert werden. Wird eine Gebäudehülle energetisch ertüchtigt, reduzieren sich der spezifische Bedarf an Heizwärme und die lokale Nachfrage. Wird die Wärmebereitstellung mit erneuerbaren Energieträgern gelöst, sinken zusätzlich die Treibhausgasemissionen. Der gesamte Gebäudebereich lässt sich gemäss dieser flexiblen Regel kostenminimal transformieren. Das Netto-Null-Ziel ist dann erreichbar, wenn einerseits die Energieeffizienz verbessert und andererseits der Anteil an erneuerbarer Energie erhöht wird.

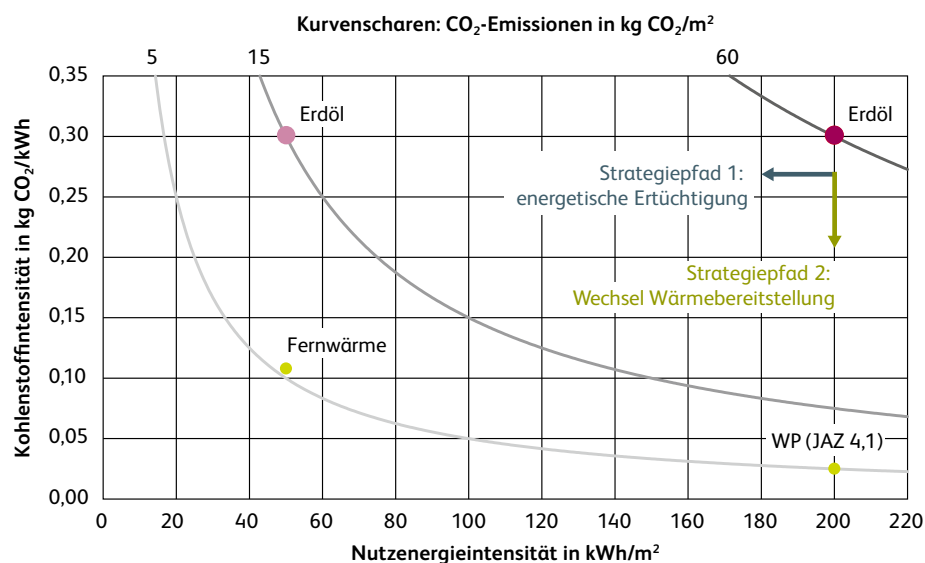


Abb. 1: Optimales Zusammenspiel der Strategiefade für «Netto-Null».

Lesebeispiel: Roter Punkt rechts oben: Altbau mit Ölheizung (CO₂-Emission: 60 kg CO₂/m²). Neubauten oder energetisch ertüchtigte Altbauten erreichen den hellroten Punkt links oben (15 kg CO₂/m²). Um das Ziel des SIA-Effizienzpfades Energie zu erreichen (5 kg CO₂/m²), muss hier die Wärme durch ein Fernwärme-System bereitgestellt werden (grüner Punkt links unten). Wird die Wärme im Altbau durch eine Wärmepumpe mit einer Jahresarbeitszahl von 4,1 bereitgestellt, sinkt die CO₂-Emission ebenfalls auf 5 kg CO₂/m² (grüner Punkt rechts unten).

Musterthemen für das erneuerbare, dezentrale Energiesystem

Gebäude und Areale bilden künftig das Rückgrat für eine umweltverträgliche, wirtschaftliche und sichere Energieversorgung des Siedlungsraums. Der FEEB&D-Forschungsverbund beschreibt den Anpassungsbedarf für Gebäude respektive Areale mit folgenden sechs Musterthemen (siehe Tabelle unten).

Energie ist nicht gleich Leistung: Erstere zählt, wieviel thermische und/oder elektrische Energie ein Gebäude beispielsweise im Jahr verbraucht. Leistungsprofile geben derweil den zeitlichen Verlauf dieser Energieflüsse mit Minima und Maxima wieder. In einem erneuerbaren Energiesystem ist das Bereitstellen der Leistungskapazität erheblich kostenrelevanter als der Konsum von erneuerbarer Energie. Die **Leistung** wird deshalb zu einer wichtigen **Kennzahl** für energieeffiziente Gebäude.

Erneuerbare und dezentrale Energiesysteme sind auf eine intelligente Steuerung angewiesen: zur Bereitstellung, Speicherung und Verteilung von Energie sowie zur Abstimmung von Angebot und Nachfrage. Unter anderem sind vorausschauende Angaben zum Wetter oder zu Nachfragespitzen zu berücksichtigen. Solche **Daten** lassen sich mit **Algorithmen** zur Planung und zum Betrieb von optimalen Gebäudesystemen nutzen.

Der Klimawandel ist schon heute anhand des Anstiegs der Jahrestemperatur und der Zunahme von Hitzetagen spür- und messbar. Behaglich nutzbare Gebäude werden künftig **Kühlung** benötigen. Überall dort, wo die Energienachfrage im Siedlungsraum steigt, gewährleisten erneuerbare, dezentrale Energiesysteme sowohl die Wärme- als auch die Kälteversorgung.

