



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt,
Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Eidgenössische Energieforschungskommission CORE
Bundesamt für Energie BFE

KONZEPT DER ENERGIEFORSCHUNG DES BUNDES **2025–2028**

Das Energieforschungskonzept des Bundes in der Schweiz dient als Planungsinstrument, es zielt darauf ab die Energieversorgung des Landes zukunftsfähig zu gestalten, indem es für die Forschung sowohl technologische als auch sozialwissenschaftliche Aspekte sowie deren Interaktion berücksichtigt.

Das Verhalten der verschiedenen Akteure, ihre Reaktion auf politische Massnahmen sowie die Funktionsweise der Energiemärkte und des gesamten soziotechnischen Systems stehen im Fokus des **Schwerpunkts «Wirtschaft, Gesellschaft und Politikmassnahmen»**. Die Forschung soll fundiertes Wissen liefern, das eine Ausgestaltung von Märkten, Politiken und Institutionen ermöglicht, die Energieeffizienz und Umstellung auf erneuerbare Energien effizient unterstützt, breite Akzeptanz geniesst und dem individuellen Wohlbefinden dient.

Im **Schwerpunkt «Energiesysteme»** liegt der Fokus auf der Integration erneuerbarer Energien in das bestehende Energiesystem. Dabei sollen flexiblere und resilientere Energiesysteme entwickelt werden, die den steigenden Anteil neuer erneuerbarer Energien besser integrieren können. Dies beinhaltet die Entwicklung und Optimierung von Flexibilitätsmechanismen, Speichertechnologien und sektor-kopplungsrelevanten Systemen.

Im **Schwerpunkt «Wohnen und Arbeiten»** sollen innovative Lösungen für energieeffizientes und THG-emissionsminimiertes Wohnen, Sanieren und Bauen gefunden werden. Das Ziel ist es, dass der Gebäudepark klimaneutral und energieeffizient erweitert, modifiziert und betrieben werden kann. Dabei werden technologische Entwicklungen zur Energiespeicherung, -bereitstellung und -nachfragereduzierung analysiert, entwickelt und sowohl in Bezug auf die Energieeffizienz als auch auf die THG-Emissionen optimiert. Zudem werden sozialwissenschaftliche Aspekte untersucht, wie beispielsweise das Nutzerverhalten und die Akzeptanz von neuartigen Entwicklungen energieeffizienter Gebäude und Areale.

Im **Schwerpunkt «Mobilität»** liegt der Fokus auf der Förderung von nachhaltigen Mobilitätsformen. Im Zentrum stehen dabei Technologien und Konzepte für die Bereitstellung, Speicherung und effizienten Nutzung von Energie für die Mobilität sowie deren Integration ins Energiesystem. Dabei werden auch sozioökonomische Aspekte wie die Akzeptanz und Nutzung von bi-direktionalem Laden und nachhaltigen Mobilitätslösungen untersucht, damit die Mobilität möglichst energieeffizient und emissionsarm erfolgen kann.

Im **Schwerpunkt «Industrielle Prozesse»** geht es um die Energieeffizienz und den Einsatz erneuerbarer Energien in industriellen Prozessen. Hier werden Technologien und Konzepte zur effizienten Nutzung von Energie in der Industrie entwickelt und erprobt. Zudem wird erforscht, wie Prozesse ressourcenschonender gestaltet werden können und der Einsatz fossiler Energieträger reduziert werden kann.

Übergreifende Themen, die in mehreren Schwerpunkten berücksichtigt werden, sind Flexibilität und Resilienz des Gesamtsystems, Speicherung, Sektorkopplung, Wärme und Kälte sowie CO₂-Abscheidung und -Negativemissionstechnologien. Damit werden Forschungsthemen vertieft, die sich bereits in der vorangegangenen Periode abzeichneten und wichtig waren.

Das Energieforschungskonzept des Bundes adressiert somit eine breite Palette von Themen und versucht sowohl technologisches als auch sozialwissenschaftliches Wissen zu vereinen, um die Umsetzung der Energiestrategie 2050, die Erreichung der Klimaziele und weiterer Bundesvorgaben massgeblich zu unterstützen.

INHALTSVERZEICHNIS

Einleitung	4
Überblick Politikbereich Energie	7
Strategische Ausrichtung der Energieforschung	8
Gesetzliche Grundlagen	8
Rückblick auf Periode 2021–2024	9
Forschungsthemen 2025–2028	11
Wirtschaft, Gesellschaft und Politikmassnahmen	14
Energiesysteme	22
Wohnen und Arbeiten	30
Mobilität	36
Industrielle Prozesse	42
Grundsätze der Energieforschung	47
Umsetzung im BFE	49
Finanzierung	52
Aufwendungen der öffentlichen Hand	52
Mittel des BFE	53
Akteure und Schnittstellen	54
Nationale Akteure und Schnittstellen	54
Internationale Einbindung	56
Wissenschaftliche Begleitkommissionen und Qualitätssicherung	57
Begleitkommissionen	57
Qualitätssicherung	57
Impressum	59

EINLEITUNG

Die Bundesverwaltung initiiert und unterstützt selber wissenschaftliche Forschung, deren Resultate sie zur Erfüllung ihrer Aufgaben benötigt. Diese Forschung der Bundesverwaltung erfolgt im Kontext des Verwaltungshandelns im öffentlichen Interesse und wird im deutschsprachigen Raum gemeinhin als «Ressortforschung» bezeichnet. Dazu gehören z.B. das Erarbeiten von wissenschaftlichen Grundlagen für die Politikentwicklung und -ausgestaltung in den verschiedenen Politikbereichen, für Vollzugsarbeiten im Rahmen der gesetzlichen Vorgaben, für legislative Arbeiten oder für die Beantwortung und Umsetzung von parlamentarischen Vorstössen. Die Forschung der Bundesverwaltung kann praktisch alle Ausprägungen von wissenschaftlicher Forschung umfassen, namentlich Grundlagen- und anwendungsorientierte Forschung, aber auch Entwicklung – bspw. im Bereich des Einrichtens von Pilot- und Demonstrationsanlagen. Sie beinhaltet auch die Umsetzung von Forschungsbegleitmassnahmen sowie den Wissens- und Technologietransfer. Die Forschung der Bundesverwaltung richtet sich nach klaren gesetzlichen Grundlagen. Neben der Abstützung auf Art. 64 der Bundesverfassung ([SR 101](#)) ist das Forschungs- und Innovationsförderungsgesetz FIFG ([SR 420.1](#)) das Rahmengesetz für die Forschung der Bundesverwaltung.

Neben dieser Verankerung im FIFG ist die Forschung der Bundesverwaltung auf spezialgesetzliche Bestimmungen und die zugehörigen Verordnungen abgestützt. In diesen werden spezifisch Verpflichtungen für die Durchführung von Intramuros-Forschung sowie für die Beitragsgewährung (Subvention) an Forschungseinrichtungen, -programme oder -projekte durch den Bund vorgegeben. Zudem enthalten oder implizieren auch internationale Verträge, Konventionen oder Mitgliedschaften Verpflichtungen zur Forschung durch die Bundesverwaltung, so dass diese auch eine wichtige Rolle auf der internationalen Ebene einnimmt.

Das vorliegende Energieforschungskonzept des Bundes¹ dient den Entscheidungsinstanzen des Bundes in der Energieforschung als Planungsinstrument sowie als Orientierungshilfe für alle weiteren Organe der Energieforschung (wie kantonale und kommunale). Forschung ist vorausschauend, jedoch auch durch aktuelle politische Entscheidungen geprägt.

Mit dem «Mantelerlass», der die Revision des Energie- (EnG) und des Stromversorgungsgesetzes (StromVG) umfasst, werden aktuell wichtige Weichen für die Schweizer Energieversorgung der Zukunft gesetzt. Das Parlament hat folgende Hauptziele verabschiedet:

- Stärkung der Stromversorgungssicherheit mit besonderem Augenmerk auf die Wintersituation.
- Ausrichtung des Energiesystems (und insbesondere des Stromsystems) auf das Netto-Null-Klimaziel des Bundesrates für 2050. Das heisst: Die richtigen Rahmenbedingungen schaffen, damit Dekarbonisierung und Elektrifizierung stattfinden können.
- Die Innovation im Stromsystem vorantreiben und gleichzeitig die Effizienz des Systems verbessern.
- Sicherstellen, dass die Kunden aktive Teilnehmer am Stromsystem sind.²

Neu wird dadurch das Energiegesetz Zielwerte für 2035 (und 2050) für die Stromgewinnung erhalten: Erneuerbare Energien (ohne Wasserkraft) 35 TWh (45 TWh) und Wasserkraft 37.9 TWh (39.2 TWh). Hierfür sollen Bewilligungsverfahren verschlankt und Förderungen ermöglicht werden. Weitere Elemente des Mantelerlasses sind unter anderem Verbrauchsziele, «Winterreserve», lokale Elektrizitätsgemeinschaften und ähnliche.

Mit der Annahme des Gegenvorschlags der Gletscher-Initiative «Bundesgesetz über die Ziele im Klimaschutz, die Innovation und die Stärkung der Energiesicherheit (KIG)» im Juni 2023 hat das Schweizer Stimmvolk die Abkehr von den fossilen Energien bestätigt. Das KIG bezweckt die Minderung der Treibhausgasemissionen, die Anpassung an und den Schutz vor den Folgen der Klimaerwärmung und die Ausrichtung der Finanzmittelflüsse auf eine emissionsarme und gegenüber dem Klimawandel widerstandsfähige Entwicklung. Das KIG ist ein Rahmengesetz,

d.h. es gibt in erster Linie Ziele und Zwischenziele vor. Wie die Ziele erreicht werden, ist im Rahmen weiterer Gesetze festzulegen. Zudem legt der Gegenvorschlag u.a. folgende Massnahmen fest: Netto-Null-Fahrpläne für Unternehmen und Innovationsförderung sowie ein Impulsprogramm für Heizungsersatz und Energieeffizienz. Über eine Fremderlassänderung wird Art. 53 des EnG und damit die Richtlinien des Pilot- und Demonstrations-Programms angepasst: Neu könnten Demonstrationsprojekte mit 50%, Pilotprojekte in zu definierenden Ausnahmen sogar mit 70% der anrechenbaren Kosten unterstützt werden. Weitere Instrumente werden unter Federführung des BAFU in Zusammenarbeit mit dem BFE ausgestaltet.

Auf Basis des Sonderberichts des IPCC zur Erwärmung um 1.5°C hat der Bundesrat am 28. August 2019 beschlossen, dass die Schweiz bis 2050 ihre Treibhausgasemissionen auf Netto-Null reduzieren wird³. Dies konkretisiert und verschärft den Beschluss, dass die Schweiz dazu beiträgt, die globale Erwärmung auf deutlich unter 2°C gegenüber der vorindustriellen Zeit zu begrenzen und eine Erwärmung auf maximal 1.5°C anzustreben, wozu sie sich aufgrund der Ratifikation des Übereinkommens von Paris im Oktober 2017 verpflichtet hatte⁴. Das Netto-Null Ziel bis 2050 legt den Grundstein für die langfristige Klimastrategie 2050, welche der Bundesrat am 27. Januar 2021 verabschiedet hat⁵. Inhalt dieser ist es, dass die Schweiz ihre Treibhausgasemissionen bis 2030 um 50% (gegenüber 1990) reduziert und bis 2050 netto-null erreicht. Diese Zielvorgaben bilden die Grundlagen für die Energieperspektiven 2050+ (EP2050+), welche Szenarien für die Zielerreichung aufzeichnen und auch die Rolle von CO₂-Vermeidung und Methoden zur CO₂-Entfernung aus der Atmosphäre beleuchten⁶.

Die Erfahrung der Winter 2022/23 mit der Winter-Energiespar-Initiative und den möglichen Massnahmen für den Fall einer Strom-

mangellage (siehe auch OSTRAL⁷) – von Verwendungsbeschränkungen, Verboten, Kontingentierungen bis Netzabschaltungen – zeigt die Wichtigkeit einer resilienten, in allen Dimensionen nachhaltigen, Energieversorgung auf. Eine Flexibilisierung der Energiebereitstellung und des Energieverbrauchs, Energiespeicherung sowie weitere Effizienzsteigerungen sind daher angezeigt.

Das vorliegende Energieforschungskonzept im Politikbereich Energie gilt für die Periode 2025–2028. Die Forschungsschwerpunkte wurden von der Eidgenössische Energieforschungskommission CORE festgelegt und in Zusammenarbeit mit weiteren beigezogenen Fachkräften und Forschenden ausgearbeitet. Die CORE sieht als wichtigstes Ziel die interdisziplinäre Entwicklung neuer, umsetzbarer und akzeptierter Energiestrategien und -technologien. Die zunehmende Bedeutung von Querschnittstechnologien verlangt eine deutlich verstärkte Zusammenarbeit sowohl unter den technischen Forschungsgebieten als auch zwischen den technischen und den Sozial- und Geisteswissenschaften (SGW).

1 – Die Bundesverwaltung initiiert und unterstützt selber wissenschaftliche Forschung, deren Resultate sie zur Erfüllung ihrer Aufgaben benötigt. Diese Forschung der Bundesverwaltung erfolgt im Kontext des Verwaltungshandelns im öffentlichen Interesse und wird im deutschsprachigen Raum gemeinhin als «Ressortforschung» bezeichnet. Dazu gehören z.B. das Erarbeiten von wissenschaftlichen Grundlagen für die Politikentwicklung und -ausgestaltung in den verschiedenen Politikbereichen, für Vollzugsarbeiten im Rahmen der gesetzlichen Vorgaben, für legislative Arbeiten oder für die Beantwortung und Umsetzung von parlamentarischen Vorstössen. Die Forschung der Bundesverwaltung kann praktisch alle Ausprägungen von wissenschaftlicher Forschung umfassen, namentlich Grundlagen- und anwendungsorientierte Forschung, aber auch Entwicklung – bspw. im Bereich des Einrichtens von Pilot- und Demonstrationsanlagen. Sie beinhaltet auch die Umsetzung von Forschungsbegleitmassnahmen sowie den Wissens- und Technologietransfer. Die Forschung der Bundesverwaltung richtet sich nach klaren gesetzlichen Grundlagen. Neben der Abstützung auf Art. 64 der Bundesverfassung ([SR 101](#)) ist das Forschungs- und Innovationsförderungsgesetz FIFG ([SR 420.1](#)) das Rahmengesetz für die Forschung der Bundesverwaltung.

2 – Das Parlament hat die Vorlage im September 2023 verabschiedet. Dagegen wurde das Referendum ergriffen, die Stimmbürgerinnen und Stimmbürger entscheiden am 9. Juni 2024 über die Vorlage.

3 – Bundesrat will bis 2050 eine klimaneutrale Schweiz (admin.ch), Bern 28.8.2019

4 – SR 0.814.012 - Übereinkommen von Paris vom 12. Dezember

5 – Langfristige Klimastrategie der Schweiz, 27. Januar 2021

6 – EP2050+ Exkurs Negativemissionstechnologien und CCS. Potenziale, Kosten und Einsatz

7 – OSTRAL ist die Organisation für Stromversorgung in Ausserordentlichen Lagen. Sie untersteht der wirtschaftlichen Landesversorgung des Bundes und wird auf deren Anweisung aktiv, wenn eine Strommangellage eintritt; www.ostral.ch

ÜBERBLICK POLITIK- BEREICH ENERGIE

Die Energiepolitik der Schweiz steht vor grossen Herausforderungen. Um die in der Energiestrategie 2050 des Bundesrats festgelegten Ziele zu erreichen, muss der Zubau «neuer» erneuerbarer Energie stark forciert und die Energieeffizienz in Gebäuden, in der Industrie, im Verkehr und bei Elektrogeräten wesentlich erhöht werden. Einen guten Überblick über die aktuellen Forschungsergebnisse gibt die jährlich erscheinende Broschüre «Energieforschung und Innovation» des BFE⁸.

Neben der Energiestrategie 2050 sind für die Energieforschung die Klimaziele der Schweiz und alle weiteren Ziele im Bereich Klima, Umwelt und Nachhaltigkeit massgeblich.

Das BFE

Im Energiebereich ist das BFE die zentrale Förderstelle. Für die Umsetzung des vorliegenden Forschungskonzepts verfügt das BFE mit seinen Forschungsprogrammen, seinem Programm für Pilot- und Demonstrationsprojekte und das Förderprogramm SWEET (SWiss Energy research for the Energy Transition) über eigene Fördermittel (Ressortforschung⁹). Die Aufgabe der Energieforschung des BFE geht über die eigentliche Ressortforschung hinaus: die Forschungsprogramme des BFE haben die Koordination der Energieforschung mit Beteiligungen der öffentlichen Hand in der Schweiz zum Ziel und unterstützen subsidiär Forschungsvorhaben und Pilot- und Demonstrationsprojekte, die den Zielsetzungen der Energiestrategie 2050 aber auch der Klimaziele (v.a. SWEET) dienen.

Das BFE erstellt jährlich die Energieforschungsstatistik des Bundes¹⁰, die Auskunft über die Aufwendungen der mit öffentlichen Mitteln finanzierten Energieforschung sowie eine detaillierte Zusammenstellung der Geldflüsse gibt. Gemäss der letzten durchgeführten Erhebung 2022 war das BFE mit einem Anteil von 12% nach dem ETH-Bereich und EU die drittgrösste Förderinstitution und

damit eine der wichtigsten öffentlichen Förderstellen¹¹. Mit Abschluss des NFP Energie, des Kapazitätsaufbaus an den SCCER (Swiss Competence Centers for Energy Research) und dem neuen Förderprogramm SWEET dürfte die Bedeutung des BFE als öffentliche Förderinstitution im Energiebereich ansteigen.

Energieforschung ist langfristig angelegt

Es braucht neue Denkweisen, neue Ansätze, neue Technologien. Gerade das Verlassen altbewährter Pfade verlangt eine Förderstrategie, die nicht in erster Linie den in die Forschung investierten Franken mit der damit unmittelbar eingesparten Kilowattstunde gleichsetzt. Forschung braucht einen Freiraum, der es erlaubt, grundsätzlich neue Ideen aufzugreifen und auszuprobieren.

8 – www.energieforschung.ch

9 – Die Forschung der Bundesverwaltung wird als Ressortforschung bezeichnet. Es handelt sich dabei um Forschung, deren Ergebnisse von der Bundesverwaltung bzw. der Bundespolitik für die Erfüllung ihrer Aufgaben benötigt werden, oder die sie initiiert, weil sie im öffentlichen Interesse liegt. Die Ressortforschung ist im FIFG beschrieben. www.ressortforschung.admin.ch

10 – <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/energiestatistiken.html>

11 – Neben den öffentlichen Förderstellen stellen die Hochschulen – allen voran der ETH-Bereich – die meisten Fördermittel.

STRATEGISCHE AUSRICHTUNG DER ENERGIEFORSCHUNG

«Energie wird effizient und emissionsneutral umgewandelt, bereitgestellt, gespeichert und verwendet. Die Schweizer Energieforschung leistet dazu einen entscheidenden Beitrag; sie strebt eine sichere, ökonomisch und ökologisch tragbare Energieversorgung an und unterstützt damit eine effiziente Energiepolitik». Die Energieforschung dient damit der Erreichung der Ziele die im Energiegesetz, im Stromversorgungsgesetz und weiteren für die Energieversorgung relevanten Gesetzen und Verordnungen festgelegt werden.

Die Erreichung der Klimaziele der Schweiz ist neben den Energiezielen enorm dringlich. Gemäss den Szenarien des IPCC, des BFE sowie des BAFU ist neben drastischen Reduktionen des CO₂-Ausstosses auch die dauerhafte Entfernung von CO₂ aus der Atmosphäre nötig¹². Die Begriffe «Carbon Capture, Utilization and/or Storage» (CCS, CCU oder CCUS, in diesem Konzept unter CCUS zusammengefasst) und «Negative Emissionstechnologien» (NET) bezeichnen eine Reihe von Ansätzen und Technologien, mit denen CO₂-Emissionen vermieden, gespeichert und sogar aus der Atmosphäre entzogen werden können¹³. Im Bereich CCUS und NET fokussiert die Energieforschung in erster Linie auf energiebezogene Fragestellungen. Diese umfassen sowohl den direkten Einsatz von CCUS und NET im Energiesektor an sich als auch die Auswirkungen des breiteren Einsatzes von CCUS und NET auf Energieverbrauch und THG Emissionen der Schweiz insgesamt. Für CCUS und NET liegt ein Forschungskonzept des BFE auf www.energieforschung.ch vor; weitere Informationen finden sich auf der Seite des [BAFU](http://www.bafu.ch).

Für den Umbau des Energiesystems werden auch die Flexibilisierung des Energiesystems, die saisonale Speicherung und nachhaltige Brenn- und Treibstoffe eine wichtige Rolle spielen müssen. Die effiziente und nachhaltige Bereitstellung von erneuerbaren Energien und die dafür nötige Infrastruktur (u.a. Netze)

wie auch die Energieeffizienz müssen nun rasch umgesetzt und die noch offenen Forschungsfragen gezielt geklärt werden.

GESETZLICHE GRUNDLAGEN

Das Engagement des Bundes in Forschung und Forschungsförderung wird durch Art. 64 der Bundesverfassung (SR 101) legitimiert, indem der Bund die wissenschaftliche Forschung und die Innovation fördert.

