



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE

Energieforschung und Innovation

Bericht 2023





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) Im Rahmen des Pilotprojekts HyCo (Hydrogen Metal Hydrides Thermal Compressor with low Operational Costs) wird die technische und kommerzielle Machbarkeit einer kommerziellen Anwendung eines Wasserstoffkompressors auf der Basis von Metallhydriden untersucht. Metallhydride sind poröse Materialien mit einer hohen Wasserstoffaufnahme Kapazität. Die Technologie hat das Potenzial, die Kosten für die Wasserstoffverdichtung erheblich zu senken. Die Komprimierung von Wasserstoff mit Hilfe von Metallhydriden hat den Vorteil, dass unter anderem Wärmeenergie benötigt wird. Daher kann Abwärme genutzt werden. GRZ Technologies SA, ein Spin-off des Labors für Materialien für erneuerbare Energien der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne, hat bereits einen kommerziellen Wasserstoffkompressor aus Metallhydriden auf den Markt gebracht. Im Rahmen des Projekts wird ein grosser Hyco-Metallhydrid-Kompressor neben einem bestehenden mechanischen Kompressor auf dem Gelände der Lonza AG in Visp installiert, um einen Vergleich mit einem state-of-the-art Kompressor zu ermöglichen (Bildquelle: GRZ Technologies SA, E. Cavin).



(Links) Der Einsatz von photovoltaischen Beschattungsvorrichtungen ist eine Massnahme, die zur Verringerung des Energiebedarfs und zur Entwicklung von Niedrigenergiegebäuden beiträgt. Dabei werden die Gebäude vor direkter Sonneneinstrahlung und Überhitzung geschützt, während gleichzeitig erneuerbarer Strom vor Ort produziert und der thermische Komfort der Nutzer erhöht wird. Ziel des vom BFE geförderten Projekts BIP-VdSHADING ist es, die technische und wirtschaftliche Machbarkeit für eine ästhetische und vorgefertigte BIPV (gebäudeintegrierte Photovoltaik) dynamische Beschattungstechnologie zu demonstrieren, indem das System in einem realen Gebäude realisiert wird. Ein BIPV-System wurde in der Gebäudefassade des neuen Pavillons der Franklin University in Soregno installiert (Bildquelle: Aziende Industriali di Lugano (AIL) SA).



Inhalt

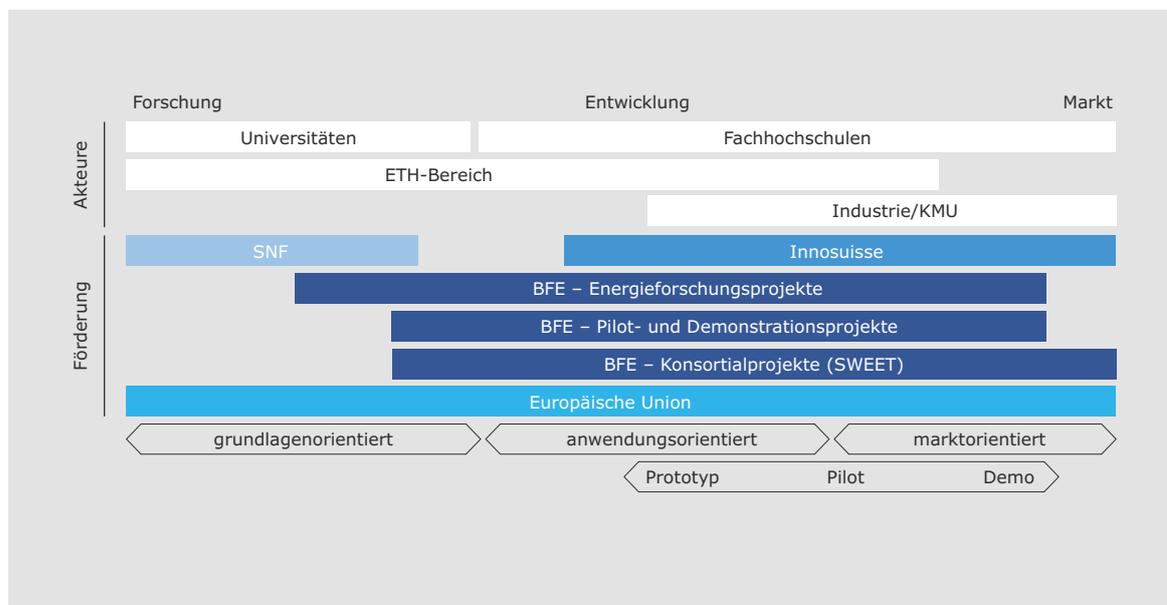
Editorial	3
Inhalt	4
Überblick	
Technologie- und Innovationsförderung	5
Thematische Energieforschungsprogramme	6
Inter- und transdisziplinäre Forschungsförderung mit SWEET	6
Statistik der Schweizer Energieforschung	8
Highlights	
CO ₂ im isländischen Basalt speichern	12
Rohre für Fernwärme einfacher einbauen	14
Eine Wasserrutschbahn für Stein und Kies	18
Bauen und Sanieren mit nahezu null Treibhausgasemissionen	20
E-Autos laden, ohne das Netz zu überlasten	24
Dem Energiemanagement zum Durchbruch verhelfen	26
International	
Internationale Zusammenarbeit	29
Beteiligung in Technologie-Kooperationsprogrammen der IEA	30
Teilnahme an European Partnerships	30
Weitere internationale Zusammenarbeit	30

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 richtet sich dabei nach einem eigenen Energieforschungskonzept 2021–2024, das sich wiederum am Energieforschungskonzept des Bundes orientiert. Für die aktuelle Periode 2021–2024 ist ein noch stärkerer Fokus auf nicht-technische Forschung (engl. SSH: social sciences and humanities) gelegt. Technische Wissenschaften und SSH 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 und die Schweizer Energieforschung damit zu koordinieren. Aktuell stehen hierfür rund 50 Millionen Franken pro Jahr zur Verfügung und es werden rund 300 laufende Projekte pro Jahr eng 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).

Thematische Energieforschungsprogramme

Das Bundesamt für Energie (BFE) deckt mit thematisch orientierten Energieforschungsprogrammen das gesamte Spektrum der Energieforschung in den Bereichen «Energieeffizienz» und «Erneuerbare Energie» 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.



 Gebäude und Städte (3–8)	 Mobilität (4–8)	 Industrielle Prozesse (3–8)
 Netze (3–8)	 Elektrizitätstechnologien (3–8)	 Verbrennungsbasierte Energiesysteme (3–8)
 Brennstoffzellen (2–8)	 Batterien (2–8)	 Wärmepumpen und Kältetechnik (4–8)
 Solarthermie und Wärmespeicherung (4–8)	 Photovoltaik (3–8)	 Solare Hochtemperaturenergie (CSP) (3–8)
 Wasserstoff (2–8)	 Bioenergie (3–8)	 Wasserkraft (4–8)
 Geothermie (3–8)	 Windenergie (4–8)	 Stauanlagensicherheit (3–8)
 Energie-Wirtschaft-Gesellschaft		

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 zentrale Fragestellungen zur Energiestrategie 2050 und zur langfristigen Klimastrategie der Schweiz erforschen. Dazu werden thematische Ausschreibungen lanciert.

Ein weiteres Ziel von CoSi ist, die Erkenntnisse und Ansätze aus Sozial- und Geisteswissenschaften in die Modellierung und in Simulationen einfließen zu lassen. Durch Harmonisierung der Annahmen und Szenarien sollen die Simulationsresultate der Forschungsgruppen zudem vergleichbar werden.

Im Jahr 2023 haben zwei neue Konsortien ihre Arbeiten aufgenommen. Das Konsortium CoSi («Co-Evolution and Coordinated Simulation of the Swiss Energy System and Swiss Society») soll eine nachhaltige Zusammenarbeit zwischen technisch-naturwissenschaftlichen Disziplinen, den Wirtschaftswissenschaften und den Sozial- und Geisteswissenschaften etablieren. Dazu wird das Konsortium untersuchen, wie sich die Entwicklung des Schweizer Energiesystems und der Schweizer Gesellschaft gegenseitig beeinflussen.

Das zweite neue Konsortium beschäftigt sich mit nachhaltigen Treib- und Brennstoffen und Plattformchemikalien. ReFuel.ch («Renewable Fuels and Chemicals for Switzerland») wird untersuchen, wie durch eine Schliessung von technischen und nicht-technischen Wissenslücken die Investitionssicherheit für nachhaltige Treib- und Brennstoffe gesteigert werden kann. Im Weiteren sollen innovative Technologien mit derzeit niedrigem Technologiereifegrad weiterentwickelt werden. Das Konsortium will Klarheit schaffen, unter wel-



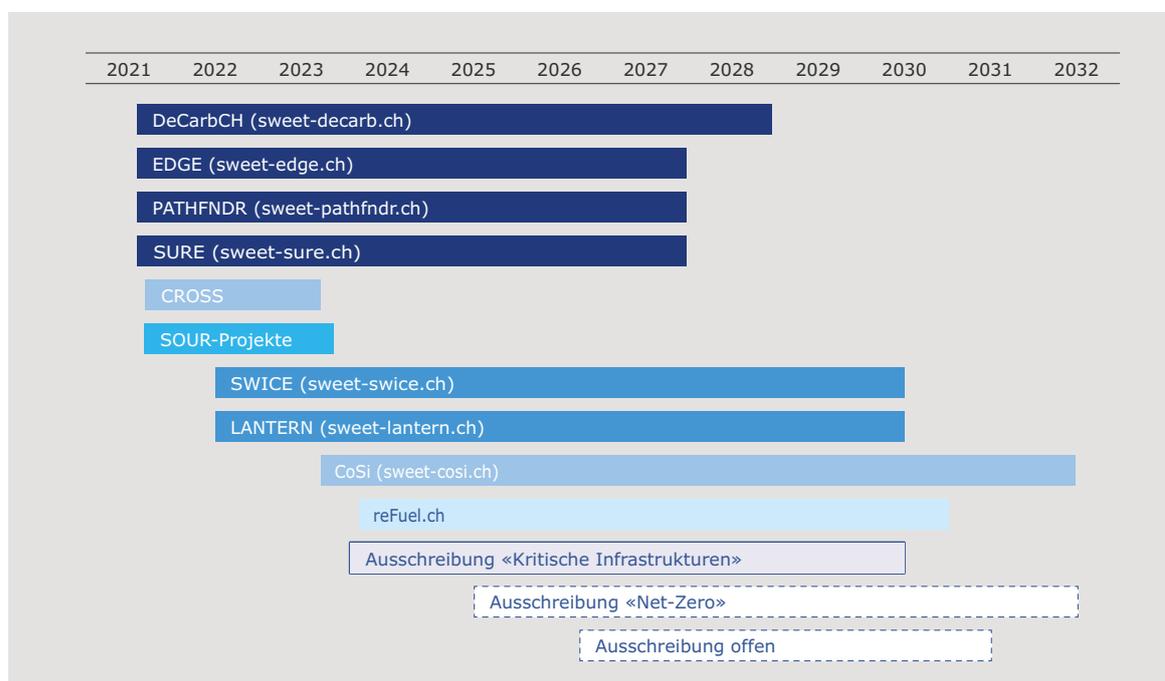
chen Voraussetzungen die verschiedenen Technologien im Einklang mit den langfristigen klimapolitischen Zielen stehen. Zudem soll die Effizienz und die Lastflexibilität von Produktionsanlagen gesteigert werden. Die Forschenden werden konkrete Pfade entwickeln, wie die nachhaltigen Treib- und Brennstoffe und die Plattformchemikalien in das Energiesystem und in weitere Märkte eingeführt werden können.