In der Umwelt steht ein vielfältiges Angebot an **erneuerbarer Energie** zur Verfügung. Aus dem Untergrund, aus Seen und Flüssen sowie aus der Luft kann im Siedlungsraum thermische Energie gewonnen werden. Die Nutzung der Sonne erlaubt zudem die Umwandlung zu




elektrischer Energie. Abwärme aus dem Industrie- und Dienstleistungsbereich ist eine weitere klimafreundliche Energieressource, die für Gebäude und Areale lokal nutzbar ist.

Erneuerbare Energie lässt sich über dezentrale Versorgungssysteme verteilen, was das direkte **Teilen von Energie** in einem Areal ermöglicht. Der interne Austausch von thermischer und/oder elektrischer Energie erhöht den Selbstversorgungsgrad im Siedlungsraum und senkt den Infrastrukturaufwand zur Bereitstellung, Speicherung und Verteilung von erneuerbarer Energie.

Dezentrale Energiesysteme tragen zur Versorgungssicherheit bei, indem sie durch ihre **Flexibilität** auf schwankende Angebots- und Nachfrageprofile reagieren. Lücken im Angebot können mit einem Ausbau der lokalen Energiegewinnung minimiert werden. Um jedoch die Belastung der übergeordneten Versorgungsnetze zu kontrollieren, bedarf es einer Steuerung der Nachfrageprofile.

Interdisziplinärer Forschungsverbund

Von 2014 bis 2020 erforschten acht nationale Kompetenzzentren themenbezogene Grundlagen und Umsetzungsinstrumente für die Energiestrategie 2050 des Bundes. Am Swiss Competence Center for Energy Research (SCCER) – Future Energy Efficient Buildings and Districts (FEEB&D) beschäftigten sich mehrere Hochschulen und Forschungsinstitute interdisziplinär mit der Energieversorgung von energieeffizienten Gebäuden und Arealen. Im FEEB&D-Forschungsverbund wirkten Expertinnen und Experten der Empa, der ETH Zürich, der EPF Lausanne, der Fachhochschule Nordwestschweiz, der Hochschule Luzern und der Universität Genf mit (<https://www.innosuisse.ch/inno/de/home/foerderinitiativen/foerderprogramm-energie1.html>).

Gebäude Strategiefad 1	Areal Strategiefad 2
 <p>Leistung Die neue Kennzahl</p>	 <p>Erneuerbare Energie im Siedlungsraum Die neue Essenz für das Energiesystem</p>
 <p>Daten und Algorithmen Das neue Vermögen im Energiesystem</p>	 <p>Teilen Das neue Geschäftsmodell im Energiesystem</p>
 <p>Kühlung Die neue thermische Herausforderung</p>	 <p>Flexibilität Die neue Versorgungssicherheit</p>

Wieviel Energie braucht der Siedlungsraum?

Private Haushalte beanspruchen einen Drittel der inländischen Stromproduktion, insbesondere zum Kochen und Waschen sowie für die Unterhaltungselektronik. Obwohl viele Geräte energieeffizienter werden, steigt der Bedarf an elektrischer Energie weiter an. Charakteristisch für den Stromkonsum der Haushalte ist zudem, dass am Mittag und frühen Abend die Nachfrage jeweils ausserordentlich ansteigt (siehe Abb. 2). Dies kann zur Belastungsprobe für das öffentliche Netz werden. Zu den wichtigen Anforderungen an eine erneuerbare Energieversorgung gehören eine hohe Zuverlässigkeit und Flexibilität. Dezentrale Energiesysteme haben deshalb ebenso schnell auf kurze Konsumspitzen zu reagieren wie auf das sich im Tagesverlauf langsamer ändernde Konsumprofil.

Die Versorgungssicherheit kann nicht nur mit Massnahmen auf der Angebotsseite erhöht werden. Auch die Lastprofile der Haushalte lassen sich netzdienlich anpassen und teilweise zeitlich steuern. Dafür müssen Konzepte erprobt werden, welche die Nachfrage nach elektrischer Energie individualisieren. Dies wäre erreicht, wenn Waschmaschinen oder Geschirrspüler beispielsweise in Zeiten mit geringerer Nachfrage in Betrieb genommen würden (siehe «Warum die Nachfrage

steuern?», S. 5). Ebenso wird der Zuwachs an Wärmepumpen und der Elektromobilität die Nachfrage nach elektrischer Energie im Haushaltsbereich steigern. Auch hierzu sind Steuerungskonzepte denkbar, um die absehbare Nachfragespitze am Abend zu reduzieren, wenn Elektroautos am Wohnstandort geparkt werden.