Die Forschungsförderung durch das BFE stützt sich auf das Energiegesetz (EnG, SR 730.0) ab. Gemäss Art. 49 des EnG fördert der Bund die Grundlagenforschung, die anwendungsorientierte Forschung und die forschungsnahe Entwicklung neuer Energietechnologien, insbesondere im Bereich der sparsamen und effizienten Energienutzung, der Energieübertragung und -speicherung sowie der Nutzung erneuerbarer Energie. Ferner kann der Bund Pilot- und Demonstrationsprojekte sowie Feldstudien und Analysen, die der Erprobung und Beurteilung von Energietechniken, der Evaluation energiepolitischer Massnahmen oder der Erfassung der erforderlichen Daten dienen, unterstützen.

Nach Art. 29 Abs. 2 Bst. d der Stauanlagenverordnung (StAV, 721.101.1) hat das BFE zudem den Auftrag, die Forschung im Bereich der Stauanlagen zu fördern.

Für die Förderung kommen das Subventionsgesetz (SuG, SR 616.1) und das Forschungs- und Innovationsförderungsgesetz (FIG, SR 420.1) zur Anwendung.

Für die Unterstützung von Forschungsprojekten im Rahmen der European Research Area Networks (ERA-Net) der EU stützt sich das BFE zudem auf die Motion Riklin (10.3142), die den Bundesrat beauftragt, den Schweizer Forschungsinstitutionen und der schweizerischen Industrie ein gleichberechtigtes Mitwirken an dem von der EU-Kommission lancierten Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan) zu ermöglichen.

Gemäss Art. 86 Kernenergiegesetzes (KEG, 732.1) kann der Bund die anwendungsorientierte Forschung über die friedliche Nutzung der Kernenergie, insbesondere über die Sicherheit der Kernanlagen und die nukleare Entsorgung fördern. Art. 77 der Kernenergieverordnung (KEV, 732.11) präzisiert, dass die

Aufsichtsbehörden BFE und ENSI im Rahmen der bewilligten Kredite Projekte der anwendungsorientierten Forschung in den Bereichen der Sicherheit und der Sicherung von Kernanlagen sowie der nuklearen Entsorgung in Form von Finanzhilfen unterstützen.

Zusammenstellung der grundlegenden gesetzlichen Grundlagen

- Energiesgesetz EnG (SR 730.0), Art. 49;
- Subventionsgesetz SuG (SR 616.1);
- Forschungs- und Innovationsförderungsgesetz FIFG (SR 420.1);
- Stauanlagenverordnung (StAV, 721.101.1), Art. 29;
- Kernenergiegesetz KEG (SR 732.1), Art. 86.

RÜCKBLICK AUF PERIODE 2021–2024

Energiemangellage

In den Winter 2022/23 und 2023/24 war eine Energiemangellage nicht auszuschliessen. Aufgrund verschiedener Massnahmen in Europa, warmer Witterung, Sparaufrufen («Winter-Energiespar-Initiative») und hohen Gas- und Strompreisen ist die Mangellage verhindert worden. Vorsorglich hat der Bund Reservekapazitäten für den Notfall vorbereitet: Es wurden drei Reservekraftwerke unter Vertrag genommen, eine Wasserkraftreserve angelegt und gepoolte Notstromgruppen organisiert. Zudem wurde die Möglichkeit geschaffen, die Übertragungskapazitäten auf bestimmten Stromleitungen bei Bedarf zu erhöhen. Weiter wurden durch die Branche Gasreserven und Gasspeicherkapazitäten im Ausland beschafft.

SWEET

Das BFE hat das neue Forschungsförderprogramm SWEET (SWiss Energy research for Energy Transition) aufgebaut, es ist auf 12 Jahr ausgelegt. Ziel von SWEET ist die Förderung von Innovationen, die wesentlich zur erfolgreichen Umsetzung der Energiestrategie 2050 und der Erreichung der Schweizer Klimaziele beitragen. Dazu werden Leitthemen ausgeschrieben, die in Konsortien bearbeitet werden.

Zwischen 2021 und 2024 wurde zu den folgenden sechs Leitthemen ausgeschrieben:

- Integration erneuerbare Energien
- Living & Working
- Kritische Infrastrukturen
- Ko-Evolution
- Sustainable fuels
- Netto-Null

Weiterführende Informationen zum Inhalt, zu den Konsortien und ersten Ergebnissen finden sich auf der SWEET-Seite des BFE¹⁴.

12 – <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/fachinformationen/co2-entnahme-und-speicherung.html>

13 – Dabei ist die Klimawirksamkeit dieser Ansätze abhängig von der CO₂-Quelle. Wird fossiles CO₂ abgeschieden, ist CCUS als Vermeidungstechnologie zu verstehen. Wird biogenes CO₂ abgeschieden ist es den NET zuzurechnen, da ein Netto-Entzug aus der Atmosphäre erreicht wird.

14– www.sweet.admin.ch

Flagship-Initiative

Ziel der Flagship Initiative der Innosuisse ist die Stimulation von Innovationen in Bereichen, die für einen grossen Teil der Wirtschaft oder Gesellschaft relevant sind, und die Förderung von transdisziplinären Projekten. Die Initiative strebt nach Lösungen für aktuelle oder zukünftige Herausforderungen, die mehrere Akteure betreffen und/oder nur durch deren Zusammenarbeit gemeistert werden können. Ausschreibungen mit Energierelevanz waren:

- Neue Materialien und Verfahren
- Speicherung, Erzeugung und Echtzeitmanagement von Energie
- Energieeffizienz und Verringerung von Emissionen

Weiterführende Informationen zu weiteren Ausschreibungen, zum Inhalt, zu den Konsortien und ersten Ergebnissen finden sich auf der Flagship-Seite der Innosuisse¹⁵.

Nationale Forschungsprogramme (NFP)

Der Schweizerische Nationalfonds (SNF) hat in der Prüfrunde 2022 zwei NFP lanciert, die einen potentiellen Bezug zur Energieforschung haben. Eine thematische Koordination zwischen den NFP und anderen europäischen Forschungsinitiativen (CETP, DUT, s.u.) wurde initiiert.

- NFP 81: Baukultur¹⁶
- NFP 82: Biodiversität und Ökosystemdienstleistungen¹⁷

Nationale Forschungsschwerpunkte (NFS)

Der SNF unterstützt in der fünften Serie (2020 bis 2032) zwei NFS die für die Energieforschung relevante Anteile haben. Weitere Informationen sind auf der Homepage des SNF respektive auf den Seiten der NFS zu finden.

- NFS Catalysis¹⁸ – Nachhaltige chemische Verfahren durch Katalysatordesign
- NFS Automation¹⁹ – Verlässliche und allgegenwärtige Automatisierung

Ausschreibungen²⁰

CETP: Die Clean Energy Transition Partnership (CETP) ist eine länderübergreifende Initiative von Förderprogrammen in den Bereichen Forschung, technologische Entwicklung und Innovation. Sie unterstützt und beschleunigt die Transformation hin zu einer nachhaltigen

Energieversorgung in Europa und darüber hinaus. Die CETP trägt zur Erreichung des Ziels der EU bei, bis 2050 der erste klimaneutrale Kontinent zu werden, indem sie nationale und regionale Fördermittel für eine breite Palette von Technologien und Systemlösungen bündelt. Das BFE hat zusammen mit dem SNF an verschiedenen Ausschreibungen zu verschiedenen Transitionen teilgenommen. Weitere und aktuelle Informationen finden sich auf den CETP-Webseiten²¹

DUT: Driving Urban Transitions (DUT)²² ist als europäische Partnerschaft von mehr als 60 Partnern aus 27 Ländern organisiert, an der nationale und regionale Behörden und Entscheidungsträger und Förderorganisationen beteiligt sind, um in urbane R&I zu investieren und ein europäisches Innovationssystem für urbanen Wandel zu schaffen und stärken. Um Städte entlang ihrer spezifischen Strategien zu unterstützen, konzentriert sich die Partnerschaft auf drei kritische städtische Sektoren und ihre Wechselbeziehungen und hat dazu verschiedene Ausschreibungen lanciert.

ETH-Bereich (2022): Call zur Joint Activity Energy, Climate & Environment des ETH-Bereiches²³. Diese Ausschreibung dient der raschen Lösungserarbeitung im Spannungsbereich zwischen Klima, Energie und Umwelt durch den ETH-Bereich im Dialog mit der Gesellschaft.

BFE: Im 2023 ist die erste «Sandbox» (siehe S. 50) zum Thema «Entlastung des Stromnetzes durch sinnvolle Energienutzung» ausgeschrieben worden. Weitere Ausschreibungen erfolgten z.B. in den Energieforschungsprogrammen des BFE «Energie, Wirtschaft, Gesellschaft», «Netze» -«Mobilität»; alle Ausschreibungen des BFE werden auf der Seite «Ausschreibungen»²⁴ veröffentlicht.

15 – <https://www.innosuisse.ch/innodel/home.html>

16 – www.nfp81.ch

17 – www.nfp82.ch

18 – www.nccr-catalysis.ch

19 – <https://nccr-automation.ch/>

20 – siehe auch SWEET und Flagship Initiative; kein Anspruch auf Vollständigkeit

21 – <https://cetpartnership.eu/>, www.bfe.admin.ch/cetp

22 – <https://dutpartnership.eu/>, <https://www.bfe.admin.ch/dut>,

23 – <https://ethrat.ch/en/eth-domain/joint-initiatives/>, <https://www.psi.ch/en/strategic-areas-eth-domain/call-jointinitatives-jan2022>

24 – <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/news-und-medien/ausschreibungen.html>

FORSCHUNGSTHEMEN 2025–2028

Die folgenden Forschungsschwerpunkte zielen auf die Vision der CORE: «Energie wird effizient und emissionsneutral umgewandelt, bereitgestellt, gespeichert und verwendet. Die Schweizer Energieforschung leistet dazu einen entscheidenden Beitrag; sie strebt eine sichere, ökonomisch und ökologisch tragbare Energieversorgung an und unterstützt damit eine effiziente Energiepolitik».

Energiesystem Übersicht

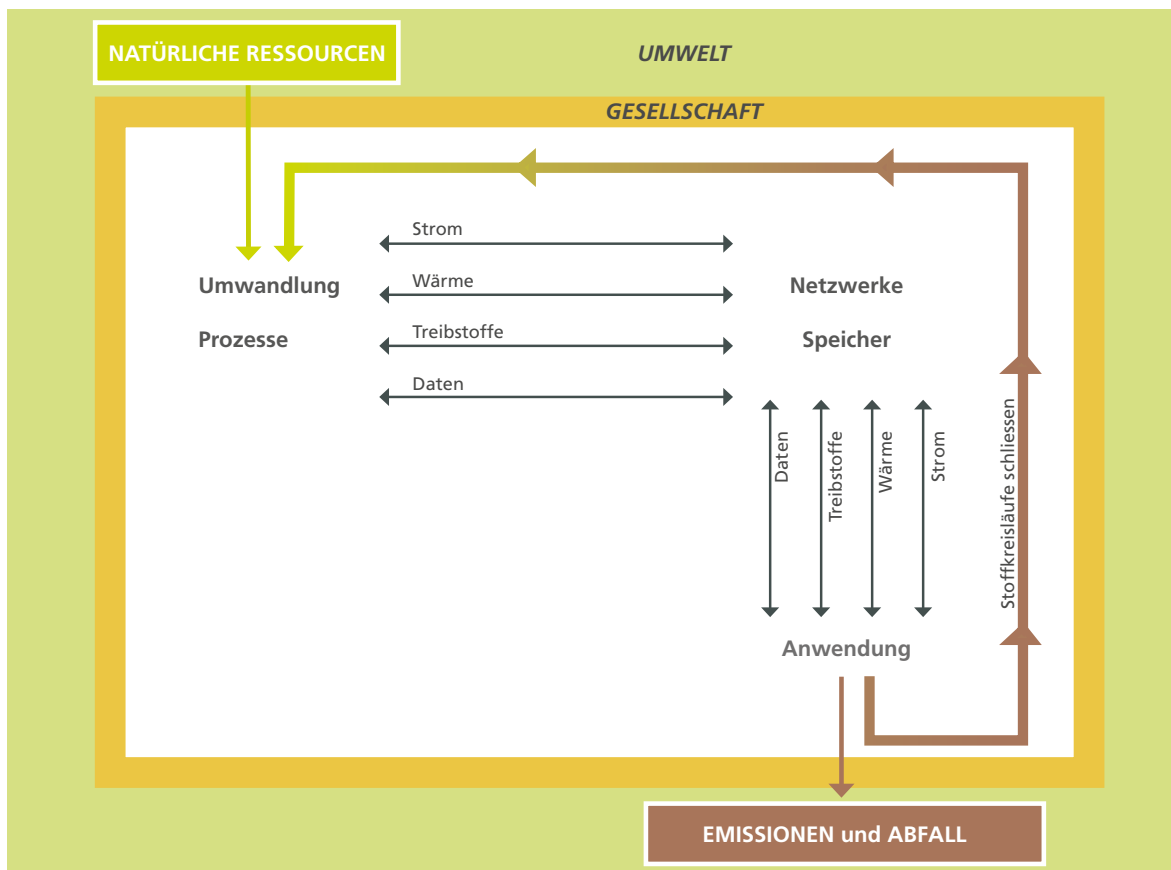


Abbildung 1: Vereinfachtes Energiesystem (CORE basierend auf ETH-Bereich). © BFE

Die Abbildung zeigt das Energiesystem stark vereinfacht und schematisch auf. Aus der Umwelt werden durch «Umwandlung und Prozesse» der natürlichen Ressourcen Energieträger (Strom, Wärme, Treib- und Brennstoffe) und Produkte bereit- und hergestellt. Sie werden verteilt, gespeichert und durch Anwendungen umgewandelt respektive verbraucht. Zwischen allen Akteuren, Bedingungen und Prozessen bestehen mannigfaltige Abhängigkeiten und Wechselwir-

kungen. Ziel der Energieforschung ist es, diese Komplexität zu verstehen und aus dieser Kenntnis heraus bestmögliche Weiterentwicklungsoptionen des Gesamtsystems und seiner Teile finden und einen Beitrag zur Schliessung der Stoffkreisläufe zu leisten. Die Forschenden sollen auch bei der Erarbeitung von spezifischen Fragestellungen eine ganzheitliche Betrachtung anstreben und ihren Lösungsansatz am Beitrag zu diesen Zielen zu messen.

Flexibilität

Flexibilität in der Energieproduktion, -verteilung und -verbrauch ist ein wichtiger Faktor für ein nachhaltiges und effizientes Energiesystem. Einige der wichtigsten flexiblen Verbraucher sind Elektromobilität und Wärmepumpen, die ihre Energieaufnahme zeitlich verschieben oder vorübergehend reduzieren können, um das Netz auszugleichen. Durch die intelligente Steuerung dieser Verbraucher kann Energie effizienter genutzt werden und die Kosten im System gesenkt werden. Ein Beispiel sind Fahrzeuge mit [Vehicle-to-Grid \(V2G\)-Technologie](#), welche überschüssige Energie aus dem Stromnetz aufnehmen oder zurückgeben können, und so zum Ausgleich des Systems beitragen. [Industrielle Prozesse](#) können zum Teil ebenfalls flexibilisiert werden, vor allem in Verbundstandorten. Auf der anderen Seite sind auch flexible Erzeuger von grosser Bedeutung. Wasserkraftwerke und Power-to-X-Anlagen, die temporär überschüssige Energie in Form von Wasserstoff oder synthetischen Brennstoffen speichern können, sind wichtige (zukünftige) Akteure im Energiesystem. Durch die Integration dieser flexiblen Erzeuger kann die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen reduziert und die Erreichung der Ziele der Energiestrategie 2050 vorangetrieben werden. Der regulatorische Rahmen soll eine optimale Nutzung der Flexibilität im Energiesystem erlauben.

Sektorkopplung

Unter dem Begriff «Sektorkopplung» wird die intelligente Verbindung und Interaktion von verschiedenen Energieversorgungssystemen verstanden. Es geht darum, mit einer ganzheitlichen Betrachtung Lösungsansätze zu entwickeln, um das Gesamtenergiesystem effizienter zu gestalten und insbesondere die Integration eines grösseren Anteils bis hin zu 100% an erneuerbarer Energie zu ermöglichen. Beispiele hierfür sind die Nutzung von erneuerbarem Strom in der Elektromobilität oder in der Kombination mit Wärmepumpen im Wärmesektor, oder die Produktion synthetischer Gase und Treibstoffe («Power-to-Gas», «Power-to-Liquid») für die Nutzung im Transport-, Wärme- oder Industriesektor. Die Kopplung bringt zusätzliche Flexibilität ins Gesamtsystem. Weiter trägt dieser Ansatz mit zur Versorgungssicherheit bei. Verschie-

dene Aspekte der «Sektorkopplung» finden sich in allen Schwerpunkten.

Energiespeicherung

Energiespeicherung dient der Flexibilisierung des Energiesystems ([siehe S. 11](#)). Die Speicherung von Energie ist mit verschiedenen Technologien – von chemischen, mechanischen oder elektrischen bis hin zu thermischen Speichern – möglich. Je nach Umfeld eignen sich dazu beispielsweise Akkumulatoren, Ultrakondensatoren, Kohlenwasserstoffe, Wasserstoff, Staudämme, Biomasse, Schwungräder, Federn, Druckluft, der Untergrund, Adsorbentien oder supraleitende Spulen. Die Erforschung der Speichertechnologien inkl. deren Betrieb im Hinblick auf die Flexibilisierung des Gesamtsystems wird überwiegend unter [«Energiesysteme»](#) behandelt. Spezifische Fragestellungen zur Einbindung von Speichern in den einzelnen Verbrauchssektoren werden in den Kapiteln [«Mobilität»](#), [«Wohnen und Arbeiten»](#) und [«Industrielle Prozesse»](#) thematisiert. Regulatorische Massnahmen, Politikmassnahmen zur optimalen Integration in das Energiesystem, Hemmnisse aus Investorenperspektive und ähnliche Forschungsfragen finden sich im Schwerpunkt [«Wirtschaft-Gesellschaft-Politikmassnahmen»](#).

Wärme/Kälte

Die Bereitstellung von Wärme (Heizung und Warmwasseraufbereitung in Gebäuden und Prozesswärme in der Industrie) macht heute rund 50% des Energieverbrauchs der Schweiz aus und verursacht mehr als 35% der THG-Emissionen²⁵. Um das Netto-Null Emissionsziel zu erreichen, muss der Wärmebedarf bis 2050 vollständig mit erneuerbaren Energien und THG-emissionsfrei gedeckt werden. Darüber hinaus muss die künftige Planung und Baupraxis konsequent auf THG-emissionsarme Bauweisen ausgerichtet werden. Die Produktion und Verteilung von Wärme ist Teil der Angebotsseite des Energiesystems und wird durch verschiedene Technologien und Brennstoffe ermöglicht (siehe Schwerpunkt [«Energiesysteme»](#)). Hierbei wird zwischen Hochtemperatur- und Niedertemperatur-Wärme unterschieden, die jeweils für verschiedene Anwendungen genutzt werden.

Die Nutzung von Wärme und Kälte findet vor allem in den Schwerpunkten Wohnen und Arbeiten sowie industrielle Prozesse statt. In Wohngebäuden wird Wärme vor allem für Raumheizung und Warmwasserbereitung genutzt, während in industriellen Prozessen Wärme darüber hinaus als Prozesswärme und Dampf eingesetzt wird. Eine effiziente Nutzung von Wärme kann dazu beitragen, den Energiebedarf zu senken und die Kosten im System zu reduzieren. Hierbei geht es auch darum, die räumliche und zeitliche Bereitstellung von Wärme zu optimieren und ein flexibles System zu schaffen, das auf Veränderungen im Energiebedarf reagieren kann.

Um eine effizientere Nutzung von Wärme zu gewährleisten, und diese in Einklang mit den Klimazielen der Schweiz bereitzustellen, sind regulatorische Rahmenbedingungen und politische Massnahmen erforderlich (siehe Schwerpunkt «Wirtschaft, Gesellschaft und Politikmassnahmen»).

CCUS und Negativemissions-technologien (NET²⁶)

Abhängig von der eingesetzten Technologie und dem Einsatzgebiet gehören CCUS und NET zu unterschiedlichen Schwerpunkten:

- Wirtschaft, Gesellschaft und Politik-massnahmen: Rechtliche Fragen und regulatorische Massnahmen, Funktionieren der Märkte, Präferenzen der Akteure etc.;
- Energiesysteme: Verteilung und Speicherung von CO₂ und seinen Nachfolgeprodukten, Bereitstellung Energie für Abscheidung, Transport und Speicherung, etc.;
- Wohnen und Arbeiten: Einbau von CCU Produkten wie Pflanzkohle in Baumaterial, beschleunigte Verwitterung von Zement, etc.;
- Mobilität: Einsatz synthetischer Treibstoffe;
- Industrielle Prozesse: Verbesserte Verfahren für CO₂ Abscheidung und Nutzung, inkl. DACCS, Abscheidung an Punktquellen wie Zementwerken, inkl. effizientere Umwandlung von CO₂; etc.;

CO₂ und Produkte daraus können darüber hinaus die Sektoren als chemische Energieträger koppeln.

