

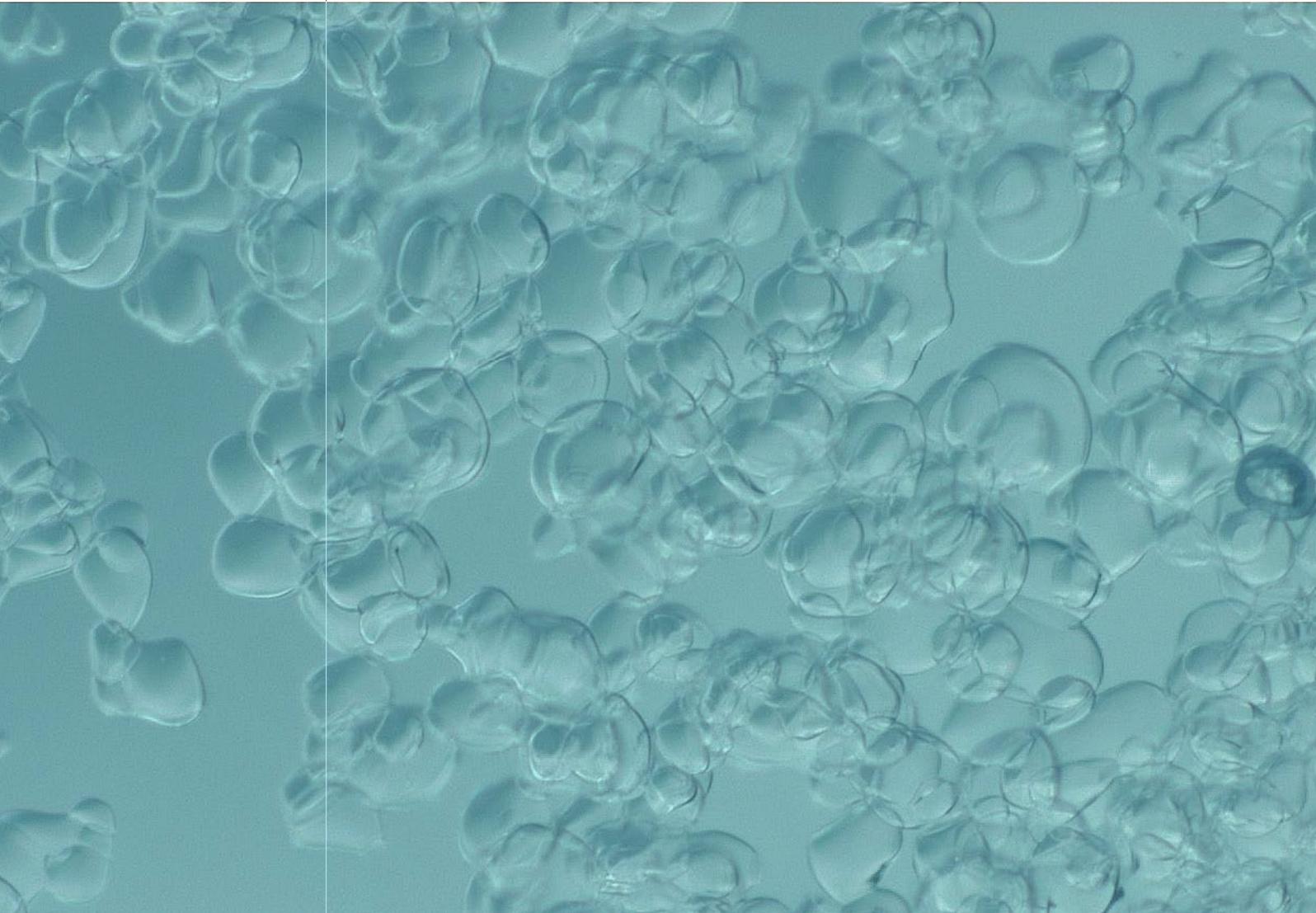


Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE

Energieforschung und Innovation

Bericht 2024



Editorial

Die Herausforderungen des Klimawandels und die Energieversorgungssicherheit gehören in der Schweiz und weltweit zu den wichtigsten Themen. Neben der Umsetzung von Effizienzmassnahmen und der Anwendung erneuerbarer Energietechnologien spielt die Energieforschung eine wichtige Rolle. Sie hilft, das zunehmend komplexere Energiesystem mit verschiedenen Wechselwirkungen zwischen unterschiedlichsten Akteuren und verschiedenen Energiesektoren zu studieren und technische und nicht-technische Lösungen zu entwickeln.

Das Bundesamt für Energie (BFE) fördert und koordiniert die Schweizer Energieforschung in einem programmatischen Ansatz seit vielen Jahren und unterstützt anwendungsorientierte Forschung, Pilot- und Demonstrationsprojekte sowie grössere interdisziplinäre Forschungskonsortien. Eingesetzt werden hierfür drei verschiedene Förderinstrumente, welche sich komplementär ergänzen. In dieser Broschüre werden exemplarisch Projekte vorgestellt, welche das BFE fördert und eng begleitet, dies stellvertretend für eine Vielzahl von weiteren Forschungs-, Pilot- und Demonstrationsprojekten. Die angegebenen QR-Codes leiten zu detaillierten Informationen weiter.

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech

(Titelbild) Eisspeicher haben ein grosses Potenzial zur Bereitstellung und Speicherung von Wärme und Kälte, und können sowohl in Wohnbauten als auch in der Industrie eingesetzt werden. Um in Zukunft vermehrt zur Anwendung zu kommen, müssen sie einfacher installierbar, grössenskalierbar und kostengünstiger werden. Forschende der Ostschweizer Fachhochschule arbeiten an einem neuen Verfahren auf der Basis eines feinen Eisbreis («Eisslurry», hier unter dem Mikroskop zu sehen).

Das Grundprinzip von Eisspeichern liegt in der sogenannten latenten Wärme: Beim Übergang von Wasser zu Eis bei 0 °C können grosse Mengen an nutzbarer Wärme entzogen werden. Übliche Eisspeicher werden in Kellerräume oder Kavernen eingebaut, die mit Wärmetauscherrohren vollgepackt werden. Das Problem dabei ist, dass die wachsende Eisschicht auf den Rohren isolierend wirkt, was die Wärmeübertragung zusehends hemmt. Das innovative Konzept des Solarinstituts SPF an der Fachhochschule OST umgeht dieses Problem, indem Eis nicht «am Stück» gebildet wird, sondern in Form eines (dick-) flüssigen Eisbreis. Dieses Eisslurry kann dann in einen vom Wärmetauscher getrennten Tank geleitet werden

In den beiden vom Bundesamt für Energie unterstützten Projekten «SlurryStore» und «ModIceCrys» wurde bzw. wird die Technologie experimentell und mittels numerischer Modelle untersucht. Erste Simulationen und Tests sind vielversprechend. Um eine Vereisung überall im Kreislauf und unter allen Betriebsbedingungen vermeiden zu können, sind aber noch einige Herausforderungen zu lösen (Bildquelle: Slurry ice under microscope/commons.wikimedia.org/Michael Froehlich [heruntergeladen am 16.05.25]).



Inhalt

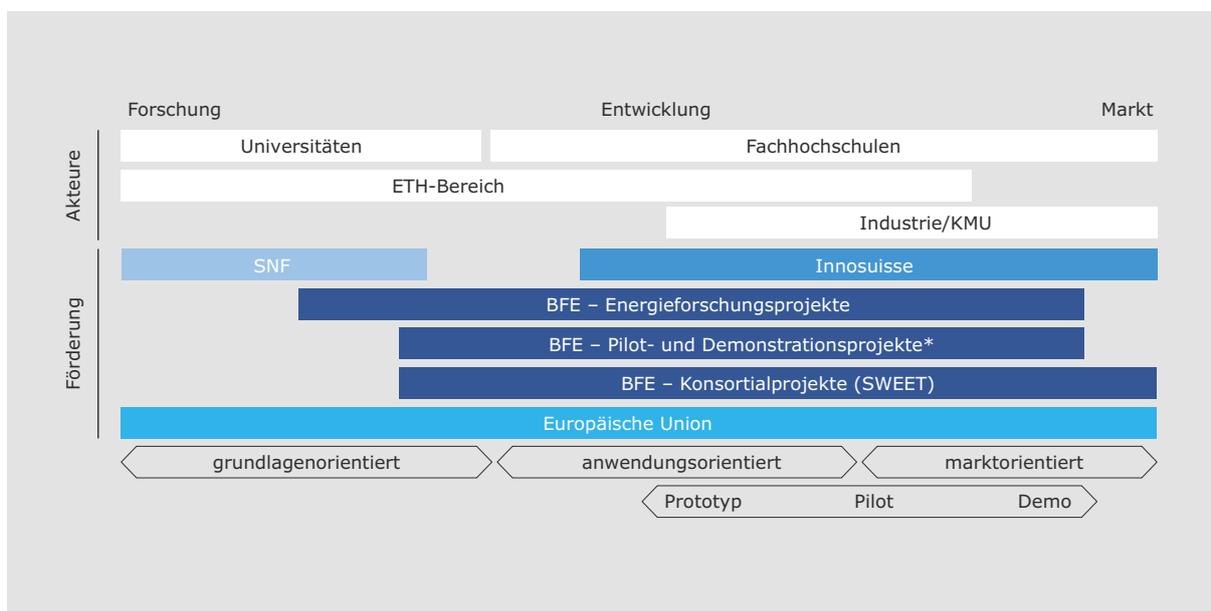
Editorial	2
Inhalt	3
Überblick	
Technologie- und Innovationsförderung	4
Thematische Energieforschungsprogramme	5
Inter- und transdisziplinäre Forschungsförderung mit SWEET	5
Statistik der Schweizer Energieforschung	7
Highlights	
Reststoffe aus Biomasse optimal verwerten	10
Eiszeit-Rinne als Energiereservoir	12
Das Stromsystem der Zukunft belohnt Flexibilität	14
Mit KI ineffiziente Wärmepumpen aufspüren	18
Alternative Stromautobahnen	20
Als Region klimaneutral werden	24
International	
Internationale Zusammenarbeit	26
Beteiligung in Technologie-Kooperationsprogrammen der IEA	27
Teilnahme an European Partnerships	27
Weitere internationale Zusammenarbeit	27

Technologie- und Innovationsförderung

Mit drei komplementären Förderinstrumenten für Forschung und Innovation im Energiebereich deckt das Bundesamt für Energie (BFE) praktisch das gesamte Technologiespektrum ab. Es orientiert sich dabei am Energieforschungskonzept des Bundes 2025-2028. Technische und Sozial- und Geisteswissenschaften (engl. SSH: social sciences and humanities) sollen schon bei der Konzipierung von Forschungsvorhaben eng zusammenarbeiten, um Forschungsergebnisse frühzeitig auf die spätere Anwendung auszurichten.



Die BFE-Mittel für Energieforschung werden unterstützend eingesetzt, um Lücken in der Förderlandschaft zu schliessen. Sie werden strategisch gemäss Konzept eingesetzt, um die nationale und internationale Einbindung der Forschenden zu fördern. 2024 standen rund 50 Millionen Franken zur Verfügung und es wurden rund 400 laufende Projekte begleitet.



Das Bundesamt für Energie (BFE) koordiniert Forschung und Innovation im Energiebereich über einen grossen Teil der Wertschöpfungskette (Innosuisse = Schweizerische Agentur für Innovationsförderung; SNF = Schweizerischer Nationalfonds).
 * Der Bundesrat plant, das Pilot- und Demonstrationsprogramm mit der Vorlage zum Entlastungsprogramm 27 zu streichen.

Thematische Energieforschungsprogramme

Das Bundesamt für Energie (BFE) deckt mit seinen thematisch orientierten Energieforschungsprogrammen ein weites Spektrum der Energieforschung ab. Diese Programme sind eng mit den anderen Förderinstrumenten des BFE (Programm für Pilot- und Demonstrationsprojekte und das Programm SWEET) verknüpft.

Die einzelnen Programme orientieren sich entlang der Achsen «Energieeffizienz», «Erneuerbare Energie», «Geistes- und sozialwissenschaftliche Themen», «Speicherung und Netze». Zentrale Themen wie «Digitalisierung», «Sektorkopplung» und «Energiespeicherung» werden programmübergreifend behandelt.



Thematische Energieforschungsprogramme des BFE. Die Zahlen in Klammern bezeichnen den Technologiereifegrad von Projekten, die durch das entsprechende Programm gefördert werden.

Inter- und transdisziplinäre Forschungsförderung mit SWEET

Das Förderprogramm SWEET – «Swiss Energy research for the Energy Transition» – fördert inter- und transdisziplinäre Forschungskonsortien, die sich mit zentralen Fragen zur Energiestrategie 2050 und zur langfristigen Klimastrategie der Schweiz beschäftigen. Dazu werden thematische Ausschreibungen lanciert.

In Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Umwelt hat das Bundesamt für Energie 2024 eine Ausschreibung zum Netto-Null Ziellanciert. Das zukünftige Konsortium soll aufzeigen, wie die Schweiz mit den schwer vermeidbaren Treibhausgasemissionen aus der Industrie, aus Kehrlichtverbrennungsanlagen und aus der Landwirtschaft umgehen kann, um das Netto-Null-Ziel bis 2050 zu erreichen. Im Vordergrund stehen dabei «Carbon Capture and Storage» (CCS) und Negativemissionstechnologien (NET), aber auch Ansätze, um die schwer vermeidbaren Treibhausgasemissionen weiter zu senken.