Der Wärmebedarf im Gebäudebereich sinkt gemäss den Verbrauchsstatistiken von Bund und Kantonen kontinuierlich. Gebäudespezifische Analysen im SCCER-Forschungsverbund bestätigen die generelle Steigerung der Effizienz bei der Energiebereitstellung zur Raumheizung und für Warmwasser. Dennoch braucht es weitere Anstrengungen, um den Energiebedarf und die Leistungsspitzen der Nachfrage zu reduzieren. Hierfür engagiert sich auch die Forschung unmittelbar, indem sie Instrumente zur Energieplanung entwickelt und für die praktische Umsetzung einer erneuerbaren Energieversorgung des Siedlungsraums bereitstellt.

Kommunalbehörden und Energieversorgungsunternehmen führen eine räumliche Energieplanung durch, um die Nachfrageprofile von Gebäuden und Arealen vorausschauend abzuschätzen und lokale Versorgungsperspektiven zu definieren. Solche Informationen liefern

Elektrizitätsbedarf von elektrischen Haushaltsgeräten in MW

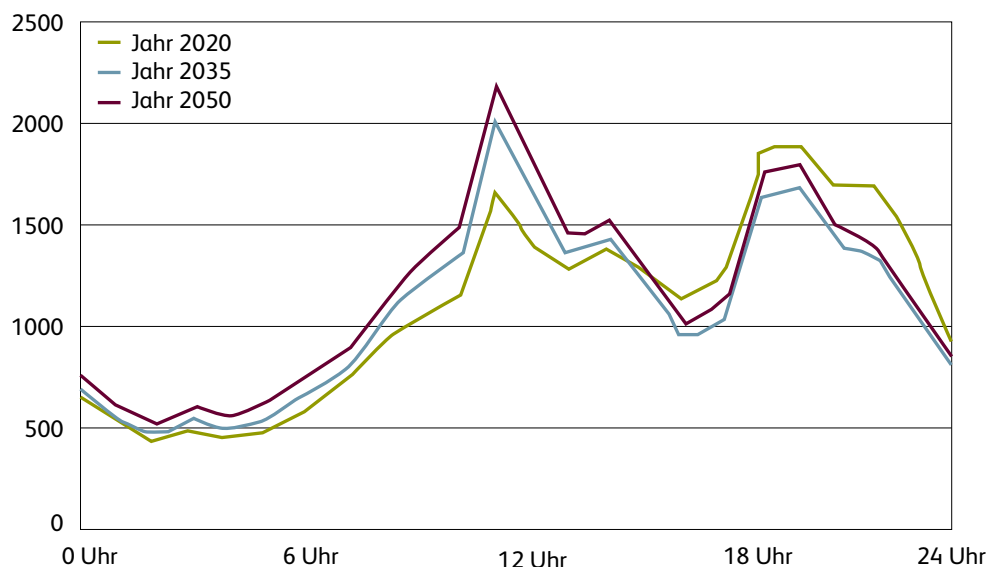


Abb. 2: Nachfrageprofil von Haushalten: Summarischer Elektrizitätsbedarf von Haushaltsgeräten im Tagesverlauf; erhoben für das Jahr 2020 (grün) und prognostiziert für 2035 (blau) und 2050 (rot).

wichtige Entscheidungsgrundlagen für den Wandel der Energieinfrastruktur. Die daran beteiligten Akteure – wie etwa Eigentümerschaften, Behörden oder Versorgungsunternehmen – können für sich damit eigene Handlungsoptionen prüfen und langfristig wirksame Investitionsentscheide fällen.

Um Konflikte zu verhindern oder gemeinsame Synergien erkennen und nutzen zu können, bedarf es ganzheitlicher Planungsmethoden. Anhand eines digitalen Zwillings erneuerbarer, dezentraler Energiesysteme lassen sich unterschiedliche Fragestellungen im Voraus untersuchen. Entsprechend hat der FEED&D-Forschungsverbund digitale Planungswerkzeuge entwickelt und diese in der Praxis erprobt (siehe «Erneuerbare Energiesysteme: dezentral und vernetzt», S. 8).

Steigert der Kühlbedarf den Energiekonsum?

Mit der voranschreitenden Klimaerwärmung und der Zunahme von städtischen Hitzeinseln taucht eine weitere Herausforderung für die Energieeffizienz auf. Um Komfortansprüche zu befriedigen, müssen Gebäude vor Überhitzung geschützt und Innenräume vermehrt gekühlt werden. Wie stark der Kühlenergiebedarf im Sommer effektiv steigen wird, hängt derweil von mehreren Faktoren ab: sowohl von gebäudebezogenen Kühlkonzepten als auch von Massnahmen im Siedlungsaussenraum. Insofern ist dieser Hitzeschutz nicht nur eine architektonische und gebäudetechnische, sondern auch eine städtebauliche Herausforderung.

Gut erforscht ist der städtische Hitzeinseleffekt. In dichten Arealen ist es tagsüber und vor allem nachts erheblich wärmer als in einem begrünten Aussenquartier. Studien zeigen, dass eine Siedlungsverdichtung in Kombination mit versiegelten Aussenflächen das lokale Klima negativ beeinflusst. Deshalb wird bei Architekturwettbewerben unter anderem auch beurteilt, wie sich Neubauten auf das Standortklima auswirken. Versiegelte Böden und Gebäude wirken als Wärmekollektoren. Dagegen verbessern Begrünungsmassnahmen die Beschattungs- und Verdunstungswirkung im Aussenraum.

