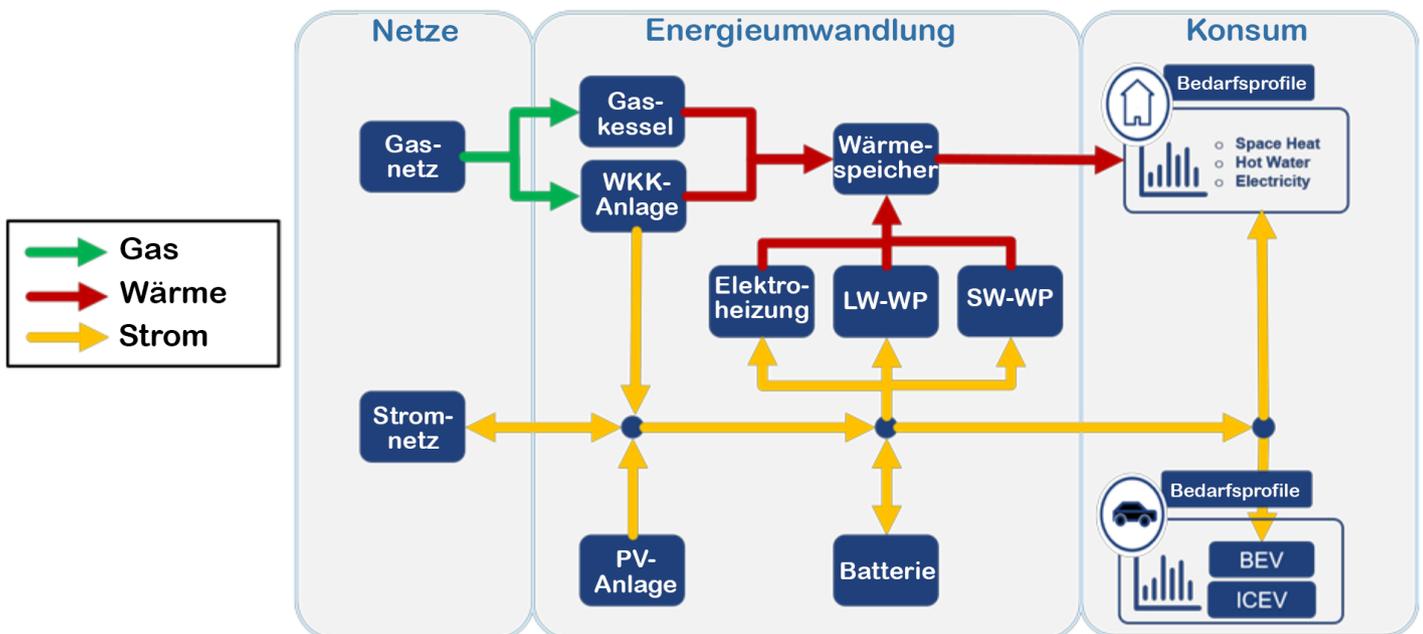


WÄRME UND STROM AUS ERNEUERBAREM GAS

Erneuerbare Energien aus Solar-, Wasser- und Windkraftwerken spielen eine zentrale Rolle für die künftige Energieversorgung. Darüber hinaus können mit biogenen Brennstoffen betriebene Blockheizkraftwerke einen Beitrag zu einer CO₂-armen Energieversorgung des Schweizer Wohn- und Mobilitätssektors leisten. Zu diesem Schluss kommt eine Studie der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETHZ), die ein Simulationstool entwickelt hat, mit dem sich die Energieversorgung mit dezentralen Produktions- und Speichereinheiten abhängig von den aktuellen Rahmenbedingungen beschreiben lässt.