2024 hat das Konsortium RECIPE (Resilient Infrastructures for the Swiss Energy Transition) den Zuschlag der Ausschreibung zum Thema «Infrastrukturen, Klimawandel und Resilienz des Schweizer Energiesystems» erhalten. Unter Leitung der ETH Zürich werden die Forschenden u.a. die Auswirkungen des Klimawandels auf das Schweizer Energiesystem identifizieren. Zudem wird untersucht, wie sich Störungen – zum Beispiel Unterbrechungen der Energieversorgung oder Energiepreisschwankungen – auf Wirtschaft, Gesellschaft, Ressourcen und Ökosysteme auswirken.

Bereits seit 2023 ist das Konsortium CoSi (Co-Evolution and Coordinated Simulation of the Swiss Energy System and Swiss Society) aktiv. Es koordiniert die Erarbeitung von Energieszenarien der SWEET-Konsortien und integriert Erkenntnisse der Sozial- und Geisteswissenschaften. Basis ist das gemeinsame Modellverständnis, das in der Aktivität «CROSS» von



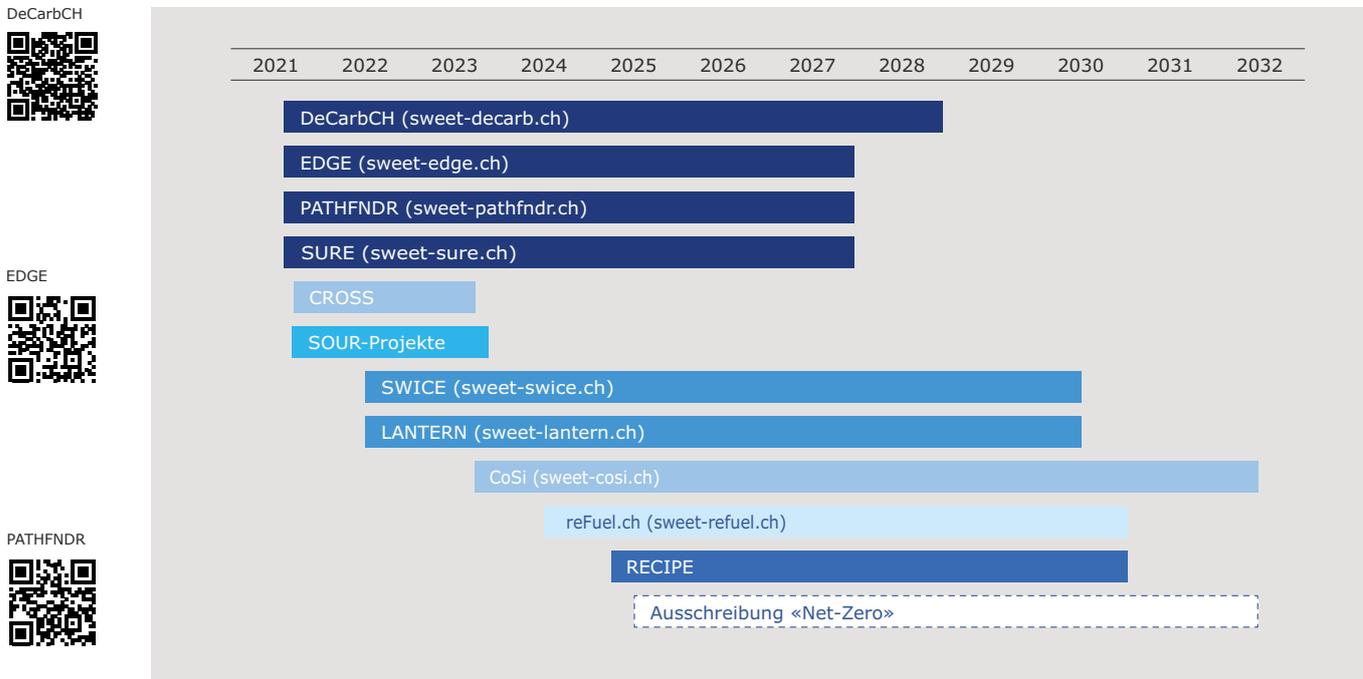
2021 bis 2023 von den ersten vier SWEET-Konsortien entwickelt wurde. Dabei wurden die Szenario-Definitionen abgeglichen, so dass z.B. in allen Modellen unter Netto-Null das gleiche verstanden wird. Weiter wurden verschiedene Parameter vereinheitlicht: So ist das Energieholzpotenzial nun an die neusten Erhebungen angepasst und das Potenzial von Abfällen zur Prozesswärmeproduktion ist reduziert, da dieses vielerorts für Fernwärmenetze eingesetzt wird oder werden soll.

Mit dieser gemeinsamen Basis haben die Forschenden mit insgesamt sieben Modellen die Energieszenarien gerechnet und verglichen. Dabei zeigten sich interessante Gemeinsamkeiten, aber auch grosse Differenzen: Einig waren sich die Modelle zum Beispiel beim Anteil von Solarstrom, der bis 2050 zugebaut werden soll, und wie dieser mit der Wasserkraft zusammenspielt. Sehr unterschiedliche Resultate lieferten sie hingegen bezüglich der zukünftigen Bedeutung von Wasserstoff oder der Bereitstellung von Prozesswärme für die Industrie. Hier soll die Datenlage verfeinert werden, um konsistentere Voraussagen zu erreichen. Ein Beispiel: Die Forschenden erheben aktuell, wie viel Wärme die Industrie auf welchem Temperaturniveau benötigt.

Aktuell arbeiten die Forschenden im Konsortium CoSi am nächsten Modellvergleich. Dabei zeigen sie weiterhin technisch orientierte Systementwicklungen auf, arbeiten aber insbesondere daran, vermehrt geistes- und sozialwissenschaftliche Aspekte in die Analysen zu integrieren. Dazu werden in verschiedenen Vertiefungsthemen unterschiedliche Aspekte der Energiewende näher beleuchtet. So kann beispielsweise mit agentenbasierten Modellen untersucht werden, wie verschiedene Akteure ihre Entscheidungen treffen. Die Resultate geben Aufschluss, ob und unter welchen Voraussetzungen die Bevölkerung oder Firmen auch tatsächlich so entscheiden und handeln, dass sich die Szenarien aus den technischen Modellen umsetzen lassen. Die verschiedenen Analysen werden voraussichtlich im zweiten Halbjahr 2025 starten und erste Ergebnisse sind für 2026 geplant.

Drei solcher Analysenrunden will das Konsortium CoSi bis 2032 durchspielen. Damit sollen die Energieszenarien aussagekräftiger werden und bessere Entscheidungsgrundlagen für Politik, Wirtschaft und Gesellschaft liefern.

Irene Bättig, Sprachwerk GmbH

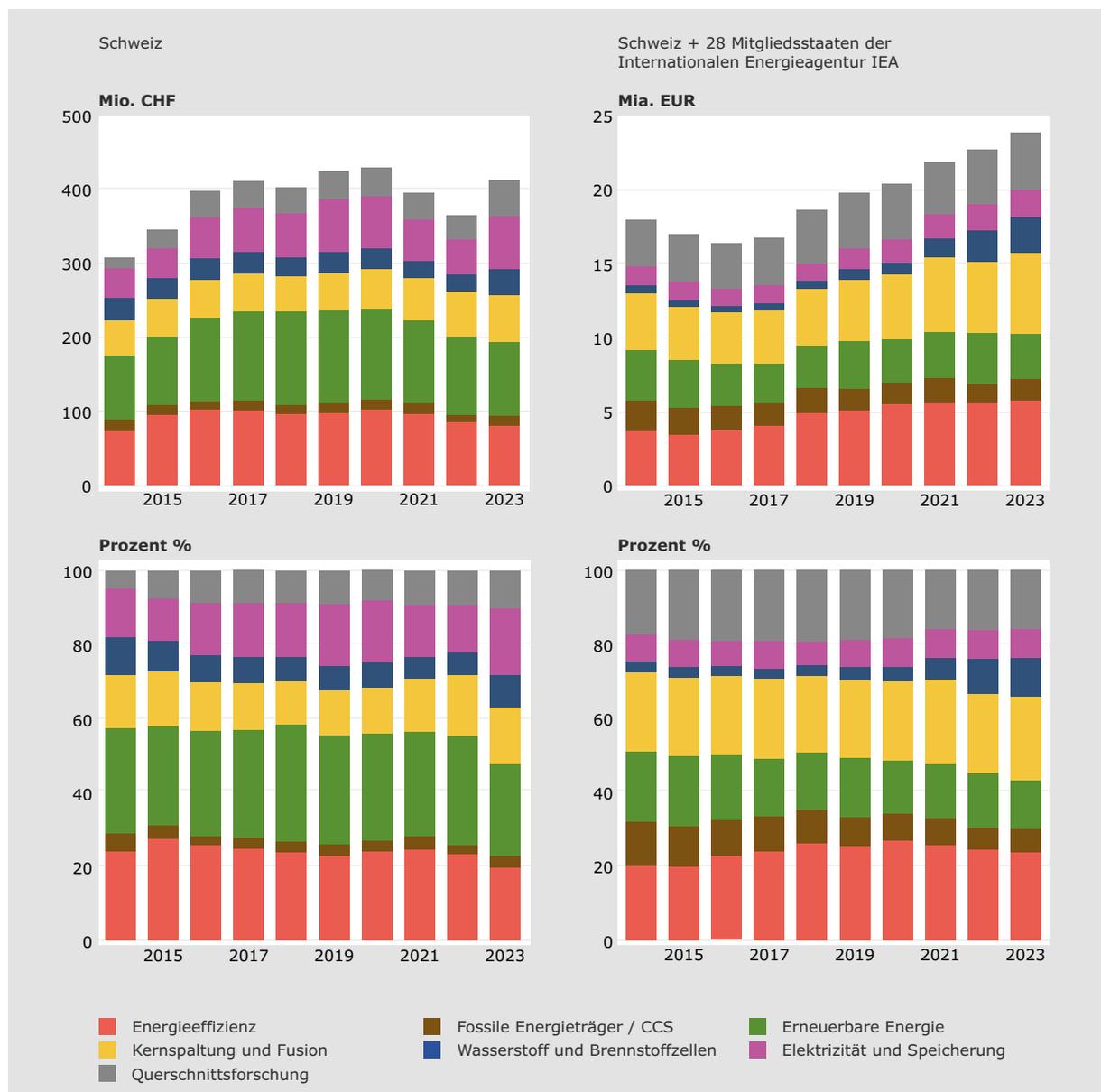


Übersicht der Konsortien der abgeschlossenen, laufenden und geplanten Ausschreibungen des Förderprogramms SWEET. 2024 hat das Konsortium RECIPE die Arbeit aufgenommen. Es wird Gefahren identifizieren und Anfälligkeitsszenarien für die voneinander abhängige Energie- und Kommunikationsinfrastruktur der Schweiz entwickeln. Weiterhin aktiv sind die Konsortien aus früheren Ausschreibungen: DeCarbCH, EDGE, PATHFNR und SURE beschäftigen sich mit verschiedenen Aspekten des zukünftigen Schweizer Energiesystems, u.a. der Dekarbonisierung der Wärme- und Kälteversorgung, der Integration erneuerbarer Energien, der Sektorkopplung sowie der Nachhaltigkeit und der Resilienz. Die beiden Konsortien LANTERN und SWICE erarbeiten im Rahmen von sogenannten Living Labs neue Lebens-, Arbeits- und Mobilitätsformen und Lösungen für eine dekarbonisierte, ressourceneffiziente Schweiz. CoSi untersucht, wie sich die Entwicklung des Schweizer Energiesystems und der Schweizer Gesellschaft gegenseitig beeinflussen und integriert diese Erkenntnisse in Modelle und Szenarioanalysen. ReFuel.ch beschäftigt sich mit nachhaltigen Treib- und Brennstoffen und mit Plattformchemikalien.

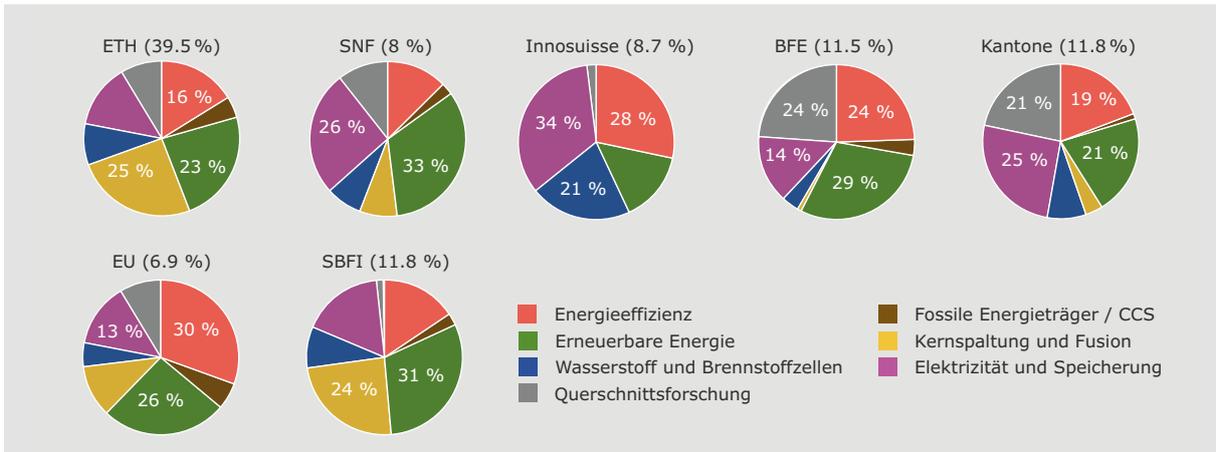
Statistik der Schweizer Energieforschung

Seit 1977 erfasst das Bundesamt für Energie (BFE) Daten zu Projekten, die ganz oder teilweise von der öffentlichen Hand (Bund und Kantone), vom Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (SNF), von Innosuisse oder von der Europäischen Union (EU) finanziert werden. Informationen zu einzelnen Projekten können aus dem öffentlich zugänglichen Informationssystem des Bundes (www.aramis.admin.ch), des SNF (data.snf.ch), der EU (cordis.europa.eu) und den jeweiligen Webseiten der Institute eingesehen werden. 2023 hat die öffentliche Hand in der Schweiz 405.6 Milli-