Ob im Städtebau, in der Architektur oder in der Aussengestaltung: welche Massnahmen auf welchen Ebenen die beste Wirkung erzeugen, lässt sich mithilfe von Simulationen effektiv untersuchen. Hierzu hat der FEED&D-Forschungsverbund spezifische Analysemethoden entwickelt und anhand von Fallbeispielen erprobt. Sie sollen helfen, sowohl Gebäude und Areale vor Überhitzung zu schützen als auch den Energiebedarf zur Kühlung der dazugehörigen Wohn- und Arbeitsräume zu reduzieren (<https://www.zh.ch/de/umwelt-tiere/klima/hitze-im-siedlungsraum/massnahmen-gegen-hitze.html>).

Warum die Nachfrage steuern?

Die Energienachfrage im Gebäudebereich hängt von mehreren Faktoren ab. Der Baustandard bestimmt, wie viel bzw. wenig Wärmeenergie ein Wohn- oder Geschäftsgebäude benötigt. Dasselbe Effizienzprinzip gilt für Haushaltsgeräte und Wärmepumpen, die elektrisch angetrieben werden. Wird zudem erneuerbare Energie verwendet, setzt sich die Reduktion der CO₂-Emissionen weiter fort.

Auch soll das lokale Energie-Angebot möglichst vor Ort genutzt werden. Das Interesse von Besitzerinnen und Besitzern von Gebäuden steigt merklich, wenn diese aktiv in ein dezentrales Energiesystem eingebunden werden und gemeinsam mit ihrer Nachbarschaft Energie benötigen.

Mit selbst produzierter elektrischer Energie können Gebäude über eine Wärmepumpe beheizt werden. Zudem lassen sich damit Elektrofahrzeuge CO₂-neutral betanken. Auch kann überschüssige Energie mit der Nachbarschaft geteilt werden. Diese Anwendungsvielfalt wird es lokalen Energieproduzentinnen und -produzenten künftig zudem erlauben, die Nachfrage vor Ort besser auf das zeitlich schwankende Angebot abzustimmen. Wie ein Nachfrageprofil beeinflusst werden kann, hat der SCCER-Forschungsverbund anhand von sogenannten «Demand-Response-Programmen» untersucht (<https://remap.ch/>).

Erneuerbare Energie: reichhaltiges Angebot im Siedlungsraum

Gebäude und Areale benötigen erneuerbare Quellen, um sich CO₂-frei mit thermischer und elektrischer Energie zu versorgen. Quellen, die sich zudem möglichst nahe am oder direkt im Siedlungsraum befinden, können in einem dezentralen Energiesystem nahezu ohne Transportverluste effizient verteilt werden. Im Folgenden sind diejenigen natürlichen Energiressourcen beschrieben, denen der FEEB&D-Forschungsverbund ein erhebliches Ausbaupotenzial zuschreibt.

Zur präzisen Erkundung des Energieangebots und zur Definition von nachhaltigen Nutzungsbedingungen bedarf es zudem einer standortspezifischen Energieplanung. Damit stimmen Gemeinden und Städte die künftige Nutzung lokaler Energiequellen auf den Bedarf der eigenen Siedlungsentwicklung ab. Das erhöht die Planungssicherheit aller Akteure, die sich am Aufbau erneuerbarer, dezentraler Energiesysteme für Gebäude und Areale beteiligen.

Geothermie – nachhaltige Nutzungsregeln

Die Schweiz ist geothermisch dicht genutzt. Der Wärmebezug aus dem Erdreich ist bezogen auf die Siedlungsfläche heute weltweit am höchsten. Trotzdem ist

das Potenzial für eine CO₂-freie Wärmeversorgung des Gebäudebereichs noch nicht ausgeschöpft. Regionale Analysen gehen davon aus, dass bis zu achtzig Prozent des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung über Erdwärmesonden abgedeckt werden können (<https://www.unige.ch/efficience/en/publications/>).

Zu beachten sind dabei allerdings nachhaltige Nutzungsregeln. Geologische Verhältnisse und der Schutz des Grundwassers können den Zugang zu dieser Energiequelle einschränken. Auch wird empfohlen, den Bezug von Wärme aus dem oberflächennahen Erdreich saisonal zu kompensieren. So sollte der Untergrund thermisch regeneriert werden.