Schematische Darstellung der Produktions-, Umwandlungs- und Speichereinheiten der Energieplattformen (Energie-Hubs), die in der ETH-Studie untersucht wurden. LW-WP steht für Luft-Wasser-Wärmepumpe, SW-WP für Sole-Wasser-Wärmepumpe, BEV für Elektromobil und ICEV für Auto mit Verbrennungsmotor. Illustration: BFE-Schlussbericht DISCREET

Fachbeitrag zu den Erkenntnissen aus einem Forschungsprojekt im Bereich Verbrennungsbasierte Energiesysteme, das vom Bundesamt für Energie unterstützt wurde. Der Beitrag ist unter anderem in der Fachzeitschrift *Energierundschau* (Ausgabe Oktober 2022) erschienen.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE

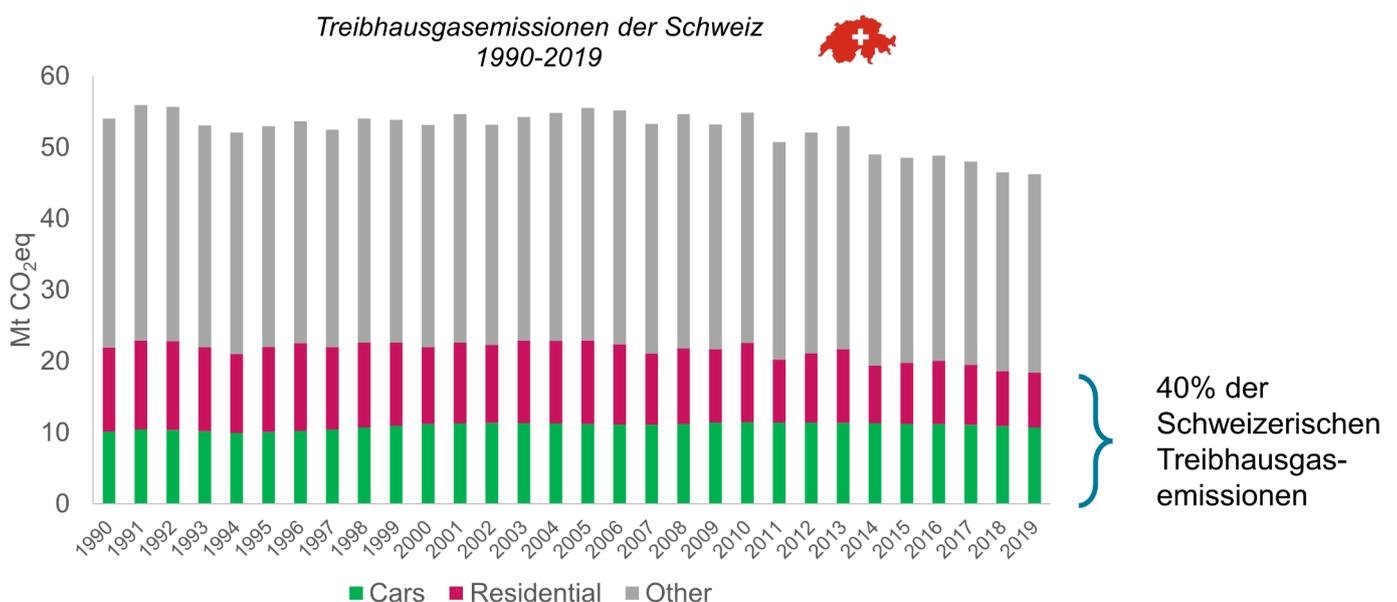
In der Energieversorgung der Schweiz spielen dezentrale Produktion und Speicherung eine immer grössere Rolle. Dezentrale Energie-Hubs nutzen verschiedene Energieträger und Energiewandler zur Bereitstellung von Strom, Heizwärme, Warmwasser und Kühlenergie. Wissenschaftler des Labors für Aerothermochemie und Verbrennungssysteme der ETHZ haben nun ein Simulationswerkzeug entwickelt, das aufzeigt, welchen Beitrag diese Energie-Hubs für eine nachhaltige und wirtschaftliche Energieversorgung der Schweiz unter Berücksichtigung der Versorgungssicherheit leisten können.