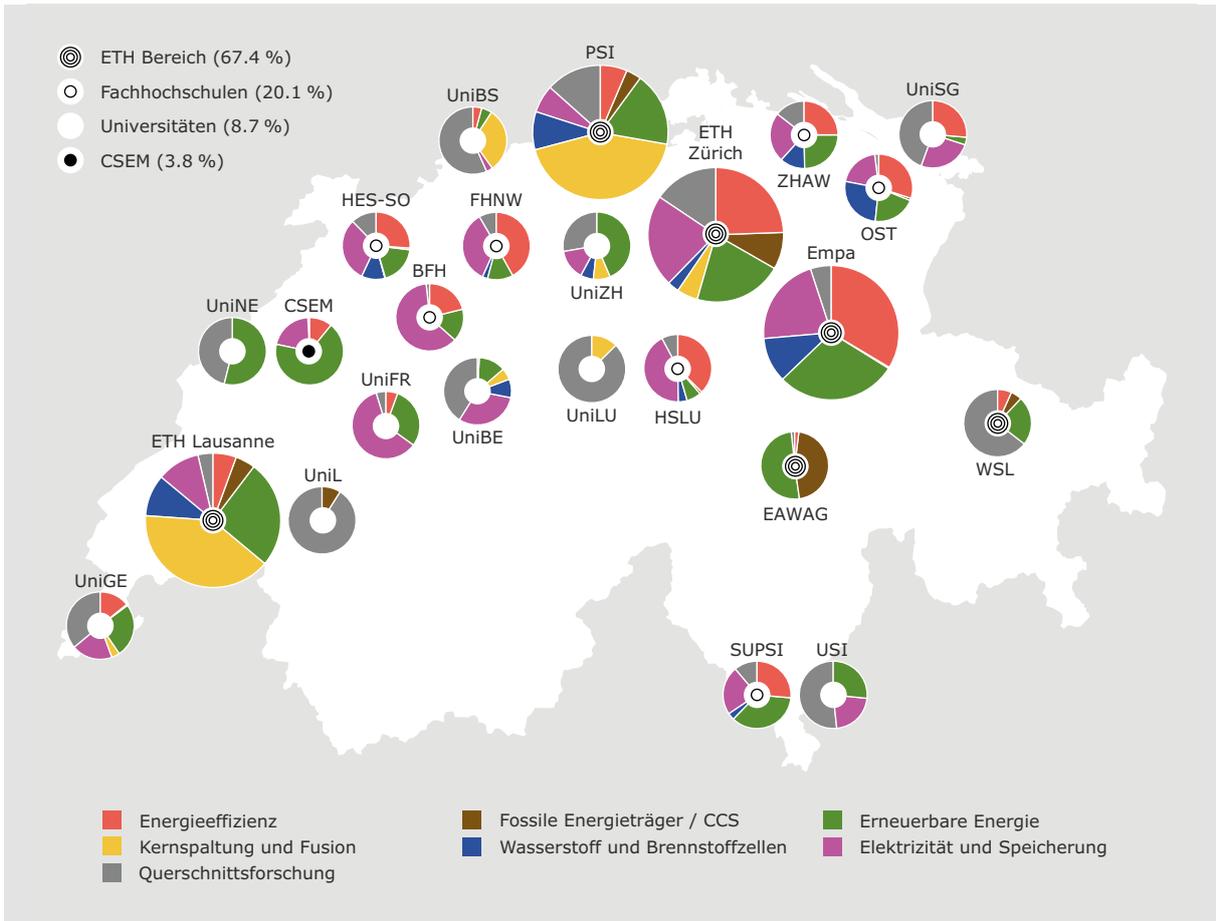
onen Franken für die Energieforschung aufgewendet. Mit rund 39.5 % steuerte der ETH-Bereich den grössten Anteil bei. Nach den Kantonen und dem SBFJ (jeweils 11.8 %), hatte das BFE mit 11.5 % den viertgrössten Anteil. Von den durch das BFE aufgewendeten 36.6 Millionen Franken, flossen rund 12.4 Millionen Franken in Projekte aus dem Bereich «Effiziente Energienutzung», 12.5 Millionen Franken aus dem Bereich «Erneuerbare Energien» sowie 11.3 Millionen Franken aus dem Bereich «Geistes- und Sozialwissenschaften».



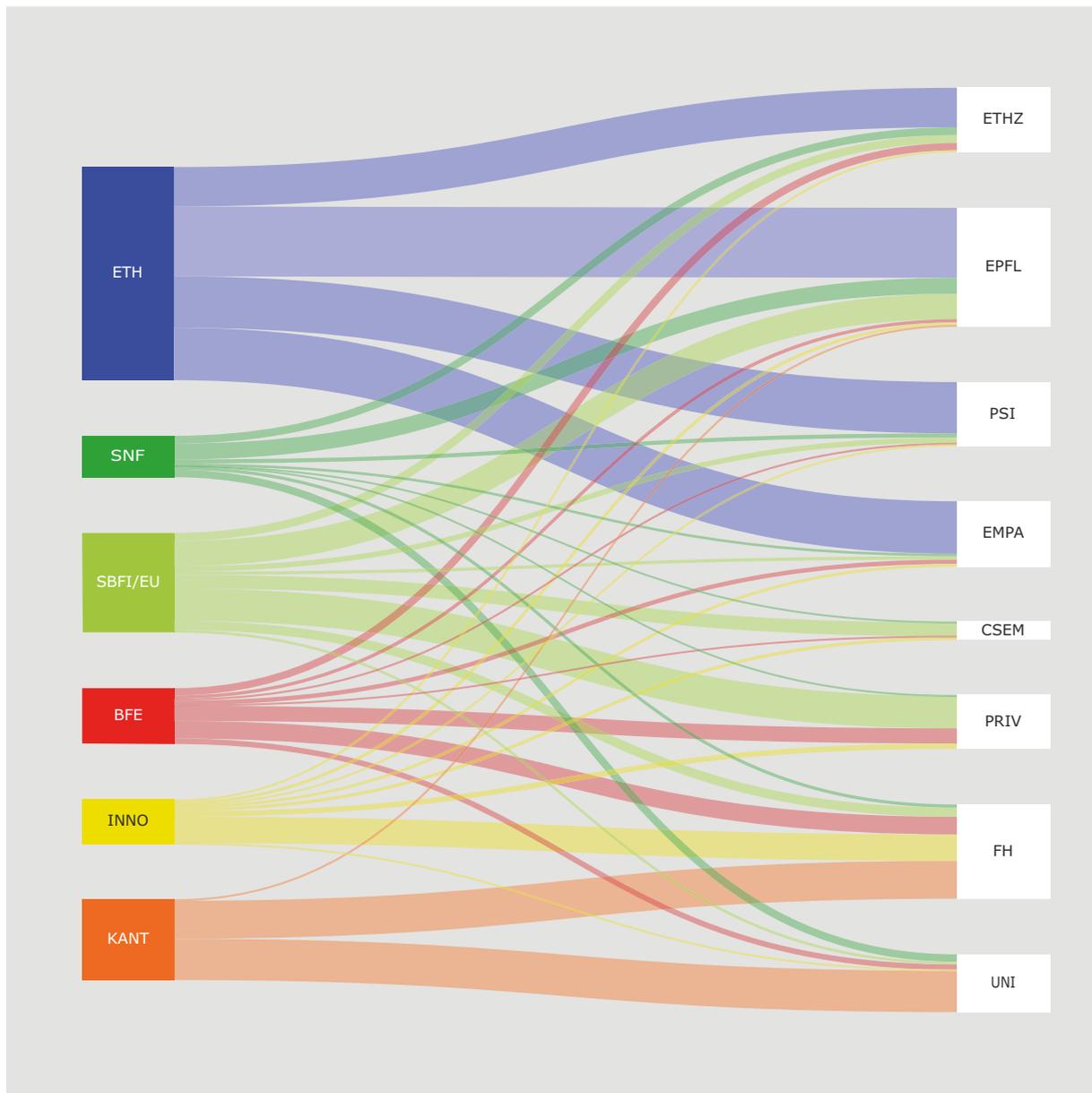
Für Energieforschung aufgewendeten öffentliche Mittel in der Schweiz (links) und in 29 Mitgliedsländern der Internationalen Energieagentur (IEA) (rechts). Für die Schweiz liegt dieser Aufwand im Bereich 0.4 bis 0.58 Promille des Bruttoinlandsprodukts. Die eingesetzten Mittel sind nach der Klassifikation der IEA aufgegliedert (Quelle: Energieforschungsstatistik BFE).



Öffentliche Mittel für die Energieforschung (2023) nach Förderstelle und Themenfeld: Rund 40 % der Mittel für die Energieforschung in der Schweiz stammen direkt aus dem ETH-Bereich, etwa 12 % aus kantonalen Mittel für Fachhochschulen und Universitäten. Der Rest sind kompetitive Fördermittel. ETH: Rat der Eidgenössischen Technischen Hochschulen, SNF: Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung, Innosuisse: Schweizerische Agentur für Innovationsförderung, BFE: Bundesamt für Energie, EU: Europäische Union, SBFI: Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation (Quelle: Energieforschungsstatistik BFE).



Energieforschungsthemen an Schweizer Hochschulen (2023). Die Themen sind nach der Klassifikation der Internationalen Energieagentur (IEA) aufgegliedert. Der grösste Teil der öffentlichen Energieforschung (67 % der eingesetzten öffentlichen Mittel) findet im ETH-Bereich statt. BFH: Berner Fachhochschule, CSEM: Centre suisse d'électronique et de microtechnique, EMPA: Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology, EPFL: Eidgenössische technische Hochschule Lausanne, ETHZ: Eidgenössische technische Hochschule Zürich, FHGR: Fachhochschule Graubünden, FHNW: Fachhochschule Nordwestschweiz, FHO: Fachhochschule Ostschweiz, FHZ: Fachhochschule Zentralschweiz, HES-SO: Fachhochschule Westschweiz, PSI: Paul Scherrer Institut, SUPSI: Fachhochschule der italienischen Schweiz, UniBE: Universität Bern, UniBS: Universität Basel, UniFR: Universität Freiburg, UniGE: Universität Genf, UniLS: Universität Lausanne, UniLU: Universität Luzern, UniNE: Universität Neuenburg, UniSG: Universität St. Gallen, UniZH: Universität Zürich, USI: Universität der italienischen Schweiz, ZFH: Zürcher Fachhochschule (Quelle: Energieforschungsstatistik BFE).



Woher stammen die öffentlichen Mittel für die Energieforschung in der Schweiz und wohin fließen diese? Ein grosser Teil kommt direkt aus dem ETH-Bereich. Nicht berücksichtigt sind Mittel von privater Seite, etwa Eigenleistungen in Innosuisse-Projekten oder in Pilot- und Demonstrationsprojekten des BFE. Nicht abgebildet sind Mittelflüsse kleiner als 0.2 Millionen Franken.

Mittelherkunft: ETH: ETH-Rat, SNF: Schweizerischer Nationalfonds, SBFI/EU: Mittel aus europäischen Projekten oder vom SBFI (Staatssekretariat für Bildung, Forschung & Innovation), BFE: Bundesamt für Energie, INNO: Innosuisse, KANT: Kantone.

Mittelverwendung: PSI: Paul Scherrer Institut, EMPA: Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology, ETHZ: ETH Zürich, EPFL: ETH Lausanne, PRIV: Privatwirtschaft, CSEM: Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique, UNI: Universitäten, FH: Fachhochschulen (Quelle: Energieforschungsstatistik BFE).



(Links) Mit der herkömmlichen thermischen Verwertung von solchem Papierschlamm lässt sich dessen Energiepotenzial nur teilweise nutzen (Bildquelle: Alex Treichler).

(Rechts) So sieht die aus Papierschlamm generierte entwässerte Biokohle aus. Sie lässt sich einfach speichern und beispielsweise vor Ort zur Erzeugung von Hochtemperaturwärme nutzen (Bildquelle: Alex Treichler).

Reststoffe aus Biomasse optimal verwerten

Wenn nasse Restbiomasse in der Industrie thermisch verwertet wird, bleibt oft ein Teil ihres energetischen Potenzials ungenutzt. Ein neu entwickeltes dreistufiges Verfahren ermöglicht es nun, dieses Potenzial abzurufen. Dadurch sind Industriebetriebe weniger von fossilen Energieträgern abhängig und senken so ihre CO₂-Emissionen.

Wo gehobelt wird, fallen Späne, weiss der Volksmund. In Betrieben wie Brauereien, Molkereien und Metzgereien oder auch bei der Papierproduktion handelt es sich bei den Reststoffen oft um Biomasse – also Material, das natürlich gewachsen oder entstanden ist. Diese häufig mit Wasser vermischten Reststoffe werden in der Regel thermisch verwertet, um Wärme für industrielle Prozesse zu erzeugen. Allerdings schöpft man so ihr Potenzial nicht optimal aus, weil der Wasseranteil die Energieausbeute schmälert.

Rahmen einer internationalen Zusammenarbeit ein neuartiges Konzept entwickelt, mit dem sich nasse Biomasse durch ein dreistufiges Verfahren optimal verwerten lässt.