Aussenluft – stadtverträgliche Nutzung

Eine weitere Energiequelle, die unmittelbar im Siedlungsraum zur Verfügung steht, ist die Aussenluft. Wärmepumpen erzeugen daraus Wärme zum Beheizen von Gebäuden sowie zur Aufbereitung von Warmwasser. Weil sie dafür Luft mit Ventilatoren ansaugen, kann der Schall im Aussenbereich störend sein. Beispielhaft für andere Städte hat Zürich deshalb Richtlinien für «stadtverträgliche» Luft-Wasser-Wärmepumpen erlassen, die

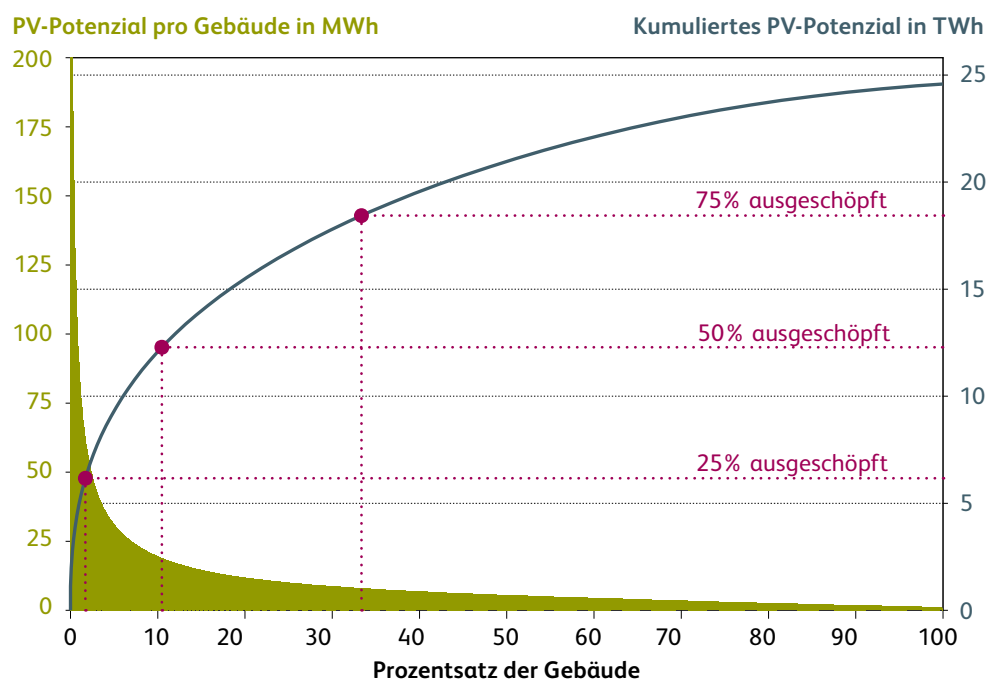


Abb. 3: Solarer Ausbaupfad im Siedlungsraum: 11% der betrachteten Dachflächen reichen aus, um die Hälfte des PV-Potenzials zu realisieren.

unzulässige Geräuschemissionen vermeiden (siehe Faktenblatt Luft-Wasser-Wärmepumpen, https://www.stadt-zuerich.ch/gud/de/index/beratung_bewilligung/klimabuero/liegenschaften/energie-coaching/faktenblaetter.html).

Solar – effiziente Ausbaustrategie

Sind hundert Prozent erneuerbare Energie in der Schweiz überhaupt möglich? Sechzig Prozent der elektrischen Energie, welche die Haushalte, der Dienstleistungssektor und die Industrie konsumieren, stammen aktuell aus Wasserkraft. Die übrigen vierzig Prozent lassen sich theoretisch mit Photovoltaik erzeugen. Diese Prognose beruht auf Analysen des FEEB&D-Forschungsverbands, der eine Ausbaustrategie im Siedlungsraum vorschlägt. Ein Drittel aller Gebäude genügt, um drei Viertel der erforderlichen Ertragsmenge zu erzeugen (siehe Abb. 3). Gut besonnte und grosse Dächer, so etwa in Industrie- und Gewerbegebieten, sind dafür prioritär zur Solarstromproduktion auszuwählen und nach Bedarf mit weiteren erneuerbaren Ressourcen dezentral zu ergänzen (<https://www.epfl.ch/labs/leso/research/domains/urbanenergysystems/>). Charakteristisch für die Solarenergie sind zeitliche Angebotsschwankungen. Im Jahres- und Tagesverlauf liefern Solardächer unterschiedliche Mengen an elektrischer Energie. Deshalb sollten Siedlungsräume in ein dezentrales Energiesystem eingebunden werden, das weitere erneuerbare Ressourcen ausgleichend nutzt und/oder auf lokale Speicherkapazitäten zurückgreift.

Gewässer – wärmen und kühlen

Siedlungsnaher Gewässer erlauben ein Heizen und Kühlen von Gebäuden. Die thermische Energie von Seen und Flüssen wird nebst den Grundwasservorkommen heute schon für die Energieversorgung einzelner Geschäftshäuser und ganzer Stadtquartiere genutzt. Damit der Wärmebezug und die Wärmeentnahme nachhaltig erfolgen, werden die ökologischen Auswirkungen auf die aquatischen Lebensräume jeweils eingehend untersucht. So hat zum Beispiel das Wasserforschungsinstitut Eawag für den Zürichsee eine umweltverträgliche Nutzungstoleranz prognostiziert. Demnach sollte die Wassertemperatur bei einer Energieentnahme im Winter um maximal 1°C sinken. Im Sommer wäre eine Erwärmung durch die Einleitung von Abwärme aus Gebäuden um 0,5 °C erlaubt. Innerhalb dieser Vorgaben kann die thermische Energie des Zürichsees rund vierzig Prozent des Wärme- und Kühlbedarfs in den angrenzenden Siedlungsräumen abdecken.