Energie für Wohngebäude und Individualverkehr

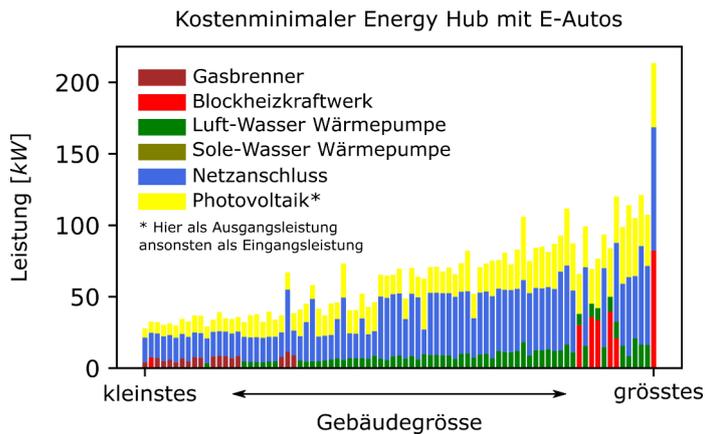
Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der ETH Zürich haben in einer früheren Studie gezeigt, dass dezentrale Wärme-Kraft-Kopplungs-Anlagen (WKK-Anlagen) 10 % des Wärmebedarfs und 12 % des Strombedarfs der Schweiz mit erneuerbarer Energie decken könnten, wenn das landesweite Biomasse-Potenzial konsequent genutzt würde (durch Umwandlung von Holz und biogenen Abfällen in Methan, das anschliessend zur Produktion von Wärme und Strom genutzt wird). 2020 wurden 1.1 % des Stroms in der Schweiz aus Holz und Biogas erzeugt. Es gibt somit noch ein grosses ungenutztes Potential.

Das aktuelle ETH-Projekt hat das Konzept der mit Biomasse betriebenen WKK-Anlagen zur Unterstützung der Stromproduktion aufgegriffen, diese als Komponente in Energie-Hubs integriert und neben dem Gebäudeenergiebedarf auch den Strombedarf für die E-Mobilität mit einbezogen. Es umfasst somit den gesamten Energiebedarf für Wärme und Strom im Wohnbereich einschliesslich des Individualverkehrs. Der ETH-Forscher Dr. Moritz Mittelviehhaus hat im Rahmen seiner Doktorarbeit ein Simulationstool entwickelt, mit dem sich die Investitions- und Betriebskosten sowie die Treibhausgas (THG)-Emissionen von Energie-Hubs berechnen lassen. In den Energie-Hubs steht ein Vielzahl unterschiedlicher Energiesysteme wie Wärmepumpen, Photovoltaik, Heizkessel und eben auch WKK-Anlagen zur Verfügung, die mit dem Simulationstool ausgewählt und kombiniert werden können. Auf der Verbraucherseite werden Gebäude unterschiedlicher Grösse sowie konventionelle und Elektro-Fahrzeuge eingesetzt. (vgl. Grafik Titelseite).

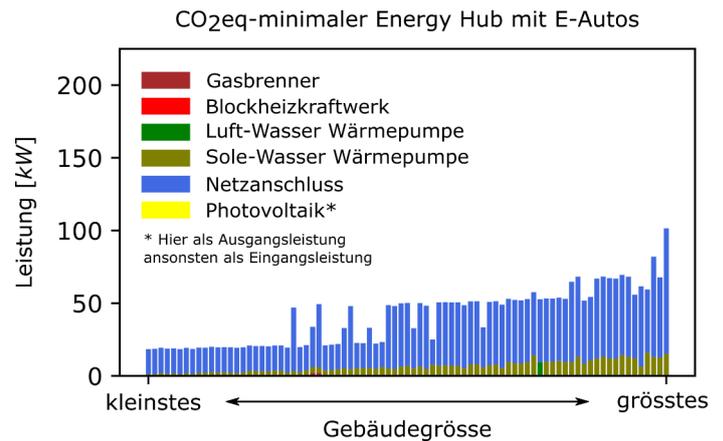
Dank des Simulationswerkzeugs können die Forschenden die annualisierten Gesamtkosten und die THG-Emissionen ausgewählter Energiesysteme über den Lebenszyklus hinweg vergleichen. Pointiert ausgedrückt: Sie konnten errechnen,