- Im ersten Schritt werden die Reststoffe durch Vergärung in Biomethan umgewandelt. Übrig bleiben Gärreste.
- Im zweiten Schritt werden die Gärreste unter erhöhtem Druck auf 180 bis 250 ° C erhitzt. Bei diesem als «Hydrothermal Carbonization» (HTC) bezeichneten Prozess wandelt sich der Grossteil des verbliebenen Kohlenstoffs in feste Biokohle

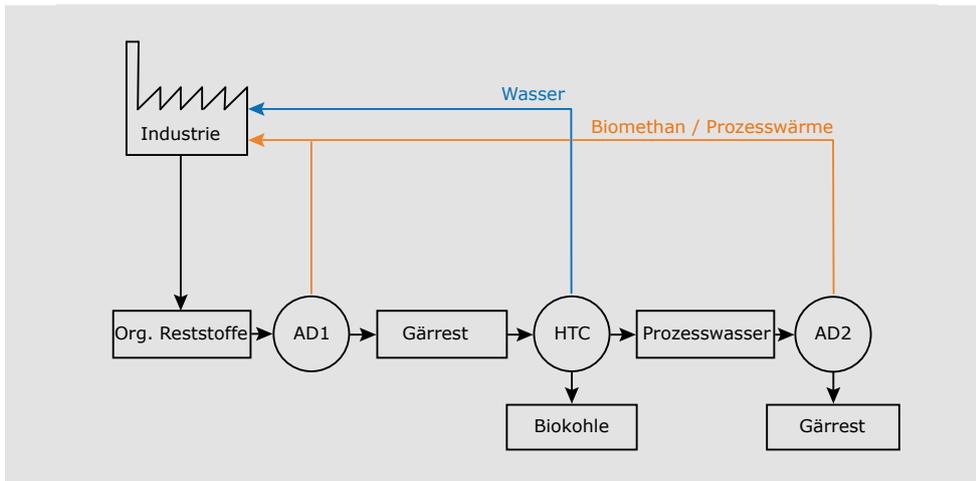
um. Übrig bleibt sogenanntes Prozesswasser.

- Im dritten Schritt wird der restliche Kohlenstoff im Prozesswasser erneut vergärt und ebenfalls in Biomethan umgewandelt.

Das bei diesem Verfahren produzierte Biomethan und die Biokohle sind CO₂-neutrale Energieträger, die sich gut speichern oder direkt vor Ort zur Produktion von Prozesswärme nutzen lassen. Weil die Biokohle deutlich besser entwässerbar ist als nasse Restbiomasse und der Kohlenstoff weitestgehend verwertet wird, erhöht sich die Energieausbeute. Dadurch muss man weniger fossile Kohlen-



Kaskadennutzung in drei Schritten
Schweizer Forschende haben im



Beim neuentwickelten dreistufigen Verfahren werden organische Reststoffe zuerst vergärt (AD = anaerobic digestion, anaerobe Vergärung), wobei Biomethan entsteht. Die Gärreste werden unter hohem Druck erhitzt (HTC = Hydrothermale Carbonisierung). Daraus entstehen Biokohle und Prozesswasser. Letzteres wird im Schritt 3 nochmals vergärt, sodass auch aus dem restlichen Kohlenstoff Biomethan gewonnen werden kann (Quelle: Alex Treichler).

stoffe (Erdöl, Erdgas) zur Wärmeerzeugung einsetzen und senkt die CO₂-Emissionen.

Anwendungsbeispiel Papierfabrik

Dieses Ziel verfolgt auch die TELA GmbH, eine Papierfabrik im bernischen Niederbipp. Sie stellt Toilettenpapier sowie Haushalts- und Taschentücher her und betreibt zudem eine der schweizweit grössten Altpapier-Aufbereitungsanlagen. Um diese Prozesse klimafreundlicher zu gestalten, stellte die Papierfabrik Restbiomasse und Daten für ein vom Bundesamt für Energie unterstütztes Forschungsprojekt zur Verfügung. So liess sich das dreistufige Verfahrenskonzept im Labor erproben.

Die in der Fabrik entstehenden Restbiomassen sind zum Beispiel Papier- und Klärschlämme. Sie werden bis anhin aufwendig entwässert und in einem betriebseigenen Ofen zur Dampferzeugung verbrannt. Dazu müssen aber zusätzliche Brennstoffe in Form von Energieholz und Kunststoffresten aus der Altpapierverwertung beigegeben werden.

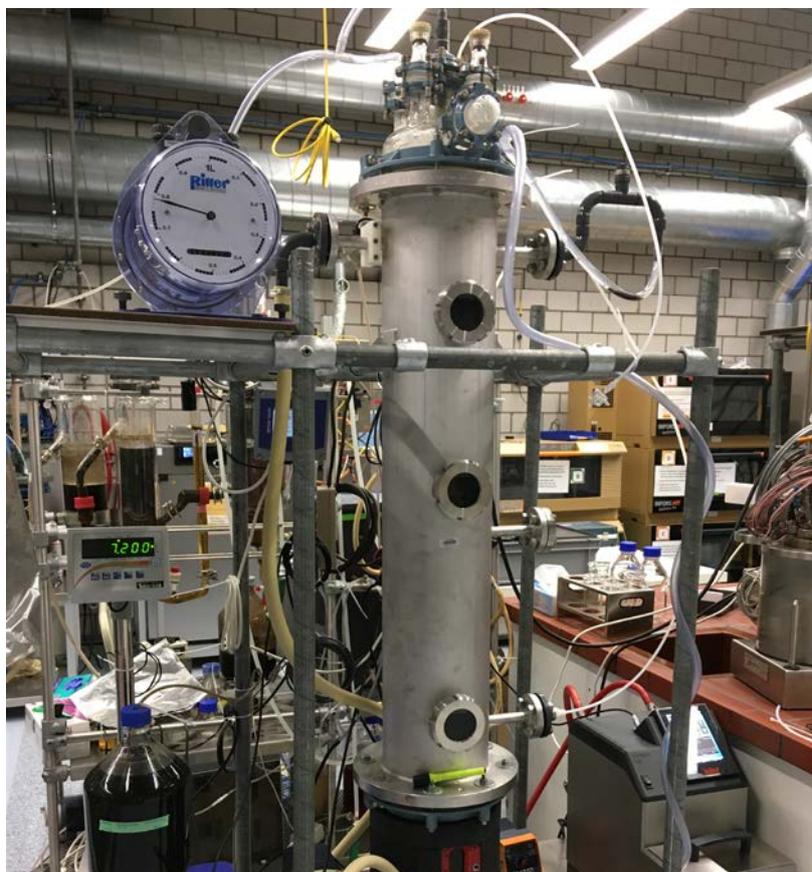
Emissionen senken

Im Rahmen des Projekts wurde getestet, wie gut sich die Restbiomasse der Papierfabrik mit dem dreistufigen Verfahrenskonzept verwerten lässt. Die Ergebnisse fal-

len positiv aus. Sie zeigen, dass das Konzept funktioniert und die TELA GmbH so die CO₂-Emissionen aus fossilen Energieträgern deutlich senken kann. Im Optimalfall lassen sich gemäss einer Modellrechnung pro Jahr fast 13'000 MWh zusätzlich erzeugen, was knapp 7 % des jährlichen Gesamtenergiebe-

darfs der Fabrik entspricht. Die CO₂-Emissionen reduzieren sich so um rund 3'000 t pro Jahr. Geplant ist nun eine Studie, um die Wirtschaftlichkeit des Konzepts in der realen Anwendung zu beurteilen.

Remo Bürgi, Faktor Journalisten AG



In diesem Fermenter mit einem Fassungsvermögen von 60 l wurde das Prozesswasser vergärt und der darin enthaltene Kohlenstoff in Biomethan umgewandelt (Bildquelle: Alex Treichler).



2023 wurde auf dem Gelände des Flughafens Zürich eine erste Sondierbohrung durchgeführt. Sie bestätigte, dass es an der Basis der eiszeitlichen Rinne wasserführende Schotter-schichten gibt (Bildquelle: Geo Explorers AG).

Eiszeit-Rinne als Energiereservoir

In der Schweiz gibt es zahlreiche durch Gletscher geschaffene Rinnen im Untergrund, die mit lockerem Gestein und Grundwasser gefüllt sind. Darin lässt sich Wärme und Kälte speichern – beispielsweise um den Flughafen Zürich umweltschonend mit Energie zu versorgen.

Das Schweizer Mittelland ist stark durch die Vergletscherung während der Eiszeiten geprägt. Die mächtigen Eisströme haben nicht nur die Oberfläche verändert, sondern auch im Untergrund ihre Spuren hinterlassen. So sind durch die Schmelzwasser-Abflüsse zahlreiche lange, teils über 300 Meter tiefe Rinnen im Untergrund entstanden. Nach dem Abtauen der Gletscher füllten sich diese mit lockerem Gestein und Grundwasser. Aufgrund der badewannenartigen Form gehen Fachleute davon aus, dass das Grundwasser in den Rinnen fast stillsteht – man kann es sich als unterirdischen See vorstellen, der von anderen Gewässern isoliert ist.

Über Brunnen erschliessen
Diese Eigenschaften machen die

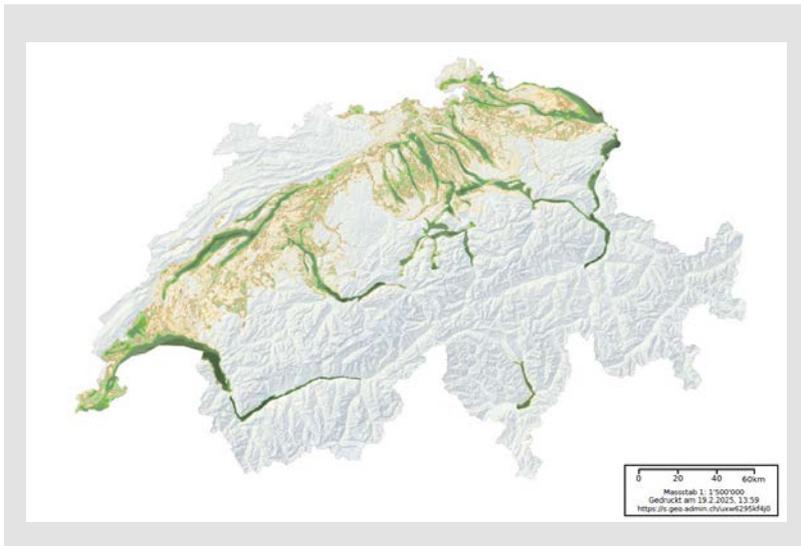
eiszeitlichen Rinnen zu einem optimalen Speicher für Wärme und Kälte. Das Grundprinzip funktioniert so: Im Winterhalbjahr entnimmt ein Brunnen das in dieser Tiefe knapp 20 °C warme Wasser. Dieses dient als Energiequelle für eine Wärmepumpe, die verschiedene Gebäude oder ein Fernwärmenetz versorgt. Das leicht abgekühlte Grundwasser wird über einen anderen Brunnen in die Rinne zurückgeleitet. Im Sommer lässt sich das unterirdische Gewässer nutzen, um Immobilien umweltschonend zu kühlen. Das hochgepumpte Wasser nimmt dabei überschüssige Wärme aus den Gebäuden auf und leitet sie in die Tiefe, wo sie ans Grundwasser abgegeben wird. So lässt sich sicherstellen, dass dessen Tem-

peratur auch langfristig konstant bleibt.

Test stimmen optimistisch

Ob sich die eiszeitlichen Rinnen in der Praxis tatsächlich so als Speicher nutzen lassen, ist bisher noch unklar. Ein vom Bundesamt für Energie gefördertes Pilotprojekt auf dem Gelände des Flughafens Zürich will dies ändern und Erkenntnisse gewinnen, die auf ähnliche Vorhaben übertragbar sind. Vor allem aber soll der Speicher im Untergrund eine umweltschonende Versorgung des Flughafens mit Wärme und Kälte ermöglichen.

Nach verschiedenen geophysikalischen Messungen folgten im Sommer 2023 drei Sondierbohrungen entlang der Rinnenmitte. Diese



Die dunkelgrünen Bänder weisen auf mächtige Vorkommen von lockerem Gestein hin, also auf eiszeitliche Rinnen. Schätzungen erreichen diese in der Schweiz eine Gesamtlänge von rund 900 km und bergen damit ein hohes Potenzial für eine umweltschonende Energieversorgung (Quelle: map.geo.admin.ch).



Ab einer Bohrtiefe von 34 m kam ein Spülbohrgerät mit einem sogenannten Rollenmeißel als Bohrkopf zum Einsatz (Bildquelle: Geo Explorers AG).

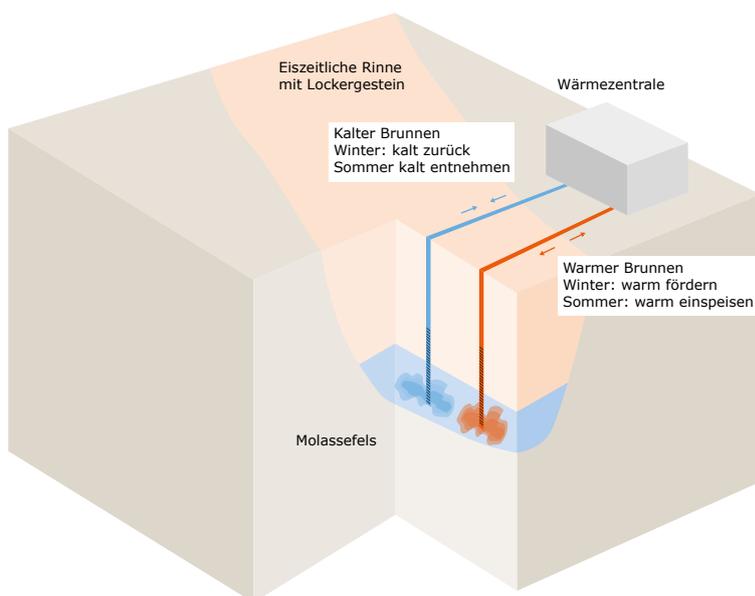
Bohrungen auf eine Tiefe von fast 350 Metern waren erfolgreich und erlaubten den nächsten Schritt: das Bohren eines Testbrunnens im Sommer 2024. Dieser ermöglichte es, detailliertere Analysen und Messungen des Gesteins und des Grundwassers durchzuführen.