Eine Ausschreibung zum Leitthema «Kritische Infrastrukturen, Klimawandel und Resilienz des Schweizer Energiesystems» wurde 2023 lanciert. Das künftige Konsortium ist gefordert, den Einfluss von kritischen Infrastrukturen auf das Energiesystem, auch unter den Auswirkungen des Klimawandels, zu analysieren. Ausserdem soll untersucht werden, wie verwundbar das Energiesystem gegenüber technischen, natürlichen und gesellschaftlichen Gefahren ist und wie die Resilienz des Energiesystems gesteigert werden kann.

Als Ergänzung zu den langfristigen SWEET-Konsortien werden auch unkonventionelle Projekte von einzelnen Forschenden oder kleinen Teams gefördert. Vier sogenannte SOUR-Projekte («SWEET OUTside-the-box Rethinking») fanden 2023 ihren Abschluss. Darunter das

Projekt «ProdUse», in dem ein Forscher untersuchte, ob und wie Energieszenarien Entscheidungsprozesse in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft unterstützen.

Dabei zeigt sich ein Graben: Auf der einen Seite steht die Wissenschaft, die immer detailliertere Szenarien mit Fokus auf die technisch-ökonomische Perspektive erstellt. Auf der anderen Seite sind die potenziellen Nutzerinnen und Nutzer, die sich auch für sozialwissenschaftliche Aspekte interessieren und sich einfach verständliche Informationen wünschen. Ein Beispiel, wie diese beiden Welten auseinanderklaffen: Es gibt Szenarien, die detailliert prognostizieren, wie Elektromotoren die Verbrenner verdrängen und wie sich dadurch Stromverbrauch und CO₂-Ausstoss verändern werden. Doch was geschieht, wenn die Menschen für kurze Strecken auf das Velo umsteigen oder wenn die Städte so gebaut sind, dass alles Nötige in 15 Minuten zu Fuss erreichbar ist? Solche Veränderungen werden in den heutigen Szenarien kaum berücksichtigt, eröffnen aber interessante Lösungswege. Genau solche Lücken sollen nun durch den Einbezug von Erkenntnissen der Geistes- und Sozialwissenschaften in die Entwicklung von Energiemodellen geschlossen werden. Diese Erkenntnisse von ProdUse fließen in die Arbeiten von CoSi ein.



Übersicht der Konsortien der abgeschlossenen, laufenden und geplanten Ausschreibungen des Förderprogramms SWEET. 2023 haben die beiden neuen Konsortien CoSi und reFuel.ch ihre Arbeit aufgenommen und eine Ausschreibung zum Thema «Kritische Infrastrukturen» wurde lanciert. Weiterhin aktiv sind die Konsortien, die bereits 2021 bzw. 2022 mit der Forschung gestartet sind: DeCarbCH, EDGE, PATHFNDR 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 Rahmen von sogenannten Living Labs neue Lebens-, Arbeits- und Mobilitätsformen und Lösungen für eine dekarbonisierte, ressourceneffiziente Schweiz.

DeCarbCH



EDGE



PATHFNDR



SURE



SWICE



LANTERN



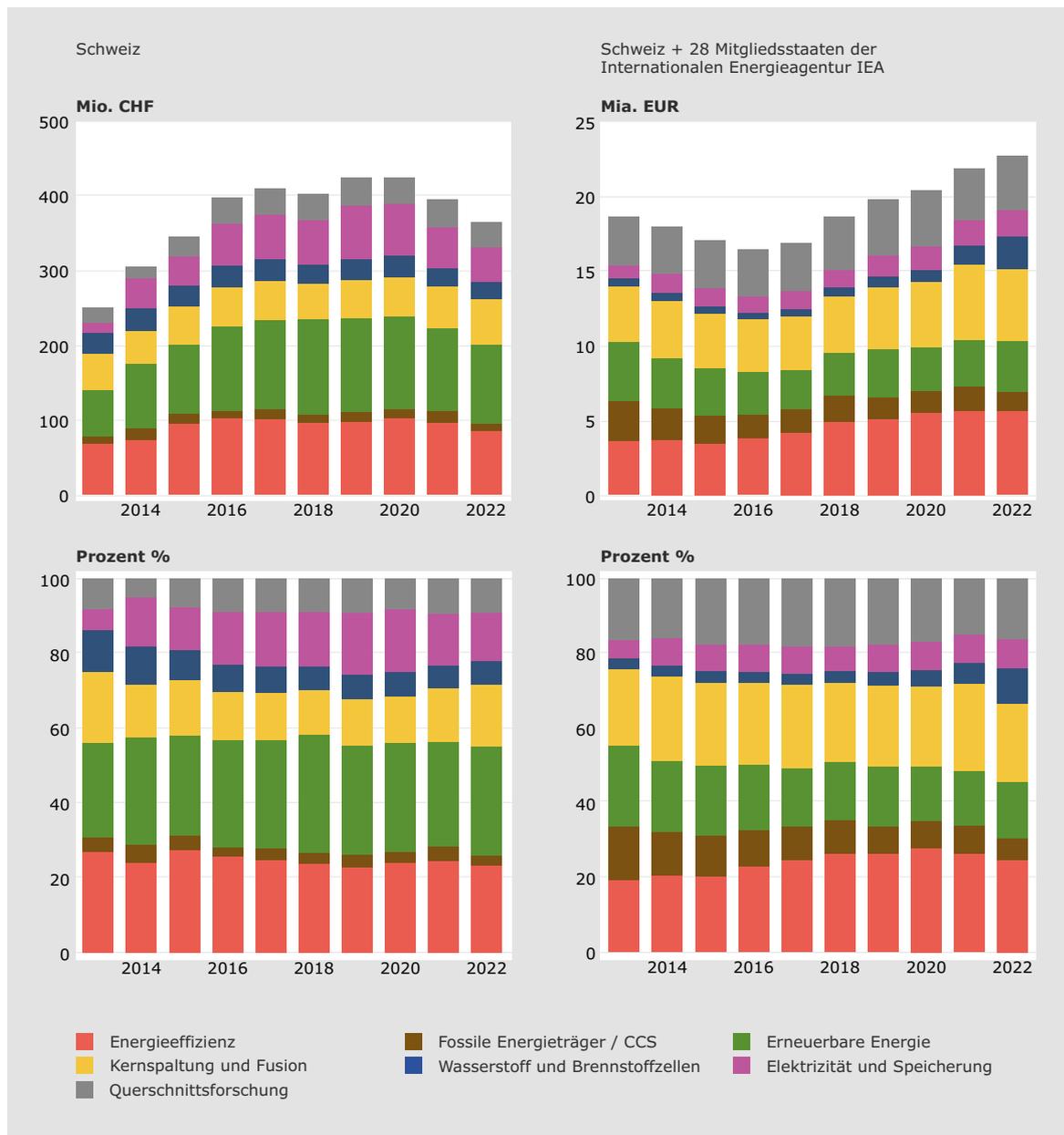
CoSi



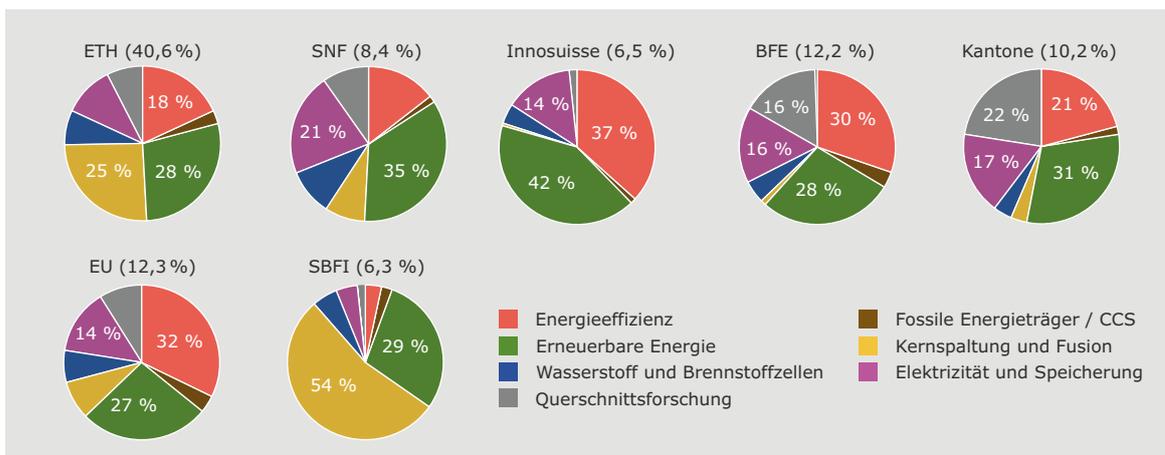
Statistik der Schweizer Energieforschung

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.

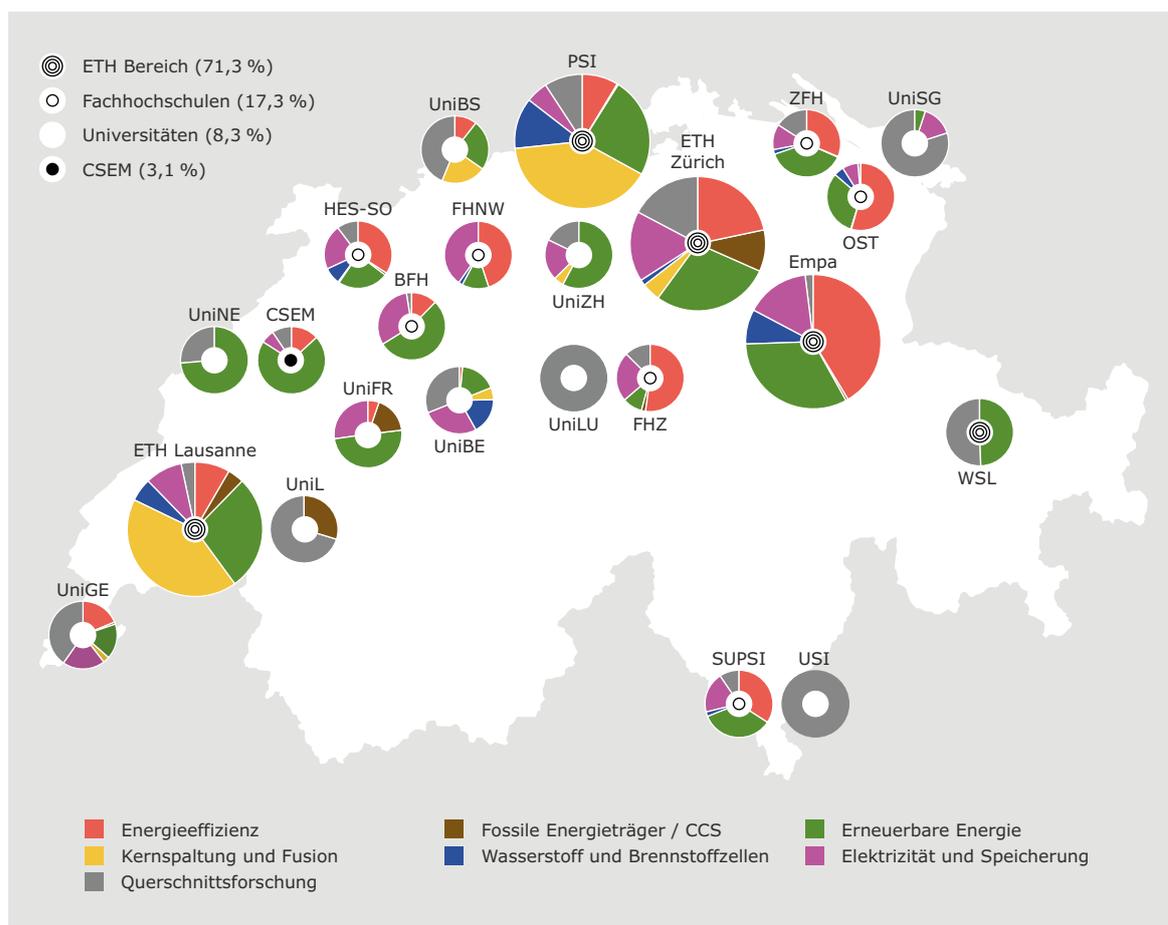
den. 2022 hat die öffentliche Hand in der Schweiz rund 365 Millionen Franken für die Energieforschung aufgewendet. Mit rund 40.6 % steuerte der ETH-Bereich den grössten Anteil bei. Nach der EU (12.3 %), hatte das BFE mit 12.2 % den drittgrössten Anteil. Von den durch das BFE aufgewendeten 30.5 Millionen Franken, flossen rund 12.4 Millionen Franken in Projekte aus dem Bereich Energieeffizient, 10.4 Millionen Franken aus dem Bereich Erneuerbare Energien sowie 7.3 Millionen Franken aus dem Bereich Geistes- und Sozialwissenschaften.