Exkurs: CO₂ und THG

Neben den CO₂-Emissionen aus der Nutzung fossiler Energieträger und den direkten CO₂-Emissionen aus industriellen Prozessen (siehe Schwerpunkt) und der Abfallverbrennung gibt es weitere klimaschädliche Gase, die im Treibhausgasinventar²⁷ für die Schweiz ausgewiesen werden. Dies sind die Treibhausgase Methan (CH₄), Lachgas (N₂O) und synthetischen Gase aus unterschiedlichsten Quellen. Der grösste Teil der THG im Energiebereich macht CO₂ aus, durch seine Menge hat es auch die negativsten Auswirkungen auf das Klima. Die CO₂-Reduktion steht daher bei der Reduktion der THG in diesem Konzept im Fokus; falls andere THG erwähnt werden, werden sie i.d.R. als CO₂-Äquivalenten quantifiziert.

Sozial- und Geisteswissenschaften (SGW)

Geistes- und sozialwissenschaftliche Forschungsfragen sind Teil des Schwerpunktes «Wirtschaft, -Gesellschaft und -Politik-massnahmen».

Neben den bereichseigenen Fragestellungen trägt die SGW-Forschung zur Entwicklung und Implementierung neuer Technologien bei. Technischer und gesellschaftlicher Fortschritt hängen eng voneinander ab und lassen sich nicht trennen. Technische Lösungen können besser zu nachhaltigem Energieverbrauch beitragen, wenn das gesellschaftliche, ökonomische und politische Umfeld bei ihrer Entwicklung angemessen berücksichtigt wird. Aus diesem Grund werden in diesem Forschungskonzept die sozioökonomischen Themen direkt in die technischen Schwerpunkte integriert, wenn sie der Technologie eigen oder für sie von besonderer Bedeutung sind.

25 – Wärmestrategie BFE: <https://www.news.admin.ch/news/messages/attachments/74920.pdf>

26 – Definition siehe «Negative Emissionstechnologien», S. 8

27 – <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/zustand/daten/treibhausgasinventar.html>

WIRTSCHAFT, GESELLSCHAFT UND POLITIKMASSNAHMEN

Der Übergang zu einem erneuerbaren, sicheren und effizienten Energiesystem, das mit dem Netto-Null-Emissionsziel vereinbar ist, wird durch Verhaltensweisen, Märkte, politische Massnahmen und Institutionen ermöglicht, die so ausgestaltet sind, dass sie die Energieeffizienz und die Umstellung auf erneuerbare Energien effizient unterstützen, breite Akzeptanz geniessen und dem individuellen Wohlbefinden dienen. Die Forschung im Bereich «Wirtschaft, Gesellschaft und Politikmassnahmen» liefert fundiertes Wissen, das für die Gestaltung dieser Märkte, Politiken und Institutionen erforderlich ist.

Die Energiestrategie 2050 verlangt einen schrittweisen Ausstieg aus der Kernenergienutzung bei gleichzeitigem Erreichen der Klimaziele und Aufrechterhalten einer hohen Versorgungssicherheit in der Schweiz. Dies erfordert gesteigerte Energieeffizienz und eine grössere Energiegewinnung aus erneuerbaren Quellen sowie generell eine Transformation des Schweizer Energiesystems, die mit dem Netto-Null-Emissionsziel kompatibel ist. Eine solche Transformation beinhaltet die effiziente Bewältigung der zunehmenden Konvergenz der Energiesektoren und die Integration neuer Energieträger wie Wasserstoff und Technologien wie NET und CCUS. Zur Erreichung dieser Ziele ist die Entwicklung neuer Technologien von grosser Bedeutung²⁸. Der technologische Fortschritt allein wird jedoch nicht ausreichen. Umfangreiche private Investitionen und wesentliche Änderungen des Energieverbrauchs werden nötig sein. Beides erfordert Verhaltensänderungen, neue Anreize und – möglicherweise – Anpassungen bei Governance und Politikmassnahmen. Dieser Umbau des Energiesystems muss so erfolgen, dass er in der Bevölkerung breite Akzeptanz geniesst und mit individuellem Wohlbefinden und Lebensqualität auf hohem Niveau einhergeht.

Hauptziel der sozial- und geisteswissenschaftlichen (SGW-)Energieforschung ist es, ein besseres Verständnis des Verhaltens der verschiedenen Akteure, ihrer Reaktionen auf politische Massnahmen sowie der Funktionsweise der Märkte und des gesamten sozio-technischen Systems zu gewinnen. Auf dieser Grundlage können die relativen Potenziale und Kosten der unterschiedlichen Massnahmen abgeschätzt und deren Ausgestaltung optimiert werden. Darüber hinaus ermöglicht die SGW-Forschung eine umfassende Sicht auf die Transformation des Energiesystems und ein besseres Verständnis der Zusammenhänge und Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Massnahmen und Prozessen. Systemweite Auswertungen unterstützen den Umbau des Schweizer Energiesystems, indem sie detaillierte Informationen über die Entwicklung des Energieverbrauchs und der Energieproduktion, deren Bezug zum individuellen Verhalten, zu gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Entwicklungen und zu Auswirkungen auf die Umwelt liefern.

Der Umbau des Energiesystems erfordert Veränderungen im Investitions- und Energieverhaltensverhalten der Akteure sowie Poli-

tikmassnahmen, Marktdesigns und Institutionen, die diesen Wandel ermöglichen. Es gilt, politische und regulatorische Instrumente und Massnahmen zu entwickeln und Rahmenbedingungen zu schaffen, die den Umbau des Energiesystems unterstützen. Die Bereitstellung des für diese Aufgaben erforderlichen Wissens ist der Hauptbeitrag der SGW-Forschung zur Schweizer Energiestrategie. Vor allem in den

Bereichen «Energienachfrage», «Energieangebot, Netze und Speicher», «Energienmärkte und Systembetrachtungen» sowie «Energiewende im weiteren Kontext» besteht Forschungsbedarf. Zusätzlich zu den eigenen Forschungsfragen unterstützt die SGW-Forschung die Entwicklung und Implementierung neuer Technologien.

28 – Weitere Einzelheiten entnehmen Sie bitte den anderen Kapiteln des Dokuments.

PRIORITÄTEN

Energienachfrage: Haushalte, Unternehmen und öffentliche Einrichtungen

Um die Energiestrategie und die Transformation zu einem Netto-Null kompatiblen Energiesystem erfolgreich umzusetzen, müssen Haushalte, Unternehmen und öffentliche Einrichtungen ihr energierelevantes Verbrauchs- und Investitionsverhalten ändern. Die Analyse der Determinanten der Energienachfrage, einschliesslich der Faktoren für die Steigerung von Energieeffizienz und -suffizienz und der entsprechenden Hemmnisse, sowie die Entwicklung von Hebeln und Politikmassnahmen zur Verringerung oder Verlagerung der Energienachfrage stehen im Mittelpunkt des ersten Forschungsschwerpunkts. Insbesondere soll die Forschung das Verständnis und die Modellierung des Verhaltens der verschiedenen Akteure auf der Grundlage psychologischer, sozialer und mikroökonomischer Methoden sowie von Feldexperimenten verbessern und Handlungsempfehlungen formulieren. Ziel ist es, ein besseres Verständnis für die Motive der jeweiligen Akteure und die Wirkungen spezifischer energiepolitischer Instrumente zu gewinnen.

Der angestrebte Ausstieg aus der Kernenergie und die Transformation des Energiesystems hin zu erneuerbaren Energien gehen mit einer verstärkten Elektrifizierung des Verkehrs und der Wärmeversorgung einher und erfordern eine Reduzierung und Flexibilisierung der Energienachfrage. Ein wichtiger Forschungszweig ist daher die Analyse der psychologischen, ökonomischen und

sozialen Determinanten von Energienachfrage und energierelevantem Verhalten in allen Sektoren sowie von individuellen Entscheidungen, gruppendynamischen Prozessen und Unternehmensstrategien. Dies erleichtert die Entwicklung von Massnahmen, die dazu beitragen, den Energieverbrauch zu senken und die Flexibilität der Nachfrage zu nutzen. Auf der Seite der Haushalte ist beispielsweise weitere Forschung zum Zusammenspiel von sozioökonomischen Determinanten sowie affektiven, normativen und kognitiven Faktoren, die den individuellen Energieverbrauch beeinflussen, notwendig, um politische Massnahmen zur nachhaltigen Reduzierung der Energienachfrage zu konzipieren.

Darüber hinaus sind Unternehmen und öffentliche Einrichtungen wichtige Akteure auf dem Weg zur Energiestrategie 2050: Ihre Strategien wirken sich auf das Verbraucherverhalten aus und werden auch davon beeinflusst, und ihre Verbrauchs- und Investitionsentscheidungen haben einen erheblichen Einfluss auf die Energienachfrage (einschliesslich der grauen Energie) und auf die Entwicklung neuer Infrastrukturen. Hier besteht Forschungsbedarf bei Anpassungsmassnahmen in Unternehmen und öffentlichen Einrichtungen sowie bei der Entwicklung von Rahmenbedingungen, die Innovationen (z. B. Digitalisierung) und technologische Veränderungen hin zu mehr Energieeffizienz und erneuerbaren Energien fördern.

Die Energiestrategie 2050 erfordert generell Investitionen in die Energieeffizienz. Die Identifizierung von Hindernissen und die Formulierung von Empfehlungen für die Schaffung angemessener Rahmenbedingungen, um diese Investitionen zu ermöglichen, sind für eine erfolgreiche Umsetzung entscheidend. Sustainable finance ist in diesem Zusammenhang ein interessanter Hebel. Die Begrenzung von Rebound-Effekten ist ebenfalls eine Erfolgsbedingung für die Verringerung der Energienachfrage, insbesondere im Bereich der Mobilität (siehe auch Schwerpunkt [«Mobilität»](#)), sowie die Förderung der Kreislaufwirtschaft, um materielle Ressourcen zu sparen und Emissionen zu vermeiden. Schliesslich ist die Verbesserung der Modellierung der Energienachfrage zur Berücksichtigung des individuellen Verhaltens und der sozialen Interaktionen Teil dieses Forschungsschwerpunkts.

Energieangebot, Netze und Speicherung: Haushalte, Unternehmen, öffentliche Einrichtungen und Energieunternehmen

Der Umbau des Energiesystems hin zu einer ausreichenden, breit gefächerten, sicheren, wirtschaftlichen und umweltverträglichen Energieversorgung auf der Grundlage erneuerbarer Energien erfordert sehr umfangreiche Investitionen in die Energieinfrastruktur auf verschiedenen Systemebenen. Die Analyse von Entscheidungen, die die Energieversorgung betreffen, steht daher im Mittelpunkt des zweiten Forschungsschwerpunkts. Dabei geht es einerseits um die Analyse der Determinanten der Entscheidungsfindung von Haushalten, Unternehmen, öffentlichen Stellen und Energieunternehmen. Zum anderen geht es um ein besseres Verständnis bestehender und die Entwicklung neuartiger Hebel und Politikmassnahmen, um die Versorgung mit erneuerbaren Energien effizient zu steigern und zu verlagern sowie deren Speicherung und Transport zu ermöglichen, und um die Priorisierung der Nutzung dieser Ressourcen (die richtige Energie für den richtigen Zweck am richtigen Ort).

Ein erfolgreicher Übergang hängt von der Entwicklung von Instrumenten und Politikmassnahmen zur effizienten Integration

erneuerbarer Energien in das Schweizer Energiesystem sowie von Strategien für einen effizienten und effektiven Ausstieg aus fossilen Brennstoffen und der Kernenergie ab, wobei das Risiko von Stranded Assets zu berücksichtigen ist. Regelungen zur Nutzung der Flexibilität auf der Angebotsseite und der Sektorkopplung zur Erreichung dieses Ziels sollten besondere Aufmerksamkeit erhalten. In diesem Zusammenhang wird die Entwicklung der Regulierung der Stromnetze von zentraler Bedeutung sein, um Anreize für einen effizienten Ausbau der Stromnetze zu schaffen, ebenso wie die Integration von Speichern.

Eine weitere wichtige Forschungspriorität ist die Analyse der Hindernisse für Investitionen in die Energieinfrastruktur (einschliesslich Netze und Speicher) aus der Sicht der Investoren und der Portfolio-Optimierung sowie die Entwicklung von Strategien zur Steigerung der Attraktivität dieser Investitionen. Die Rolle von sustainable Finance und neuer Geschäftsmodelle bei der Überwindung dieser Hindernisse ist ebenfalls von Interesse. Das Gleiche gilt für die Förderung von Investitionen und die Integration neuartiger Lösungen wie erneuerbare Brennstoffe, CCUS und Negativemissionstechnologien. Generell ist die Förderung von Innovationen, insbesondere der Digitalisierung, und gemeinschaftlicher Ansätze in der Energieversorgung wichtig für eine erfolgreiche Energiewende.

Energiemärkte (nationale und internationale Aspekte) und systemweite Bewertungen

In diesem vorrangigen Bereich sind das Verständnis und die Verbesserung der Funktionsweise und Regulierung der Energiemärkte sowie die systemweite Bewertung von Regulierungsmassnahmen und -politiken die wichtigsten Forschungsbereiche.

Energiemärkte koordinieren die Investitions- und Nutzungsentscheidungen der Akteure in einem Energiesystem. Sie sind daher von zentraler Bedeutung für eine erfolgreiche Energiestrategie und die Schaffung eines sicheren und widerstandsfähigen Energiesystems. Aufgrund neuer technologischer Entwicklungen, die eine enge Integration ver-

schiedener Sektoren und Energieträger ermöglichen, der Dezentralisierung des Energiesystems, der Integration intermittierender erneuerbarer Energien in grossem Massstab, des möglichen Aufkommens neuer Energieträger wie synthetischer Brennstoffe und der Notwendigkeit, mit dem Netto-Null-Emissionsziel vereinbar zu sein, müssen die künftigen Energiemärkte sowie die ihnen zugrunde liegende Regulierung viele Herausforderungen bewältigen. Eine erfolgreiche Energiestrategie erfordert daher Forschung zur Marktgestaltung und -regulierung, sowohl für bestehende als auch für zukünftige Energiemärkte. So sind beispielsweise die Entwicklung und Analyse effizienter Marktdesigns, die Investitionen in erneuerbare Energien und deren Integration in das Energiesystem als Ausgleich für fossile und nukleare Energie ermöglichen, von grosser Bedeutung. Die Forschung muss geeignete Lösungen für die Integration eines hohen Anteils an intermittierenden erneuerbaren Energien und einen möglichen Übergang zu einem stärker dezentralisierten Energiesystem entwickeln. Dabei geht es um neue Ansätze zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit und zur Koordinierung der Entscheidungen der Akteure (z. B. Energieversorger, Prosumer, Eigenverbrauchsgemeinschaften, Netzbetreiber) im System. Interessant sind in diesem Zusammenhang auch die Chancen, die sich aus der Digitalisierung inkl. Industrie 4.0 ergeben.

Die grüne Energietransition geht mit einer zunehmenden Konvergenz der verschiedenen Energieversorgungssysteme einher. Um die sich aus dieser Konvergenz ergebenden Chancen in Bezug auf Effizienz, Resilienz, soziale Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit bestmöglich zu nutzen, müssen der Prozess selbst und die Auswirkungen der Energiepolitik und der Regulierungsmassnahmen auf der Ebene des Energiesystems besser verstanden und optimiert werden. Darüber hinaus ist eine gute Koordination der Energiepolitiken, einschliesslich der Koordination auf Bundes-, Kantons- und Gemeindeebene, von zentraler Bedeutung. Bei der Gestaltung systemrelevanter energiepolitischer Massnahmen (einschliesslich Anreizen und Gesetzen) sollten verhaltensbezogene Erkenntnisse berücksichtigt und die individuelle Perspektive mit der

systemischen Perspektive verknüpft werden, anstatt sie getrennt zu betrachten.

Zudem müssen bei der Entwicklung geeigneter Politikmassnahmen, Regulierungen und Marktdesigns rechtliche und internationale Aspekte berücksichtigt werden. Internationale Klima- und Energiepolitiken sowie Marktregulierungen und -designs haben einen grossen Einfluss auf die Energiemärkte in der Schweiz. Die Analyse dieses Einflusses sowie der Wechselwirkungen von nationalen und internationalen Politikmassnahmen ist ein wichtiges Forschungsgebiet, ebenso wie die Positionierung der Schweiz auf den internationalen Märkten. Diese internationale Dimension ist beispielsweise für Unternehmen und energieintensive Branchen, die an internationalen Wertschöpfungsketten beteiligt sind, von hoher Relevanz, da sie sich auf die Sicherheit der Lieferkette und die Wettbewerbsfähigkeit auswirkt.

Energiewende im weiteren Kontext

Um die Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Energiestrategie setzen zu können, müssen der Prozess selbst und die Auswirkungen von energiepolitischen und regulatorischen Massnahmen auf das schweizerische Energiesystem sowie auf Wirtschaft und Gesellschaft besser verstanden werden. Dasselbe gilt für die Auswirkungen von Entwicklungen ausserhalb der Energiepolitik auf den Umbau des Energiesystems und umgekehrt. Dies ist das Ziel des vierten Schwerpunktbereichs. In diesem Zusammenhang bleibt die Analyse energiepolitischer Massnahmen und Instrumente, z.B. auf der Grundlage makroökonomischer Instrumente, sowie die Untersuchung der zukünftigen Energienachfrage, des Energieangebots und der Rahmenbedingungen mittels Szenarien, Energiemodellen und anderen Methoden ein wichtiges Forschungsfeld. Ein vertieftes Verständnis der Auswirkungen des Umbaus des Energiesystems und insbesondere verschiedener Politikoptionen und Energiemarktdesigns auf das Wirtschaftswachstum, den Arbeitsmarkt, den Konsum und die Wettbewerbsfähigkeit der Schweizer Industrie ist eine Voraussetzung für eine erfolgreiche Transition. Dies erfordert die

weitere Verbesserung geeigneter Instrumente und Methoden für die Entwicklung von Szenarien und die Simulation verschiedener energiepolitischer Optionen und ihrer gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen sowie die Entwicklung und Verbesserung von Modellen und Szenarien, die mögliche künftige Entwicklungen beschreiben und die wichtigsten sozioökonomischen Einflussfaktoren für die Energiestrategie aufzeigen. Technisch-wirtschaftliche Szenarien sind ebenfalls von Interesse, werden aber im Kapitel über [Energiesysteme](#) behandelt. Ein wichtiges Ziel ist es, den Einbezug von Unsicherheit und die Darstellung von kontextuellen, verhaltensbezogenen und gesellschaftlichen Aspekten in Modellen und Szenarien zu verbessern, um die gesellschaftspolitische Machbarkeit dieser Szenarien zu berücksichtigen.

Die Energiestrategie ist sowohl eine gesellschaftliche als auch eine technologische Strategie. Der Umbau des Energiesystems sollte eine breite Akzeptanz finden und das individuelle Wohlbefinden fördern. Daher sind Forschungen zur Energiegerechtigkeit und zu den Verteilungseffekten der Energiewende selbst sowie zu den Massnahmen, die zur Erleichterung der Transition durchgeführt werden, von Interesse. Dazu gehören Strategien zur Gestaltung eines integrativen Übergangs und zur Vermeidung von Energiearmut und Einbussen bei der Lebensqualität. Ausserdem müssen die gesellschaftlichen und individuellen Präferenzen für die Gestaltung der Energiepolitik untersucht und Massnahmen entwickelt werden, die diese Präferenzen widerspiegeln. Da der Umbau des Energiesystems mit einer gewissen Dezentralisierung einhergeht, die auf erneuerbaren Energien und einer stärkeren lokalen Beteiligung an der Energieversorgung beruht, ist die Entwicklung von Strategie-

gien zur Förderung einer aktiven Energiebürgerschaft und der Beteiligung der Bürger ein wichtiger Erfolgsfaktor. Das Gleiche gilt für die Einbeziehung der Unternehmen als Stakeholder.

Politische und regulatorische Massnahmen sowie soziale Faktoren ausserhalb des Energiebereichs können die Energietransition erheblich behindern oder fördern. Die politischen, wirtschaftlichen und sozialen Rahmenbedingungen von Szenarien und das Zusammenspiel verschiedener politischer Massnahmen in Policy-Mixes (Politiken aus verschiedenen Bereichen, bestehende und neue Politiken usw.) müssen besser verstanden werden. So beeinflussen beispielsweise gesellschaftliche und technologische Dynamiken wie Digitalisierung und künstliche Intelligenz die Energiestrategie auf verschiedenen Ebenen und mit unterschiedlichen Auswirkungen. Dieses komplexe und dynamische Zusammenspiel von Faktoren, die die Energiestrategie beeinflussen, muss weiter analysiert werden. Im Zusammenhang mit dem Umbau des Energiesystems und der Notwendigkeit, neue Infrastrukturen für die Erzeugung, den Transport und die Speicherung erneuerbarer Energien aufzubauen, ist die Entwicklung von Optionen zur Lösung bzw. Entschärfung von Zielkonflikten in der Raumordnungs-, Umwelt- und Energiegesetzgebung von grosser Bedeutung. Möglichkeiten und Grenzen der Beschleunigung von Planungs- und Genehmigungsverfahren sind ebenso zu analysieren wie die ethischen Dimensionen von Zielkonflikten, die zwischen Energieversorgung, Umweltschutz, Landwirtschaft und anderen Landnutzungsoptionen entstehen können. Schliesslich ist die ganzheitliche Bewertung der Auswirkungen von Energiemarktregulierung und Energiepolitik ein wichtiges Forschungsfeld.