Abwärme – ein Steigerungspotenzial

Industriebetriebe verbrauchen viel Energie. Mit einer Weiterverwendung von Abwärme lässt sich die betriebliche Energieeffizienz steigern und zudem die Energieversorgung in unmittelbarer Umgebung vereinfachen. Derzeit verpufft indes immer noch die meiste Abwärme. Aktuelle Studien belegen nun ein attraktives Ausbaupotenzial. Im Vergleich zu heute können über drei Mal mehr Energie aus Abwärme genutzt werden.

Biomasse und Wind – ausgleichende Quellen

Hofdünger aus der Landwirtschaft und Energieholz aus der Waldbewirtschaftung sind die hauptsächlichen Quellen, die den Ausbau der klimaneutralen und nachhaltigen Biomassenutzung erlauben. Wird aus Hofdünger Biogas erzeugt, können gemäss Analysen des SCCER-Forschungsverbands bis zu elf Prozent des aktuellen Erdgasverbrauchs ersetzt werden (<https://www.sccer-biosweet.ch/>).

Ein weiterer Vorteil von Biomasse ist die vielfältige Nutzbarkeit. Flüchtige oder feste Brennstoffe lassen sich sowohl für Hochtemperaturprozesse in der Industrie als auch für Wärmenetze im Siedlungsraum verwenden. Ein Spezialfall ist der Einsatz von Biogas für die Wärme-Kraft-Kopplung. Weil gleichzeitig Wärme und Strom erzeugt wird, wird dies zu einem entscheidenden Baustein für dezentrale Energiesysteme.

Windenergie kann für dezentrale Energiesysteme als Import- und Ausgleichsvariante betrachtet werden. Da der Ertrag im Winter höher ist als im Sommer, bietet Windenergie eine saisonale Ergänzung zur lokalen Solarenergie. Ob Windstrom auch im Siedlungsraum selbst produziert werden kann, ist Gegenstand der Forschung. Zu untersuchen bleibt, ob sich mit vertikalen Turbinen die turbulenten Windströmungen in überbauten Gebieten wirtschaftlich nutzen lassen.

Erneuerbare Energiesysteme: dezentral und vernetzt

Dezentrale Energiesysteme leisten Zweifaches: Sie leiten dem Siedlungsraum elektrische und thermische Energie aus erneuerbaren Quellen zu und vernetzen Gebäude und Areale untereinander, sodass ein direkter Austausch zwischen Gebäuden mit Energie-Angebot und Energie-Nachfrage möglich ist. Dieser Energie-Austausch lässt sich funktional erweitern. So werden Gebäude und Areale nicht nur zur Produktion, sondern auch zur Pufferung und Speicherung von Energie aktiv in dezentrale Versorgungssysteme eingebunden.

Obwohl sich erneuerbare Energiesysteme vielfältig konfigurieren lassen und die Technologien dafür verfügbar sind, ist die praktische Umsetzung nicht zu unterschätzen. Vor allem die ökonomische Ausgangslage ist komplex. Die dafür nötigen Investitionen an Gebäuden oder für Arealnetze sind als langfristige Vorhaben mit Weitsicht zu betrachten. Entsprechend sind vertiefte Abklärungen zur Machbarkeit oder zur Entwicklung der lokalen Nachfrage notwendig. Wie verändert sich etwa die Leistungskapazität, wenn ein Gebäude energetisch ertüchtigt oder ein Areal mit Neubauten verdichtet wird? Welche Bedingungen müssen Gebäude erfüllen, die als Produktions- oder Speicherknoten in ein Gesamtsystem integriert werden?

Der FEED&D-Forschungsverbund hat sich mit der Modellierung von multifunktionalen Energiesystemen beschäftigt und eigene Evaluationsmethoden erprobt, die den Energie-Austausch (Sharing) im Siedlungsraum simulieren und optimieren können. Ein solches Planungstool bietet ein Spinoff-Unternehmen der Empa an (<https://www.sympheny.com/>).

Dezentrale Energiesysteme, die unterschiedlichste Gebäude und Areale energetisch miteinander verknüpfen, binden immer auch neue Akteure ein: Private Eigentümerinnen und Eigentümer von Gebäuden produzieren oder speichern Energie selbst. Sie leisten damit zwar Ähnliches wie öffentliche Versorgungsunternehmen, dürfen aber nach eigenem Ermessen entscheiden und handeln. Das private Energie-Sharing ist indes nur dann ökonomisch interessant, wenn der Handel mit eigener, überschüssiger Energie höhere Erträge als der damit einhergehende Aufwand verspricht, der aus der lokalen Verteilung und Abrechnung resultiert.