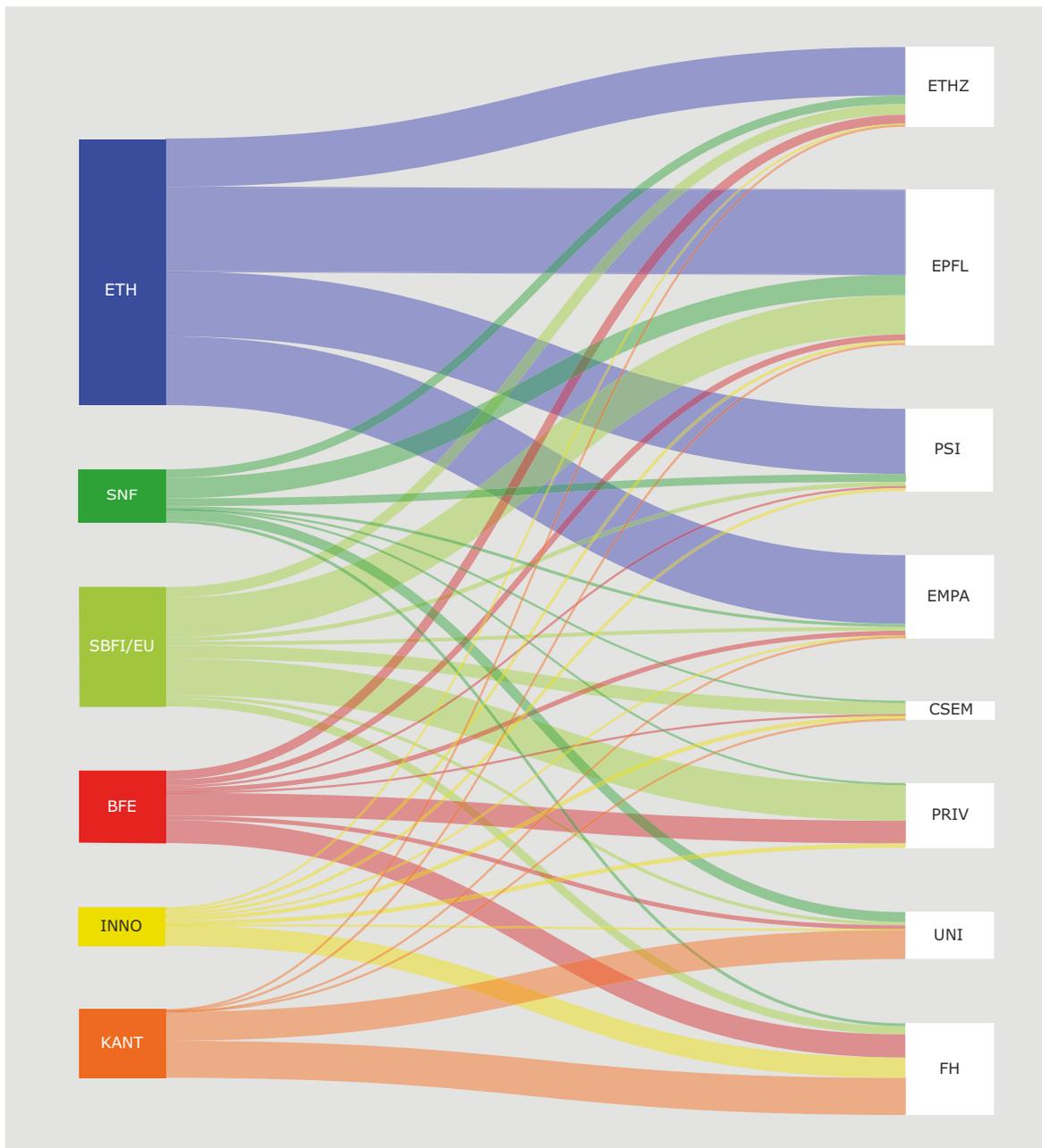
Für Energieforschung aufgewendeten öffentliche Mittel in der Schweiz (links) und in 29 Mitgliedsländern der Internationalen Energieagentur (IEA) (rechts). Für die Schweiz liegt dieser Aufwand im Bereich 0.3 bis 0.65 Promille des Bruttoinlandsprodukts. Die eingesetzten Mittel sind nach der Klassifikation der IEA aufgegliedert (Quelle: Energieforschungsstatistik BFE).



Öffentliche Mittel für die Energieforschung (2022) nach Förderstelle und Themenfeld: Rund 40 % der Mittel für die Energieforschung in der Schweiz stammen direkt aus dem ETH-Bereich, etwa 10 % 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 (2022). Die Themen sind nach der Klassifikation der Internationalen Energieagentur (IEA) aufgliedert. Der grösste Teil der öffentlichen Energieforschung (71 % 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 brücksichtigt 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).

(Rechts) Im Projekt DemoUpCARMA wird CO₂ in den basaltischen Untergrund injiziert. Danach wird das CO₂ durch die Mineralisation dauerhaft gespeichert (Bildquelle: DemoUpCARMA/ETH Zürich).



CO₂ im isländischen Basalt speichern

Ein Pilotprojekt zeigt, dass sich Kohlenstoffdioxid (CO₂) in der Schweiz abscheiden, nach Island transportieren und dort im Untergrund speichern lässt. Die Klimabilanz dabei ist zwar positiv, doch das Projekt hat auch verschiedene Punkte identifiziert, die für die Umsetzung im grossen Masstab noch zu klären sind.

Damit die Schweiz ihre Treibhausgasbilanz bis 2050 auf nahezu null reduzieren kann, müssen Emissionen soweit möglich vermieden werden. Zudem braucht es Lösungen, um schwer vermeidbare Emissionen auszugleichen. Mit dem von Bund, Wissenschaft und Industrie unterstützten Pilotprojekt DemoUpCARMA (Demonstration und Upscaling of Carbon dioxide Management solutions for a net-zero Switzerland) untersuchen Forschende unter der Leitung der Eidgenössisch Technischen Hochschule Zürich (ETH Zürich), wie sich zwei Methoden zur Einlagerung von CO₂ in grossem Masstab umsetzen lassen. Nebst

der Speicherung von CO₂ in Beton in der Schweiz nimmt das Projekt den Transport und die permanente Speicherung von CO₂ in einem geologischen Speicher in Island unter die Lupe.

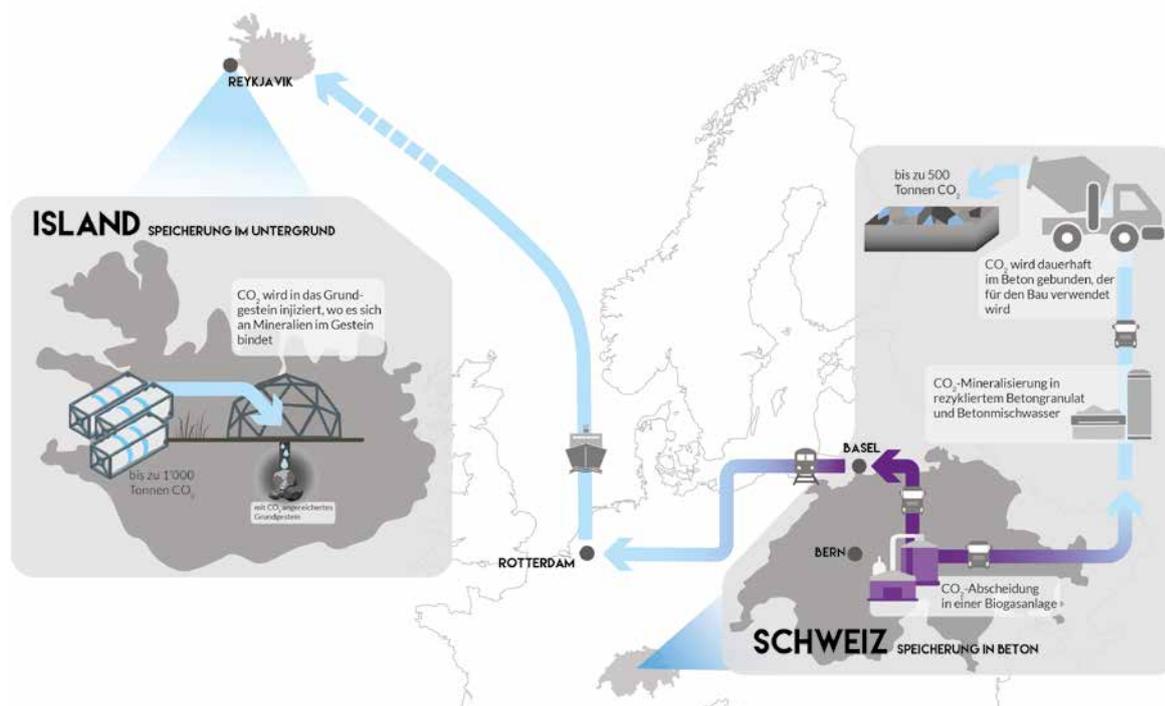
Neues Injektionsverfahren

Ein Teilprojekt demonstriert die Machbarkeit dieser CO₂-Lieferkette. Dazu wird bei der Abwasserreinigungsanlage Bern CO₂, das von biologischem Material stammt, vor Ort verflüssigt und in Containern per Lastwagen, Bahn und Schiff nach Island transportiert. An einem bestehenden Standort wird das CO₂ mit Süsswasser gemischt und in das basaltige Gestein im Untergrund gepresst, was man als Injektion

bezeichnet. Durch chemische Prozesse wird es mineralisch gebunden und dauerhaft gespeichert. Zudem testen die Forschenden an einem neuen Standort erstmals ein Verfahren, bei dem CO₂ in Meerwasser gelöst und in den Untergrund injiziert wird. Ein anderes Teilprojekt untersucht bis Ende 2024, wie gut die Injektionen und der Mineralisierungsprozess mit dieser neuen Methode funktionieren.

Technisch machbar

Die bisherigen Erkenntnisse zeigen, dass die gesamte CO₂-Lieferkette von der Abscheidung bis zur Speicherung aus technischer sowie ökologischer Sicht machbar ist. Die Klimabilanz ist positiv, wenngleich



DemoUpCARMA untersuchte zwei Methoden der permanenten CO₂-Speicherung: jene in Beton in der Schweiz sowie den Transport und die permanente Speicherung von CO₂ in einem geologischen Reservoir in Island (Quelle: DemoUpCARMA/ETH Zürich).