PRIORITÄRE FORSCHUNGSTHEMEN 2025–2028

Energienachfrage: Haushalte, Unternehmen, öffentliche Einrichtungen

Determinanten der Energienachfrage: Analyse und Modellierung

- Entscheidungsfindung, die sich auf den Energieverbrauch auswirkt, einschliesslich individueller (affektiver, normativer und kognitiver) und struktureller (sozialer/gesellschaftlicher, kultureller, wirtschaftlicher, technologischer und geografischer) Faktoren, langfristiger Trends und Lebensstile
- Investitionen in Energieeffizienz und Verbrauchsflexibilität, einschliesslich Treiber und Hindernisse sowie Reaktion auf Innovationen

Hebel und politische Massnahmen zur effizienten Verringerung und Verlagerung der Energienachfrage: Entwicklung neuer Instrumente und Analyse bestehender Instrumente

- Beanreizung von Entscheidungen, die sich auf den Energieverbrauch auswirken, insbesondere die Verringerung und Verlagerung der Energienachfrage, die Verbesserung der Energieeffizienz, die Förderung eines energiesparenden Lebensstils und einer energiesparenden Produktgestaltung sowie die Begrenzung von Rebound-Effekten
- Überwindung von Hindernissen für Investitionen in Energieeffizienz, Nachfrageflexibilität und Innovation, einschliesslich sustainable Finance.

Energieangebot, Netze und Speicherung: Haushalte, Unternehmen, öffentliche Einrichtungen, Energieunternehmen

Determinanten des Energieangebots: Analyse und Modellierung

- Entscheidungsfindung, die sich auf das Energieangebot auswirkt
- Investitionen in die Energieinfrastruktur und die Flexibilität auf der Angebotsseite, einschliesslich der Treiber und Hindernisse und der Reaktion auf Innovationen

Hebel und politische Massnahmen zur effizienten Steigerung und Verlagerung des Angebots an erneuerbaren Energien (einschliesslich Infrastruktur, Speicherung, Flexibilität, Wasserstoff, synthetische Brennstoffe): Entwicklung neuer Instrumente und Analyse bestehender Instrumente

- Beanreizung von Entscheidungen, die das Energieangebot betreffen, insbesondere die Integration von erneuerbaren Energien und neuen Technologien sowie die Netzregulierung
- Überwindung von Hindernissen für Investitionen in die Energieversorgungsinfrastruktur und die Versorgungsflexibilität und Förderung von Innovationen, einschliesslich sustainable Finance.

Energiemärkte (nationale und internationale Aspekte) und systemweite Bewertungen

Marktorganisation (einschliesslich Integration dezentraler erneuerbarer Energien und Speicherung, Umgang mit Unterbrechungen, synthetische Brennstoffe): Analyse, Modellierung und Marktdesign

- Fähigkeit der Energiemärkte, neue Angebote, neue Nachfragen (z. B. Elektromobilität), neue Energieträger (z. B. synthetische Brennstoffe) und neue Technologien (z. B. Digitalisierung) effizient zu integrieren und die verschiedenen Akteure zu koordinieren, wobei Versorgungssicherheit und Netzstabilität zu gewährleisten sind
- Sozioökonomische Komponenten der Fähigkeit der Energiemärkte, Schocks zu bewältigen (z. B. Versorgungsunterbrechungen)

Hebel und Massnahmen zur Verbesserung der Marktgestaltung: Entwicklung neuer und Analyse bestehender Instrumente

- Neue Geschäftsmodelle und Marktdesigns (z. B. Verantwortung für die Systemstabilität, lokale Energiemärkte), die den Übergang zu Netto-Null-Emissionen und reduziertem Materialverbrauch (Kreislaufwirtschaft, Urban Mining) unterstützen und gleichzeitig die Versorgungssicherheit und die Widerstandsfähigkeit des Energiesystems gewährleisten; effiziente Gestaltung neuer Energiemärkte; einschliesslich rechtlicher, wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Herausforderungen

- Beurteilung des Einflusses und der Wechselwirkung der ausländischen Energiepolitik und der internationalen Klimapolitik mit den schweizerischen Instrumenten und Massnahmen; Positionierung der Schweiz auf den internationalen Energiemärkten und Beurteilung der Konformität der schweizerischen Politik mit dem internationalen und insbesondere dem europäischen Recht

Systemweite Bewertungen

- Bewertung der Energiepolitik auf der Ebene des gesamten Systems und Entwicklung von Massnahmen zur optimalen Nutzung der Konvergenz der Sektoren im Energiesystem, Verbesserung der Koordinierung der energiepolitischen Massnahmen

Energiewende im weiteren Kontext

Energietransition und die Schweizer Wirtschaft

- Verständnis der Auswirkungen des Umbaus des Energiesystems und insbesondere verschiedener Politikoptionen und Marktdesigns auf die Schweizer Wirtschaft, den Arbeitsmarkt, die Wettbewerbsfähigkeit der Schweizer Industrie und KMU sowie die Umwelt; Verbesserung geeigneter Werkzeuge und Methoden
- Im Kontext der Energiestrategie: Verständnis der Komplexität und Interdependenz verschiedener Sektoren, einschliesslich der Wechselwirkungen zwischen technologischem, gesellschaftlichem, politischem und individuellem Wandel; Analyse des Zusammenspiels verschiedener Strategien wie Effizienz, Suffizienz, Sharing Economy, Kreislaufwirtschaft, Digitalisierung usw.

Energietransition und die Schweizer Gesellschaft

- Verständnis der Auswirkungen von Energiewende-Szenarien und energiepolitischen Massnahmen auf die Energiegerechtigkeit, Ermittlung von Strategien zur Vermeidung oder Abfederung von energiebedingter Armut und Einbussen an Lebensqualität sowie Bewertung der gesellschaftspolitischen Machbarkeit dieser Szenarien und Massnahmen im Allgemeinen
- Anreicherung der Energieszenarien mit neuen Szenarien, die sich auf die wichtigsten Akteure und die Gesellschaft als Ganzes konzentrieren, z. B. Verhalten und Lebensstile, Flächennutzung, Beschäftigung, Wohnen, Digitalisierung, Konsum, Freizeitgestaltung, Mobilität usw.

- Verständnis und Analyse sozialer Interaktionen in unterschiedlichen institutionellen Kontexten, einschliesslich soziales Lernen und soziale Innovationen, Energiebürgerschaft, Verbraucherbewegungen, Basisgemeinschaften, Bürgerbeteiligungsprozesse, Akzeptanz von und Widerstand gegen neue Technologien und Politiken

Energietransition und Politik/Gesellschaftliche Entwicklungen in anderen Bereichen

- Bewertung der Folgen politischer Wechselwirkungen (verschiedene Bereiche, aussen- und innenpolitische, alte und neue Politiken) und Entwicklung von Konzepten und Verfahren für den Umgang mit solchen Wechselwirkungen
- Erarbeitung von Möglichkeiten zur Lösung bzw. Entschärfung von Zielkonflikten in der Raumplanungs-, Umwelt- und Energiegesetzgebung; Analyse des Zusammenspiels von Regelungen auf Bundes-, Kantons- und Gemeindeebene, Möglichkeiten und Grenzen der Beschleunigung von Planungs- und Bewilligungsverfahren
- Verständnis und Analyse räumlicher Interdependenzen, einschliesslich der Wechselwirkungen Nische/Region/Landschaft, internationale/nationale/kantonale/lokale Entscheidungs- und Umsetzungsprozesse in Mehrebenenkontexten
- Hebel und Politikmassnahmen zur Förderung der Einführung von CCUS und NETs
- Untersuchung der Zusammenhänge zwischen dem Energiesystem und den Umweltauswirkungen des gesellschaftlichen Verbrauchs, einschliesslich der Unterschiede zwischen produktions- und verbrauchsbasierter Emissionsbilanzierung.

ENERGIESYSTEME

«Die zukünftigen Energiesysteme basieren auf dem intelligenten Zusammenspiel einzelner Technologien und sektorübergreifenden Medien. Sie schaffen so im Einklang mit den aktuellen Energie- und Klimazielen die Grundlage für eine sichere, nachhaltige und bezahlbare Energieversorgung.»

Ein Energiesystem beinhaltet die Gesamtheit aller Anlagen zur Umwandlung sowie zur Verteilung oder Speicherung von Energie in unterschiedlichen Formen. Dabei kann ein Energiesystem, je nach Kontext, zentral, dezentral oder als eine Mischform organisiert sein. Dieser Teil des Konzeptes fokussiert auf die Energiebereitstellung, während der Verbrauch und somit die Anwendung der produzierten Energie in verschiedenen Bereichen stattfindet, welche in anderen Konzeptteilen behandelt werden (siehe Kapitel Wohnen und Arbeiten, Mobilität und Industrielle Prozesse).

Die Ziele der Energiepolitik sind unweigerlich eng mit jenen der Klimapolitik verknüpft, zumal ungefähr drei Viertel der Treibhausgasemissionen in der Schweiz durch die Nutzung fossiler Energieträger verursacht werden. Das Klimaziel Netto-Null bis 2050, welches sich der Bundesrat 2019 gesetzt hat, und die im Jahr 2021 verabschiedete langfristige Klimastrategie²⁹, mit welcher er das Klimaziel erreichen will, erfordern einen grundlegenden Umbau des bestehenden Energiesystems. Gleichzeitig muss die Versorgungssicherheit, die für eine gut funktionierende Wirtschaft und Gesellschaft von zentraler Bedeutung ist, weiterhin gewährleistet sein. Dazu leistet die Diversifizierung der Energieträger einen entscheidenden Bei-

trag. Gleichzeitig gilt es, die verfügbaren lokalen Ressourcen nachhaltig zu nutzen und dennoch gut in das europäische Energiesystem eingebunden zu sein. Ebenfalls zentral ist die Stärkung des lokalen Know-hows; dies gilt sowohl für Forschungs-, als auch Umsetzungsbemühungen.

Die nachhaltige Transformation des Energiesystems geht teilweise mit einschneidenden Veränderungen der Gewohnheiten und Verhaltensweisen der Menschen einher (siehe Schwerpunkt «Wirtschaft, Gesellschaft und Politikmassnahmen»). Beim Einsatz neuer Technologien geht es beispielsweise nicht nur um Fragen deren Nutzen für den Kunden, Akzeptanz und Nachhaltigkeit, insbesondere auch um die Bezahlbarkeit der Energieversorgung insgesamt oder den Erhalt und die Schaffung langfristig ausgerichteter Arbeitsplätze.

Was benötigen wir für die Zukunft? Zielsetzungen bis 2050

Die Energieperspektiven 2050+³⁰ zeigen anhand von Szenarien auf, wie das Netto-Null Ziel bis 2050 erreicht werden kann. Obwohl der Zeithorizont sehr ambitioniert ist, wird klar festgehalten, dass die Zielerreichung mit den heute verfügbaren Technologien prinzipiell möglich ist. Jedoch könnten weitere Technologieentwicklungen die

Umstellung massgeblich beschleunigen. Lange Investitionszyklen im Energiesystem erhöhen den Handlungsdruck in allen Sektoren, wobei die Verteilung von Kosten und Nutzen je nach Entwicklungspfad und Szenario sehr unterschiedlich ausfällt. Grundlegend für den Netto-Null kompatiblen Umbau des Energiesystems ist die Ausschöpfung der Potenziale im Bereich Energieeffizienz und Erneuerbare Energien sowie ein intelligentes und sektorübergreifendes Management der Energieflüsse. Mit der Transformation des Schweizer Energiesystems gilt es die Energieeffizienz und den Anteil der erneuerbaren Energien zu steigern und die energiebedingten Treibhausgasemissionen zu senken, ohne aber die bisher hohe Versorgungssicherheit und bezahlbare Energieversorgung zu gefährden. Ziel der Energiestrategie 2050³¹ ist die Erhöhung der jährlichen Stromproduktion aus Wasserkraft auf 37,9 Terrawattstunden (TWh) (2035) resp. 39,2 TWh (2050) sowie für aus anderen erneuerbaren Energien auf 35 TWh (2035) resp. 45 TWh (2050)³². Allerdings sind weitaus ambitioniertere Anstrengungen nötig, um das Zubauziel hinsichtlich der erneuerbaren Energien (ohne Wasserkraft) zu erreichen.

Der fünfjährige Monitoringbericht zur Energiestrategie 2050 zeigte 2022 auf³³, dass der Anteil der erneuerbaren Stromproduktion an der Landeserzeugung auf 7,2% angestiegen ist. Insgesamt belief sich die erneuerbare Elektrizitätsproduktion 2020 auf 4,7 TWh. Ohne neue Massnahmen wie im Bundesgesetz über eine sichere Stromversorgung mit erneuerbaren Energien vorgesehen, ist das Ausbautempo der erneuerbaren Energien zu langsam, um die mittel- und langfristigen Zielwerte zu erreichen.

Ein Schlüsselement des zukünftigen Energiesystems ist die Sektorkopplung (siehe Abschnitt «[Sektorkopplung und Digitalisierung](#)»). Dabei wird insbesondere der elektrischen Energie eine wichtige Rolle in den Bereichen Wärmeerzeugung und Mobilität zukommen. Diese kann mit unterschiedlichen Technologien zwischengespeichert oder mittels Power-to-X in flüssige oder gasförmige Energieträger umgewandelt und damit zeitlich und räumlich flexibel eingesetzt werden.

Neben unterstützenden rechtlichen Rahmenbedingungen (Bewilligungsverfahren, Fördergelder) spielt ein effizientes Energiemarktdesign und nicht zuletzt die gesellschaftliche Akzeptanz eine wichtige Rolle hin zu einem beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien. Dazu kann die Forschung einen wichtigen Beitrag leisten, indem sowohl technologische Fortschritte erzielt (z.B. Effizienzsteigerung) und neue Technologien aufskaliert und erprobt werden (P&D Anlagen), als auch der Mehrwert dieser Technologien für die Gesellschaft aufgezeigt und somit auch die Fragestellungen zu gesellschaftlichem Diskurs wissenschaftlich bearbeitet werden (siehe Schwerpunkt «[Wirtschaft, Gesellschaft und Politikmassnahmen](#)»). Für die Zukunft wichtig ist ein klares Vorgehen, welches die aufgezeigten Lösungswege technisch und wirtschaftlich optimiert und gleichzeitig die gesellschaftlichen Rahmenbedingungen berücksichtigt, um berechnete Interessensausgleiche zu erzielen.

29 – <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-82140.html>

30 – [Energieperspektiven 2050+ \(admin.ch\)](#)

31 – [Energiestrategie 2050 \(admin.ch\)](#)

32 – [21.047 | Sichere Stromversorgung mit erneuerbaren Energien. Bundesgesetz | Geschäft | Das Schweizer Parlament](#)

33 – [BFE \(2022\): Energiestrategie 2050: Fünfjährige Berichtserstattung im Rahmen des Monitorings](#)

PRIORITÄTEN

Wie erreichen wir die Zielsetzungen?

Energienetze, Systemintegration, Flexibilisierung

Die Forschung im Bereich der Energiesysteme konzentriert sich seit längerem nicht mehr ausschliesslich auf einzelne Technologien, um die Umwandlungseffizienz zu steigern und somit die Erzeugungskosten für Elektrizität, Wärme oder Treibstoffe zu senken. Vielmehr treten zunehmend Systemaspekte in den Vordergrund, da die einzelnen Erzeugersysteme immer stärker miteinander vernetzt sind und miteinander interagieren. Des Weiteren werden in Zukunft dezentrale erneuerbare Energiequellen an Bedeutung gewinnen, so dass die zeitliche und örtliche Variabilität von Angebot und Nachfrage in den Vordergrund rücken werden. Die Forschung wird sich dementsprechend in Zukunft vermehrt auf die Vernetzung und Integration der verschiedenen Erzeugungstechnologien und deren intelligente und systemdienliche Interaktion fokussieren. Hierbei gilt es die Betriebsweise der bestehenden Infrastruktur (Elektrizität, Gas, Wärme) bedarfsgerecht auszugestalten und aufgrund von Modellen und Szenarien auf die künftige Nutzung auszulegen. Wichtige Forschungsthemen in diesem Zusammenhang sind die Stabilität und die Widerstandsfähigkeit des Systems; beide stellen Grundvoraussetzungen für das Funktionieren der zahlreichen Einzelkomponenten innerhalb des Systems dar, welche durch die Integration fluktuierender Energiequellen negativ beeinflusst sind. Der Systemansatz ist dabei nicht auf die Planung und den Betrieb des Elektrizitäts-, und Gassystems zu beschränken, das Augenmerk gilt gleichermassen den thermischen Netzen und deren zukünftige Herausforderungen z.B. im Bereich Fernwärme/-kältesystemdesign sowie deren Integration. Damit in einem System die Flexibilitätsoptionen (Sektorkopplung, Speichermanagement, Demand side Management) seiner zahlreichen Einzelkomponenten auch ausgenutzt werden können, benötigt man ein in allen Dimensionen nachhaltiges und zukunftsorientiertes Marktdesign, welches sich mit der Regulierung, als

auch mit der Ausgestaltung von Politikmassnahmen auseinandersetzt (siehe Schwerpunkt [«Wirtschaft, Gesellschaft und Politikmassnahmen»](#)). Neben dem Blick auf das Gesamtsystem gilt es jedoch auch die Einzeltechnologien weiterzuentwickeln. Hier liegt der Fokus der Forschung auf die Steigerung der Effizienz sowie die Optimierung und Flexibilisierung des Anlagenbetriebs.

Sektorkopplung und Digitalisierung

Eine intelligente Verbindung und Interaktion von verschiedenen Energieversorgungssystemen (Sektorkopplung) erhöht die Flexibilität von Angebot, Nachfrage und Speicherung und ermöglicht künftig die Nutzung von Synergien. Die dafür notwendigen Technologien sind heute grösstenteils verfügbar (Wärme-Kraft-Kopplung, Power-to-X), jedoch erschweren meist organisatorische Hürden (z.B. sind die Infrastrukturen für verschiedene Energieträger meist nicht in der Hand eines einzelnen EVU) oder regulatorische Hürden (z.B. raumplanerische Rahmenbedingungen) die Nutzung und die damit verbundenen Vorteile für die Gesamtsysteme.

Die Sektoren Wärme und Mobilität sind prädestiniert für die Sektorkopplung, zumal in diesen beiden Bereichen die erneuerbare elektrische Energie direkt genutzt werden kann. Ist die direkte Nutzung der erneuerbaren elektrischen Energie nicht möglich, können Wasserstoff und seine Nachfolgeprodukte (z.B. synthetisches Methan) als flexible und speicherbare Energieträger ein zentrales Element in der Sektorkopplung darstellen. Diese Umwandlungsschritte sind jedoch mit Verlusten und zusätzlichen Kosten verbunden, so dass sich in erster Linie eine direkte Nutzung des Stroms anbietet. Die Energieperspektiven 2050+ zeigen auf, dass strombasierte Energieträger (synthetische flüssige oder gasförmige Brenn- und Treibstoffe sowie Wasserstoff) zur Zielerreichung notwendig, aber aus Energie- und Kosteneffizienzgründen nur in jenen Bereichen einzusetzen sind, in denen es kaum Alternativen gibt (z.B. internationaler Flugverkehr).

Mit der zunehmenden Dezentralität und der Vielfalt an Akteuren steigen die Komplexität des Energiesystems und somit auch dessen Steuerungs- und Regelungserfordernisse.

Neben diesen technischen Aspekten spielen energieraumplanerische Aspekte ebenfalls eine wichtige Rolle, um der Komplexität zu begegnen und lokale/regionale Energiepotenziale bestmöglich zu nutzen. Die Digitalisierung, welche die Integration von Informations- und Kommunikationstechnologien, grosse und komplexe Datenmengen und künstliche Intelligenz beinhaltet, ist ebenfalls eine wichtige wegbereitende Technologie um die Weiterentwicklung des Energiesystems bewerkstelligen zu können. Dabei gilt es die politische Gestaltung in Einklang mit technischen Entwicklungen zu bringen und gleichzeitig die Versorgungssicherheit, Bezahlbarkeit und Nachhaltigkeit der Energieversorgung, den Datenschutz und auch die soziale Gerechtigkeit (der letztgenannte Punkt wird insbesondere im Schwerpunkt «Wirtschaft, Gesellschaft und Politikmassnahmen» thematisiert) als zentrale Elemente zu berücksichtigen³⁴.

Speicherung

Des Weiteren ist mit der Flexibilisierung unweigerlich die Speicherthematik verknüpft. Hier gilt es neben der Weiterentwicklung einzelner Speichertechnologien den Fokus auf deren Einsatz im Gesamtsystem zu legen. Durch die zunehmend verteilte und variable Art der Energiebereitstellung und -speicherung ergeben sich neue Chancen und Herausforderungen, welche die Planung, den Betrieb, die Flexibilität und zusätzliche Dienstleistungen betreffen. Neben den kurzzeitigen Schwankungen bei Angebot und Nachfrage, welche mit Kurzzeitspeichern und Nachfragemanagement gelöst werden können, sind saisonale Unterschiede komplexer und verlangen nach robusten Lösungen mit Hilfe von saisonalen Speichern und Sektorkopplung. Insbesondere bei Industriestandorten sind effiziente Technologien für die Rückgewinnung, Umwandlung, Speicherung und den Austausch von chemischer, thermischer und elektrischer Energie von Bedeutung (siehe Kapitel «Industrielle Prozesse»).