Die Ergebnisse stimmen zuversichtlich, dass die Eiszeit-Rinne wie angedacht als Wärme- und Kältespeicher genutzt werden kann. Daher wird im Sommerhalbjahr 2025 ein zweiter Testbrunnen gebohrt, um den kompletten Kreislauf mit Entnahme und Rückgabe zu proben. Mit den dar-

aus gewonnenen Erkenntnissen lassen sich belastbare Aussagen zur Ergiebigkeit und Wirtschaftlichkeit machen. Im Erfolgsfall können die Fachleute mit diesen Informationen ein konkretes Betriebskonzept erstellen und beim Kanton die Konzession beantragen.

Hohes Potenzial

Verlaufen die weiteren Untersuchungen wie erwartet, werden im Hauptprojekt mehrere Brunnen in die Rinne gebohrt, um das Wasser zu entnehmen und wieder zurückzuführen. Wie viele Brunnen es für einen optimalen Betrieb braucht und wo genau diese platziert werden, ist noch offen. Das Pilotprojekt zeigt aber bereits, dass das vermutete Potenzial der eiszeitlichen Rinnen als Wärme- und Kältespeicher in der Praxis wahrscheinlich nutzbar ist. Im Vergleich zu anderen geologischen Strukturen sind die Rinnen einfacher zu lokalisieren und zu erschliessen, was die Kosten und die technischen Hürden senkt. Das Projekt beim Flughafen Zürich dürfte deshalb nicht das letzte sein, das eine Rinne aus der Eiszeit als Energiespeicher nutzt.



Um das Grundwasser in einer eiszeitlichen Rinne als Wärme- und Kältespeicher zu nutzen, werden mindestens zwei Brunnen gebohrt. Im Winter entnimmt man Grundwasser aus dem warmen Brunnen und gibt es leicht abgekühlt über den kalten Brunnen zurück. Im Sommer funktioniert der Prozess umgekehrt: Grundwasser aus dem kalten Brunnen gelangt leicht erwärmt über den warmen Brunnen zurück in den Untergrund (Grafik: Faktor Verlag / Quelle: Geo Explorers AG).

Remo Bürgi, Faktor Journalisten AG





Der Umstieg von analogen Stromzählern auf digitale Smart Meter ist eine wichtige Voraussetzung, um Lastspitzen vermeiden zu können (Bildquelle: EWA-energieUri).

Das Stromsystem der Zukunft belohnt Flexibilität

Beziehen viele grosse Verbraucher wie Boiler, Wärmepumpen und Ladestationen gleichzeitig Strom, entstehen Lastspitzen. Diese sind für die Netzbetreiber teuer und technisch herausfordernd. Verschiedene Projekte untersuchen, wie sie sich mit innovativen Anreizen vermeiden lassen.



Anstelle von fossilen Energieträgern treibt künftig erneuerbarer Strom unsere Autos an und heizt unsere Häuser. Für diese Transformation wird mehr Strom benötigt, insbesondere für Wärmepumpen und Ladestationen. Die Krux: Oft laufen diese grossen Verbraucher gleichzeitig, was das Stromnetz lokal stark belastet – man spricht dann von Lastspitzen. Je mehr Wärmepumpen und Ladestationen in einem Gebiet zugebaut werden, desto grössere Lastspitzen drohen. Diese sowie die zunehmende lokale Einspeisung von Solarstrom sind für die Verteilnetzbetreiber – oft kleine

Elektrizitätswerke – doppelt teuer, weil sie höhere Beiträge an die überregionalen Netzbetreiber zahlen und unter Umständen ihre eigene Infrastruktur ausbauen müssen. Die Kosten dafür bezahlen letztlich die Endkunden. Die gute Nachricht: Mit ihrem Verhalten können sie selbst dazu beitragen, dass der Ausbau verzögert und reduziert werden kann.

Verbrauch staffeln

Am einfachsten lassen sich unerwünschte Lastspitzen vermeiden, wenn grosse Verbraucher gestaffelt statt gleichzeitig Strom beziehen. Wärmepumpen und

Ladestationen lassen sich in den meisten Fällen problemlos etwas früher oder später einschalten – es bleibt dennoch warm im Haus und die Batterie des E-Autos wird auch so rechtzeitig geladen sein. Allerdings brauchen Endverbraucher einen Anreiz, um diese Flexibilität zu gewähren und sich «netzdienlich» zu verhalten, wie es im Fachjargon heisst. Eine Möglichkeit dafür sind dynamische Netznutzungstarife (siehe Infobox). Das bedeutet zum Beispiel, dass der Tarif von der aktuellen Stromerzeugung und Nachfrage im betreffenden Netzgebiet abhängt. Anders formuliert: Der



Strom ist dann günstig, wenn viel davon zur Verfügung steht und wenig verbraucht wird. Ist hingegen wenig Strom vorhanden und/oder der Verbrauch hoch, steigt der Preis. Diese Preisdifferenzierung schafft einen Anreiz, dass Endkunden stromintensive Geräte dann laufen lassen, wenn der Netznutzungstarif tief ist.

Direkt oder indirekt steuern

Eine solche Lenkung des Stromverbrauchs, die sogenannte Laststeuerung, kann aus Sicht der Netzbetreiber entweder indirekt oder direkt erfolgen. Indirekt bedeutet, dass die Endkunden selbst entscheiden, ob und wann sie ihren Verbrauch anpassen. Mithilfe eines Energiemanagementsystems (EMS) können sie automatisiert auf dynamische Tarife reagieren. Dieses Modell dürfte bei den Endkunden eine höhere Akzeptanz haben, weil sie weiterhin alle Zügel in der Hand halten. Der Nachteil für den Netzbetreiber: Er hat keinen direkten Einfluss und kann nur bedingt voraussehen, wie netzdienlich sich die Endkunden verhalten.

Die Alternative ist, dass der Netzbetreiber grosse Verbraucher bei den Endkunden direkt steuert. Dadurch lassen sich Lastspitzen zuverlässig vermeiden. Allerdings müssen Endkunden erst davon überzeugt werden, den Betrieb von Geräten zu delegieren. Zudem benötigt die direkte Steuerung von Lasten eine ständige Kommunika-



Der statische Tarif aus dem Pilotprojekt in Winkel bleibt über mehrere Monate gleich. Er basiert auf stündlichen Durchschnittswerten der Netzauslastung über mehrere Jahre und reagiert daher nicht auf aktuelle Entwicklungen (Quelle: EKZ, bearbeitet).

nikationsverbindung, was technisch anspruchsvoll ist. Und: Die Kundschaft muss dafür entschädigt werden, dass sie Flexibilität zur Verfügung stellt und die Steuerung dem Netzbetreiber überlässt. All dies macht die direkte Laststeuerung zu einer vergleichsweise teuren Methode.

Verschiedene Anreiz- und Steuerungsformen schliessen sich nicht gegenseitig aus, sondern lassen sich gleichzeitig einsetzen. So können die Netzbetreiber die Erwartungen und Bedürfnisse unterschiedlicher Kundengruppen abdecken.

Tarife testen

In verschiedenen vom Bundesamt für Energie unterstützten Projekten werden nun innovative Ansätze in der Praxis getestet. Für die Endkunden in der Zür-

cher Gemeinde Winkel zum Beispiel wurden drei Netznutzungstarife entwickelt und anschliessend geprüft, inwiefern sich damit Lastspitzen vermeiden lassen.

- Der statische Tarif hat drei fest definierte Preisstufen. Diese basieren auf stündlichen Durchschnittswerten der Netzauslastung über mehrere Jahre. Die tiefste Preisstufe kommt beispielsweise im Sommer in den Nachmittagsstunden zur Anwendung, weil dann viel Solarstrom zur Verfügung steht und die Last tief ist. Der statische Tarif wirkt indirekt, die Kunden steuern ihre Verbraucher selbst, auch mithilfe eines EMS.
- Der dynamische Tarif funktioniert auf Basis der aktuellen Nachfrage und des aktuellen Angebots. Er wird jeweils 15 Minuten im Voraus für einen Zeitraum von 15 Minuten kommuniziert. Auch dieser Tarif wirkt indirekt, die Kunden steuern ihre Verbraucher selbst, auch mit Hilfe eines EMS.
- Der Einheitstarif verzichtet auf Anreize in Form von sich ändernden Preisen, dafür kann der Netzbetreiber im Gegenzug für eine Vergütung die Verbraucher der Endkunden direkt steuern.

Der Strompreis

In der Schweiz besteht der Strompreis aus vier Komponenten: Dem Energietarif (bei Haushalten 2025 im Median 47 % des Strompreises), dem Netznutzungstarif (41.5 %), den Abgaben an Kantone und Gemeinden (3.5 %) sowie dem Netzzuschlag (8 %). Will ein Verteilnetzbetreiber seinen Endkunden preisliche Anreize geben, um Lastspitzen zu vermeiden, macht er das meist via Netznutzungstarif. Dieser umfasst die Kosten für die Nutzung des Übertragungs- und Verteilnetzes sowie für Systemdienstleistungen, die für die Stabilität des Stromnetzes nötig sind. Wenn ein Endkunde Flexibilität zur Verfügung stellt, ist das eine Systemdienstleistung, für die er einen Preisnachlass auf den Netznutzungstarif oder eine Gutschrift erhält.



Der dynamische Tarif aus dem Winkel-Pilotprojekt wird auf Basis der aktuellen Nachfrage und des Angebots jeweils für eine Viertelstunde definiert und 15 Minuten vorher den Endkunden kommuniziert (Quelle: EKZ).

Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass im Sommer der dynamische Tarif und der Einheitstarif am besten funktionieren, um Einspeisespitzen (zu viel Solarstrom) zu

vermeiden. Im Winter hingegen, wenn es primär um das Vermeiden von Lastspitzen geht, kann man auf Steuerung und Anreize verzichten. Der Grund: Die Lastspit-

zen sind auch so schon recht gut verteilt. Allerdings könnte sich das gemäss den Projektverantwortlichen ändern, wenn in Zukunft noch mehr Elektroautos aufgelad-



Netzbetreiber können ihre eigenen Anlagen zu Stromerzeugung gezielt einsetzen, um Lastspitzen in ihrem Netz zu decken. Im Bild ein Wasserkraftwerk der Technischen Betriebe Vilters-Wangs, die am lokalen Pilotprojekt beteiligt waren (Bildquelle: TB Vilters-Wangs).



den werden, denn diese kommen zu den bestehenden Lasten am Abend dazu.

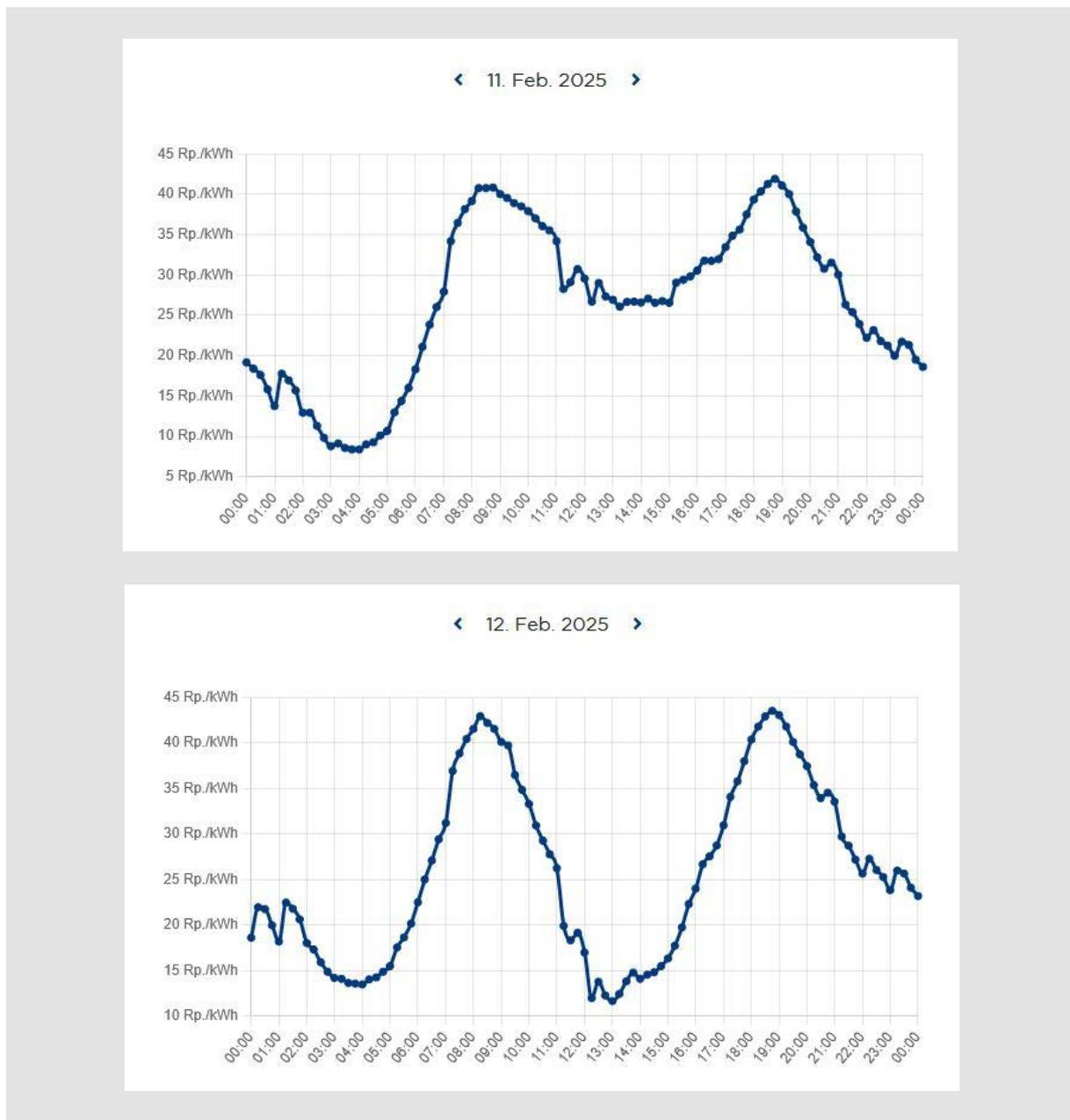
Tarif für den Folgetag

In einem weiteren Projekt stand die Entwicklung und Einführung des sogenannten Vario-Ta-

rifs im Fokus. Dieser dynamische Tarif wird jeweils für alle 15-Minuten-Abschnitte des Folgetags berechnet. Die Grundlage dafür ist die Netzlastprognose für diesen Tag, welche die erwartete Nachfrage und das erwartete Angebot kombiniert. Der Energieversorger

übermittelt den Vario-Tarif jeweils am Vorabend an die teilnehmenden Endkunden respektive deren EMS.