An zwei Standorten in Island wird das CO₂ mit Süswasser und erstmals auch mit Meerwasser vermischt und in den Basalt injiziert. (Bildquelle: DemoUpCARMA/ETH Zürich).

pro Tonne gespeichertes CO₂ 200 bis 250 kg CO₂ anfallen. Den Grossteil davon verursacht der Transport, der nach wie vor fossile Energieträger benötigt. Werden diese künftig durch erneuerbare Energien ersetzt, verringern sich diese Emissionen. Weil für das Pilotprojekt biogenes CO₂ verwendet wurde, konnten sogar Negativemissionen erzeugt werden. Die Kosten pro Tonne gespeichertes CO₂ belaufen sich derzeit auf mehrere hundert Franken,

was allerdings mit dem Pilotcharakter des Projektes begründet wird. Es ist davon auszugehen, dass diese bei einer Einlagerung im industriellen Massstab sinken dürften. Das Pilotprojekt zeigt aber auch, dass es noch offene Punkte zu klären gibt. Hierzu gehören etwa die unterschiedlichen gesetzlichen Vorschriften in der Schweiz und der EU, Wissenslücken bei allen Beteiligten, aber auch die Entwicklung einer systematischen CO₂-Nachverfolgung.

Bis zum Abschluss von DemoUpCARMA im September 2024 wird das Forschungsteam weitere Daten zur Wirtschaftlichkeit und Ökologie der CO₂-Lieferkette sammeln und eine abschliessende Bewertung vornehmen. Die Erkenntnisse werden als Basis für weitere Schritte hin zu einem Betrieb in grossem Massstab dienen.



In speziellen Containern wird das verflüssigte CO₂ per Lastwagen, Bahn und Schiff von der Schweiz nach Island transportiert (Bildquelle: DemoUpCARMA/ETH Zürich).



Das Pilotprojekt wurde auf dem Campus «Energypolis» in Sion durchgeführt (dunkle Gebäude in der Bildmitte). Dort befinden sich die Standorte der EPFL Wallis und der HES-SO Wallis (Bildquelle: HES-SO Valais-Wallis).

Rohre für Fernwärme einfacher einbauen

Thermische Netze auf niedrigem Temperaturniveau – sogenannte Anergienetze – werden üblicherweise mit Wasser betrieben. Ein Projekt im Wallis zeigt, dass sie auch mit Kohlenstoffdioxid (CO₂) funktionieren. Damit können sie einfacher geplant und realisiert werden, insbesondere im städtischen Bereich.

Gebäude mit erneuerbarer Wärme und Kälte zu versorgen, ist eine der grossen Herausforderungen der Energiewende. Fernwärme- und Fernkältenetze können in der Schweiz einen wichtigen Beitrag dazu leisten. Diese sogenannten thermischen Netze verbinden eine Zentrale, die Energie erzeugt, mit den Gebäuden, welche die Energie

verbrauchen. Das bietet den Vorteil, dass nicht jedes Gebäude eine eigene erneuerbare Energiequelle wie Grundwasser, Erdwärme oder Abwärme benötigt. Stattdessen wird diese zentral erschlossen und die erzeugte Energie anschliessend über Rohrleitungen verteilt.

Wasser braucht dicke Rohre

Üblicherweise dient in thermischen Netzen Wasser zum Transportieren der Energie. Es wird in der Zentrale durch Wärmepumpen oder Wärmetauscher auf eine bestimmte Temperatur erwärmt und dann zu den einzelnen Gebäuden geführt. Dort wird ihm Wärme für Heizung oder Warmwasser entzogen. Dabei kühlt das

Wasser im thermischen Netz etwas ab. Es wird daraufhin wieder zurück zur Zentrale geführt, wo es erneut erwärmt wird. So entsteht ein Kreislauf, der ein Areal, ein Quartier oder einen ganzen Stadtteil mit Energie versorgt.

Wasser eignet sich grundsätzlich sehr gut zum Transportieren der Wärme: Es ist (fast) überall verfügbar, kostengünstig und keine Gefahr die Umwelt, falls es zu einem Leck kommt. Insbesondere für den Leitungsbau hat Wasser aber auch einige Nachteile. So müssen die Rohre für die Wärmeverteilung ziemlich gross sein, damit genug Wasser durchströmen kann. Zudem brauchen sie eine starke Dämmung, damit die Wärme nicht entweicht. Solche Rohre erreichen deshalb einen Durchmesser von bis zu 40 cm, was ziemlich gross ist für den begrenzten Platz im Untergrund. Und: Die Leitungen müssen recht tief in den Boden verlegt werden, damit sie vor Frost geschützt sind. Das führt dazu, dass das Planen und Verlegen neuer Leitungen für ein

thermisches Netz recht aufwendig ist – zeitlich und finanziell.

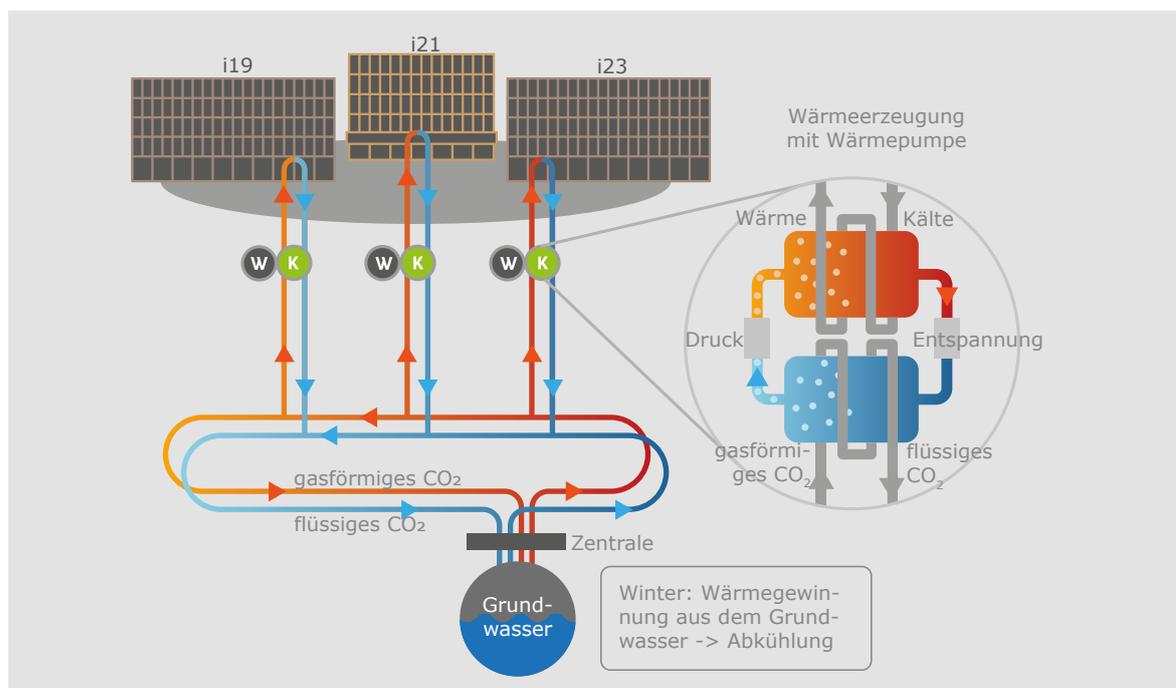
CO₂ als Alternative

Um herauszufinden, ob der Leitungsbau mit einem anderen Wärmeträger als Wasser einfacher ist, wurde 2022/2023 im Wallis ein vom Bundesamt für Energie unterstütztes Pilotprojekt durchgeführt. Beteiligt waren die Hochschulen HES-SO Valais-Wallis und EPFL Wallis sowie die Industriepartner Zero-C, ExerGo und OIKEN. Beim Projekt schloss man drei Gebäude auf dem gemeinsamen Campus der beiden Hochschulen in Sion an ein thermisches Netz an, das auf einem sehr tiefen Temperaturniveau betrieben wird – ein sogenanntes Anergienetz. Als Trägermedium kommt CO₂ zum Einsatz.

Das CO₂-Anergienetz besteht aus zwei separaten Kreisläufen, welche die Zentrale mit den Unterstationen der drei Gebäude verbinden. In einem Kreislauf zirkuliert flüssiges CO₂, im anderen Kreislauf gasförmiges. Muss ein Gebäude beheizt werden, wird der Kreislauf mit dem

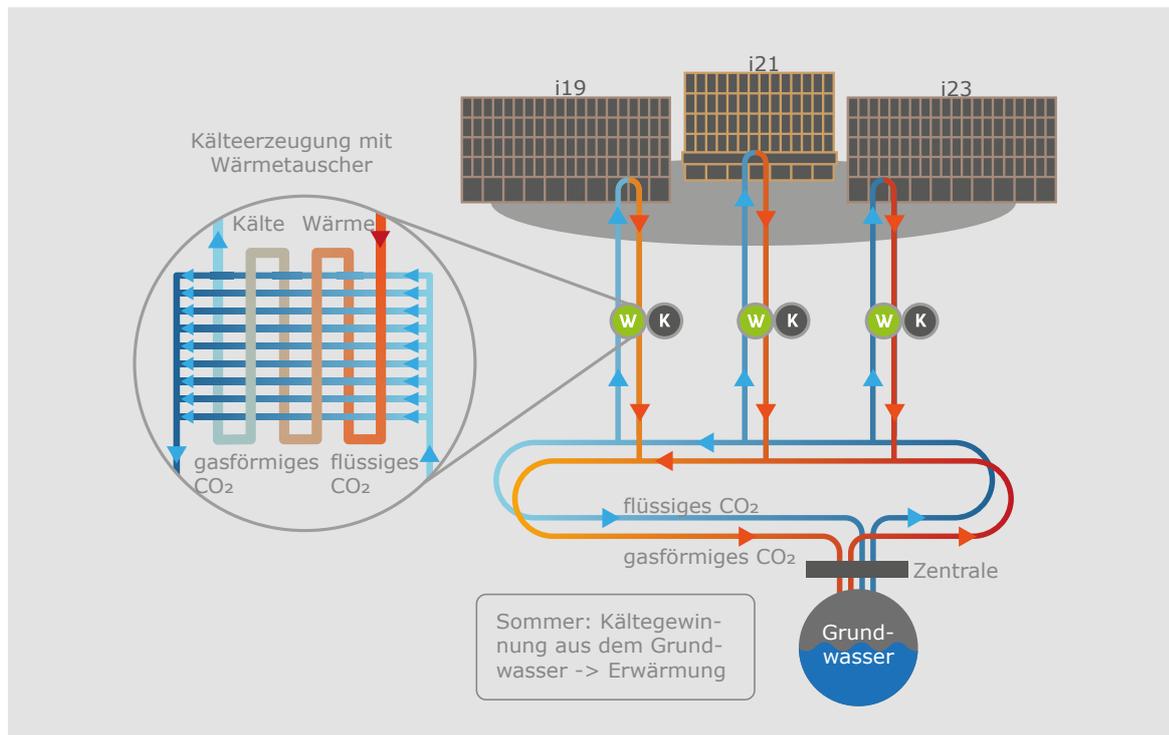
gasförmigen CO₂ angezapft (siehe Grafik unten). Dabei kühlt die Wärmepumpe in der Unterstation des Gebäudes das CO₂ ab, bis es kondensiert, also flüssig wird. Bei diesem Übergang von gasförmig zu flüssig wird viel Wärme freigesetzt, welche die Wärmepumpe nutzt, um den Heizkreislauf des Gebäudes zu erwärmen. Das verflüssigte CO₂ wird im Anergienetz zurück zur Zentrale gepumpt. Dort erwärmt ein Wärmetauscher das flüssige CO₂, dessen Temperatur bei etwa 7 °C liegt, mithilfe einer externen Energiequelle, sodass es wieder gasförmig wird und der Kreislauf von Neuem beginnen kann. Beim Pilotprojekt in Sion dient Grundwasser mit einer Temperatur von 10 bis 12 °C als Energiequelle.