Transport, Speicherung und Nutzung von CO₂ (CC(U)S)

Die Technologien für die CO₂-Abscheidung und die Funktionsweise dieser im Anlagenkontext wird im Kapitel «Industrielle Pro-

zesse» abgehandelt, während die Energiebereitstellung für den Gesamtprozess, die Verwendung des CO₂ zu weiteren Produkten oder der zukünftig geplante leitungsgebundene Transport Teil dieses Kapitels sind.

Die Weiterverwendung von abgeschiedenem CO₂ kann auf vielfältige Weise erfolgen, wobei je nach Langlebigkeit der so entstandenen Produkte das CO₂ als temporär oder permanent gespeichert betrachtet werden kann. Die Verwendung von CO₂ z.B. für die Produktion von synthetischen Treibstoffen kann als kurzzeitig temporäre Speicherung betrachtet werden, während die Speicherung z.B. innerhalb von Gebäudebaumaterialien einen längeren Zeithorizont aufweist (biogene Baustoffe einige Jahrzehnte, karbonatisierter Beton dauerhaft). CO₂-basierte Treibstoffe werden im Energiesektor in Zukunft eine wichtige Rolle spielen, da die Energie so chemisch gespeichert und die Flexibilität der Elektrizitätsproduktion unterstützt werden kann³⁵. Zudem ergeben sich in diesem Bereich regulatorische und gesellschaftliche Fragen, die von energiepolitischer Relevanz sind und Teil des Schwerpunktes [«Wirtschaft, Gesellschaft und Politikmassnahmen»](#) sind.

Erneuerbare Energien: Technologien für Flexibilität und die Integration in Energiesysteme

Erneuerbare Energien stellen einen wichtigen Teil des Schweizer Energiesystems dar. Im Jahr 2021 betrug ihr Anteil an der inländischen Elektrizitätsproduktion 67%³⁶. Dabei stammt der überwiegende Anteil aus der Wasserkraftnutzung. Der Beitrag der Sonnenenergie-, Biomasse-, Biogas-, Wind- und Abfallnutzung betrug rund 8,3% der gesamten Elektrizitätsproduktion. Der erneuerbare Anteil im Bereich Wärmeerzeugung lag 2021 bei rund 25%. Generell ist ein deutlicher Anstieg bei allen Technologien sowohl zu erneuerbarer elektrischer Energie, als auch erneuerbarer Wärmeproduktion über die letzten Jahrzehnte ersichtlich. Neben dem weiteren und vor allem beschleunigten Ausbau durch geeignete Rahmenbedingungen braucht es dennoch Forschungsanstrengungen, um neue Technologien aufzuskalieren und sie nachhaltiger und flexibler einsetzbar zu gestalten, so dass die vorhandene Infra-

struktur höher ausgelastet und bei Bedarf weiter ausgebaut werden kann. Neue Konzepte der Flexibilisierung setzen nebst der Speicherung auch auf eine optimierte, kombinierte Produktion aus verschiedenen Technologien (z.B. PV auf Stauseen). Neben der Produktion und Bereitstellung der verschiedenen Energieformen (Strom, Wärme, Brenn- und Treibstoffe) spielt auch deren Verknüpfung zukünftig eine zentrale Rolle.

Bei einer etablierten Technologie wie der *Wasserkraftnutzung* liegt der Fokus auf der Steigerung der jährlichen Produktion und der Verlagerung der Erzeugung auf den Winter, einem genaueren Verständnis der Auswirkungen des Klimawandels (veränderte Zuflussregime), die Einhaltung von Vorschriften rund um die Betriebssicherheit von Stauanlagen (z.B. zunehmende Verlandung und Folgen auf die Speicherung und Produktion) und damit verbundene Forschungsthemen. Dies geschieht in einem sich wandelnden Betriebsumfeld, z.B. durch volatile Märkte, erhöhte Umweltauflagen, anstehende Konzessionserneuerungen usw. Um die zunehmende Einbindung der nicht oder bedingt steuerbaren erneuerbare elektrische Energieerzeugung zu unterstützen bzw. zu ermöglichen, sind verstärkte Flexibilisierung, mehr Speichermöglichkeit (auf allen Zeitskalen) und Hybridisierung von Wasserkraftanlagen (z.B. mit Photovoltaik) notwendig.

In der zukünftigen *Solarenergieforschung* stehen die Leistungsverbesserung und Kostensenkung bei den Anlagen im Vordergrund. Die neu zu entwickelnden Produkte müssen nachhaltig, zuverlässig und kreislauforientiert ausgelegt werden. Des Weiteren ist Qualitätssicherung ein wichtiger Aspekt, um die Lebensdauer, die Zuverlässigkeit und auch die Leistung von PV- und Solarthermieanlagen zu steigern. Die Integration der Photovoltaik bei verschiedenen Anwendungen wie im Gebäude, in Fahrzeugen oder als Agro-Photovoltaikanlage sind zentrale Aspekte der Forschung. Die Integration der Photovoltaik in das Energiesystem bildet ein Querschnittsthema mit anderen Forschungsbereichen. Im Hinblick auf den Ausgleich von Ein- und Ausspeisung spielen insbesondere präzise Erzeugungsprognosen in Zukunft ver-

mehrt eine Rolle. In der Solarthermie stehen grosse Solarkollektorfelder im Fokus zukünftiger Niedertemperaturanwendungen in Mehrfamilienhäusern und Wärmenetzen.

Die *Bioenergie* ist mit der Produktion von elektrischer Energie, Wärme, Treib-, Brenn- und chemischen Stoffen multifunktional. Die grosse Vielfalt an Umwandlungstechnologien gepaart mit dem Einsatz von unterschiedlichen nachhaltigen Ausgangsstoffen und Abfallressourcen gilt es für die Zukunft sinnvoll mit anderen Erzeugungstechnologien (räumlich wie zeitlich) zu kombinieren. Ausserdem lassen sich durch optimierte Umwandlungsverfahren und Monetarisierung des entstehenden Mehrwerts (Dienstleistungen) die Kosten weiter senken. Gerade im Bereich der Negativemissionstechnologien (BECCS und Einsatz von Pflanzenkohle) kann die Biomasse eine nicht zu unterschätzende zukünftige Rolle spielen.

Die *Geoenergie* wird für die elektrische Energie-, Wärme- und Kälteversorgung in Zukunft eine wichtige Rolle spielen. Zusätzlich kann die saisonale Wärmespeicherung in Untergrund einen Beitrag zum effizienten Umbau und der Stabilisierung des zukünftigen Energiesystems sein. Hierzu benötigt es in der Forschung das Verständnis und die Beurteilung des geologischen Untergrunds, seines geothermischen Potenzials und mögliche Erschliessungsformen. Die Geoenergieforschung adressiert ausserdem hochentwickelte Stimulations- und Bohrtechniken. Neben diesen technischen Aspekten sind Fragen zur Sicherheitsforschung, Risikobeurteilung und -minderung wichtige Themen für die zukünftige Nutzung dieser Energieform.

Die Nutzung der *Windenergie* ist eine marktreife Technologie, welche dennoch die Erforschung von für die Schweiz spezifische Fragestellungen erfordert. Dazu gehört die Auslegung von Anlagen, die Fragen rund um Turbinen in Waldgebieten, generell verbesserte Vorhersagen der Produktion und die Reduktion von Lärm und Vereisung. Eine weitere zentrale Frage ist, inwiefern sich die Importabhängigkeit der Schweizer Stromversorgung im Winter durch die Windenergie nachhaltig reduzieren lässt.

Modelle und Szenarien

Mit der grundlegenden Transformation der Energieversorgung in der Schweiz steigt die Komplexität produktions- wie verbrauchsseitig, wobei die Versorgungssicherheit zu jedem Zeitpunkt gewährleistet sein muss. Fest steht, dass dieser Wandel flexible Technologien benötigt, die Energie effizient umwandeln, transportieren, speichern und bei Bedarf möglichst schnell bereitstellen können, und dies in Zeitskalen von saisonal bis sekundlich. Um dies möglichst realistisch und detailliert abbilden zu können bedarf es Modelle, welche Möglichkeiten aufzeigen, wie die ambitionierten Ziele erreicht werden können. Modelle sind wichtige Werkzeuge, um den Einfluss von technologischen, wirtschaftlichen sowie regulatorischen Entwicklungen auf das Energiesystem der Zukunft zu analysieren. Durch die Variation verschiedener Annahmen innerhalb der Modelle entstehen Szenarien, welche es erlauben unter den gegebenen Annahmen einen möglichst realitätsnahen Blick in die Zukunft zu wagen. Um die sich daraus ergebenden offenen Fragen in Politik, Industrie und Gesellschaft beantworten zu können, braucht es einen Vergleich oder die Kopplung verschiedener Modelle bzw. Szenarienansätze sowie die Überprüfung ihrer Sensitivitäten, anhand von unterschiedlich gewählten Voraussetzungen. Ziel der Forschung ist ein digitales Abbild des Energiesystems der Schweiz zu erhalten, um daraus in einem nächsten Schritt auch soziale und gesellschaftliche Fragestellungen abzuleiten, welche positiv auf die Transformation des Energiesystems Einfluss nehmen. Forschungsarbeiten in diesem Bereich sollten neben Fragestellungen zu Politikmassnahmen und gesellschaftlichen Entwicklungen (beide Bestandteil des Schwerpunkts «Wirtschaft, Gesellschaft und Politikmassnahmen») auch ein kontinuierliches Benchmarking des technisch-ökonomischen Fortschritts verschiedener Technologien und dessen Wirkung auf das Gesamtsystem beinhalten (Teil dieses Kapitels). Gleichermassen wichtig ist die Frage wie sich systemische Risiken in der zukünftigen Energieinfrastruktur minimieren lassen.

Kernenergie und nukleare Abfälle

Die Kernenergie leistet auch in den nächsten Jahrzehnten einen erheblichen Anteil an die

Schweizer Stromproduktion. Daher ist der Erhalt der nuklearen Fachkompetenz für die Sicherheit der Kernanlagen essenziell. Die regulatorische Sicherheitsforschung befasst sich u.a. mit der Frage, wie der sichere Langzeitbetrieb der Anlagen auf höchstem Niveau sichergestellt werden kann. Dabei steht die Alterung der Materialien sowie die Auswirkungen von Erdbeben auf Strukturen, Systeme und Komponenten der Kernanlagen im Fokus, ebenso wie sicherheitstechnische Nachrüstungen, die Einführung störfalltoleranter Brennstoffe und des Lastfolgebetriebs, sowie die Ausbildung qualifizierten Personals. Den späteren Rückbau der Kernanlagen deckt die Forschung ebenso ab wie die Konditionierung und Entsorgung radioaktiver Abfälle, insbesondere im Hinblick auf ein geologisches Tiefenlager und die langfristige Zwischenlagerung von abgebrannten Brennelementen. Eine zentrale Bedeutung kommt dabei immer auch der Minimierung der Strahlenbelastung von Bevölkerung und Umwelt zu.

Die Schweiz wird bei der Entwicklung von Technologien für sichere, innovative Reaktoren auch in Zukunft eine Rolle spielen, damit sie in der Lage bleibt, neue Technologien anderer Länder beurteilen und entsprechende Schlüsse für die nationale Energieversorgung ziehen zu können. Dazu müssen insbesondere neue Reaktortechnologien der Generation IV und ihre Brennstoffzyklen auf ihre nukleare Sicherheit, Nachhaltigkeit und Strategien zur Abfallreduktion untersucht werden. Dabei kommt der Einbindung der Forschung bei internationalen Organisationen wie EURATOM, der Kernenergie-Agentur der OECD (NEA) und der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEA), aber auch in bilateralen Forschungskooperationen eine besondere Bedeutung zu, denn nur so kann die Schweiz ihre eigenen Interessen beim Errichten völkerrechtlicher Regeln und Richtlinien zum nuklearen Sicherheits- und Sicherheitsregime wahrnehmen.

34 – Gähns et al. (2021)

35 – Forschungskonzept CCS/NET BFE <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/forschung-und-cleantech/forschungsprogramme/ccus-net.html>

36 – <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/energiestatistiken/teilstatistiken.html>

PRIORITÄRE FORSCHUNGSTHEMEN 2025–2028

Energienetze, Systemintegration, Sektorkopplung: Steuerungsarchitektur der Netzinfrastruktur, Technologien für die Sektorkopplung, zukünftige Nutzung der bestehenden Infrastruktur, Flexibilität, Integration und Widerstandsfähigkeit des Systems

- Stromnetze: Planungs- und Betriebsinstrumente; Integration erneuerbarer Energien » Stabilitätseffekte von Netzen; belastbare Schutz- und Fehlerortungssysteme; innovative Materialien und Technologien für Netzkomponenten; Aspekte der Systemintegration;
- Thermische Netze: Bedarfsprognose; Kühltechnologien; Fernwärme- und Kältenetze Systemdesign und -betrieb (Potenzial und Integration)
- Speicherung: Wasserkraft (Hybridisierung, kleine Anlagen, Nachrüstung); Druckluft (Effizienz, Kavernenoptionen); Langzeitspeicherung (fortschrittliche Konzepte; katalytische chemische und elektrochemische; CO₂-Reduktion, speicherbare Biotreibstoffe, H₂-Erzeugung); Batterien (Materialverfügbarkeit, Herstellungskonzepte, Kosten, Recycling); Wärmespeicherung (thermomechanische Stabilität der festen Phase, Wärmeübertragungsabbau PCM, thermochemische Speicherung, unterirdische Speicherung, Schwarmbetrieb); Kurzzeitspeicherung; V2G Produktion und Nachfrage: Flexibilität vs. Speicherung
- Effiziente Technologien für die Rückgewinnung, Umwandlung, Speicherung und den Austausch von chemischer, thermischer und elektrischer Energie (Aspekte der Sektorkopplung)
- Multi-Energienetze zur Förderung von Synergien und zur Verringerung des Kohlenstoff-Fussabdrucks von Wärme und Strom an Industriestandorten mit schwankenden Energiequellen und dynamischen Nutzungsmustern

Erneuerbare Energien: Technologien für Flexibilität, technologiespezifische Integration von Energiesystemen

- Wasserkraft: Einhaltung gesetzlicher Bestimmungen, Verlagerung der Erzeugung in den Winter, Forschung zur Betriebssicherheit
- PV: Leistungsverbesserung und Kostensenkung; nachhaltig, zuverlässig, kreislauffähig; Integration von PV (Gebäude, Fahrzeuge, Agri-PV)
- Solarthermie: Grossflächige Solarkollektorfelder für zukünftige Anwendungen in Mehrfamilienhäusern, Industrieprozessen und thermischen Netzen
- Bioenergie: Nachhaltige Rohstoffe und Umwandlungstechnologien » energiebezogene Produkte und Nebenprodukte; Integration von Bioenergieanlagen und Sektorkopplung; Energiespeicherung und Klimakontrolltechnologien (BECCS); gesellschaftliche Aspekte
- Effiziente und umweltverträgliche Verfahren zur Vorverarbeitung komplexer Biomasse für die stoffliche und energetische Nutzung
- Effiziente und umweltfreundliche Verfahren in der Nutzungsphase von biobasierten oder synthetischen Kraftstoffen (Verbrennung, Brennstoffzellen usw.)
- Nachhaltige Produktion, Wiederverwendung, Recycling und Entsorgung von Batterien, Brennstoffzellen und Katalysatoren im kommerziellen Massstab
- Geoenergie: Prospektion, Exploration, unterirdische Ressourcen, Sicherheit
- Wind: Auslegung von Anlagen, Turbinen in Wäldern, Vorhersage, Lärmreduzierung, Vereisung

Speichertechnologien

- Elektrizität: Batterien, Kondensatoren
- Mechanische Speicherung: Pumpspeicherwerke
- Chemische Speicherung: fortschrittliche Kraftstoffe, Biokraftstoffe, Kraftstoffe (flüssig, gasförmig, solar); solare Kraftstoffe und Materialien (Redoxmaterialien, Wärme- und Stofftransport); photochemische Ansätze
- Thermische Speicherung

Kernenergie und radioaktive Abfälle

- Langfristiger Betrieb von KKW » Alterungsprobleme
- Auswirkungen von Erdbeben
- Entsorgung von radioaktiven Abfällen
- Auswirkungen von ionisierender Strahlung auf den Menschen
- Fortgeschrittene & innovative Reaktorkonzepte (international Aspekte, Kompetenzen) reactor concepts (international aspects, competences)
- Kompetenz- und Wissenserhalt

WOHNEN UND ARBEITEN

Der Gebäudepark der Zukunft soll netto Null Treibhausgasemissionen verursachen. Er trägt dezentral zur stabilen Bereitstellung von Wärme, Kälte oder Strom in Energienetzen bei. Der Betrieb erfolgt energieeffizient und CO₂-frei. Für Erstellung, Erneuerung und Rückbau sind die nicht vermeidbaren Treibhausgasemissionen dauerhaft zu speichern. Die Forschung zeigt sozialverträgliche technologische Wege sowie gesellschaftliche und politische Instrumente dazu auf.

Dieser Vision entsprechend, werden im Schwerpunkt *Wohnen und Arbeiten* Technologien und Konzepte erforscht, die den Energiebedarf reduzieren, die Effizienz der Energieumwandlung und -verwendung steigern und deren Wertigkeit (Exergie) Rechnung tragen. Insgesamt sollen die menschlichen Bedürfnisse im Bereich Wohnen und Arbeiten künftig in einer klimaneutralen, ressourcenschonenden und sozialverträglichen Weise befriedigt werden.

Um der Funktion des Gebäudeparks als «Energiehub» Rechnung zu tragen, werden die dezentrale Energiespeicherung, die lokale Gewinnung erneuerbarer Energie an Gebäuden, in Arealen, Quartieren und Städten sowie das Zusammenspiel von Energieverbrauch, dezentraler Energiegewinnung, -speicherung und Energieinfrastrukturen erforscht. Dezentrale Energiesysteme müssen sich zweckmässig in das zukünftige Energiesystem der Schweiz integrieren, damit eine klimaverträgliche, sichere, effiziente und wirtschaftliche Energieversorgung gewährleistet ist.

Strategien zur Effizienzsteigerung und zum konsequenten Umstieg auf erneuerbare Energiequellen sind zentral, um im Gebäudebereich Klimaneutralität im Betrieb zu erreichen. Das optimale Ausmass von Effizienzsteigerungen ist mit einer Lebenszyklusbetrachtung bezüglich Kosten-Nutzen-Verhältnis zu finden. Zusätzlichen Effizienz-

massnahmen sollen im Vergleich mit der verstärkten Nutzung erneuerbarer Energie beurteilt werden. Im Weiteren hängt der effiziente Betrieb der Gebäude neben politischen und regulatorischen Rahmenbedingungen vom Verhalten der Besitzenden, Betreibenden und Nutzenden ab. Diese haben einen signifikanten Einfluss darauf, ob die Spar- und Effizienzmöglichkeiten ausgeschöpft und die avisierten Ziele erreicht werden können. Entsprechende Konzepte sind zu entwickeln, zu validieren (inkl. «Living Labs» und «Sandboxes») und in der Praxis zu demonstrieren.

Neue Gebäude sollen im Betrieb keine klimaschädigenden oder umweltbelastenden Emissionen generieren und hohen Komfort bei Raumklima, Lärm/Akustik, Licht und Hygiene erreichen. Gebäude und verwendete Materialien sind ressourcenschonend, emissionsarm und energieeffizient herzustellen. Langfristig ist über den gesamten Lebenszyklus (Erstellung, Betrieb, Rückbau und Entsorgung) eine Netto-Null-Bilanz bei den Treibhausgasemissionen sowie eine Kreislaufwirtschaft anzustreben.

Um dies zu erreichen, müssen Technologien und Konzepte entwickelt werden, die eine intelligente Gewinnung, Umwandlung, Nutzung und Speicherung von Energie im Gebäudebereich unter Einbezug von Verbund- und Austauschmöglichkeiten mit Versorgungsnetzen (elektrisch, thermisch)

ermöglichen. Dies umfasst sowohl die technologische als auch die sozio-ökonomische Forschung, um auch das Nutzerverhalten und die Nutzerbedürfnisse zu berücksichtigen. Das erarbeitete Wissen muss in geeigneter Form für Produkte und Planungs-, Beratungs- und Ausführungswerkzeuge sowie bei Bedarf für energiepolitische Programme und Instrumente verfügbar gemacht werden, um wirkungsvoll in den Markt zu diffundieren.

Die Schnittstellen zu den anderen Schwerpunktthemen dieses Konzepts sind zu beachten, wie beispielsweise die Aspekte der Sektorkopplung, der Mobilität und der Energie-Infrastruktur oder der Einfluss von IKT- und Monitoring-Technologien auf den Einsatz dezentral gewonnener erneuerbarer Energie. Weitere Berührungspunkte bestehen zur sozial- und geisteswissenschaftlichen Forschung, insbesondere für die Analyse politischer Massnahmen und des Verhaltens der Akteure. Generell erfolgt die Abgrenzung zu den weiteren Schwerpunkten dieses Konzepts nicht durch Vermeiden von thematischen Überlappungen, sondern dadurch, dass die Themen im Schwerpunkt Wohnen und Arbeiten aus dieser spezifischen Sicht auf die zu erforschenden Handlungsspielräume fokussiert werden sollen.