Wohnbereich und Individualverkehr sind für rund 40 % der Treibhausgas-Emissionen verantwortlich. Laut ETH-Studie liessen sich gut die Hälfte der Emissionen durch Modernisierung der Anlagen (Photovoltaik, Wärmepumpen und Biogas anstelle von Erdgas) und Elektrofahrzeuge einsparen, ohne die Energieerzeugung zu verteuern (über den Lebenszyklus hinweg betrachtet). Dabei entfallen laut den ETH-Forschern rund zwei Drittel der THG-Einsparungen auf den Gebäudesektor, etwa ein Drittel auf den Mobilitätssektor. Grafik: BAFU/bearbeitet



Die Grafik zeigt, mit welcher Kombination aus Energieerzeugungssystemen sich der Energiebedarf für Wohnen und Mobilität gemäss ETH-Studie optimal decken lässt, wenn man eine möglichst kostengünstige Energieversorgung anstrebt. Das gelingt zumeist, wenn Strom aus dem Netz und Strom aus der eigenen Photovoltaik-Anlage genutzt werden. Für kleine Gebäude empfiehlt sich zudem ein Gaskessel, für mittelgrosse Gebäude eine Luft-Wasser-Wärmepumpe und für grosse Gebäude (zumindest teilweise) der Anschluss an ein Blockheizkraftwerk. Grafik: BFE-Schlussbericht DISCREET



Die Grafik zeigt, mit welcher Kombination aus Energieerzeugungssystemen sich der Energiebedarf für Wohnen und Mobilität gemäss ETH-Studie optimal decken lässt, wenn man eine möglichst CO₂-arme Energieversorgung anstrebt. Dieses Ziel erreicht man, wenn man Strom aus dem Netz bezieht und für die Wärmeproduktion eine Sole-Wasser-Wärmepumpe einsetzt. Hierbei wird ein dem Endkonsumenten unbegrenzt verfügbares Stromnetz in heutiger Güte (aktueller CO₂-Emissionsfaktor des Strommixes im Schweizer Versorgungsnetz) vorausgesetzt, welches leicht niedrigere Emissionen als die hauseigene Stromproduktion aus Solaranlagen aufweist. Abgesehen vom gezeigten Extremfall sind hauseigene Solaranlagen in der Studie durch die Bank sehr lohnenswert, um die existierende Stromversorgung durch mehr Eigenproduktion zu entlasten und sollten wo immer möglich installiert werden, wie die Studienautoren betonen. Grafik: BFE-Schlussbericht DISCREET

mit welchen Energiesystemen sich möglichst kostengünstig möglichst viel CO₂ einsparen lässt. Moritz Mittelviehhaus hat das Tool nicht nur konzipiert, sondern für konkrete Berechnungen herangezogen. Er stellte dafür auf die Rahmenbedingungen vor der Ukraine-Krise ab. Die ausserordentliche Entwicklung der Energiepreise im Frühjahr 2022 ist in den nachfolgend präsentierten Resultaten somit nicht berücksichtigt. Das Tool der ETHZ-Forschenden ermöglicht jedoch die Simulationen ebenfalls mit veränderten Rahmenbedingungen durchzuführen.