Muss ein Gebäude gekühlt werden, wird der flüssige CO₂-Kreislauf aktiviert. Die Prozesse verlaufen dabei genau umgekehrt zu denjenigen beim Heizen (siehe Grafik S. 16). Dabei gibt die Kühlanlage des Gebäudes Wärme an das flüssige CO₂ im Netz ab, worauf dieses verdampft. Die im gasförmigen CO₂ enthaltene Wärme kann im Prinzip in



Heizen: Wenn gasförmiges CO₂ abkühlt, kondensiert es. Dieser Wechsel von gasförmig zu flüssig setzt Wärme frei, die sich zum Beheizen von Gebäuden nutzen lässt (Quelle: HES-SO Valais-Wallis, bearbeitet).





Kühlen: Wird das flüssige CO₂ erwärmt, verdampft es und wird gasförmig. Dieser Prozess setzt Kälte frei, die man für das Kühlen von Gebäuden nutzen kann (Quelle: HES-SO Valais-Wallis, bearbeitet).

anderen Gebäuden wiederum zum Heizen entnommen werden. Wenn es hierfür keinen Bedarf gibt, gelangt das gasförmige CO₂ bei einer Temperatur von rund 15 °C wieder zurück zur Zentrale, wo es via Wärmetauscher durch das Grundwasser abgekühlt und verflüssigt wird. Der Kreislauf beginnt von Neuem. Die überschüssige Wärme wird wiederum an das Grundwasser abgegeben.

Weniger Platz nötig

Der Einsatz von CO₂ als Trägermedium anstelle von Wasser bietet wesentliche Vorteile. Das Verdampfen von einem kg CO₂ setzt deutlich mehr Wärme frei respektive bindet sie, als das «blosse» Erwärmen respektive Abkühlen derselben Menge Wasser. Daher muss weniger Masse durch das Netz transportiert werden, sodass die Pumpen weniger Energie benötigen und die Energiekosten sinken. Vorteilhaft ist zudem, dass der Durchmesser der Rohre für das CO₂ nur ein Drittel des Durchmessers der Wasserrohre beträgt und folglich weniger Platz nötig ist. Und: Weil CO₂ erst bei -78,5 °C gefriert, können die

Leitungen näher an der Oberfläche verlegt werden als wasserführende Leitungen. Dies senkt den Aufwand und die Kosten für den Einbau der Leitungen markant und ermöglicht insbesondere in dicht besiedelten Städten mit wenig verfügbarem Platz

eine deutlich schnellere Planung und Umsetzung.

Potenzial vorhanden

Die Energieleistungen der Wärmepumpen sind bei Energienetzen mit CO₂ und solchen mit Wasser ähnlich.



Die CO₂-führende innere Leitung wird aus Sicherheitsgründen von einem weiteren Rohr umgeben (Bildquelle: HES-SO Valais-Wallis).



Die weissen Rohre wurden von der Spule in den Untergrund verlegt und transportieren nun das CO₂. Dank des im Vergleich zu Wasserrohren geringeren Querschnitts mussten weniger tiefe Baugrubenausgehoben werden (Bildquelle: HES-SO Valais-Wallis).

Die Leitungskosten sind bei Ersteren ungefähr halb so hoch, dafür sind die Kosten für die Unterstation rund 25 % höher. Die Bauzeit für CO₂-basierte Anergienetze dürfte deutlich geringer sein als für konventionelle, wobei dies in der Praxis noch zu belegen ist. Erfahrungen aus dem kommerziellen Betrieb sind gemäss dem Forschungsteam nun der nächste Schritt, um Erkenntnisse zur Regelung und zur Dimensionierung der Leitungen etc. zu gewinnen. Durch das Projekt im Wallis ist aber klar, dass CO₂-Anergienetze grundsätzlich das Potenzial haben, die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung zu vereinfachen und zu beschleunigen.



In der Energiezentrale des Anergienetzes kühlt das Grundwasser das CO₂ über einen Wärmetauscher ab respektive erwärmt es (Bildquelle: HES-SO Valais-Wallis).



Der Auslass des Umleitungsstollens an der Albula, über den das Geschiebe am Solis-Staudamm vorbeigeleitet wird (Bildquelle: VAW ETH Zürich).

Eine Wasserrutschbahn für Stein und Kies

Mehr als die Hälfte des Strombedarfs deckt die Schweiz mit Wasserkraft. Für die Versorgungssicherheit ist es deshalb wichtig, die Kapazitäten im inländischen Kraftwerkspark zu erhalten, zu modernisieren und zu erweitern. Die Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH Zürich) hat am Beispiel des Solis-Stausees erforscht, wie das Speichervolumen – mit einem Umleitungsstollen für das Geschiebe – langfristig gewahrt und nach Verlandung sogar wieder erhöht werden kann.

Die Wasserkraft nachhaltig nutzen, bedeutet, die Ökosysteme soweit möglich zu schützen. Im Albultal in Mittelbünden werden beide Interessen miteinander verbunden. 2012 erhielt der Solis-Stausee einen zusätzlichen Stollen, der das Geschiebe aus den Zuflüssen am Staudamm vorbeileiten kann. Mit dieser Umleitung ist eine ökologische Auflage im nationalen Gewässerschutzgesetz erfüllt: Steine, Kies und feiner Sand bleiben nicht in der Staustufe liegen, sondern sorgen

auch unterhalb des Damms für dynamische Lebensräume im Flussbett.

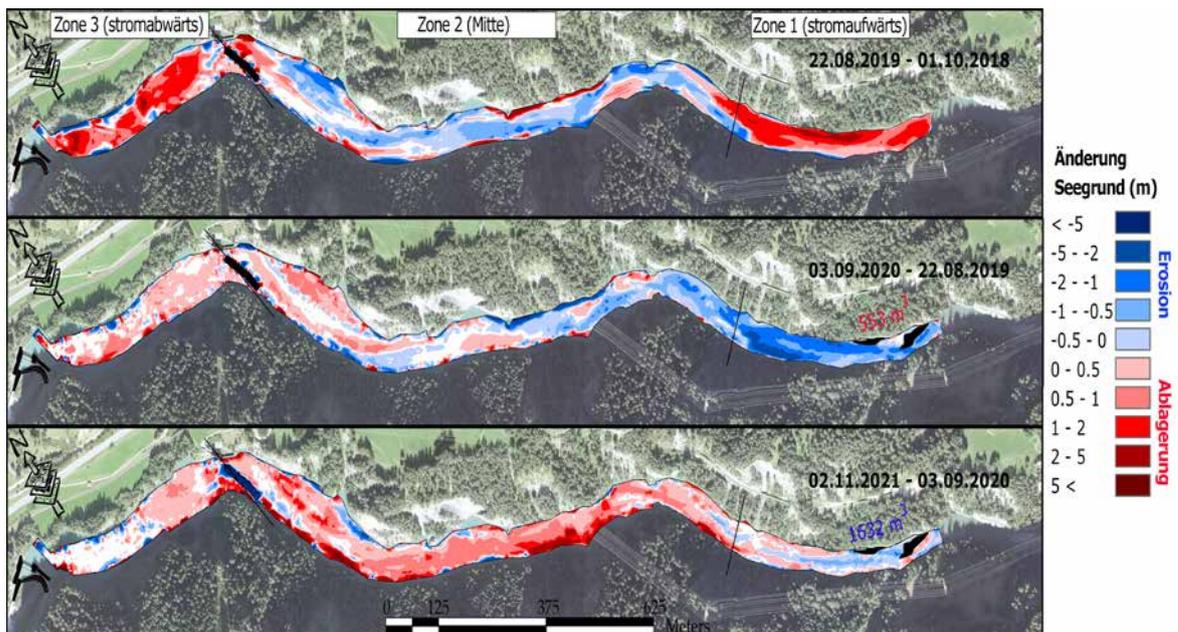
Das Bauwerk hat einen ebenso wesentlichen wirtschaftlichen Nutzen für die Wasserkraft. Der Solis-Stausee verlandete lange Zeit. Sein Volumen schrumpfte innerhalb von 25 Jahren um ca. 50 %. Seit der Inbetriebnahme des Stollens wird der grösste Teil des Geschiebes jedoch am Damm vorbeigeschleust. Forscher der ETH Zürich konnten diese Wirkung messen: Die Geschiebestollen leitet bei Hochwasser

einen großen Teil des Geschiebes direkt in das Flussbett unterhalb der Talsperre. In den übrigen Zeiten lagert sich nur noch wenig Material im Stausee ab.

Hochwasser als Glücksfall

Im Forschungsprojekt RESEMO wurde zusätzlich untersucht, wie viel Wasser durch den Stollen strömt und dadurch für die Stromproduktion verloren geht. Zwischen 2018 und 2021 sammelten ETH-Wasserbauforscher mit mehreren Stichproben viele Daten zum Wasserabfluss





Ein Ergebnis aus dem Forschungsprojekt: Geschiebeablagerung (rot) und Geschiebeerrosion (blau) im Solis-Stausee für drei Perioden im Zeitraum von 2018 bis 2021. Die schwarze Punktlinie im unteren Bereich des Speichers kennzeichnet den Stolleneinlauf (Fließrichtung: von rechts nach links; Quelle: VAW ETH Zürich, bearbeitet).

und zum Geschiebetransport. Als Glücksfälle erwiesen sich drei Hochwasserereignisse, die während der Forschungskampagne stattfanden, denn nur dann wird der Geschiebestollen in Betrieb genommen und gleichzeitig der Stausee teilweise abgesenkt. Die dabei gewonnenen Daten konnten viel zum Nachweis der Bypass-Wirkung beitragen.

Ein wesentliches Ergebnis ist: Der Stollen leitet nicht nur das bei Hochwasser mitgeführte Geschiebe um, sondern schwemmt auch Gestein weg, das in früheren Perioden im Seegrund sedimentierte. Wie gross die Spülwirkung ist, hängt gemäss den erhobenen Daten wesentlich vom Pegel des Stausees ab: Je niedriger der Wasserspiegel ist, desto besser spült der Zusatzstollen. Dieser Befund spielt dem Kraftwerkbetreiber in die Hände: Bei Hochwasser muss er sowieso entscheiden, wie überschüssiges Wasser abzuleiten ist. Nun weiss er: Ein kurzzeitiges Absenken des Pegels räumt den Seegrund aus.