Ökonomische Überlegungen sind jedoch nur eine von vielen Gründen und Hindernissen zur Teilnahme an Energie-Sharing-Modellen, insbesondere bei privaten Eigentümerinnen und Eigentümern. Auch kann die lokale Nachfrage ins Stocken geraten, wenn der Energiepreis aus Sicht der Energiebezüglerinnen und -bezügler zu hoch ist. Sharing-Modelle sind folglich auf klare Handelsregeln und auf ein intelligentes Betriebssystem angewiesen, die den automatisierten Energie-Austausch mit den Interessen und Bedürfnissen der daran beteiligten Akteure verbinden.

Der SCCER-Forschungsverbund hat Lösungsansätze erprobt, wie die vielfältigen Interessen in ein dezentrales Energiesystem integriert werden können. So wurde ein Modell für die inländische Elektrizitätsversorgung entwickelt, anhand dessen der Umbau aus Sicht verschiedener Akteure evaluiert werden kann. Zudem hat der FEED&D-Forschungsverbund zum Aufbau einer digitalen Entwicklungsplattform beigetragen, die ein intelligentes Steuern des gegenseitigen Energie-Austauschs auf Stufe der Gebäude und Areale ermöglichen soll (<https://remap.ch/>).

Dezentrale Energiesysteme: Akteure und sozioökonomische Herausforderungen

In der Schweiz sind die technologischen Voraussetzungen günstig, um Gebäude und Areale vollständig mit erneuerbarer Energie zu versorgen. Die vorangehenden Kapitel beschreiben, welche Konzepte sich dafür eignen: Dezentrale Systeme können CO₂-freie Energieresourcen nutzbar und als thermische sowie elektrische Energie für Gebäude und Areale verfügbar machen. Dadurch lässt sich «Netto-Null» im Siedlungsraum erreichen. Das flexible Energie-Sharing hilft, den Infrastrukturbedarf für die Verteilung zu minimieren und temporäre Schwankungen zwischen Angebot und Nachfrage auszugleichen.

Nebst diesen technischen Lösungsansätzen hat der FEED&D-Forschungsverbund auch untersucht, wie ein Wandel der Versorgungssysteme von einer zentralen zur dezentralen Struktur sozioökonomisch begleitet und gefördert werden kann. Dieser Systemwandel eröffnet neue Geschäftsfelder und Geschäftsmodelle. Zu den wesentlichen Herausforderungen zählen allerdings die Umverteilung bisheriger Versorgungsaufgaben und die Definition der an diese geknüpften Verantwortlichkeiten. Nachfolgend werden die wichtigsten Erkenntnisse dargestellt, welche die beteiligten Akteure aus regulatorischer, organisatorischer und unternehmerischer Perspektive für den Umbau des Versorgungskonzepts in Betracht ziehen sollten.

Schon heute prägen unterschiedliche Akteure aus Politik, Verwaltung, Wirtschaft und Gesellschaft die Energieversorgung im Siedlungsraum. Für die anstehende Transformation, hin zu «Netto-Null», müssen die Ansprüche der Beteiligten stärker als bisher berücksichtigt werden. Und vor allem müssen diese auch früher in die Prozesse eingebunden werden. Ihre Interessen und Bedürfnisse sollten dabei bestmöglich aufeinander abgestimmt werden. Ebenso wichtig ist es, dass öffentliche und private Akteure ihre Kompetenzen und Aufgaben untereinander koordinieren. Die Handlungsspielräume der verschiedenen Akteure können wie folgt unterschieden werden:

- **Die Politik** schafft Anreize und führt regulatorische Massnahmen ein, damit erneuerbare Energie lokal genutzt werden kann. Sie erlässt Richtlinien zum Ausbau einer dezentralen Versorgungsinfrastruktur und fördert Modelle für ein flexibles Energie-Sharing im Siedlungsraum. Das Spektrum der Vorgaben erstreckt sich von fossilfreien Gebäudestandards über einen offenen Zugang für alle Teilnehmenden zu den Energieinfrastrukturen oder eine Anschlusspflicht an CO₂-freie Wärmenetze bis hin zur Koordination der Nachfrageprofile.
- **Die Verwaltung** organisiert eine effiziente Umsetzung der Systemtransformation, indem sie differenzierte Planungsinstrumente verwendet und den formalen Vollzug vereinfacht – etwa bei der Bewilligung zur lokalen Energienutzung. Eine räumliche Energieplanung (siehe «Wieviel Energie braucht der Siedlungsraum?», S. 4) liefert dazu Eckdaten für den Aufbau erneuerbarer, dezentraler Versorgungssysteme.
- **Die Wirtschaft** kann ähnliche Aufgaben aus jeweils unterschiedlichen Perspektiven übernehmen. Einerseits bieten sowohl private Haushalte als auch Gewerbebetriebe eigene Energiedienstleistungen in einem dezentralen Versorgungssystem an, vergleichbar mit einem Energieversorgungsunternehmen. Andererseits engagieren sich Wirtschaftsakteure bei der Lieferung innovativer Technologien und Dienstleistungsprodukte. Der Wandel des Versorgungssystems lässt zudem erwarten, dass sich Opportunitäten für neue Geschäftsmodelle ergeben.