Massiv weniger Treibhausgas-Emissionen

Ein Hauptergebnis der Studie: Durch die Elektrifizierung des privaten Wohn- und Mobilitätssektors können die Treibhausgas-Emissionen dieses Bereichs stark vermindert werden, «im besten Fall bis zu knapp 70 %, und dies bei vergleichbaren und teils sogar leicht reduzierten Gesamtkosten», sagt Co-Autor Moritz Mittelviehhaus. Die Forschenden gehen in diesem ersten Szenario davon aus, dass der Strom aus dem Netz ohne Einschränkungen verfügbar ist. Sie haben berechnet, dass sich mit dieser Umstellung in einem durchschnittlichen Wohngebäude mit acht Bewohnern der THG-Ausstoss von

rund 25 t CO₂eq/Jahr auf rund 7 t CO₂eq/Jahr vermindern lässt, die Gesamtkosten für die Energieversorgung von ca. 30 000 Fr./Jahr auf rund 27 000 Fr./Jahr (die Zahlen enthalten die Gesamtkosten der Wärme-, Strom- und Mobilitätsversorgung inkl. Anschaffungskosten für PKW). Dass die Treibhausgas-Emissionen nicht über die erwähnten 70 % hinaus gesenkt werden können, liegt primär an der grauen Energie, die in Heizanlagen, Kraftwerken und Fahrzeugen unweigerlich enthalten ist.

Die Dekarbonisierung der Energieversorgung gelingt gemäss der ETH-Studie dank der «Kerntechnologien», die seit Jahren im Trend liegen: Wärmepumpen ersetzen Öl- und Gasheizungen, Elektroautos lösen Verbrenner ab. Hinzu kommen dezentrale Photovoltaik-Anlagen, die mit stationären Stromspeichern oder Batterien in Elektroautos ergänzt werden. Solaranlagen, so die Annahme der Studie, werden wie heute üblich mit Einmalzahlungen staatlich gefördert. Weitere Fördermittel würden helfen, den von der Studie vorgezeichneten Wandel der Energielandschaft zu beschleunigen, ist ETH-Forscher Mittelviehhaus überzeugt: «Das Potenzial zur Reduktion der Treibhausgase wird bisher (noch) nicht ausgeschöpft,



Die Stadt St. Gallen (Bild links) setzt Erdgas-befeuerte Blockheizkraftwerke ein, um Ölheizungen zu ersetzen und damit den Ausstoss von Treibhausgasen zu senken. Bild rechts: eines der beiden Blockheizkraftwerke der neuen Fernwärmezentrale Lukasmühle mit 2 MW Leistung zur Wärme- und Stromproduktion. Foto: Stadt St. Gallen / St. Galler Stadtwerke

weil dafür hohe Investitionen für Anlagen aber auch für E-Fahrzeuge getätigt werden müssen.»

WKK-Anlagen für Engpässe im Winter

Zu einem anderen Ergebnis gelangt die Studie für den Fall, dass eine möglichst kostengünstige Energieversorgung angestrebt wird. In diesem Szenario wird der Energieträger Gas weiterhin benötigt, wie ETH-Forscher Mittelviehhaus ausführt: «Besonders bei kleinen Gebäuden können Gaskessel ökonomische Lösungen darstellen und bei grossen Gebäuden auch BHKW, die durch Verbrennung von Gas Wärme und Strom erzeugen.» (vgl. Grafik S. 3 oben links) WKK-Anlagen sind auch deshalb nötig, weil der stark wachsende Strombedarf für Wärmepumpen und Elektroautos nach Einschätzung der ETH-Forschenden nicht nur durch erneuerbaren Strom gedeckt werden kann, auch deshalb nicht, weil im Winterhalbjahr der erforderliche PV-Strom nicht in genügender Menge verfügbar ist. Hier böten BHKW, die mit Erdgas oder Biogas betrieben werden, «attraktive Lösungen, um die Stromversorgung im Winter sicherzustellen.»