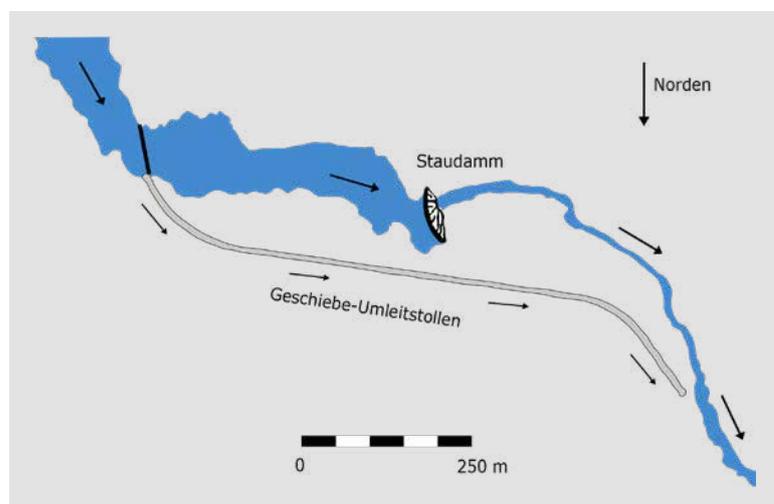
Kapazität erhalten

Abschliessend konnten die ETH-Forscher zeigen, dass ein Umleitstol-

len den Betrieb eines Stausees auch sonst nicht stört. Das notwendige Absenken des Seepegels schmälert zwar kurzfristig die Stromproduktion, langfristig aber wahrt die Massnahme die Speicherkapazität. Damit das nutzbare Volumen nicht schwindet, müsste der See andernfalls alle paar Jahre aufwendig ausgebaggert werden

Das Forschungsprojekt im Albualtal ist wegweisend für die Zukunft der inländischen Wasserkraft. Zum einen sind vergleichbare Umlei-

tungsstollen an zehn Standorten in Betrieb, zum anderen erhöhen der Klimawandel und der Gletscherrückgang die Geschiebefrachten in alpine Gewässer. Dagegen können sich Kraftwerksbetreiber nun besser wappnen. Ein Umleitungsstollen wie an der Albula leistet wertvolle Dienste als «Rutschbahn» und «Staubsauger» für Steine, Kies und anderes Geschiebe. So bleibt fast nichts liegen, um ein Verlanden von Stauseen zu begünstigen.



Situation des Solis-Stausees im Albualtal mit der schematisch eingezeichneten Geschiebe-Umleitung (Quelle: VAW ETH Zürich, bearbeitet).



Der Baustoff Holz ist in der Produktion deutlich weniger energieintensiv als Beton und belastet das Klima deutlich weniger: Überbauung Unterfeld in Steinen (SZ) (Bildquelle: Holz100 Schweiz AG).

Bauen und Sanieren mit nahezu null Treibhausgasemissionen

Damit die Schweiz ihre Klimaziele bis 2050 erreicht, müssen Gebäude nicht nur energieeffizient und klimaschonend betrieben, sondern auch so gebaut werden. Mit den richtigen Materialien und Konzepten lassen sich die Treibhausgasemissionen bei der Erstellung von Gebäuden um bis zu 40 % reduzieren.

Die gut 2.3 Mio. Gebäude in der Schweiz sind für etwa 45 % des Energieverbrauchs und für einen Drittel der inländischen Treibhausgasemissionen verantwortlich. Dank dichten, gedämmten Gebäudehüllen, effizienter Haustechnik und dem Einsatz von erneuerbaren Energien sanken der Energieverbrauch und die daraus entstehenden Treibhausgasemissionen

für den Betrieb der Gebäude in den letzten Jahrzehnten stetig.

Dadurch fällt der Bauprozess stärker ins Gewicht: Betrachtet man den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes, können heute je nach Qualitätsstandard und Bauweise mehr als die Hälfte des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen bei seiner Erstellung anfal-

len. Diese sogenannten «grauen» Emissionen entstehen bei der Herstellung, beim Transport und bei der Entsorgung der Baustoffe sowie beim Bauen. Damit wir das ehrgeizige Netto-Null-Ziel erreichen, muss Bauen und Sanieren deutlich klimaschonender werden.



Datengrundlagen schaffen

Die Studie ZeroStrat von der Beratungsfirma intep und der ETH Zürich will hierzu einen Beitrag leisten. In der ersten Projektphase suchten die Forschenden nach Baustoffen und Bauteilen, die das Klima möglichst wenig belasten. Neben dem Anteil an grauen Emissionen wurde unter anderem beurteilt, wie verfügbar die benötigten biobasierten Rohstoffe sind, wie sie die Bauzeit beeinflussen oder wie gut sie sich für Wiederverwendung respektive Recycling eignen. Dabei untersuchte das Projektteam auch ausgewählte innovative Baustoffe wie CO₂-speichernden Beton, Dämmplatten aus Gras und Hanf oder Fertigbauteile aus Lehm, Holz und Stroh. Wo für solche alternative Baumaterialien die notwendigen Daten für die ökologische Bewertung fehlten, haben die Forschenden

sie zusammen mit den Herstellern erarbeitet.

Grosses Potenzial

In der zweiten Projektphase untersuchten die Forschenden, wie stark die Treibhausgasemissionen durch den Einsatz ökologischer Baustoffe sinken. Betrachtet wurde nur der Rohbau ohne Innenausbau und Haustechnik. Am Beispiel eines Mehrfamilienhauses berechneten sie die Emissionen für verschiedene Dämmmaterialien bei:

- einem Neubau in Beton,
- einen Holzrahmen-Neubau und
- der Sanierung eines bestehenden Betonhauses.

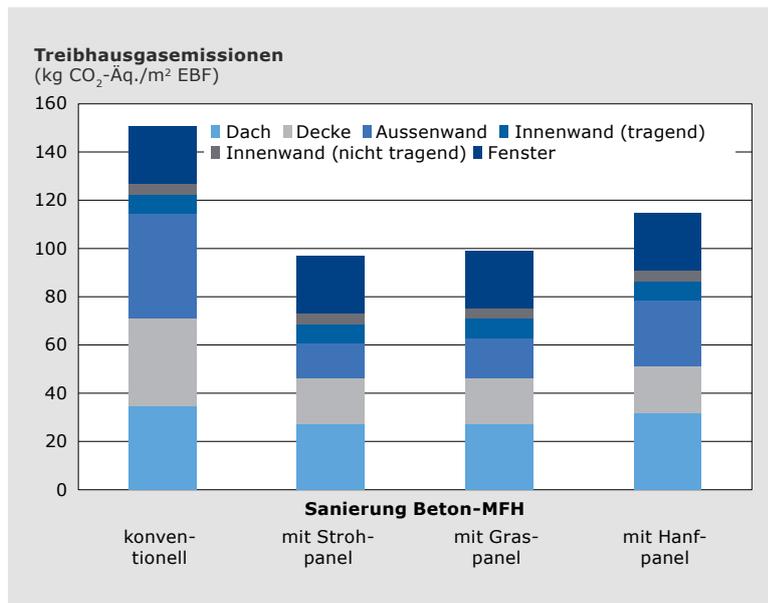
Dabei zeigte sich, dass das Potenzial alternativer Dämmstoffe gross ist: Sie können die Treibhausgase-

missionen eines neuen Beton-Rohbaus um bis zu 40 % reduzieren. Bei einem Holz-Rohbau sind bis zu 45 % möglich (siehe Grafik S. 22).

Weiternutzen statt abreissen

Sollen die Treibhausgasemissionen im Bau aber auf nahezu null sinken, reicht der Einsatz nachhaltiger Bau- und Dämmmaterialien in Neubauten allein nicht. Die wirksamste Strategie ist, die vorhandene Baustanz so lange wie möglich zu erhalten, indem man die Gebäude umnutzt, erweitert oder saniert. Dies bestätigen auch die Modellrechnungen für eine thermische Sanierung: Wird ein bestehender Betonrohbau mit herkömmlicher Glaswolle nachgedämmt und weiter genutzt, verursacht das 65 % weniger graue Emissionen als wenn ein gleich grosses Gebäude aus Beton neu gebaut wird. Kommen





Bei der thermischen Sanierung eines Betonbaus reduzieren sich die Treibhausgasemissionen durch den Einsatz von nachhaltigen Dämmstoffen wie Stroh, Gras oder Hanf um bis zu einem Drittel. (Quelle: Schlussbericht ZeroStrat, bearbeitet)

bei der Dämmung des bestehenden Gebäudes beispielsweise Strohdämmplatten zum Einsatz, sinken die grauen Emissionen gar um 78 % (siehe Grafik S. 23).

Wenn aber ohnehin neu gebaut werden muss, liegt ein grosser Hebel in der Konzeption des Gebäudes: So schneidet ein einzelnes grosses Gebäude mit einer optimalen Anzahl von Wohneinheiten hinsichtlich grauer Emissionen besser ab als viele kleine Gebäude mit gleich viel Wohneinheiten. Grundsätzlich sollte das Verhältnis zwischen Gebäudehülle und Energiebezugsfläche möglichst klein sein. Unter Energiebezugsfläche versteht man die Summe aller Flächen, die beheizt oder klimatisiert werden.



Die Leichtbauweise, wie der hier gezeigte Holzrahmenbau mit Strohdämmung, belastet Klima und Umwelt generell weniger stark als der Massivbau mit keramischen oder mineralischen Baustoffen wie Ziegelsteine oder Beton (Bildquelle: Shutterstock).

Ein Leichtbau, bei dem nur die tragenden Elemente aus Holz, Stahl oder Beton bestehen, hat eine bessere Treibhausgasbilanz als ein Massivbau, bei dem Wände und Decken komplett aus einem Material gefertigt sind. Auch das Minimieren der Untergeschosse und der Anteil der Fenster an der Fassade haben einen grossen Einfluss.

Hürden für die Verwendung alternativer Baustoffe

Materialien fürs klima- und ressourcenschonende Bauen sind zwar auf dem Markt erhältlich, werden aber erst zögerlich eingesetzt. Um herauszufinden, warum das so ist, befragte das Projektteam in der dritten Projektphase Bauherrschaften, Architektinnen und Mitarbeitende von grossen Bauunternehmen zu den Hürden bei der Verwendung nachhaltiger Bauprodukte. Ein zentrales Resultat der Umfragen ist, dass die relevanten Informationen zu neuen, klimaschonenden Baustoffen und Bauteilen teilweise noch schwierig zu finden und zu interpretieren sind. Um dies zu ändern, braucht es beispielsweise:

- mehr unabhängige, anerkannte Prüfergebnisse,
- belastbare Angaben zu den eingesparten Emissionen,
- Informationen zu den Vorteilen gegenüber bewährten Materialien oder zur Konformität mit Gebäudelabeln.

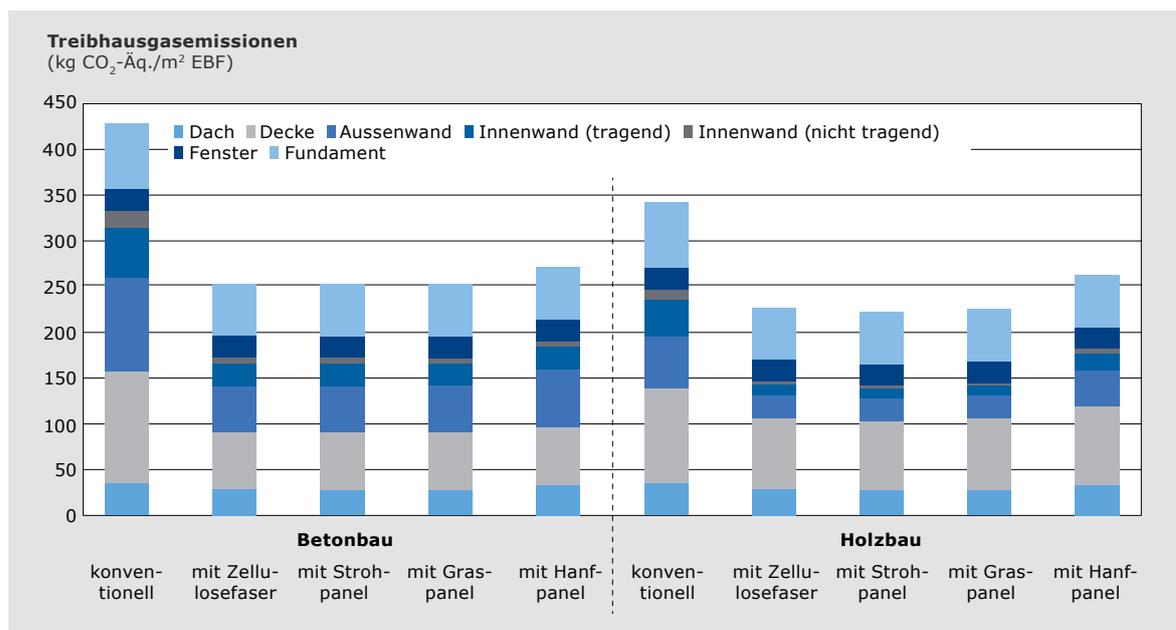
Auch der direkte Kontakt zu den Herstellern kann das Vertrauen in ein neues oder noch wenig auf dem Markt etabliertes Produkt erhöhen.