Ziele

Gebäude sind für rund 48% des Endenergieverbrauchs³⁷ und für 33% der gesamten CO₂-Emissionen (bzw. 26% der THG-Emissionen) der Schweiz³⁸ verantwortlich. Sie stehen deshalb im Zentrum der ES2050. Einerseits muss die energetische Sanierungsrate³⁹ von heute nur 1% dringend und substantiell erhöht werden; gemäss EP2050+ ist «bei einer Orientierung an den erfolgreichsten Kantonen und mittels geeigneter energiepolitischer Instrumente» eine Erhöhung um 50% denkbar⁴⁰. Gleichzeitig stellt die Erhöhung der Sanierungseffizienz – mit technischen und nicht-technischen Massnahmen – einen weiteren wichtigen Hebel für die Zielerreichung dar. Bei Neubauten wie auch bei Sanierungen steht die Minimierung der durch die Erstellung verursachten grauen

Emissionen (hauptsächlich von Baumaterialien) im Vordergrund. Diese machen bei heutigen Neubauten bereits ein Mehrfaches der Betriebsemissionen aus⁴¹.

Die Aufgabe der Forschung ist es, sozialverträgliche technologische Wege und gesellschaftliche bzw. politische Instrumente aufzuzeigen, die in Richtung der eingangs formulierten Vision führen. Während das Klimaschutzgesetz⁴² für die territorialen Emissionen der Schweiz das Netto-Null Ziel und sektorale Absenkpfade bis 2050 vorgibt – für den Betrieb von Gebäuden (Scopes 1 und 2) bis 2040 82% Reduktion, per 2050 100% – ist dies für die umfassendere Lebenszyklusbetrachtung des Gebäudebereichs (inkl. der Scope 3 Emissionen), die deutlich über 2050 hinaus geht, gesetzlich nicht geregelt. Quantifizierbare Ziele für THG-Emissionen über den Lebenszyklus von Gebäuden sind in der Norm SIA 390/1 «Klimapfad»⁴³ beschrieben. Die Zielformulierungen dienen als Orientierungsgrössen, welche in Pilot- und Demonstrationsprojekten deutlich übertroffen werden sollen.

Nebst dem effizienten Einsatz der Energie tragen eine dekarbonisierte Energiebereitstellung, eine ressourcenschonende, emissionsarme und energieeffiziente Herstellung von Baustoffen – mit dem Ziel einer Kreislaufwirtschaft – sowie eine gesellschaftliche Entwicklung, die suffiziente Handlungsweisen honoriert, massgebend zur Zielerreichung bei. Ohne diese Entwicklungen vorwegzunehmen, sollen im Gebäudebereich die bestmöglichen Voraussetzungen geschaffen werden, um die vorerwähnten Ziele zu erreichen.

37 – BFE Gesamtenergiestatistik 2021, Anteil Haushalte + Dienstleistungen am Endverbrauch

38 – BAFU Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Schweiz, 2023, www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klimazustand/daten/treibhausgasinventar.html

39 – Martin Jakob et al., 2014, Energetische Erneuerungsraten im Gebäudebereich Synthesebericht zu Gebäudehülle und Heizanlagen, <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/news-und-medien/publikationen.html>

40 – EP2050+, Kurzbericht Kap. 2.3.1

41 – Quelle: Norm SIA 390/1, Vernehmlassungsversion 2023.

42 – Gesetzesentwurf: www.fedlex.admin.ch/eli/fga/2022/2403/de

43 – Norm SIA 390/1, Vernehmlassungsversion 2023.

PRIORITÄTEN

Areale und Quartiere

Um den elektrischen und thermischen Energiebedarf der Schweiz zukünftig weitgehend mit lokal vorhandenen, erneuerbaren Energiequellen zu decken, sind ganzheitliche Lösungsansätze notwendig. Diese sollen insbesondere die Versorgungssicherheit im Winter unterstützen. Quartiere bzw. Areale können zu dezentralen, vernetzten Energiesystemen ausgebaut werden und dabei Energiedienstleistungen innerhalb des jeweiligen Quartiers/Areals (inkl. Elektromobilität) oder für die dazugehörige Region in den Bereichen Bereitstellung, Umwandlung, Management, Speicherung und Verteilung übernehmen. Sie sind nicht autarke Systeme, sondern sollen sich als aktive Elemente in das Energiesystem der Schweiz bzw. von Europa einfügen, als Subsysteme im zukünftigen Energiesystem.

Forschungsfragen stellen sich zu Last- und Bereitstellungsflexibilität eines Areals bzw. dessen einzelner Gebäude für das elektrische oder thermische Netz, sowie zur Allokation dieser Flexibilitäten (örtlich und zeitlich). Ebenso ist weitere Forschung nötig, um ein zuverlässiges und optimiertes Zusammenwirken von elektrischen und thermischen Netzen, Gebäuden, lokaler Energiegewinnung und Einspeisung, Speicherung und Verteilung sicherzustellen.

Bestehende Nachhaltigkeitsstrategien wie «Netto-Null THG Emissionen Gebäude⁴⁴» oder «Smart Cities and Communities⁴⁵» sollen in Richtung Klimaneutralität auf Quartiersebene untersucht und weiterentwickelt werden. Dazu sollen Konzepte, Prozesse, Massnahmen und Rahmenbedingungen analysiert, entwickelt und getestet werden. Von besonderer Bedeutung ist die Netzdienlichkeit⁴⁶ auf der Ebene von Arealen und Quartieren und die Ableitung von daraus resultierenden Optimierungsprämissen für die Praxis.

Gebäude

Eine weitgehende Reduktion von Energieverbrauch und CO₂-Emissionen bestehender Gebäude ist eine grosse wirtschaftliche Herausforderung, welche den Einbezug verschiedener Optimierungsmassnahmen am Gebäude erfordert. Aus wirtschaftlicher Sicht wird es jedoch nicht möglich sein, den Gebäudepark bis 2050 durch energietechnische Erneuerung der Gebäudehüllen umfassend zu ertüchtigen. Folglich müssen diese Effizienzsteigerung und die damit verbundene CO₂-Reduktion mit weiteren Massnahmen erreicht werden, die einen Umstieg auf einen CO₂- und fossilfreien Betrieb ermöglichen.

Um diese Potenziale zu erschliessen, müssen energie- und kosteneffiziente Ansätze, Technologien und Systeme für die Gebäudesanierung entwickelt werden. Für sämtliche Gebäudetypen sind innovative Gebäudebauelemente zu entwickeln (Fenstersysteme und Fassadenelemente mit verbesserten und veränderbaren Eigenschaften wie Lichttransmission, Wärmeeintrag und -speicherung, sowie Energiegewinnung). Auch soll die Forschung neue umwelt- und klimaverträgliche, kostengünstige und raumsparende Wärmedämm Lösungen bereitstellen, die architektonisch-ästhetischen Ansprüchen gerecht werden.

Bei Neubauten liegt der Fokus der Forschung auf der Reduktion des Energiebedarfs sowie der Treibhausgasemissionen über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes auf Netto-Null, inklusive Erstellung, Betrieb, Erneuerung, Rückbau, Wiederverwendung und Entsorgung am Lebensende. Der Frage «Sanierung oder Ersatzneubau?» kommt eine zentrale Bedeutung zu, um das existierende Materiallager in Gebäuden besser zu nutzen. Zur ganzheitlichen Beantwortung dieser Frage sind Grundlagen und Entscheidungshilfen auf Ebene Bauobjekt/Parzelle sowie im gesamtwirtschaftlichen Kontext zu schaffen.

Ganz allgemein sind Gebäude den künftigen Komfort- und Raumbedürfnissen anzupas-

sen, also nutzungsflexibel und damit ressourceneffizient zu gestalten, wozu neue Technologien und Prozesse beitragen können. Zur Minimierung der Materialflüsse sind geeignete Kennzahlen, Strategien und Instrumente zu entwickeln. Es werden geschlossene Materialkreisläufe und die Erhöhung der Recyclingfähigkeit in Richtung einer Kreislaufwirtschaft angestrebt.

Gebäudetechnik

Gebäude sind heute nicht nur Energiekonsumenten, sondern auch -produzenten und stellen erneuerbare Energie bereit. Ihnen fällt dadurch eine neue Rolle innerhalb des Energiesystems zu. «Während sie bisher vor allem Energie verbrauchten, werden sie Stück für Stück zur Energiedrehscheibe. Sie produzieren Strom und Wärme, sie speichern Energie, sie werden zur Tankstelle für unsere Fahrzeuge. Kurzum: Die Gebäude werden zum Energiehub und tragen damit zur Umsetzung der Energiestrategie 2050 des Bundes bei.»⁴⁷ Um ein netzdienliches Verhalten des Gebäudes zu erreichen, wird die Integration von lokalen Wärme- und Elektrizitätsspeichern ins Energiesystem zunehmend wichtiger. Während Elektrizitätsspeicher im Gebäudebereich primär der Kurzzeitspeicherung von lokal produzierter erneuerbarer Energie dienen, so eignen sich Wärmespeicher zur Energiespeicherung auf verschiedenen Zeitskalen. Saisonale Wärmespeicher können durch die Kopplung verschiedener Sektoren dazu beitragen, das Stromnetz vor allem im Winter zu entlasten.

Welche Energieform und Speichertechnologie in Gebäuden zum Einsatz kommt, soll künftig sektorenübergreifend eruiert werden, ist aber zugleich in starkem Masse vom Anwendungsfall und der Wertigkeit der Energie abhängig. In jedem Fall sind zukunftsweisende Technologien ebenso gefragt wie effiziente, zuverlässige und kostengünstige Einbindungs- und Betriebskonzepte in einer Lebenszyklusbetrachtung. Ein besonderes Augenmerk gilt hierbei der Reduktion des Strombedarfs im Winter durch Speicher und lokale Energiebereitstellung. Dementsprechend sollen die Technolo-

gien zur Gewinnung von erneuerbarer Energie (thermische und elektrische) am Gebäude und zur Nutzung von Abwärme weiterentwickelt und noch wirtschaftlicher gemacht werden.

Lokale Energiebereitstellungsanlagen sollen «smarter» werden: Lösungen vom lokalen Monitoring bis zur Integration in übergeordnete Energiemanagementsysteme auf Stufe Gebäude, Quartier, Areal, Stadt Funktionsüberwachung und automatisierte, standardisierte Diagnosen, bzw. Fehlermeldung an Betreiber fehlen heute für die breite Anwendung.

Hocheffiziente Wärmepumpentechnologien für Raumheizung und Brauchwassererwärmung sind eine der Voraussetzungen, dass der Energieverbrauch von energieeffizienten Gebäuden mit erneuerbaren Energien gedeckt werden kann. Die Chancen und Risiken der Erschliessung und Nutzung des Untergrunds (u.a. von Grundwasserschutzgebieten) mit verschiedenen Energiegewinnungstechnologien, wie Erdwärmesonden-Systemen, Grundwasserbrunnen, Thermalwasser, etc. zur Heizung und Kühlung auf verschiedenen Stufen (Gebäude, Quartier, Stadt) bedürfen vertiefter Untersuchungen.

Aufgrund einer tendenziell steigenden Zahl von Hitzeperioden ist davon auszugehen, dass in Zukunft der Kühlbedarf im Gebäudebereich steigen wird. Dadurch wird von Kühlanlagen eine grössere Regulierbarkeit benötigt, was auch erhöhte Anforderungen an einen effizienten Betrieb im Teillastbereich erfordert. Aufgrund der lokalen Klimaeffekte sind davon insbesondere Wohnbauten im urbanen Raum betroffen. Um dem unkontrollierten Einsatz von ineffizienten, den Aussenraum belastenden Geräten, wie z.B. Splitklimatechnik, vorzubeugen, müssen Potentiale, Konzepte und Technologien für eine energieeffiziente, ressourcenschonende und kostenoptimierte passive und aktive Kühlung inkl. Einbindung thermischer Speicher (kalt/warm) und unter Einbezug von Sonnenschutzsystemen untersucht werden.

In der Lebenszyklusbetrachtung von Gebäuden nimmt die Gebäudetechnik eine wichtige Rolle ein. Gleichzeitig bestehen für Gebäudetechnikelemente und -systeme nur lückenhafte LCA Daten. Diese sollen gezielt aufgearbeitet und als direkt anwendbare Datensätze zur Verfügung gestellt werden.

Zur Überwachung und Regelung des gebäudeeigenen Energieverbrauchs, also zur Abstimmung von internem Verbrauch am und im Gebäude produzierter Energie und hauseigener technischer und struktureller Speicherung sowie zur gebäudeübergreifenden Vernetzung, sind innovative IKT-basierte Lösungen für Automations-, Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnologien zu entwickeln. Dabei sind insbesondere Aspekte der Netzdienlichkeit zu berücksichtigen.

Mensch, Markt, Politik

Im Schwerpunkt *Wohnen und Arbeiten* sollen die Möglichkeiten zur beschleunigten Transformation des Gebäudebestandes und zur Erhöhung der Sanierungsrate erforscht werden. Zu erörtern sind die Akzeptanz neuer Technologien, Konzepte, Prozesse und Modelle bei Investoren und Nutzenden sowie Möglichkeiten zur Überwindung allfälliger Hemmnisse. Dabei ist auch die aktuell dynamische regulatorische Entwicklung der EU bzw. deren Rückwirkungen auf die Schweiz zu beachten (insb. die Erweiterung der EPBD im Rahmen des Green Deals).

Andererseits sind die Treiber und Anreize zu analysieren, die seitens der Hauseigentümer

und weiterer Akteure⁴⁸ für eine spartenübergreifende, energetische Vernetzung (Elektrizität, Wärme) sprechen. Des Weiteren ist zu untersuchen, wie die Nutzen und Gewinne der Vernetzung verteilt werden bzw. nach welchen Kriterien sie verteilt werden sollen. Auf Ebene der öffentlichen Hand soll die Entwicklung von regionalen Ansätzen zur Energieversorgung von Gebäuden unter Einbindung der öffentlichen Güter z.B. bei untiefer Geothermie (Grundwasser, EWS < 500m) und Abwärme (KVA, ARA, Industriezonen, etc.) untersucht werden.

Die Realisierung von erneuerbaren, dezentralen Energieverbundlösungen für Areale oder Quartiere mit mehreren Eigentümern und Akteuren ist eine komplexe Herausforderung. Modelle für erfolgversprechende Trägerschaften und für (partizipative) Akzeptanzfindungs-, Vorgehens- und Entscheidungsprozesse beim Aufbau und im Betrieb sollen untersucht und evaluiert werden. Die Ergebnisse stellen wichtige Randbedingungen für Planungs- und Beratungsprozesse dar.

44 – [Netto-Null Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich – Fragestellungen F0_F1_F3_F4 und Gesamtkoordination KO - Texte \(admin.ch\)](#)

45 – [Was ist eine Smart City? \(local-energy.swiss\)](#)

46 – Netzdienlich sind einzelne oder mehrere elektrische Anlagen (Erzeuger, Verbraucher oder Speicher), welche dazu beitragen, Netzkosten (u. a. Reduktion von Netzengpässen, Netzausbaubedarf oder optimierte Netzbetriebsführung) zu verringern.

Quelle: [Was ist Netzdienlichkeit? – FfE](#)

47 – EnFK, 2023, [Startseite - Energiehub Gebäude \(energiehub-gebäude.ch\)](#)

48 – Eine vertiefte Untersuchung des Verhaltens der Akteure im Bereich Wohnen und Arbeiten sowie dessen Einflussfaktoren werden im Schwerpunkt «Wirtschaft, Gesellschaft und Politikmassnahmen» thematisiert

PRIORITÄRE FORSCHUNGSTHEMEN 2025–2028

Areale und Quartiere

- Zuverlässigkeit von Energiesystemen mit lokalen erneuerbaren Energiequellen, sowie energieeffiziente Massnahmen zur Erhöhung der Versorgungssicherheit, insbesondere im Winter
- Gebäude und Areale (inkl. Elektromobilität) als Energiedienstleister: Welche Last- und Bereitstellungsflexibilität kann ein Gebäude bzw. Areal dem elektrischen oder thermischen Netz anbieten und zu welchem Preis? Allokation dieser Flexibilität (Gebäude, Areal, Quartier)?
- Vom Gebäudeenergiemanagement zum Areal/Quartierenergiemanagement: Konzepte, Planung, Betrieb.
- Weiterentwicklung bestehender Nachhaltigkeitsstrategien wie «Netto-Null THG Emissionen Gebäude» oder «Smart Cities and Communities» in Richtung Klimaneutralität auf Quartiersebene, sowie Demonstration dieser neuen Ansätze. Darauf basierend Konzepte, Prozesse, Massnahmen, Rahmenbedingungen und Anreize analysieren, entwickeln und testen.
- Untersuchung der Handlungsspielräume bezüglich thermischer Netze aus Sicht der Gebäude, Areale und Quartiere: Typologien, Speicherung, Einbindung Erneuerbare, innovative Konzepte zur Versorgung von Wärmeabnehmern mit hohen Vorlauftemperaturen für Raumwärme.

Gebäude

- Energie- und Kosteneffiziente Systeme für die Gebäudesanierung. Neue Konzepte, Ansätze, Technologien, sowohl für die Gebäudehülle, als auch für energetische Sanierungslösungen, die ohne äussere Wärmedämmung auskommen.
- Sanierung oder Ersatzneubau? Grundlagen und Entscheidungshilfen zur ganzheitlichen Beantwortung dieser Frage auf Ebene Bauobjekt/Parzelle und im gesamtwirtschaftlichen Kontext.
- Wärmedämmung: Neue Materialien und Konstruktionen, welche energieeffizient, umweltverträglich, kostengünstig und raumsparend sind.
- Minimierung der Materialflüsse, LCA und Erhöhung Recyclingfähigkeit in Richtung einer Kreislaufwirtschaft

Gebäudetechnik

Dezentrale Technik

- Neue kosteneffiziente Wärmespeichertechnologien und -Materialien (thermo-chemische, latente).
- LCA, von Gebäudetechnikelementen und -systemen.
- Neue Ansätze für die intelligente Steuerung und selbstlernende, automatisierte Betriebsoptimierung von Gebäudetechniksystemen für einen einwandfreien und effizienten Betrieb (inkl. Monitoring, Fehlerdiagnose, Wartungsavisierung, etc.).

Thermische und elektrische Nutzung lokaler, erneuerbarer Energie

- Smarte solare/solarthermische Systeme (Integration in Energiemanagementsystem, Funktionsüberwachung, automatisierte Fehlermeldung an Installateure, Eigenverbrauchssteuerung bei Hybridsystemen)
- Reduktion des Strombedarfs im Winter durch Speicher und lokale Energiebereitstellung (Solar, Kraft-Wärme-Kopplung, Vermeidung durch Substitution von Abwärme, Geothermie, etc.)
- Effiziente Kühlung, einschliesslich ressourcenschonender Raumkühlung in städtischen Gebieten, Einbindung thermischer Speicher (kalt/warm) Ressourcen- und kostenoptimierte Lösungen für die aktive und passive Gebäudekühlung

Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT)

- innovative Lösungen mit IKT für Gebäudeautomations-, Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnologien.

Mensch, Markt, Politik

- Untersuchung der Möglichkeiten (neue Ansätze bei Anreizen, Normen, Vorschriften) zur beschleunigten Transformation des Gebäudebestandes und zur Erhöhung der Sanierungsrate.
- Untersuchung der Einflussfaktoren, Treiber und Hemmnisse sowie von möglichen Anreizen, welche Gebäudeeigentümer dazu bringen, sich zu vernetzen und einem Energieverbund anzuschliessen (neue partizipative Prozesse und Geschäftsmodelle für alle Stakeholders, inkl. Mieter)

MOBILITÄT

Ein vielfältiges und integriertes Angebot an emissionsfreien Verkehrsmitteln ermöglicht eine effiziente und sozialverträgliche Mobilität, die allen Aspekten der Nachhaltigkeit Rechnung trägt.

Der Sektor Mobilität umfasst den Transport von Personen und Gütern mit unterschiedlichen Verkehrsmitteln. In der Schweiz ist der Verkehr (ohne internationale Luftfahrt) mit einem Anteil von 31% der grösste Verursacher von Treibhausgasemissionen.⁴⁹ Auch bezüglich Energieverbrauch nimmt der Transportsektor mit einem Anteil von 32% den Spitzenplatz ein.⁵⁰ Abgesehen von einer kurzfristigen, pandemiebedingten Reduktion in den Jahren 2020–2022 haben sich Verbrauch und Emissionen seit 1990 nur geringfügig verringert, die bisherigen Reduktionsziele wurden im Verkehrssektor klar verfehlt.⁵¹

Mittlerweile haben sich neue Antriebstechnologien etabliert, die auf erneuerbaren Energieträgern basieren, allen voran die Elektromobilität. Dank rascher Umstellung der Automobilindustrie und regulatorischen Anpassungen kann mittlerweile damit gerechnet werden, dass in der Schweiz bereits in der Mitte des nächsten Jahrzehnts die Hälfte der Autos elektrisch unterwegs sein wird.⁵² Selbst im Schwerverkehr scheint sich die Elektrifizierung des Antriebs durchzusetzen, wobei hier mit Wasserstoff/Brennstoffzelle und synthetischen Treibstoffen weitere erneuerbare Alternativen zur Verfügung stehen. Die Elektromobilität ist neben der Photovoltaik laut IEA die entscheidende Technologie, um mittelfristig schnell und ökonomisch die Emissionen zu reduzieren.⁵³

Mit der sich abzeichnenden Elektrifizierung beinahe des gesamten Strassenverkehrs rücken die inländischen Reduktionsziele in Griffweite. Luftfahrt, Hochseeschiffahrt und spezielle Anwendungen (z.B. non-Road, Agrartechnik) sind schwieriger zu elektrifizieren und bleiben deshalb auch in Zukunft, zumindest teilweise, auf chemische Energieträger angewiesen. Hier bieten sich neuartige, nachhaltige Treibstoffe an, welche aus Biomasse gewonnen werden oder mittels

erneuerbarer Elektrizität oder Wärme erzeugt werden.