Remo Bürgi, Faktor Journalisten AG



Der Vergleich des Vario-Tarifs zwei aufeinanderfolgender Wintertage zeigt einen deutlichen Unterschied am frühen Nachmittag. Der Grund dafür ist das erwartete Wetter: Für den 11.2. war Regen prognostiziert, für den 12.2. trockene Witterung. Daher konnte man für den 12.2. mit einem höheren Ertrag der Photovoltaikanlagen rechnen und so tiefere Preise anbieten (Grafik: Screenshots www.groupe-e.ch vom 12.2.2025)).





Mit Smart-Meter-Daten und künstlicher Intelligenz können Stromversorger ihre Kundinnen und Kunden gezielt auf Sparpotenziale aufmerksam machen (Bildquelle: EKZ).

Mit KI ineffiziente Wärmepumpen aufspüren

Viele Wärmepumpen verbrauchen mehr Energie als nötig. Häufig sind die Soll-Werte zu hoch eingestellt, Optimierungen im Betrieb finden kaum statt. Die ETH Zürich hat auf Basis von Smart-Meter-Daten Algorithmen entwickelt, die ineffiziente Wärmepumpen erkennen. Energieversorger können so gezielt Kundinnen und Kunden auf ihr Sparpotenzial aufmerksam machen.

In jedem fünften Gebäude der Schweiz steht eine Wärmepumpe. Sie ersetzen fossil betriebene Wärmeerzeuger und leisten einen entscheidenden Beitrag, um den Gebäudepark zu dekarbonisieren. Gleichzeitig steigern Wärmepumpen aber den Bedarf an elektrischer Energie. Ein effizienter Betrieb ist deshalb wichtig.

Aufgrund der wachsenden Zahl unterschiedlicher Wärmepumpentypen und der Verknüpfung mit Komponenten wie Photovoltaikanlagen gestalten sich Planung, Installation und Betrieb der Systeme immer anspruchsvoller. Dies spiegelt sich oftmals in

ungünstigen Einstellungen wider, die den Heizkomfort zwar erreichen, allerdings ist die Betriebsweise ineffizient.

Fehleinstellungen bleiben unbemerkt

Eine Auswertung aus 410 Energieberatungen der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ) hat die typischen Probleme aufgezeigt: Bei 41 % der Haushalte war die Heizkurve, welche die Vorlauftemperatur in Abhängigkeit der Aussentemperatur regelt, zu hoch eingestellt. Bei 36 % zeigte sich, dass die aktivierte Nachtabsenkung – anders als erhofft – den Energieverbrauch erhöhte. Bei 26 % lag

die Heizgrenze, ab der eine Heizung eingeschaltet wird, höher als nötig. Auch nach energetischen Verbesserungen an der Gebäudehülle wird die Regelung der Wärmepumpe häufig nicht angepasst. Betreiberinnen und Betreiber von Gebäuden bemerken solche Fehleinstellungen oft nicht.

Smart-Meter-Daten als Schlüssel für Optimierung

Diese Probleme will das vom Bundesamt für Energie (BFE) finanzierte und im Frühjahr 2024 abgeschlossene Projekt «KI in der Wärmepumpenberatung» angehen. Forschende des Bits to Energy Lab der ETH Zürich haben in



Problem / Fehleinstellung	Relative Häufigkeit*	Absolute Häufigkeit
Heizkurve zu hoch eingestellt	40.98 %	168
Nachtsabsenkung fälschlicherweise aktiviert	36.10 %	148
Heizgrenze zu hoch eingestellt	25.61 %	105
Entkalkung des Brauchwarmwassers notwendig	17.80 %	73
Expansionsanlage falsch eingestellt	13.41 %	55
Probleme bei Luftführung von Luftwärmepumpen	11.25 %	27
Wärmepumpe falsch dimensioniert	10.00 %	41
Leitungen nicht gut genug isoliert	9.02 %	37
Brauchwarmwassertemperatur falsch eingestellt	7.80 %	32
Soledruck bei Erdwärmepumpe nicht in Ordnung	7.19 %	12
Umwälzpumpenregulierung falsch eingestellt	6.34 %	26
Temperatur der Erdsonde bei Erdwärmepumpe zu niedrig	5.99 %	10
Einbau von Thermostatventilen zur Einzelraumregulierung empfohlen	4.88 %	20
Wärmepumpe verschmutzt	3.17 %	13
Wärmepumpe technisch nicht in Ordnung	1.46 %	6
Grundsätzliche Funktionen nicht in Ordnung	1.46 %	6

* Die relativen Häufigkeiten beziehen sich auf alle 410 inspizierten Wärmepumpen, ausser bei Problememen, bei denen explizit nach Wärmepumpentyp unterschieden wird. Die Anzahl der Luftwärmepumpen liegt bei 240 (58,54 %) und die der Erdwärmepumpen bei 167 (40,73 %).

Typische Probleme und Konfigurationen von Wärmepumpen auf Basis von 410 Beratungsprotokollen von Vor-Ort-Inspektionen der EKZ-Energieberater. (Quelle: Schlussbericht KI-WP, bearbeitet).

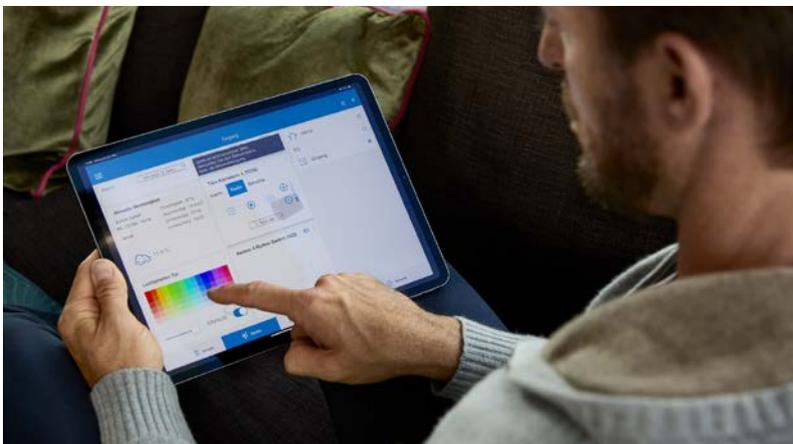
Zusammenarbeit mit EKZ, Enerlytica (ehemals BEN Energy AG) und Hoval während drei Heizperioden anonymisierte Daten des Stromverbrauchs von Haushalten (sogenannte Smart-Meter-Daten) gesammelt und mithilfe von künstlicher Intelligenz (KI) ausgewertet. Sie entwickelten Algorithmen, die dabei helfen sollen, Anlagen mit zu hohem Stromverbrauch zu orten. Auf diese Weise lässt sich der Stromverbrauch einer Wärmepumpe ohne detaillierte Kenntnis der genauen Betrieb-

sumgebung bewerten, etwa durch eine Evaluierung der Betriebsstunden oder der Ein- und Ausschaltungen. Die Algorithmen decken auch wiederkehrende Muster von Fehleinstellungen auf und melden diese automatisch den Stromversorgern. Diese können so Einsparungen abschätzen und Haushalte mit Optimierungspotenzial gezielt informieren.

Beratung rechnet sich schnell

Wie viel Strom sich sparen lässt, zeigte der Vergleich der Smart-Me-

ter-Daten vor und nach der Optimierung. Rund die Hälfte der an einer Analyse beteiligten 297 Haushalte konnte nach der Optimierung durchschnittlich 1805 kWh (15.2 %) elektrische Energie pro Jahr sparen. Bei einem Strompreis von 32.14 Rappen pro Kilowattstunde entspricht das einer jährlichen Kosteneinsparung von 580 Franken für einen Haushalt. Geht man von einem Preis von 400 Franken für eine Energieberatung aus, rechnet sich die Optimierung häufig bereits nach der ersten Heizperiode.



Schon heute machen viele Energieversorger ihren Kundinnen und Kunden die individuellen Verbrauchsdaten über Kundenportale zugänglich. Diese Transparenz soll helfen, den Energieverbrauch wie auch die Kosten zu senken (Bildquelle: EKZ).

Die im Rahmen des Projekts entwickelten «open-Source»-Algorithmen stehen auch anderen Anwendern zur Verfügung. So erhalten Energieversorger die Möglichkeit, Stromkunden entsprechende Informationen über ihre Kundenportale zugänglich zu machen mit dem Ziel, die Effizienz von Wärmepumpen zu steigern.

Sandra Aeberhard, Faktor Journalisten AG

Alternative Stromautobahnen

Einem Ausbau der Stromnetze droht Widerstand, wenn dichte Siedlungsgebiete oder empfindliche Landschaften betroffen sind. Neuartige Leitungstechnologien, die unterirdisch verlegt werden können und die Übertragungsverluste verringern, sind deshalb willkommen.

Das Stromnetz ist heute schon weitverzweigt, um Endkunden überall mit Energie zu versorgen. Künftig wird es aber auch immer grössere Mengen an erneuerbarem Strom aufnehmen müssen, was ohne zusätzlichen Netzausbau nicht zu bewältigen sein wird. Sowohl die lokalen Verteilnetze als auch überregionale Übertragungsnetze sind mit neuen Strängen und Trassen zu ergänzen. Doch während die Netzebenen 4 bis 7 im Mittel- und Niederspannungsbereich heute schon primär in den Boden verlegt werden, zeichnet sich eine steigende Nachfrage für die unterirdische Stromdurchleitung auch im Höchst- und Hochspannungsbereich ab. Nicht zuletzt als Altern-

tive oder Ersatz für Freileitungen in sensiblen Landschaften.

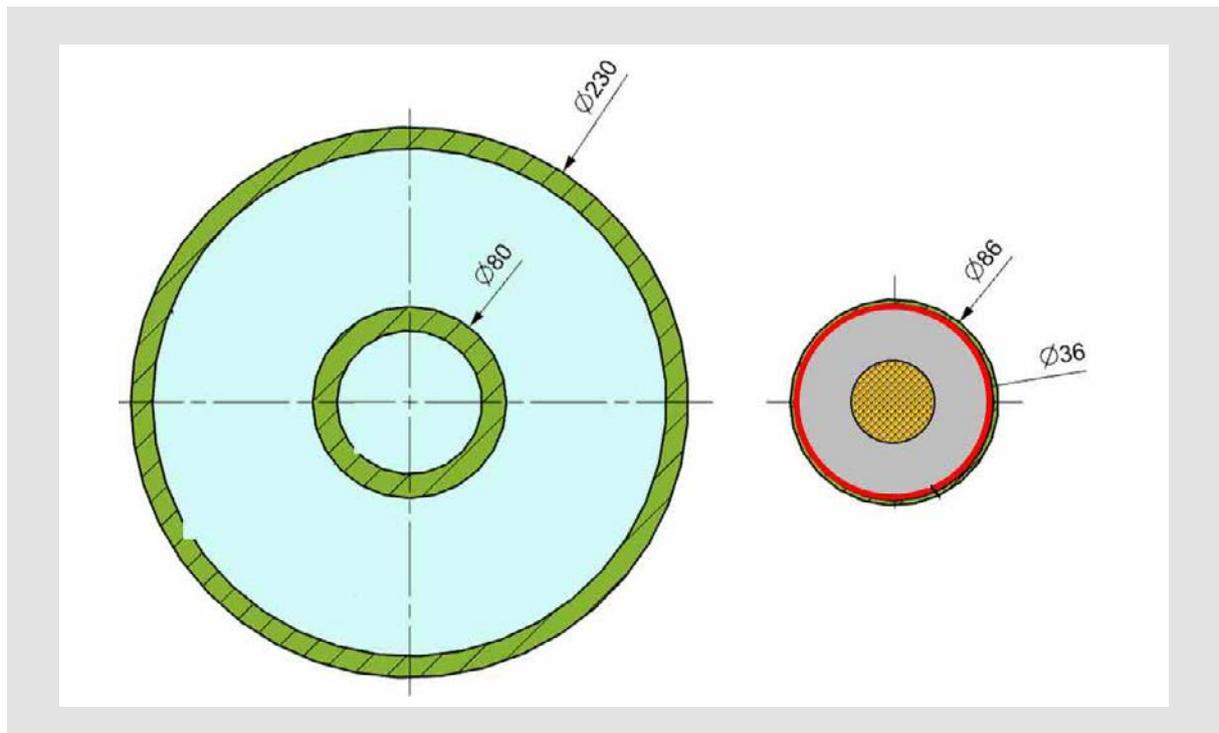
Ohne Leistungseinbusse

Eine neue Technologie zur Erdverkabelung macht nun auf sich aufmerksam: Mit Druckluft-isolierten Kabelsystemen will das Schweizer Start-up «Hivoduct» den Markt für Netzkomponenten erweitern. Das junge Unternehmen wurde vom P+D-Programm des Bundesamtes für Energie (BFE) unterstützt, um die neue Leitungstechnik ein Jahr lang im Dauerbetrieb an einem SBB-Standort zu testen. Wenn eine Freileitungslösung nicht möglich ist, könnte das Druckluftkabel die Erweiterung des Netzes im Mittel- und Hochspannungsbereich ohne Kapazitätseinbusse vereinfachen.