Eine weitere Erkenntnis ist, dass es nicht reicht, die Möglichkeiten von treibhausgasarmen Materialien und Bauweisen anhand von einzelnen gebauten Beispielen bekannt zu machen. Damit künftig klimaschonender gebaut wird, müssen die Fachleute auch mit Erfahrungsberichten versorgt werden, die zeigen, wie sich die Grundsätze des klimaschonenden Bauens in den Planungs- und Bauprozess einbinden lassen. Ebenso muss erklärt werden, welche Entscheidungsgrundlagen für die Auswahl der Materialien massgebend sind und wie alle relevanten Beteiligten einbezogen wer-

den können. Denn die Kommunikation und der interdisziplinäre Austausch in Bauprojekten ist entscheidend für den erfolgreichen Einsatz von innovativen Bauprodukten. Alle Beteiligten müssen schon in frühen Projektphasen eine gemeinsame Vorstellung entwickeln.

Viele Befragte sind zudem der Meinung, dass die Klimaziele auf Basis von Freiwilligkeit allein kaum zu erreichen sind. Sie wünschen sich deshalb ökonomische Anreize oder strengere Vorgaben fürs nachhaltige Bauen.

Insgesamt zeigt die Studie, dass Materialien und Lösungsansätze für klimaschonendes und energieeffizientes Bauen und Sanieren bereits vorhanden sind und ihr Potenzial gross ist. Nun gilt es, die Hemmnisse in der Umsetzung durch bessere Information abzubauen.



Mit klimaschonenden Baustoffen lassen sich die Treibhausgasemissionen bei der Erstellung von Gebäuden markant senken. Das gilt sowohl für Betonbauten (fünf Säulen links), als auch für Holzbauten (fünf Säulen rechts). Die Grafik zeigt das am Beispiel verschiedener Dämmmaterialien (Quelle: Schlussbericht ZeroStrat, bearbeitet).

E-Autos laden, ohne das Netz zu überlasten

Das schnelle Aufladen von Elektroautos benötigt viel Strom in kurzer Zeit. Damit das Stromnetz diese Leistungen erbringen kann, muss es ausgebaut werden. In einem Pilotprojekt wurde deshalb untersucht, wie Batteriespeicher und flexibleres Aufladen das Netz entlasten können.

Um die Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor zu reduzieren, muss er elektrifiziert werden. Damit dies gelingt, braucht es nicht zuletzt ein gut ausgebautes Netz von öffentlichen Ladestationen. Doch dieses bringt auch Herausforderungen für das Stromnetz mit sich, vor allem wegen der Schnellladestationen: Sie beziehen in kurzer Zeit hohe Leistungen aus dem Netz. Auf solche Spitzenlasten sind die lokalen und regionalen Verteilnetze vielerorts nicht ausgelegt.

Integrierte Batteriespeicher

Wie kann man die Netzbelastung durch die Schnellladestationen reduzieren, ohne dass ein teuer und aufwendiger Ausbau nötig ist? Ein vom Bundesamt für Energie unterstütztes Projekt der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne (EPFL) ging ebendieser Frage nach. Dazu baute das Projektteam auf dem Campus der EPFL eine öffentlich zugängliche Schnellladestation

mit einer Leistung von insgesamt 172 kW auf. Diese kann zwei handelsübliche E-Autos innerhalb von etwa 15 Minuten so weit laden, dass genügend Energie für eine Strecke von mehr als 100 km zur Verfügung steht.

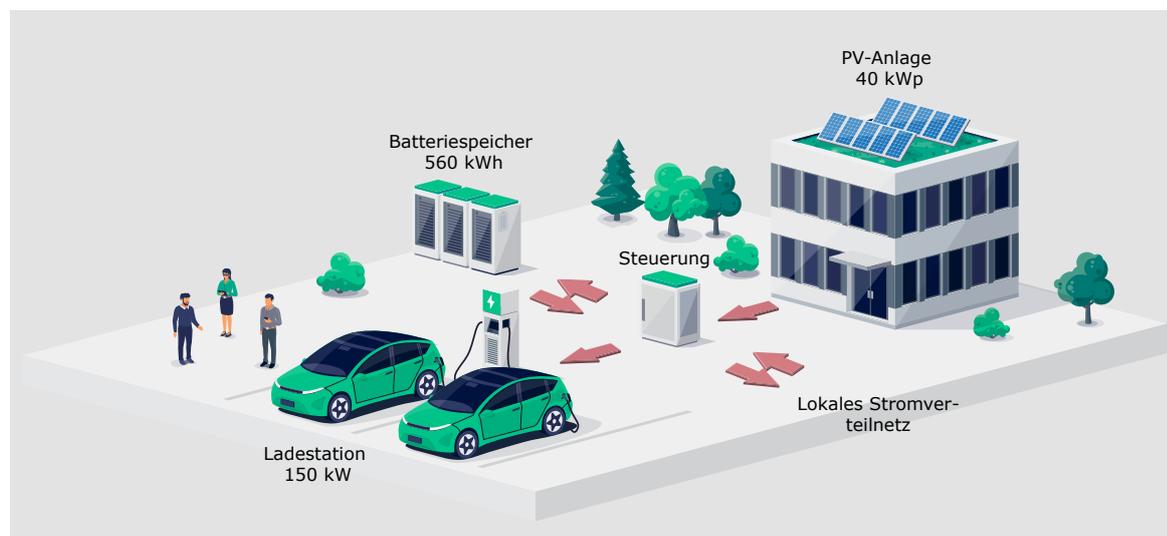
Zur Anlage gehören auch ein grosser Batteriespeicher mit einer Kapazität von 560 kWh sowie eine Photovoltaikanlage mit einer maximalen Leistung von 40 kW (siehe Grafik unten). Vom Projektteam entwickelte Algorithmen sorgen für eine optimale Abstimmung zwischen Photovoltaikanlage, Batterie und Ladestation. Dazu sagen sie die Photovoltaikproduktion und den Elektrizitätsbedarf der Ladestationen zuverlässig voraus. So lassen sich die E-Autos aufladen, ohne dass das Netz überlastet wird.

Weniger Abweichungen

Die Ergebnisse des Projekts belegen, dass solche steuerbaren Ladestatio-

nen mit Batteriespeicher messbare Vorteile bieten. Netzbetreiber müssen ihre Pläne für den Energiebezug vom übergeordneten Netz jeweils angeben, und jede Abweichung von diesem Plan verursacht Kosten für den Ausgleich der Netze. Die unvorhersehbaren Belastungen durch Schnellladestationen führen oft zu solchen Abweichungen. Die Studie zeigt, dass sie sich durch die Kontrolle der Stationen in Verbindung mit dem Einsatz von Batterien um bis zu Faktor 10 reduzieren lassen.

Ganz ohne Investitionen in die Infrastruktur geht es jedoch nicht, weil Batteriespeicher benötigt werden und diese heutzutage noch recht teuer sind. Das Projektteam ist dennoch überzeugt, dass solche Systeme bei passender Dimensionierung der Speicher wirtschaftlich sinnvoll sein können. Und: Die Wirtschaftlichkeit lässt sich erhöhen, wenn die Batteriespeicher weitere netzdienliche Leistungen erbrin-



Eine intelligente Steuerung koordiniert die verschiedenen Komponenten der Ladestation so, dass möglichst wenig Strom aus dem lokalen Verteilnetz für das Aufladen benötigt wird (Quelle: B. Vogel / Shutterstock).





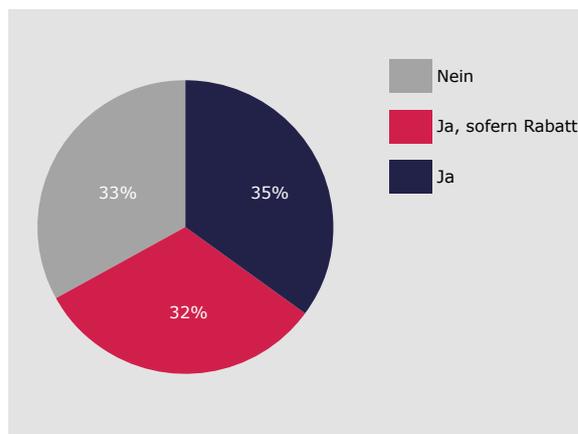
Die Schnellladestation auf dem Campus der EPFL kann zwei Elektroautos innert 15 Minuten mit ausreichend Strom versorgen, um 100 km weit zu fahren (Quelle: Schlussbericht MESH4U).

gen. Das bedeutet, dass die Flexibilität der Batterie, Strom zu entnehmen oder einzuspeisen, zur Unterstützung des Netzes genutzt werden kann, wenn sie nicht zum Laden verwendet wird. Sie kann zum Beispiel Spitzenlasten für den Verteilnetzbetreiber minimieren oder Dienstleistungen zur Stabilisierung des nationalen Netzes bereitstellen. Je nachdem vergüten verschiedene Akteure wie Swissgrid oder die Netzbetreiber diese Dienstleistungen.

Flexible Nutzer gefragt

Die Forschenden haben auch das Nutzerverhalten unter die Lupe genommen. Dazu fragten sie die Nutzenden der Schnellladestation, ob und zu welchen Bedingungen sie für das Aufladen ihrer E-Autos eine gewisse zeitliche Flexibilität zulassen würden. Der Umfrage zufolge sind rund zwei Drittel bereit, den Ladevorgang um einige Minuten zu verlängern (siehe Grafik unten links), damit die Ladestation netzdienlicher

betrieben werden kann. Die Hälfte davon erwartet aber im Gegenzug einen Rabatt auf den Strompreis. Das Forschungsteam schlägt daher ein Modell vor, bei dem die Preisgestaltung das flexible Aufladen fördert.



(Links) Ungefähr 100 Nutzende der Schnellladestation wurden gefragt, ob sie den Ladevorgang um einige Minuten verlängern würden, damit die Ladestation netzdienlicher betrieben werden kann. Ein Drittel lehnte ab, etwas mehr als ein Drittel war einverstanden und ein knappes Drittel war einverstanden, sofern dafür ein Rabatt gewährt wurde (Quelle: Schlussbericht MESH4U, bearbeitet).

(Rechts) In diesem Container befindet sich der Batteriespeicher. Mit seiner Kapazität von 560 kWh kann er genug Strom von der Photovoltaikanlage und/oder aus dem Netz speichern, um das Aufladen der Elektroautos zu unterstützen und so das Stromnetz zu entlasten (Bildquelle: Schlussbericht MESH4U).



Mit einem Energiemanagementsystem lässt sich der Strom einer Photovoltaikanlage optimal zum Laden eines Elektrofahrzeugs verwenden (Bildquelle: Remdiaprod).

Dem Energiemanagement zum Durchbruch verhelfen

Damit unsere Elektrizitätsversorgung auch künftig zuverlässig funktioniert, muss Strom sinnvoll und effizient eingesetzt werden. Energiemanagementsysteme (EMS) können dabei helfen, werden heute aber noch zu spärlich eingesetzt. Eine Studie liefert dazu eine Bestandsaufnahme und Empfehlungen.