Dank deutlich kürzeren Investitionszyklen bei Fahrzeugen im Vergleich zu Immobilien und Energieinfrastruktur kann die Dekarbonisierung des Landverkehrs rasch voranschreiten. Aus technischer Sicht muss hier primär sichergestellt werden, dass erneuerbare Energie im entsprechenden Umfang zur Verfügung steht. Dies bedingt insbesondere für die Elektromobilität eine deutlich stärkere Integration ins Energiesystem. In einem effizienten System sollten sich die Schlüsseltechnologien Photovoltaik und Elektromobilität ideal ergänzen bezüglich zeitlicher und räumlicher Verfügbarkeit von Energie, sowie im Hinblick auf einen konvergenten Netzausbau und die optimale Integration erneuerbarer Energien.

Mobilität bleibt ein menschliches Grundbedürfnis und Voraussetzung für eine prosperierende Wirtschaft. Dank Elektromobilität ist man lokal weitgehend «emissionsfrei» unterwegs – zumindest bezüglich CO₂ und weiterer Abgase. Auch die Lärmemissionen sind bei tiefen Geschwindigkeiten tiefer. Weitere verkehrsbedingte Externalitäten sowie Flächenbedarf, Belastung der Infrastruktur und Auswirkungen von Stau bleiben unverändert. Im Hinblick auf ein nachhaltiges, effizientes und sozial verträgliches Verkehrssystem sind also unbedingt weitere, systemische Transformationen notwendig. In der Schweiz wird das Auto auf absehbare Zeit der wichtigste Verkehrsträger bleiben.⁵⁴

Von allen Verkehrsmitteln ist es aber das ineffizienteste bezüglich Flächenbedarf und Energieverbrauch pro Personenkilometer. Im Hinblick auf mehr Energieeffizienz und Reduktion verkehrsbedingter Externalitäten stehen vor allem Verkehrsvermeidung und die Verlagerung auf nachhaltigere Verkehrsmodi im Vordergrund. Rebound-Effekte der

Elektromobilität sowie ein verändertes Arbeits- und Freizeitverhalten stellen den ÖV vor grosse Herausforderungen. Gleichzeitig wird seit einigen Jahren, durch die Pandemie noch verstärkt, ein regelrechter Velo-Boom festgestellt. Neben einem gesteigerten Bewusstsein für Nachhaltigkeit und der Freude an der Bewegung ist vor allem das E-Bike ein starker Treiber dieser Entwicklung. Ein nachhaltigeres Verkehrsverhalten mit gezielter Förderung der Aktivmobilität⁵⁵ und der erforderlichen Infrastruktur sowie vermehrter Nutzung von ÖV und Mikromobilität kann den Personenverkehr kostengünstiger und nachhaltiger transformieren als die Elektromobilität alleine.

Schnittstellen zu den anderen Schwerpunktthemen dieses Konzepts ergeben sich via Sektorenkopplung und der Integration ins Energiesystem, insbesondere der Elektromobilität als flexibler Verbraucher und Speicher. Dazu kommen der Einfluss von Verhaltensänderungen und regulatorischen Anpassungen (siehe Kap. [Energiesysteme](#)).

Ziele

In der langfristigen Klimastrategie der Schweiz sind sowohl für den Landverkehr, wie auch für die internationale Luftfahrt netto-null Treibhausgasemissionen als Ziel für 2050 festgelegt. Die Transformation der Luftfahrt ist eine globale Herausforderung und wird als solche auch international angegangen. Es herrscht weitgehender Konsens, dass der Betrieb mittelfristig auf 100% nachhaltige Treibstoffe (SAF, sustainable aviation fuels) umgestellt werden muss.⁵⁶

Der Landverkehr soll bis auf wenige Ausnahmen keine Treibhausgasemissionen mehr verursachen. In den EP2050+ wird in mehreren Szenarien aufgezeigt, wie dieses Ziel erreicht werden kann. Die Szenarien unterscheiden sich vor allem bezüglich des Grads der Elektrifizierung, resp. dem Anteil an synthetischen und biogenen Treibstoffen. Es zeichnet sich allerdings bereits ab, dass die Elektrifizierung im Strassenverkehr deutlich schneller zunimmt, als in den EP2050+ angenommen.⁵⁷ Bereits 2035 wird bei den Personenwagen mit einem Anteil von 60% elektrischen Fahrzeugen gerechnet. Damit erhöht sich zu diesem Zeitpunkt auch der Strombedarf für die Elektromobilität auf

rund 7 TWh. Der schnelle Ausbau der Ladeinfrastruktur und die umfassende Integration der Elektromobilität ins Energiesystem wird umso dringlicher. Der Strassenverkehr hatte 2021 einen Anteil von 97% an den Emissionen des Landverkehrs.⁴⁴ Mit den richtigen Massnahmen wird es also möglich, die lokalen Emissionen im Landverkehr bis bereits Mitte nächstes Jahrzehnt um mehr als die Hälfte zu reduzieren.

Die schnell fortschreitende Elektrifizierung stellt für den Aufbau der Ladeinfrastruktur eine grosse Herausforderung dar. Elektrofahrzeuge sind flexible Verbraucher mit substanzieller Speicherkapazität. Hier braucht es dringend praxistaugliche Lösungen, um die Elektromobilität netz- und systemdienlich sowie kosteneffizient ins Energiesystem einzubinden. Der nunmehr massive Einsatz von Batterien bedingt einen nochmals verstärkten Fokus auf deren ressourceneffiziente Herstellung, sowie Zweitnutzungen und Recycling. Bei den verbleibenden, schwer zu elektrifizierenden Anwendungen müssen mittelfristig klimaneutrale Alternativen, vornehmlich basierend auf biogenen und synthetischen Energieträgern, entwickelt werden.

In einer sich stetig ändernden Wohn- und Arbeitswelt verändern sich auch die Mobilitätsbedürfnisse. Insbesondere Homeoffice aber auch andere Formen der Digitalisierung und eine nachhaltige Raumplanung bieten Chancen zur Mobilitätsvermeidung. Durch neue Mobilitätsangebote und eine verbesserte Integration der Multimodalität soll der Anteil effizienter und nachhaltiger Verkehrsträger wie Bahn, Bus und Mikromobilität, aber auch aktiver Mobilität, substanziell erhöht werden. Es ist unabdingbar, neben Klima- und Effizienzzielen auch weitere Aspekte der Nachhaltigkeit zu berücksichtigen.

49 – Treibhausgasinventar der Schweiz, BAFU 2023: [Treibhausgasinventar der Schweiz \(admin.ch\)](#)

50 – BFE Gesamtenergiestatistik 2021

51 – Langfristige Klimastrategie der Schweiz, BAFU 2021

52 – Verständnis Ladeinfrastruktur 2050 – Wie lädt die Schweiz in Zukunft, BFE 2023

53 – [Net Zero by 2050 – Analysis - IEA](#): a roadmap for the global energy sector, IEA 2021

54 – [Verkehrsperspektiven 2050, ARE 2021](#)

55 – Mit aktiver Mobilität sind hier Fussverkehr und Fahrrad gemeint.

56 – Bericht des BAZL betreffend die Förderung der Entwicklung und des Einsatzes von nachhaltigen Flugtreibstoffen: [Klimaschutz in der Luftfahrt: BAZL zeigt in Bericht Bedeutung nachhaltiger Treibstoffe auf \(admin.ch\)](#)

57 – [Verständnis Ladeinfrastruktur 2050 \(laden-punkt.ch\)](#), BFE 2023

PRIORITÄTEN

Die äusserst dynamische Entwicklung der Mobilität in den letzten Jahren sowie die sich schnell ändernden Rahmenbedingungen erfordern eine erhöhte Flexibilität und Agilität der Forschenden. Dabei soll das langfristige Ziel einer emissionsfreien, nachhaltigen und sozialverträglichen Mobilität immer im Auge behalten werden. Die schnell fortschreitende Antriebswende erfordert eine rasche und adäquate Bereitstellung und Verteilung der erforderlichen [Energie](#). Hier besteht dringlicher Forschungs- und Handlungsbedarf. Gleichzeitig muss auf systemischer Ebene eine ganzheitliche Transformation des Verkehrssystems vorangetrieben werden. Der Grundsatz «avoid-shift-improve», also vermeiden-verlagern-verbessern, für eine ganzheitliche Mobilitätsstrategie gilt unverändert.

Energiebereitstellung und umfassende Systemintegration

Die schnell voranschreitende Elektrifizierung des Strassenverkehrs darf nicht durch eine unzureichende Ladeinfrastruktur oder Energiebereitstellung behindert werden. Der zunehmende Anteil an Photovoltaik und weiteren intermittierenden Erneuerbaren erfordert eine höhere Flexibilität der Verbraucher. Die bidirektionale Einbindung von Elektromobilen ins Stromnetz (vehicle-to-grid, V2G) ermöglicht flexibles Laden sowie Rückspeisung der Energie ins Netz. Im Sinne der Netzkonvergenz soll die Elektromobilität so eingebunden werden, dass der Netzausbau minimiert werden kann. Das heisst insbesondere, dass zum Laden lokale, erneuerbare Energie genutzt wird und ein Teil der Fahrzeugbatterie auch als Speicher zur Verfügung steht, um den Eigenverbrauch von Gebäuden, Arealen und Energiegemeinschaften zu erhöhen. Noch fehlen prakti-

kable und effiziente technische Lösungen und funktionierende Geschäftsmodelle hierfür.

Eine netz- und systemdienliche Einbindung der Elektromobilität soll die Stabilität und Flexibilität des Stromnetzes insgesamt erhöhen und dank Zwischenspeicherung auch eine optimale Einbindung von Erneuerbaren, insbesondere Photovoltaik, ermöglichen. Fahrzeuge im Privatbesitz eignen sich aufgrund der geringen Tagesdistanzen besonders für V2G. Das setzt allerdings eine möglichst lange Netzanbindung und die Delegation eines Teils der Kontrolle über das Fahrzeug an eine externe Instanz voraus. Diese Nutzenerweiterung des Fahrzeugs muss so gestaltet werden, dass sie für die Fahrzeugbesitzenden attraktiv wird. Deutlich anspruchsvoller ist das Lademanagement von Nutzfahrzeugen (Lastwagen und Busse). Reichweite und Leistung entsprechen hier typischerweise dem Einsatzprofil. Hier müssen Ladestrategien entwickelt werden, bei denen operativer Betrieb, Batteriekapazität und Verfügbarkeit von Energie optimal abgestimmt sind. Im künftigen Transportsystem spielen Batterien eine zentrale Rolle. Deren Produktion ist für einen Grossteil der mit der Herstellung von Elektrofahrzeugen verbundenen Emissionen verantwortlich. Eine nachhaltigere Produktion sowie die Wiederverwendung von Batterien und Komponenten (2nd Life, Recycling) sind im Sinne einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft unabdingbar.

Letztendlich gilt es auch die Transformation der schwer zu elektrifizierenden Bereiche, insbesondere Luftfahrt und Hochseeschifffahrt, aber auch von Spezialfahrzeugen, voranzutreiben, um die Emissionsziele zu erreichen. Hier gelten insbesondere Wasserstoff und dessen Vektorprodukte (Ammoniak, Methanol) sowie nachhaltige Treibstoffe auf synthetischer oder biogener Basis als aus-

sichtsreich. Deren Einsatz soll unter technologischen, wie auch [systemischen](#) und [wirtschaftlichen](#) Aspekten untersucht werden.

Fahrzeugentwicklung und Optimierung

Mit Marktreife der Elektromobilität schreitet auch deren industrielle Weiterentwicklung schnell voran. Optimierungsbedarf gibt es hier vor allem noch für Ladetechnologien, Leistungselektronik, Batteriespeicher sowie bezüglich des Verbrauchs von Nebenaggregaten, vornehmlich der Klimatisierung. Im Zusammenhang mit urbaner Mobilität besteht durchaus Potenzial für neuartige Formen effizienter Mikromobilität, sowie für (teil)autonome elektrische Fahrzeuge. In der Landwirtschaft sowie im Bausektor gibt es zahlreiche spezifische Anwendung, für die nachhaltige Antriebstechnologien entwickelt werden müssen. Neben einer direkten Elektrifizierung soll hier auch der Einsatz von nachhaltigen Treibstoffen geprüft werden.

Das Verkehrssystem als Ganzes

In einem modernen Verkehrssystem stehen sowohl im Güter- wie auch im Personenverkehr je nach Reisezweck und Route verschiedene Verkehrswerkzeuge zur Verfügung. Ein derart komplexes System bedarf eine fortlaufende gesamtheitliche Optimierung bezüglich wichtiger Parameter wie Emissionen, Energieverbrauch, Erreichbarkeit, Komfort aber auch Resilienz. Dabei muss auch einer sich ändernden Verkehrsnachfrage und Verfügbarkeit von Energieträgern und Verkehrsmitteln Rechnung getragen werden.

Im Personenverkehr stellt das Auto nach wie vor in vielen Fällen das komfortabelste und schnellste Verkehrsmittel dar. Durch die Elektromobilität und zunehmende Automatisierung wird die Attraktivität des Autos noch erhöht. Aufgrund der hohen externen Kosten des Individualverkehrs ist eine Verlagerung auf nachhaltigere Verkehrsmittel aus ökologischer und gesellschaftlicher Perspek-

tive wünschenswert. Neue Geschäftsmodelle und Mobilitätsangebote, insbesondere geteilte Mobilität und MaaS (Mobility as a Service) könnten vermehrt attraktive Alternativen zum Automobilbesitz darstellen. Die umfassende Verfügbarkeit von Mobilitätsdaten ermöglicht den kombinierten und effizienten Gebrauch verschiedener Verkehrsträger im Sinne der multimodalen Mobilität. Neue Formen der Mikromobilität und das E-Bike ermöglichen eine effiziente Erschließung der «letzten Meile» und die Anbindung an Mobilitäts-Hubs. Sowohl gesellschaftliche Veränderungen, insbesondere neue flexible Arbeitsformen, aber auch ein verändertes Freizeitverhalten beeinflussen das Mobilitätsverhalten. Der Mobilitätsbedarf kann auch durch raumplanerische Massnahmen massgeblich beeinflusst werden, als Beispiele seien hier die 15-Minuten Stadt und «induzierte Mobilität» genannt.

In einer gesamtheitlichen Betrachtung muss auch der Güterverkehr berücksichtigt werden, da sich dieser in vielen Fällen die Verkehrsinfrastruktur mit dem Personenverkehr teilt. Im Strassengüterverkehr zeichnet sich insbesondere in der Schweiz eine schnelle Elektrifizierung ab. Zusammen mit einer effizienten urbanen Logistik und neuen Formen des unbegleiteten kombinierten Verkehrs unter Einbezug der Schiene ergeben sich hier neue multi- und intermodale Ansätze. Für klare Entscheidungsgrundlagen bedarf es der periodischen Bewertung der Auswirkungen von neuen Technologien und ganzheitlichen Verkehrskonzepten im Hinblick auf deren ökonomischen Chancen und ökologischen Auswirkungen.

Mensch, Markt und Politik

Das Verhalten der Akteure im Personen- und Güterverkehr unterscheidet sich grundsätzlich. Der Güterverkehr ist stark kostengetrieben und rational gesteuert. Entsprechend

kann hier die Transformation durch kosteneffiziente Verkehrsträger und regulatorische Rahmenbedingungen (LSVA, road-pricing) gesteuert werden. Im Zusammenspiel mit neuen Technologien, insbesondere (teil) autonomen Fahrzeugen und dem sich gesamthaft verändernden Verkehrssystem können sich neue Chancen ergeben. Im Güterverkehr zu beachten sind die hohen Investitionskosten und zum Teil langen Lebenszyklen.

Im Gegensatz zum Güterverkehr handeln die Individuen im Personenverkehr nur begrenzt rational. Ein detailliertes Verständnis der individuellen Bedürfnisse und des sich ändernden Mobilitätsverhalten ist unabdingbar, um Entscheidung bezüglich Verkehrsmittelwahl in Richtung nachhaltige Mobilität zu lenken. Dabei gilt es auch gesellschaftliche Trends und die fortschreitende Urbanisierung zu beachten. Elektromobilität und das aufkommende autonome

Fahren bergen ein grosses Potenzial für Rebound-Effekte. Diese gilt es frühzeitig zu identifizieren und allenfalls mit geeigneten Massnahmen zu begegnen. Die Erosion der Mineralölsteuer erfordert eine grundsätzliche Neufinanzierung der Verkehrsinfrastruktur, beispielsweise in Richtung «Road- oder Mobility-Pricing». Auch im ÖV sollen durch geeignete Tarifsysteme die Nachfrage besser verteilt und die hohen Investitions- und Betriebskosten ausgeglichen werden. Forschungsbedarf besteht hier im Hinblick auf Akzeptanz und Wirkung derartiger regulatorischer Massnahmen, auch im Zusammenhang mit der Schaffung neuer Anreize.

Im Hinblick auf die Einbindung der Elektromobilität als flexibler Speicher in den Energiemarkt muss untersucht werden, ob Anpassungen der Regulierung oder des Marktdesigns notwendig sind, um neue, nachhaltige Geschäftsmodelle rentabel zu machen.

PRIORITÄRE FORSCHUNGSTHEMEN 2025–2028

Energiebereitstellung, -umwandlung, -verbrauch und Systemintegration

- Optimale Nutzung/Integration erneuerbarer Energieträger
- Flexible und effiziente Systemintegration der Mobilität
- Ladeinfrastruktur, bidirektionales Laden, Nutzung Flexibilität und Speicherung
- Anforderung an Netzausbau – Netzkongvergenz
- Nachhaltigkeit von Rohstoffen und Ressourcen für die Mobilität, Kreislaufwirtschaft
- Erhöhte Effizienz des Antriebs und der Energieverteilung/-speicherung
- Erhöhte Effizienz der Nebenaggregate und weiterer Komponenten, Aerodynamik und Gewichtsreduzierung
- Nachhaltige, biogene und synthetische Treibstoffe: Produktion, Einsatz,?

Mobilitätssystem: Konzepte, Analysen

- Einfluss neuer Technologien und Angebote im Gesamtsystem
- Modellierung/Optimierung des Gesamtsystems, unter Berücksichtigung der Verfügbarkeit verschiedener Energieträger und weitere Ressourcen
- Erhöhung der Attraktivität nachhaltiger Verkehrsmittel: aktive Mobilität und ÖV, sowie deren raumplanerische Priorisierung
- Effiziente Logistik: neue Konzepte, inter- und multimodaler Güterverkehr
- Ganzheitliches und umfassendes Assessment des Transportsystems, sowie verschiedener Verkehrs- und Energieträger, sowohl technoökonomisch, aber auch in Bezug auf Nachhaltigkeit und Sozialverträglichkeit.

Mensch, Markt und Politik

- Verständnis individuelle Mobilitätsbedürfnisse, Mobilitätsverhalten und Verkehrsmittelwahl
- Zusammenspiel mit sich wandelndem Mobilitätsangebot und Ausbau der Infrastruktur (Rebound-Effekte)
- Mobility-Pricing, dynamische Tarife: Akzeptanz, Incentives, Möglichkeiten, Auswirkungen und Kosten

INDUSTRIELLE PROZESSE

«Industrielle Prozesse werden Säulen einer Kreislaufwirtschaft, in der Produkte und Dienstleistungen über den gesamten Lebenszyklus hinweg keine Fussabdrücke von Energie, Materialien und Emissionen hinterlassen. Die Forschung ermöglicht das Entwickeln innovativer Prozesstechnologien und intelligenter Managementpraktiken, welche die industrielle Ressourceneffizienz so weit vorantreiben, dass der verbleibende Energiebedarf aus erneuerbaren Quellen abgedeckt und das Netto-Null Klimaziel⁵⁸ der Schweiz erreicht wird.»

Klimaschutz

Die langfristige Klimastrategie der Schweiz setzt dem Industriesektor ein ambitioniertes Ziel: Seine THG Emissionen sollen im Jahr 2050 um 90% gegenüber dem Referenzwert von 13.6 Millionen Tonnen CO₂ Äquivalenten (Mt CO₂eq) aus dem Jahr 1990 reduziert sein. In der Abstimmung zum Bundesgesetz über die Ziele im Klimaschutz, die Innovation und die Stärkung der Energiesicherheit (indirekter Gegenvorschlag zur Gletscher-Initiative) am 18. Juni 2023 bestätigten die Schweizer Stimmberechtigten diese Vorgaben und verlangen, dass alle Unternehmen im Jahr 2050 Netto-Null-Emissionen aufweisen. Dazu stellt das Gesetz den Unternehmen Finanzhilfen für die Anwendung neuartiger Technologien und Prozesse in Aussicht. Zugleich wird der Bund verpflichtet, Risiken von Investitionen in öffentliche Infrastrukturbauten abzusichern, die für die Erreichung des Netto-Null-Ziels notwendig sind.