Empfehlungen für den Aufbau und den Betrieb von erneuerbaren, dezentralen Energiesystemen

Ökologisch ist die Versorgung mit erneuerbarer Energie durch ein dezentrales System nachweislich sinnvoll. Der Anteil an erneuerbarer Energie kann dadurch gezielt erhöht werden. Und die Verteilung der Energie erfolgt direkter und verlustfreier als bisher. Der erneuerbare, dezentrale Weg, hin zu «Netto-Null», bietet den verschiedenen Akteuren zudem die Chance, sich gewinnbringend zu engagieren. Ebenso unbestritten ist jedoch, dass noch zahlreiche Hürden auf dem Weg zum angestrebten ökologischen und gesellschaftlichen Mehrwert zu meistern sind, so etwa beim Schutz

der Privatsphäre. In einem Energie-Sharing-Modell liefern individuelle Energiedaten etwa wesentliche Informationen für den optimalen Betrieb. Die offene Bewirtschaftung von Energiedaten setzt dabei voraus, dass Datenschutzstandards den Bedürfnissen der dezentralen Energieversorgung angepasst werden.

Die folgenden Empfehlungen des FEEB&D-Forschungsverbands zeigen Möglichkeiten auf, wie sich die unterschiedlichen Akteure aktiv am Aufbau von erneuerbaren und dezentralen Energiesystemen beteiligen können.

Akteure und Handlungsoptionen		
Lokale Nutzung von erneuerbarer Energie	Infrastruktur für dezentrale Arealnetze	Energie-Sharing unter Gebäuden
Politik – Regulierung, Erlass von Richtlinien und Förderung		
<ul style="list-style-type: none"> • Zielsetzung: «Netto-Null» im Gebäudebereich • Fördermodelle: Energie-Eigenverbrauch • Minimalquote für Eigenproduktion 	<ul style="list-style-type: none"> • Regelung im Datenschutz: Nutzung und Austausch von Energiedaten • Offener Zugang zu monopolistischen Infrastrukturen • Anschlusspflicht bei Wärmenetzen 	<ul style="list-style-type: none"> • Fördermodelle: Nachfragesteuerung und Energiespeicherung • Regelung im Datenschutz: Energiedaten für die Sektorkopplung
Verwaltung – Planung, Vollzug und Bewilligung		
<ul style="list-style-type: none"> • Räumliche Energieplanung: Masterplan für dezentrale Nutzung von erneuerbarer Energie 	<ul style="list-style-type: none"> • Vereinheitlichung von Verfahren und Qualitätsstandards: Genehmigung für dezentrale Versorgungssysteme • Planung und Bewilligung öffentlicher Netzinfrastruktur 	<ul style="list-style-type: none"> • Koordination und Aufsicht: Produktion, Verteilung und Handel mit lokaler, erneuerbarer Energie
Wirtschaft – Bereitstellen von Technologie und Entwicklung von Geschäftsmodellen		
<ul style="list-style-type: none"> • Geschäftsmodelle: Maximierung der lokalen Energienutzung bzw. Minimierung der Energieimporte 	<ul style="list-style-type: none"> • Innovative Dienstleistungen und Produkte für ein arealbezogenes Energiemanagement • Schnittstellen-Standards zum Energiemanagement 	<ul style="list-style-type: none"> • Infrastruktur und Technologie für Energie-Sharing • Geschäftsmodelle für Energie-Sharing bzw. zur Steuerung der Energielieferung und der Nachfrage

Impressum

Wissenschaftliche Begleitung und Verantwortung

Prof. Stefan Mennel, HSLU

Prof. Matthias Sulzer, HSLU/Empa

Textliche Bearbeitung

Paul Knüsel, Wissenschaftsjournalist BR, SKWJ

Grafische Bearbeitung

Christine Sidler, Faktor Journalisten

Lektorat

Phil Beckershoff, HSLU

Übersetzung

Ilsegret Messerknecht

Stand: August 2021

Kontakt: stefan.mennel@hslu.ch

Handbuch und weitere Informationen

www.hslu.ch/feebd

Dank

Diese Publikation wurde von der Schweizerischen Agentur für Innovationsförderung, Innosuisse, und dem Bundesamt für Energie, BFE, finanziell unterstützt und ist Teil des Schweizer Kompetenzzentrums für Energieforschung FEED&D.

Sie erscheint in Deutsch und Französisch.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

**Innosuisse – Schweizerische Agentur
für Innovationsförderung**



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE

Beteiligte Hochschulen



Materials Science and Technology



Fachhochschule
Nordwestschweiz



**UNIVERSITÉ
DE GENÈVE**

FACULTÉ DES SCIENCES

Hochschule Luzern – Technik & Architektur

Technikumstrasse 21

CH-6048 Horw

T +41 41 349 33 11

technik-architektur@hslu.ch

hslu.ch/technik-architektur