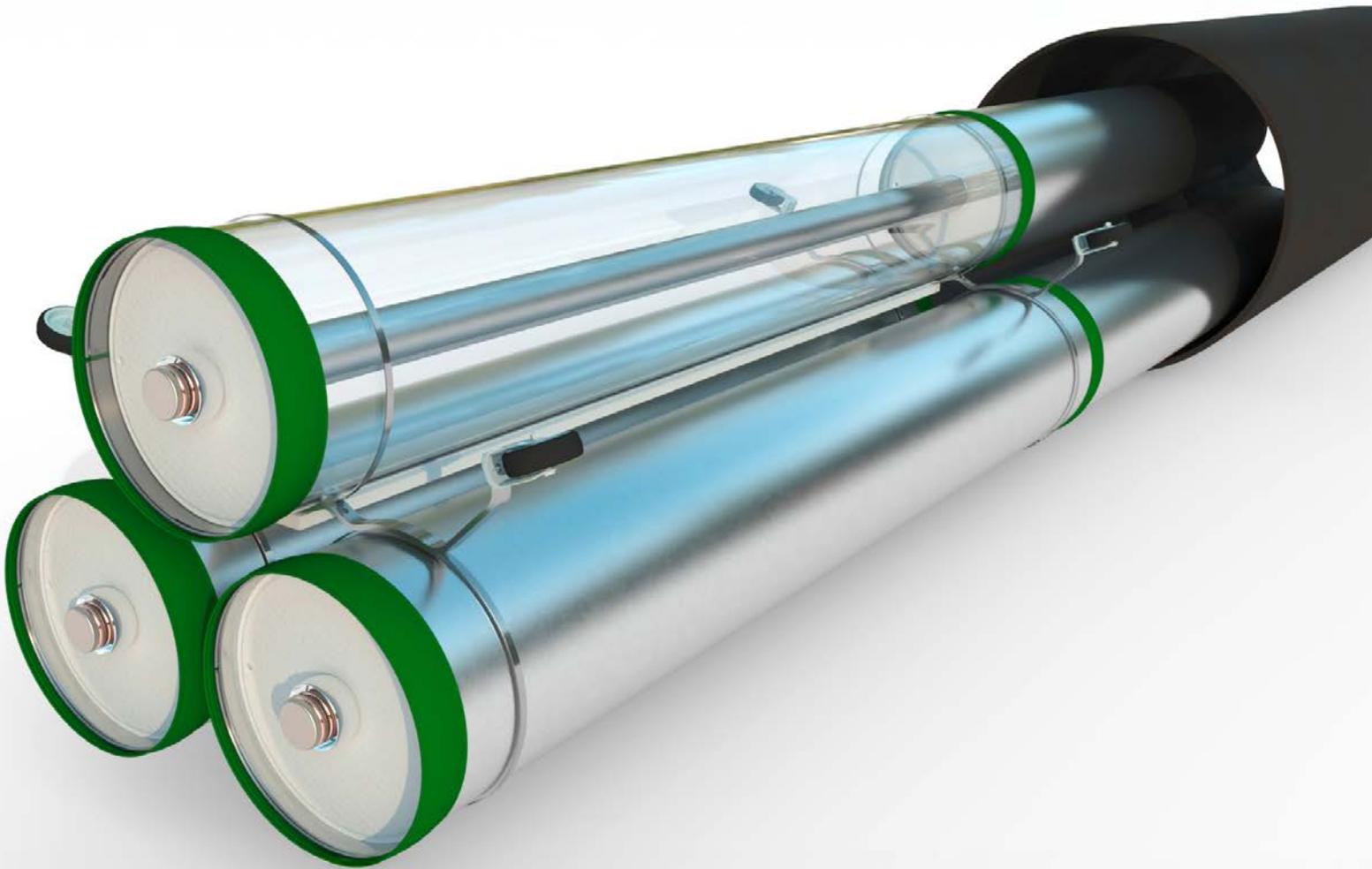
Die nationale Netzgesellschaft Swissgrid ist unter anderem an einem Praxiseinsatz von Druckluftkabeln interessiert, weil dadurch weniger Blindleistung kompensiert werden muss. Der erhoffte Effekt ist: Die Kapazität für die Stromübertragung nimmt zu. Zudem liegen erste Bestellungen für die neue Kabeltechnologie aus der Schweiz und dem Ausland vor.

Zuverlässiger Testbetrieb

Die vom BFE subventionierte Pilotanlage, eine Druckluftkabelleitung mit Netzspannung von 145 kV, wurde unter verschiedenen Betriebszuständen ausgetestet. Die Auswertung der Begleituntersuchungen erbrachte den



Dreiphasige Konstellation für ein typengeprüftes Druckluftkabel zur Stromübertragung mit 220-kV-Spannung. Die Kabel werden jeweils durch eine Aluminiumröhre geschützt und durch ein weiteres Schutzrohr umhüllt (Quelle: Hivoduct).



Dreiphasige Konstellation für ein typengeprüftes Druckluftkabel zur Stromübertragung mit 220-kV-Spannung. Die Kabel werden jeweils durch eine Aluminiumröhre geschützt und durch ein weiteres Schutzrohr umhüllt (Bildquelle: Hivoduct).

erhofften Erfolg: Der einjährige Betrieb verlief zuverlässig und störungsfrei; auch die Kabelummantelung hielt dicht. Der Luftdruck in der Isolationsschicht beträgt rund 10 bar, was – zum Vergleich – der Presskraft einer Kaffeemaschine entspricht. Im Verlauf des einjährigen Tests sank der Luftdruck nicht einmal um ein Prozent. Trotzdem sind Druckluftleitungen mit einem Ventil bestückt, um bei Bedarf ein Nachfüllen zu ermöglichen. Das Gehäuse ist ein Aluminiumrohr, das einem Druck bis 50 bar standhält. Auch der

Stromleiter im Innern besteht aus Aluminium.

Druckluftkabel sind deutlich voluminöser als herkömmliche Erdkabel. Die äussere Aluminiumhülle hat einen Durchmesser von über 20 Zentimetern. Der mit Druckluft gefüllte Hohlraum isoliert genauso gut wie der Millimeter dünne Spezialkunststoff, der zur Ummantelung von Kupferkabeln benutzt wird. Ein Direktvergleich der beiden Isolationsmethoden zeigt zudem: Druckluftisolatoren erwärmen sich weniger stark und

reduzieren die Energieverluste bei der Stromdurchleitung.

Grenzwerte eingehalten

Ein weiterer Vorteil für die neu entwickelte Variante ist: Das Magnetfeld fällt kleiner aus als bei einem herkömmlichen Bodenkabel, sodass die unterirdische Installation vereinfacht wird respektive Sicherheitsauflagen mit geringerem Zusatzaufwand einzuhalten sind. Der Alumantel ist im Übrigen geerdet; die Röhre kann im Betrieb risikolos berührt werden.



Ein wichtiges Prüfkriterium für Hochspannungskabel ist die Erwärmung, weil sie indirekt den Stromwiderstand anzeigt und auch ein Mass für Leitungsverluste ist. Bei den Tests hielt das Druckluft-Gehäuse den Grenzwert für die Typenprüfung von 65 °C ein, selbst bei sehr hohem Stromfluss und an Hitzetagen.

Das Start-up erhielt dank den erfolgreichen Tests inzwischen sämtliche Sicherheitszertifikate für den Spannungsbereich bis 145 kV, sodass dieser Druckluftkabel-Typ am Markt eingeführt werden kann. Um höhere Übertragungsleistungen abzudecken, wurde inzwischen eine zweite Pilotanlage für 220-kV-Kabel erfolgreich getestet.

Anpassbare Montagesysteme

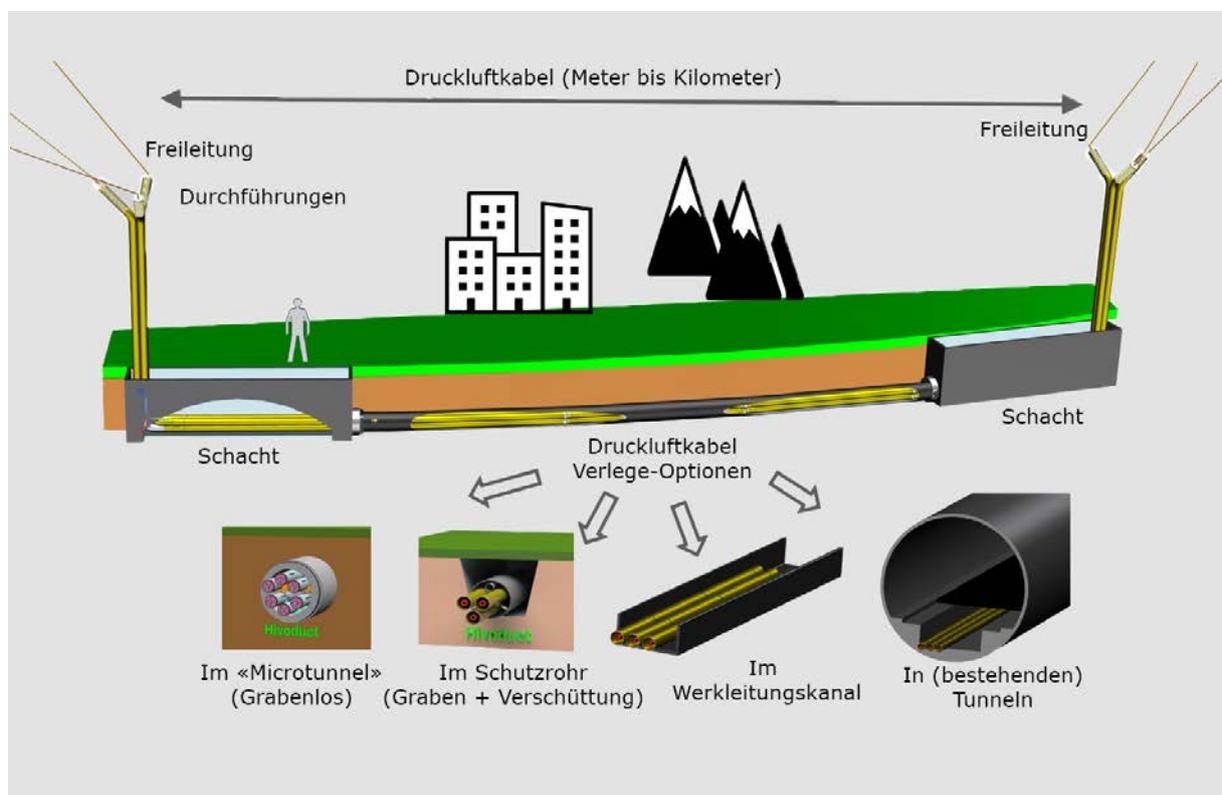
Die Forschungsarbeiten erbrachten weitere Erkenntnisse für das Design, die Montage und den Unterhalt der Installationen. Obwohl eine einzelne Röhre nur fünf Meter lang ist, lassen sich Druckluftkabel-Leitungen über mehrere Kilometer und in verschiedenen Winkeln zusammenstecken. Eigens dafür wurde ein spezielles Rollensystem erfunden, damit drei Leitungsphasen gleichzeitig verlegt werden können. Dieses besteht aus fahrbaren Konsolen, um die Druckluftkabel nebeneinander oder übereinander in ein grosses Schutzrohr einzufahren.

Auch die Endmontage wurde teilweise schon erprobt: Abhängig vom Terrain und natürlichen Hin-

dernissen kann das Röhrensystem unterschiedlich konfiguriert und im Boden verlegt werden. Fließgewässer lassen sich mit einem grabenlosen Microtunneling-Verfahren unterqueren. Über Wiesen und Felder genügt ein metertiefer Graben, um Kabelrohre darin zu stapeln oder aufzureihen.

Typenprüfung für 245 kV

Noch einfacher wird die Installation von unterirdischen Druckluftkabeln, wenn eine bestehende Untertage-Trasse mitbenutzt werden kann. Tatsächlich strebt der Bund eine Koordination zwischen dem Netzausbau und der Verkehrsplanung an. Autobahnen, Bahntrassen und Tunnelstrecken sollen unter gewissen Sicherheitsauflagen mit einem Zusatzkanal für



Schema einer Hochspannungstrasse, wofür ein Druckluft-Erdkabel verwendet wird. Für die unterirdische Kabelführung stehen unterschiedliche Einbauverfahren zur Verfügung (Quelle: Hivoduct, bearbeitet).

Hochspannungsleitungen ausgerüstet werden dürfen. Beim Bau der zweiten Gotthard-Autobahnröhre werden solche Reserverohre erstmals integriert.

Um Druckluftkabel künftig bei Infrastrukturbauten ebenso anzuwenden, war eine eigene Typenprüfung zu absolvieren. Unter anderem wurde die Variante testhalber im Uetlibergtunnel an der Westumfahrung Zürich eingebaut. Inzwischen liegt ein Sicherheitszertifikat für Hivoduct-Kabel im Hochspannungsbereich (245 kV / 4'000 A) vor.