EMS sind eine neue Technik, die dafür sorgt, dass Energie effizient und sinnvoll eingesetzt wird. In der Praxis heisst das beispielsweise: Sie steuern die Warmwasseranlage so, dass die Wärmepumpe den Speicher dann lädt, wenn die Photovoltaik auf dem Dach gerade viel Strom liefert. Ähnliches gilt etwa für das Laden von Elektroautos oder den Betrieb von grossen Verbrauchern wie Waschmaschinen oder Tumbler. Davon profitieren einerseits die Bewohnenden, etwa weil der Strom vom eigenen Dach günstiger ist als der aus dem Netz. Es nützt aber auch der öffentlichen Stromversorgung, indem Spitzenbelastungen geglä-

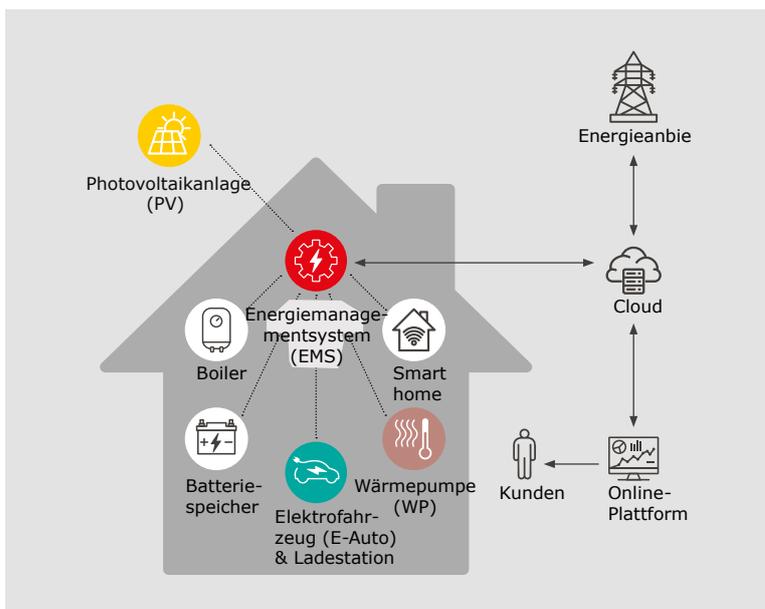
tet werden und das Netz dadurch stabilisiert wird. Das ist wichtig, weil der Anteil an wetter- und saisonabhängigem Solar- und Windstrom wächst und die Wärmeversorgung unserer Häuser zunehmend elektrifiziert wird.

Umfrage zeigt Verbreitung und Potenzial

Im Sinne einer sicheren und effizienten Energieversorgung sollten EMS also möglichst flächendeckend eingesetzt werden. Wie das zu erreichen wäre, ist unter anderem Thema des Forschungsprojekts InnoNet-Energy. Es wurde vom Bundesamt für Energie finan-

ziert und von der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne (EPFL) in Zusammenarbeit mit Energie Zukunft Schweiz und Protoscar umgesetzt. In dieser Studie wurde untersucht, wie verbreitet EMS in Wohngebäuden bereits sind sowie warum und von wem sie gekauft wurden – oder eben nicht. Hierzu wurden 4850 Haushalte befragt, die zwischen 2019 und 2022 entweder eine Photovoltaikanlage und/oder ein Elektrofahrzeug angeschafft haben.

Von den Befragten verfügen 16 % über ein EMS. Meistens wurde es zusammen mit der Photovoltaikan-



Ein Energiemanagementsystem sorgt dafür, dass Energie in einem Gebäude effizient und sinnvoll eingesetzt wird. Davon profitiert die Eigentümerschaft durch niedrigere Energiekosten. Der öffentlichen Stromversorgung nützt dies, weil es Leistungsspitzen im Netz abschwächt und so die Stabilität verbessert (Quelle: EPFL, bearbeitet).

lage und dem Elektroauto respektive der Wärmepumpe angeschafft. Typisch an EMS-Besitzerinnen ist, dass sie erneuerbare Energien fördern, ihren Energiebedarf sowie ihre Energiekosten optimieren und bezüglich Energie unabhängiger werden wollen.

Aufgrund der Studienergebnisse empfiehlt die Autorenschaft insbesondere Folgendes, um den Einsatz von EMS voranzubringen:

- Die Anbieter von EMS sollen deren Kosten und Nutzen transparent und

für Laien verständlich vermitteln.

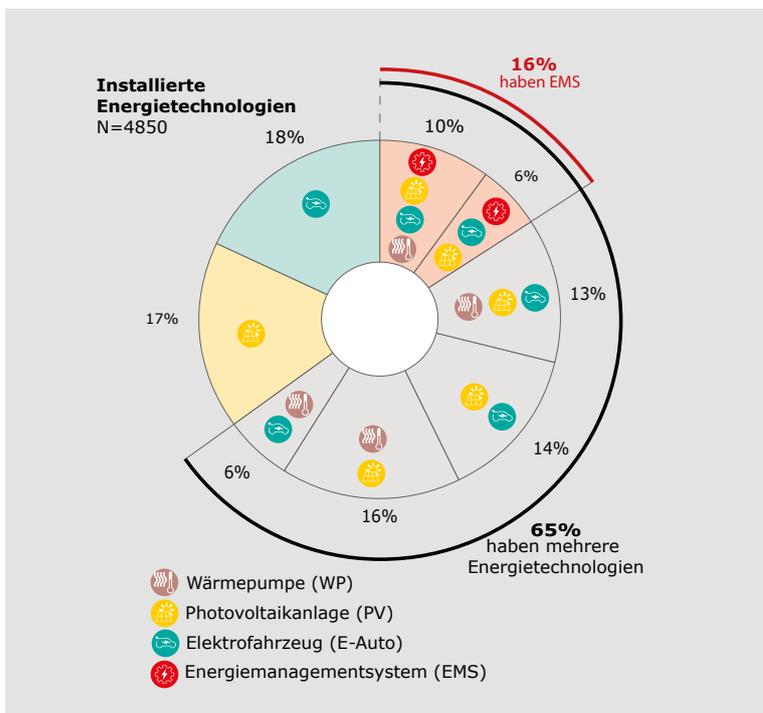
- Hilfreich wäre zudem, wenn die Anbieter ihre Systeme nach unabhängigen Labels zertifizieren liessen und so den Interessenten die Wahl erleichtern.
- Der Bund sollte die Harmonisierung der technischen Standards vorantreiben.
- Die Fachverbände können beitragen, indem sie Anbietern helfen, ihre Rolle als Technikvermittelnde und Systemintegratoren wahrzunehmen.

Aber auch lokale Energieversorger, Gemeinden und branchenunabhängige Organisationen können mit-helfen – etwa indem sie Informationsveranstaltung organisieren, an denen die Vorteile und die Machbarkeit von EMS vermittelt werden.

Wie fördern?

Da 65 % der Befragten eine Kombination aus Elektroauto, Photovoltaik respektive Wärmepumpe betreiben, wäre bei ihnen die Optimierung des Energieverbrauchs und damit der Einsatz eines EMS sinnvoll. Was war entscheidend dafür, dass nur 16 % eines angeschafft haben?

Als förderlich nannten die Befragten das eigene Fachwissen, den Zugang zu Informationen über solche Systeme sowie das Vertrauen und die geografische Nähe zu Anbietern. Hemmend waren vor allem Bedenken bezüglich Rentabilität sowie das Fehlen harmonisierter Technikstandards respektive Labels, an denen man sich hätte orientieren können. Als erschwerend wurde auch die unübersichtliche Situation bei Anbietern empfunden, die EMS in die Gebäudetechnik integrieren.



Wer ein Energiemanagementsystem besitzt, hat in der Regel auch eine Photovoltaikanlage, ein Elektrofahrzeug und eine Wärmepumpe (Quelle: EPFL, bearbeitet).





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 dem Europäischen Strategieplan für Energietechnologie (SET-Plan), den European Partnerships (vormals ERA-NET), den europäischen Technologieplattformen, den gemeinsamen Technologieinitiativen (JTI) u. a. In gewissen Themenbereichen («Smart Grids», Geothermie, Wasserstoff) existiert eine intensive multilaterale Zusammenarbeit mit ausgewählten Ländern.

Aquiferspeicher nutzen natürlich vorkommende, wasserführende Gesteinsschichten – sogenannte Aquifere – in Tiefen von einigen Hundert Metern als saisonale Wärmespeicher. Wissenschaftler der Universität Genf untersuchen im vom BFE geförderten Projekt P2ATES das Potenzial von Aquiferspeichern für das Genfer Fernwärmenetz. Die Idee ist, im Sommer mittels Wärmepumpen und Abwärme aus der Kehrrichtverbrennung sehr günstige Wärme jahreszeitlich einzulagern. In Bern erprobt der städtische Energieversorger Energie Wasser Bern bei der Energiezentrale Forsthaus einen Geospeicher, der die sommerlichen Wärmeüberschüsse aus der Kehrrichtverbrennungsanlage in wasserführenden Sandsteinschichten in 240 bis 500 m Tiefe in den Winter bringt. Links abgebildet ist das Bohrloch. Gemäss Planung hat der Speicher eine Kapazität von 12 bis 15 GWh (Bildquelle: Energie Wasser Bern).



Beteiligung in Technologie-Kooperationsprogrammen der IEA

	Energy Conservation through 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 (ieahs.org)		Advanced Fuel Cells (ieafuelcell.com)
	Clean and Efficient Combustion (ieacombustion.com)		Advanced Motor Fuels (iea-amf.org)
	Hybrid & Electric Vehicles Technologies (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)		

Teilnahme an European Partnerships

	Accelerating CCS Technologies (act-ccs.eu)		Bioenergy (eranetbioenergy.net)
	Concentrated Solar Power (csp-eranet.eu)		Geothermica (geothermica.eu)
	Materials (m-era.net)		Smart Energy Systems (eranet-smartenergysystems.eu)
	Solar (solar-era.net)		

Weitere internationale Zusammenarbeit

	Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking		DACH-Kooperation Smart grids
	International Partnership for Geothermal Technology		Clean Energy Transition Partnership (cetpartnership.eu)
	Driving Urban Transitions (dutpartnership.eu)		

Mit dem Klimawandel wird der Klimakältebedarf und die Bedeutung der städtischen Wärmeinseln markant ansteigen. Gebäudefassaden können einen wesentlichen Beitrag zur Entschärfung der Problematik leisten. Einerseits durch Integration von PV-Flächen zur Stromerzeugung für die Kühlung, andererseits durch Integration von Begrünung mit Kühleffekt im Aussenraum. Im Rahmen des vom BFE geförderten Projekts GreenPV wurden auf dem HSLU-Campus vier Fassadensysteme ausgemessen (von links nach rechts): boden-gebundene Begrünung, wandgebundene Begrünung, opake PV-Anlage, transparente PV-Anlage. Die Forschenden empfehlen eine Kombination der beiden Nutzungsarten: So kann es sinnvoll ein, den unteren Gebäudeteil, der nahe am Menschen und stärker verschattet ist, zu begrünen, den oberen Teil hingegen für die Erzeugung von Solarstrom zu nutzen. Berechnungen haben aufgezeigt, dass Photovoltaik-Fassaden mit Süd-, aber auch mit Ost- und Westausrichtung bezüglich Treibhausgas-Emissionen über den Lebenszyklus hinweg die beste Ökobilanz aufweisen (Bildquelle: Schlussbericht GreenPV).



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



Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern

www.energieforschung.ch