Wissenschaftler Mittelviehhaus ergänzt: «Die dauerhafte Nutzung von Gaskesseln und WKK-Anlagen mit Erdgas ist nur dann zu empfehlen, wenn es wirklich auf den letzten Rappen ankommt. Ökonomisch und klimapolitisch sinnvoll sind aber mit Biogas betriebene WKK-Anlagen, mit denen Stromengpässe primär im Winter überbrückt werden.» Diese Anlagen seien grossen Gaskraftwerken (Gas- und Dampf-Kombikraftwerke) vorzuziehen, sind die Studienautoren überzeugt. «Bei

Szenarien mit minimalem CO₂ als Zielgrösse erwiesen sich WKK-Anlagen kurzfristig mit Biogas, längerfristig mit grünem Wasserstoff als überlegen gegenüber zentralen Gaskraftwerken mit Carbon Capture and Storage (CCS)», sagt der vor kurzem emeritierte ETH-Professor Konstantinos Boulouchos, der die Studie betreut hat. Ein zweiter Pfeiler zur Entschärfung der Auslandabhängigkeit sind laut Studie neben den WKK-Anlagen grosse Solaranlagen mit einer landesweiten Gesamtleistung von 9 bis 26 GW (installierte PV-Leistung Ende 2020: 3 GW). Die konkrete Umsetzung dieser Idee (Standortsuche, Netzeinbindung, Speicherung für Ausgleich Sommer/Winter usw.) hat die Studie nicht untersucht.

St. Gallen setzt auf BHKW

Die ETH-Forscher haben für ihre Simulation des Energieverbrauchs die Gegebenheiten der Stadt St. Gallen herangezogen. Gleichzeitig fallen ihre Ideen in dieser Stadt auf fruchtbaren Boden, wie Marco Letta, Unternehmensleiter der St. Galler Stadtwerke, sagt: «Die ETH-Studie zeigt sehr eindrücklich auf, dass das Energiekonzept 2050 der Stadt St. Gallen mit der Kopplung der Sektoren Strom, Wärme und Gas der einzig richtige Weg zur Dekarbonisierung ist. Nahwärmeverbünde mit leistungsfähigen Blockheizkraftwerken in den Energiezentralen leisten im Winter nicht nur als Bandlast-Stromproduktion einen wertvollen Beitrag zur lokalen Versorgung, sondern entlasten auch in den entsprechenden Quartieren das Stromnetz.» St. Gallen will die Stromproduktion aus BHKW in den nächsten Jahren denn auch kräftig ausbauen, von heute 1,3 MW_{el} auf 40 MW_{el} im Jahr 2050. Die Anla-

gen sollen dann rund 20 % des städtischen Strombedarfs decken.

Marco Letta weist darauf hin, dass Erdgas in den kommenden 10 bis 15 Jahren als Medium für die BHKW dienen muss, bis die weltweite Produktion von Biogas, Wasserstoff und synthetischen Gasen heraufgefahren werde. «Wir ersetzen aber bereits heute mit den BHKW-Nahwärmeverbänden viele Ölheizungen und senken dadurch die Treibhausgas-Emissionen. Die heutigen, noch fossil befeuerten WKK-Systeme werden dann beim nächsten Erneuerungszyklus durch BHKW ersetzt, welche «H₂-ready» sind oder zu 100% mit Biogas bzw. synthetischem Gas betrieben werden können.»

- **Schlussbericht** zum Forschungsprojekt «Distributed Cogeneration supporting Renewable Energy sources for the Electrification of Transport» (DISCREET) unter: <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=40672>
- **Auskünfte** zum Thema erteilt Stephan Renz (info@strenzconsulting.ch), externer Leiter des BFE-Forschungsprogramms Verbrennungsbasierte Energiesysteme.
- Weitere **Fachbeiträge** über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Verbrennung unter www.bfe.admin.ch/ec-verbrennung.



Gas aus Biogasfermentern (Foto) ermöglicht die Produktion von Wärme und Strom aus einem CO₂-neutralen Energieträger. Foto: Ökostrom Schweiz