Dauerhaftes System

Damit sich die Drucklufttechnik am Markt durchsetzt, muss sie sich für Netzbetreiber allerdings wirtschaftlich lohnen. Weil Druckluftkabel noch nicht seriell hergestellt werden, können die Projektentwickler den Aufwand vorerst nur für Einzelanwendungen abschätzen. Für die Installation von Erdkabeln gilt jedoch generell: Sie sind teurer als Freileitungen. Die spezifischen Mehrkosten liegen eineinhalb bis zehn Mal so hoch.

Hingegen sind generelle Aussagen zur Dauerhaftigkeit der neuen

Kabeltechnologie heute schon möglich. Obwohl erst ein Jahr getestet wurde, ist eine Lebensdauer von 40 Jahren wahrscheinlich. Den bisher üblichen Erdkabelsystemen wären Druckluftkabel damit qualitativ ebenbürtig.

Paul Knüsel, Faktor Journalisten AG



Zur Montage wird ein selbst entwickeltes Rollensystem verwendet. Das Einziehen der Kabelröhren in das Schutzrohr erfolgt über ein Zugseil (Bildquelle: Hivoduct).



Im Rahmen von Workshops wurden Ideen diskutiert und Massnahmen geprüft, mit denen sich die CO₂-Emissionen in der Region reduzieren lassen (Bildquelle: Manu Friedrich).

Als Region klimaneutral werden

Die Gemeinden im östlichen Berner Oberland unterstützen seit einigen Jahren aktiv den Klimaschutz in der Region. Angeregt wurden sie durch ein Forschungsprojekt der Universität Bern, das versuchte, über ein sogenanntes «Transition Management» den Wandel hin zu einer klimaneutralen Gesellschaft zu unterstützen.

Die «Regionalkonferenz Oberland-Ost» ist ein Zusammenschluss von 28 Gemeinden östlich des Thunersees. In diesem Gremium stimmen sie sich bei überkommunalen Themen wie der Richtplanung oder der Regionalentwicklung ab. Ein weiteres wichtiges Thema ist der Klimawandel, der sich in der von Tourismus und Landwirtschaft geprägten Region deutlich bemerkbar macht – etwa durch den Rückgang des Permafrosts, veränderte Vegetationsperioden oder die Häufung von starken Unwettern.

Die Region entschloss sich deshalb vor einigen Jahren, den Klimaschutz aktiv zu fördern, und entwickelte die Strategie «Klimaneutrale Region Oberland-Ost». Das Fernziel lautet, die CO₂-Emissionen in der Region bis 2040 auf netto null zu reduzieren. Im östlichen Berner

Oberland verursachen nebst den Haushalten, den Unternehmen und dem Verkehr insbesondere der Tourismus und die Landwirtschaft CO₂-Emissionen. Zu klären war daher, ob der Fokus «nur» auf den vor Ort ausgestossenen Emissionen liegen sollte oder auch auf jenen, die etwa die Feriengäste auf der Anreise ins Berner Oberland verursachen. Die Verantwortlichen entschieden, sich auf die direkt in der Region entstehenden Emissionen zu konzentrieren, weil sie diese unmittelbar beeinflussen können.

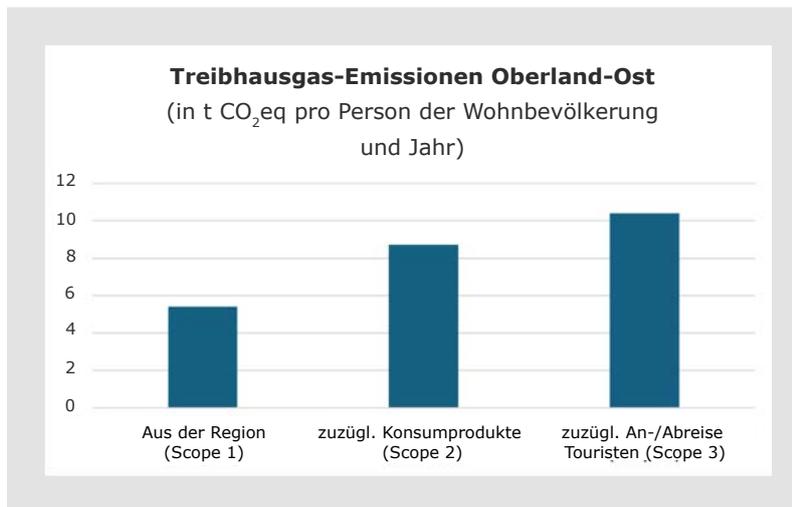
Wissenschaftlich fundiert

Angeregt, unterstützt und begleitet wurde die Region von einem Forschungsprojekt der Universität Bern und des Amts für Umwelt und Energie des Kantons Bern. Dieses versuchte, durch einen «Transition Management Process»

den Wandel hin zu einer klimaneutralen Gesellschaft anzustossen. Der Ansatz beruht darauf, dass die relevanten regionalen Akteure in den Planungsprozess einbezogen werden. Das gelang im Berner Oberland: Sie entwickelten gemeinsam eine Vision für die Region, definierten auf die lokalen Begebenheiten angepasste Massnahmen und wurden selbst in deren Umsetzung aktiv. Finanzielle Unterstützung erhielt das Projekt vom Bundesamt für Energie, dem Amt für Umwelt und Energie des Kantons Bern und der Wyss Academy für Nature der Universität Bern.

Kern des Prozesses waren vier Workshops. Dazu eingeladen wurden Vertreterinnen und Vertreter verschiedener Bereiche: öffentliche Hand, Tourismus, Energie, Privatwirtschaft, Holzindustrie,





Die Regionalkonferenz fokussiert bei ihren Aktionen auf die Reduktion der CO₂-Emissionen aus dem sogenannten Scope 1. Damit werden jene Emissionen bezeichnet, die in der Region selbst direkt verursacht werden. Sie lassen sich gezielter reduzieren als jene aus den Scopes 2 und 3 (Quelle: B. Vogel, bearbeitet).

Landwirtschaft sowie auch aus dem Wohn- und Mobilitätssektor und der Zivilgesellschaft. Die jeweils 35 bis 40 Teilnehmenden griffen in den Workshops die vier Phasen des «Transition Management» auf: Orientierung, Agenda Setting, Aktivierung und Reflexion. Das Projektteam begleitete diesen transdisziplinären Prozess durch die Vorbereitung, Moderation und Nachbereitung der Workshops sowie die Dokumentation und gemeinsame Evaluation des Prozesses. Die Teilnehmenden konnten beispielsweise die Ergebnisse der Workshops evaluieren. Ferner wurden Interviews mit ausgewählten Teilnehmenden der Work-

shops und eine Onlinebefragung der Bevölkerung durchgeführt.

Erste Projekte lanciert

In den Workshops entwickelten die Teilnehmenden breit abgestützte Ideen, Projekte und Konzepte, tauschten Überlegungen aus und schufen neue Netzwerke. Eine wichtige Massnahme war die Anstellung einer Fachperson, welche die Bevölkerung, Unternehmen sowie Behörden berät und bei Projekten unterstützt. Diese Aufgabe eines «Klimacoach» übernimmt seit etwas mehr als zwei Jahren die in der Region wohnhafte Agronomin Alina von Allmen. Sie diskutiert das Thema Klima mit

unterschiedlichen Gruppen und vernetzt sie. So hat sie beispielsweise die sieben regionalen Bergbahnen an einen Tisch gebracht, damit sie Erfahrungen austauschen und Massnahmen für den Klimaschutz koordinieren können.

Aus dem Umfeld der Initiative entstanden bereits einige spannende Projekte. Dazu gehören die Erzeugung von Biogas zur Dekarbonisierung des Gasnetzes von Interlaken, der Ausbau von Wind- und Solarkraft im Skigebiet Axalp sowie ein Elektro-Katamaran auf dem Brienzensee. Letzterer transportiert Gäste klimaschonend über den See und bietet gleichzeitig Sommerjobs für die Beschäftigten aus dem Wintertourismus. Um noch mehr Unternehmen vom Klimaschutz zu überzeugen und weitere Projekte anzustossen, setzt Alina von Allmen nicht zuletzt auf Emotionen. Man müsse jene Dinge ansprechen, die den Menschen vor Ort wichtig sind, sagt sie. Im Berner Oberland seien das zum Beispiel die Verbundenheit mit der Landschaft, den Bergen und dem Schnee.

Vorbild für andere Regionen

Das Forschungsteam der Universität Bern ist mit den Ergebnissen des dreijährigen Projekts zufrieden. Es sei gelungen, durch den gemeinsam getragenen Prozess das Thema Klimaneutralität in der Region zu verankern. Zudem habe man mit der Umsetzungsagenda, dem etablierten Netzwerk und der Stelle des Klimacoachs die Basis geschaffen, damit der Veränderungsprozess erfolgreich fortgeführt werden kann. Der Ansatz des «Transition Management» könnte gemäss den Forschenden auch in anderen Regionen wichtige Prozesse auslösen



Der von einer lokalen Firma hergestellte Elektro-Katamaran transportiert im Sommer Gäste über den Brienzensee. So entstanden neue Arbeitsplätze für Angestellte aus dem Wintertourismus (Bildquelle: Brienz Tourismus).

Remo Bürgi, Faktor Journalisten AG

Internationale Zusammenarbeit

Die internationale Zusammenarbeit in der Energieforschung hat in der Schweiz einen hohen Stellenwert. Das Bundesamt für Energie (BFE) stimmt auf institutioneller Ebene seine Forschungsprogramme mit internationalen Aktivitäten ab, um Synergien zu nutzen und Doppelspurigkeiten zu vermeiden. Der Zusammenarbeit und dem Erfahrungsaustausch im Rahmen der Internationalen Energieagentur (IEA) kommt eine besondere Bedeutung zu. So beteiligt sich die Schweiz über das BFE an verschiedenen «Technology Collaboration Programmes» der IEA (www.iea.org/tcp), siehe Liste auf der Folgeseite.



Auf europäischer Ebene wirkt die Schweiz – wo immer möglich – in den Forschungsprogrammen der Europäischen Union mit. Das BFE koordiniert hier auf institutioneller Ebene die Energieforschung mit den energierelevanten European Partnerships, den European Research Area Networks (ERA-NET), den Joint Technology Initiatives (JTI), den europäischen Technologieplattformen u. a. In gewissen Themenbereichen («Smart Grids», Geothermie, Wasserstoff) existiert eine intensive multilaterale Zusammenarbeit mit ausgewählten Ländern.

Beteiligung in Technologie-Kooperationsprogrammen der IEA

	Energy Storage (iea-ecses.org)		Energy in Buildings and Communities (iea-ebc.org)
	Energy Efficient End-Use Equipment (iea-4e.org)		Heat Pumping Technologies (heatpumpingtechnologies.org)
	User-Centred Energy Systems (userstcp.org)		International Smart Grid Action Network (iea-isgan.org)
	High-Temperature Super Conductivity (ieahts.org)		Advanced Fuel Cells (ieafuelcell.com)
	Clean and Efficient Combustion (ieacombustion.com)		Advanced Motor Fuels (iea-amf.org)
	Electric Vehicle (ieahev.org)		Bioenergy (ieabioenergy.com)
	Geothermal Energy (iea-gia.org)		Hydrogen (ieahydrogen.org)
	Hydropower (ieahydro.org)		Photovoltaic Power Systems (iea-pvps.org)
	Solar Heating and Cooling (iea-shc.org)		Concentrated Solar Power (solarpaces.org)
	Wind Energy Systems (iea-wind.org)		Greenhouse Gas R&D (ieaghg.org)
	Energy Technology Systems Analysis Program (iea-etsap.org)		Industrial Energy-Related Technologies and Systems (iea-industry.org)

Teilnahme an European Partnerships

	Accelerating CCS Technologies (act-ccs.eu)		Clean Energy Transition Partnership (cetpartnership.eu)
	Concentrated Solar Power (csp-eranet.eu)		Driving Urban Transitions (dutpartnership.eu)
	Geothermica (geothermica.eu)		Materials (m-era.net)
	Smart Energy Systems (eranet-smartenergysystems.eu)		Solar (solar-era.net)
	Geothermal Implementation Working Group (geothermal-iwg.eu)		

Weitere internationale Zusammenarbeit

	Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking		DACH-Kooperation Smart grids
	International Partnership for Geothermal Technology		Collective Research Networking CORNET

(Nächste Seite) Gehen Metalle eine Verbindung mit Sauerstoff ein, so werden enorme Energiemengen freigesetzt. Daher können Aluminium und andere Metalle dazu verwendet werden, um erneuerbaren Strom zu speichern, um daraus im Winter Wärme und Strom zu gewinnen. Forschende der Ostschweizer Fachhochschule haben im Rahmen des Projekts «Covering Winter Peaks of Heat and Electricity Demand by Renewable Metal Fuels» (PeakMetal) evaluiert, welche Metalle zur Einspeicherung, Lagerung und Ausspeicherung von Energie besonders geeignet sind und in welchem Mass sie zur Entschärfung des Stromengpasses/Energieknappheit im Winter durch erneuerbare Energie beitragen könnten. Aluminium, Eisen und Silizium eignen sich technisch als saisonale Energiespeicher, wobei jedes Material seine Vor- und Nachteile hat. An der OST wird mit Aluminium gearbeitet. Auf dem Bild zu sehen ist ein Prototyp des Instituts für Solartechnik (SPF) der OST für 2 kW Wasserstoffleistung aus Aluminium. Aufgrund ihrer Studie gehen die Forschenden davon aus, dass kurz- bis mittelfristig marktfähige «Metall-Speicherzyklen» aus Aluminium und Eisen zum Einsatz kommen werden. Saisonale Energiespeicherzyklen könnten einen wesentlichen Beitrag zur Deckung des Stromengpasses im Winter leisten (Bildquelle: SPF Labor).



Impressum:
Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern
www.energieforschung.ch
alice.brander@bfe.admin.ch