Der Handlungsdruck ist enorm, denn die zuletzt berichteten Werte aus dem Jahr 2021⁵⁹ liegen noch weit von diesem Ziel entfernt: Im Jahr 2021 stiess der Sektor 10.7 Mt CO₂eq aus, was 23.6% der gesamten schweizerischen THG Emissionen ent-

sprach. Davon entfielen 2.9 Mt CO₂eq auf die Abfallverbrennung, der Rest auf Industrieanlagen und zu einem geringen Anteil auf Industrie- und Baumaschinen. Mit 73% war der Grossteil der industriellen THG Emissionen auf fossile Energieträger zurückzuführen.

Hier sind Energieeffizienz und der Einsatz erneuerbarer Energien zentrale Hebel zur THG Emissionsreduktion. Bei prozessbedingten CO₂ Emissionen, die zwangsläufig in chemischen Reaktionen wie bspw. in der Zementherstellung freigesetzt werden, greifen diese Ansätze jedoch nicht. An grossen industriellen Punktquellen ist die direkte Abscheidung von CO₂ zur weiteren Verwendung oder langfristigen Speicherung (Carbon capture and utilization or storage, CCUS) gefordert. Aufgrund des hohen Aufwandes zur Abscheidung und der begrenzten Kapazitäten für die Speicherung von CO₂ müssen diese technischen Ansätze für schwer vermeidbare THG Emissionen reserviert bleiben. Wo sie nicht in Frage kommen, bleiben naturbasierte Negativemissionstechnologien (NET) die letzte Option zur Kompensation der verbleibenden THG Emissionen.

Kreislaufwirtschaft

In der Kreislaufwirtschaft⁶⁰ werden Produkte und Materialien im Umlauf gehalten, um Umweltbelastungen und den Verbrauch begrenzter Primärrohstoffe möglichst niedrig zu halten. Zur Orientierung dient die häufig als «10R» zusammengefasste Hierarchie von Prinzipien: «Refuse – Rethink – Reduce» für Effizienz in Produktdesign und Herstellung, «Reuse – Repair – Refurbish – Remanufacture – Repurpose» zur Verlängerung der Lebensdauer im Gebrauch von Produkten und «Recycle – Recover» zur stofflichen bzw. energetischen Wiederverwendung am Ende des Produktlebens.

Als Faustregel gilt, dass Massnahmen zur Erhöhung der Ressourceneffizienz sich zugleich positiv auf die Energieeffizienz auswirken, weil geringere Materialmengen verarbeitet, transportiert und gelagert werden müssen. Beim Schliessen von Stoffkreisläufen kommt es darauf an, dass der Aufwand für das Recycling geringer ist als der Aufwand für die Produktion aus frischem Material. Zur Kreislaufwirtschaft gehört auch der Einsatz erneuerbarer Energie. Die Energie soll so effizient und sparsam wie möglich verwendet werden, denn auch die Bereitstellung von erneuerbarer Energie verbraucht natürliche Ressourcen. Gleiches gilt für die Bereitstellung nachwachsender Rohstoffe oder CO₂ aus Abscheideanlagen.

Letztendlich sind ganzheitliche Ökobilanzen unverzichtbar um die vorteilhaftesten Optionen von Produktdesign, Herstellung, Nutzung und Entsorgung zu identifizieren.

58 – <https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/klima/fachinfo-daten/langfristige-klimastrategie-der-schweiz.pdf>

59 – <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/zustand/daten/treibhausgasinventar.html>

60 – <https://circular-economy-switzerland.ch/wp-content/uploads/2022/11/Nachhaltige-Kreislaufwirtschaft-als-Schluesselement-zu-Netto-Null.pdf>

PRIORITÄTEN

Die Energieperspektiven 2050+⁶¹ beschreiben Transformationspfade, auf denen das Netto-Null Ziel der Langfristigen Klimastrategie mit bereits heute bekannten Technologien erreicht werden kann. Weitere Innovationen sollen die Umstellung rascher, effizienter und sozial verträglicher voranbringen.

Die Transformation zu einer klimafreundlichen Kreislaufwirtschaft bietet der Industrie mit neuen Produkten, Geschäftsmodellen und Märkten vielversprechende Möglichkeiten. Der Erfolg produzierender Unternehmen steht und fällt mit sicherer Energieversorgung und resilienten Lieferketten. Lange Planungszyklen und hohe Investitionskosten in der Industrie erfordern stabile, vorhersehbare Rahmenbedingungen. Im Kapitel [«Wirtschaft, Gesellschaft und Politikmassnahmen»](#) werden Forschungsprioritäten zu unternehmerischen Entscheiden, zur Gestaltung von adäquaten Rahmenbedingungen für Innovation und Investitionen, sowie zu den Auswirkungen von energie- und klimapolitischen auf die Wettbewerbsfähigkeit formuliert, während in den folgenden Abschnitten dieses Kapitels der Fokus auf Technologieinnovationen liegt. Die Reihenfolge der Abschnitte spiegelt die Hierarchie der Massnahmen wider: Effizienz vor Substitution vor NET Technologien.

Effizienz

Die Kreislaufwirtschaft mit ihren Geboten zu sparsamem Verbrauch und langlebigen Gütern bietet vielfältigen Nutzen: Einsparung von Energie, Material, Betriebskosten, Umweltbelastung etc. und lässt sich auf allen Ebenen industrieller Systeme verwirklichen: Anlagen, Geräte und ihre Komponenten ebenso wie Prozessschritte, Fertigungslinien, Standorte und Lieferketten. Bislang ist das Effizienzpotential industrieller Prozesse noch bei weitem nicht ausgeschöpft. Gesucht sind disruptive Innovationen für neue Prozesse ebenso wie pragmatische, einfach umzusetzenden Lösungen zum Nachrüsten bestehender Prozesse.

Substitution

Der nach Effizienzsteigerungen verbleibende Energiebedarf soll aus erneuerbaren Quellen abgedeckt werden. Dabei können industrielle Betriebe mit Anlagen bspw. für Photovoltaik, Solarthermie, Geoenergie oder Bioenergie mit Wärme-Kraft-Kopplung am eigenen Standort einen direkten Beitrag leisten. Die Elektrifizierung der Bereitstellung von Wärme und Kälte mittels Wärmepumpen ermöglicht es, Prozesswärme bis zu 200 °C aus Abwärme und Umgebungswärme bereitzustellen. Bisher gibt es jedoch noch wenig Erfahrung mit der Einbindung fluktuierender erneuerbarer Wärmequellen in Produktionsprozessen. Zudem erfordern anstehende Einschränkungen bei der Verwendung synthetischer Kältemittel neue Lösungen. Um den Einsatzbereich erneuerbarer Wärmequellen weiter auszuweiten, sind innovative Energiespeichertechnologien und alternative Prozessrouten auf niedrigerem Temperaturniveau gesucht.

Fossilfreie Brennstoffe aus Biomasse oder synthetischen Gasen sind knapp und wertvoll. Daher sollen sie sehr gezielt nur dort eingesetzt werden, wo praktikable Alternativen fehlen. Demnach sollen sie im Industriesektor den Hochtemperaturprozessen vorbehalten bleiben, weil diese schwer zu elektrifizieren sind. Um die Nachhaltigkeit, Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit dieser chemischen Energieträger soweit zu verbessern, dass sie ihre fossilen Vorgänger im industriellen Massstab als Brenn- und Grundstoffe verdrängen können, bedarf es noch grosser Innovationsschübe.

CO₂ Abscheidung direkt am Industriestandort bietet je nach fossilen, geogenen oder biogenen Ursprung der CO₂ Moleküle die Möglichkeit, THG Emissionen in der Atmosphäre zu vermindern, wenn nicht sogar negative THG Emissionen zu erzeugen. Die bisher etablierten Abscheideverfahren an

Punktquellen oder aus der Atmosphäre erfordern allerdings einen hohen energetischen und finanziellen Aufwand. Signifikante Verbesserungen in diesem Bereich hätten positive Auswirkungen auf die THG Einsparungen im gesamten Energiesystem.

Weil der Aufbau neuer Moleküle aus dem abgeschiedenen CO₂ thermodynamisch ungünstig ist, sind disruptive Innovationen nötig, die Ausbeute und Produktivität dieser Umwandlungen bis zur wirtschaftlichen Machbarkeit zu steigern. Auch bei anderen CCU Prozessen wie beispielsweise der beschleunigten Mineralisierung (Karbonatisierung) von Baumaterialien gibt es noch Innovationsbedarf zur Verbesserung der Konkurrenzfähigkeit gegenüber konventionellen Produkten mit höherem THG Fussabdruck. Ähnlicher Konkurrenzdruck in Hinsicht auf Qualität, Preis und Nachhaltigkeit besteht für biobasierte Materialien und Sekundärrohstoffe aus Recycling Prozessen.

Flexibilität

Immer dann, wenn Energieträger oder Materialien substituiert werden, müssen Lieferketten umgestaltet werden. Damit der störungsfreie Betrieb industrieller Prozesse auch in einer Kreislaufwirtschaft mit erneuerbarer Energie und Sekundärrohstoffen aus kleineren, dezentralen Anlagen gewährleistet bleibt, müssen die neuen Lieferketten mit zeitlich variabler Energieversorgung und schwankender Qualität von Einsatzstoffen umgehen können. Daraus ergeben sich anspruchsvolle Aufgaben nicht nur in Logistik und Beschaffung, sondern auch in der Technologieentwicklung für industrielle Anlagen und Infrastrukturen.

Im Kapitel [«Energiesysteme»](#) sind Lösungsansätze auf der Basis von Sektorkopplung beschrieben. In der Industrie ist insbesondere die Verknüpfung von Elektrizität, Wärme und Kälte notwendig. In diesen

Bereichen können industrielle Prozesse sowohl als Verbraucher wie auch als Produzenten auftreten. Damit sie diese «Prosumer» Rolle systemdienlich ausspielen können, bedarf es grosser Speicher mit hoher Be- und Entladekapazität sowie intelligenter Konzepte zur Steuerung des industriellen Energieverbrauchs unter gleichzeitiger Gewährleistung der Produktionssicherheit. Ein weiterer Freiheitsgrad im Abgleich von Erzeugung, Verbrauch und Speicherung entsteht, wenn chemische Energieträger (bspw. Wasserstoff H₂, Methan CH₄, Methanol CH₃OH, Ammoniak NH₃) zugleich als Grundstoffe für die in der Schweiz bedeutsamen chemischen und pharmazeutischen Industriezweige dienen.

Integration

Auf jeder Ebene des Energiesystems können aus der intelligenten Integration industrieller Prozesse Synergien entstehen. Zugleich schafft die mit der Integration verbundene zusätzliche Komplexität aber auch neue Herausforderungen. Modelle, Analysen, Simulationen und Szenarien auf den verschiedenen Systemebenen sollen dabei helfen, die Zusammenhänge zu erklären und Synergien wie Risiken klarer aufzuzeigen.

Die Prozessintegration zielt auf den ökonomisch sinnvollen Austausch und die Kaskadennutzung von Stoff- und Energieflüssen ab und ist somit eine zentrale Voraussetzung für die Kreislaufwirtschaft. Die Forschung soll dabei die wissenschaftliche Grundlage für die Technologien und Instrumente schaffen, die bei Entwicklung, Bewirtschaftung und Betrieb hochintegrierter industrieller Systeme erforderlich sind. Wichtig ist dabei, das Gesamtbild nicht aus den Augen zu verlieren, insbesondere damit knappe und begehrte Ressourcen wie einheimische Biomasse oder temporäre Überschüsse der Photovoltaik Produktion nicht mehrfach verplant werden.

Industrielle Symbiosekonzepte auf Standortebene sollen Synergien aus der Vernetzung von Prozessen, der Kopplung von Material- und Abfallwirtschaft und der lokalen Nutzung erneuerbarer Energieressourcen aufzeigen. Bioraffinerien für die Koproduktion von Materialien, Brenn- und Treibstoffen, Wärme, Strom und Negativemissionen sind ein Paradebeispiel für diesen Ansatz. Ob und wie weit sich die Symbiose über den unmittelbaren Industrie-Cluster ausdehnen lässt, wird stark vom Zugang zu CCUS und Multi-Energie Infrastrukturen abhängen. Daher sollten industrielle Symbiosemodelle so konzipiert sein, dass sie auch für die Planung neuer Infrastrukturen wie Netze und Speicher für CO₂, Wasserstoff oder andere chemische Energieträger nützlich sind.

Wegen der langen Investitionszyklen in der Industrie ist umsichtige Planung angesagt. Modelle und Szenarien von der Ebene des Energiesystems bis hinunter zu einzelnen industriellen Prozessen können wertvolle Entscheidungshilfen für Unternehmen und Akteure in ihrem Umfeld schaffen. Dabei bietet die Digitalisierung grosse Chancen zur datenbasierten Planung, Überwachung, Steuerung und Optimierung industrieller Wertschöpfungsketten. Umso früher solche Methoden in Innovationsprozesse integriert werden, desto zielgerichteter können technische Entwicklungen an Kriterien von Performance und allen Dimensionen der Nachhaltigkeit ausgerichtet werden.

61 – <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/politik/energieperspektiven-2050-plus.html>

PRIORITÄRE FORSCHUNGSTHEMEN 2025–2028

Materialien und Produkte in geschlossenen Ressourcenkreisläufen

- Materialien und Produktdesign für verlängerte Lebensdauer und integriertes End-of-Life-Management
- Effiziente Verfahren zur Aufarbeitung oder Wiederaufbereitung von Produkten, zum Recycling von Materialien und zur Behandlung von Restabfällen im geeigneten Massstab
- Substitution von fossilen Rohstoffen durch biobasierte oder recycelte Materialien
- Nachhaltige Verfahren zum Schliessen des Kohlenstoffkreislaufes über die Abscheidung und Nutzung von CO₂
- Ansätze zum Geräte- und Produktmanagement gemäss den Prinzipien der Kreislaufwirtschaft

Innovative, optimierte Produktionsprozesse

- Prozessintensivierung zur effizienteren Nutzung von Energie und anderen Ressourcen
- Fortschrittliche Trennverfahren mit hoher Ausbeute und Selektivität bei minimalem Energieeinsatz
- Elektrifizierung der Prozesswärme, insbesondere über flexible Hochtemperaturwärmepumpen mit natürlichen Kältemitteln
- Flexible Prozessdesigns zur Anpassung an die Variabilität und Heterogenität von Materialströmen aus der Kreislaufwirtschaft
- Integration von fluktuierenden erneuerbaren Energiequellen mit Speichern auf Prozess- und Standortebene
- Überwachung, Steuerung und Optimierung für Effizienz, Flexibilität und Resilienz in hochintegrierten Prozessen
- Konzepte zum Überwinden hartnäckiger Hindernisse, die energieoptimierter Produktionsplanung und Betrieb entgegenstehen
- Pragmatische Lösungen zur Nachrüstung von Produktionsanlagen, Apparaten und Komponenten für verbesserte Energieeffizienz und längere Lebensdauer

Systemperspektiven in Planung und Entwicklung

- Industrielle Symbiose zur Verringerung und Flexibilisierung des Energiebedarfs und zur Schaffung neuer Geschäftsfelder durch den lokalen Austausch von Wärme, Strom, Materialressourcen und Ausrüstung;
- Integration prädiktiver LCA-Methoden in Produktdesign und Prozessentwicklung zur Förderung der Energie- und Ressourceneffizienz über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg;
- Generische Prozessmodelle und virtuelle Produktionsanlagen für ganzheitliche Szenario Analysen in frühen Entwicklungs- und Planungsphasen;
- Multikriterien-Optimierungsmethoden zur Beschleunigung der Entwicklung von Prozessen mit besseren Ergebnissen in allen Aspekten der Nachhaltigkeit;
- Wissenschaftsbasierte Design- und Optimierungsmethoden zur Evaluation integrierter Prozessnetzwerke auf Standort- und Lieferkettenebene;
- Praktische Werkzeuge zur Entwicklung und zum Vergleich von Transformationspfaden in Richtung Netto-Null-Ziele auf Werks- und Standortebene

GRUNDSÄTZE DER ENERGIEFORSCHUNG

Primär soll im Bereich Energie die anwendungsorientierte Forschung gefördert werden. Den Vorrang sollen Forschungsgebiete haben, die eine hohe Wertschöpfung für die Schweiz und einen nachhaltigen Beitrag zur nationalen Versorgungssicherheit erwarten lassen. Die Energieforschung soll so einen wesentlichen Beitrag zur Umsetzung der nationalen Energiestrategie 2050, der Nachhaltigkeitsstrategie ([siehe S. 48](#)) und der Einhaltung der Klimaziele liefern. Auch bei der Erforschung spezifischer Fragestellungen ist eine ganzheitliche Betrachtung anzustreben und der Lösungsansatz am Beitrag zum Energiesystem und den zuvor genannten Zielen zu messen.

Das vorliegende Konzept enthält auch Empfehlungen für Energieforschung, die nicht in direktem Zusammenhang mit diesen Zielen stehen. Voraussetzung dafür ist die hohe Qualität der Forschung, die international eingebunden und konkurrenzfähig sein muss. Das starke Engagement der öffentlichen Hand bei der Vernetzung von Forschungsinstitutionen, der Identifizierung wichtiger zukünftiger Technologiegebiete, der Förderung der internationalen wissenschaftlichen Zusammenarbeit und der Zusammenarbeit von Hochschulen und Wirtschaft ist für die Umsetzung der Forschungsergebnisse zentral und soll weitergeführt werden. Eine effiziente und zielgerichtete Umsetzung wird gefördert durch eine wirtschaftsfreundliche Regelung des mit öffentlichen Fördermitteln erarbeiteten geistigen Eigentums wie beispielsweise Patente oder Lizenzen.

Uneingeschränkter Zugang zu Publikationen und Daten

Die bisherigen Bestrebungen alle Veröffentlichungen, die ganz oder teilweise mit öffent-

lichen Fördermitteln finanziert wurden, frei zugänglich zu machen, sollen weiter verstärkt werden. Die vorbildliche Open Access Strategie des SNF kann weiteren Förderinstanzen als Richtschnur dienen, da auch der Zugang zu Veröffentlichungen in Journalen gesichert wird. Weit schwieriger als der Zugang zu Veröffentlichungen ist der freie Zugang der Forschenden zu Daten zu bewerkstelligen. Hier regt die CORE eine Diskussion zwischen den Datenerhebenden und den Forschenden an. Es soll ein bestmöglicher Kompromiss zwischen dem nötigen Datenschutz und der wünschenswerten freien Datenverfügbarkeit gefunden werden. Generell empfiehlt die CORE die Unterstützung der Erhebung guter und bisher nicht systematisch erhobener Daten; besonders wertvoll sind langfristige Datenreihen von mehr als 30 Jahren.

Koordination zwischen den Förderorganisationen

Eine gute Koordination zwischen den verschiedenen Förderinstitutionen der Schweiz erhöht deren Wirksamkeit. Eine Verbesserung wurde in der letzten Tiefenprüfung der Schweiz von der IEA⁶² empfohlen. Eine frühzeitige, gegenseitige Informierung zwischen den Förderagenturen, ist auch im Bundesgesetz über die Förderung der Forschung und Innovation FIG⁶³ vorgesehen ([siehe S. 54, Nationale Akteure und Schnittstellen](#)). Gerade bei geplanten Ausschreibungen ist dies besonders wichtig.

Nachhaltigkeitsstrategie

In seiner Strategie Nachhaltige Entwicklung 2030 (SNE 2030⁶⁴) zeigt der Bundesrat auf, welche Schwerpunkte er für die Umsetzung der «Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung» in den nächsten zehn Jahren setzen will und hat drei Schwerpunkte festgelegt:

— **1. Nachhaltiger Konsum und nachhaltige Produktion:** Nachhaltige Konsummuster fördern und ermöglichen, Wohlstand und Wohlergehen unter Schonung der natürlichen Ressourcen sichern, die Transformation hin zu nachhaltigen Ernährungssystemen im In- und Ausland vorantreiben, Unternehmensverantwortung im In- und Ausland stärken.

— **2. Klima, Energie und Biodiversität:** Treibhausgasemissionen reduzieren und klimabedingte Auswirkungen bewältigen, den Energieverbrauch senken, Energie effizienter nutzen und erneuerbare Energien ausbauen, biologische Vielfalt erhalten, nachhaltig nutzen, fördern und wiederherstellen.

— **3. Chancengleichheit und sozialer Zusammenhalt:** Die Selbstbestimmung jeder und jedes Einzelnen fördern, den sozialen Zusammenhalt sicherstellen, die tatsächliche Gleichstellung von Frau und Mann gewährleisten.

Alle drei Schwerpunkte betreffen die Energieforschung, am direktesten der 2. Schwerpunkt. In der SNE 2030 sind die Wechselwirkungen und die gegenseitige Beeinflussung der Bereiche Klima, Energie und Biodiversität genauer dargelegt und der transparente Umgang mit Zielkonflikten wird gefordert; gerade hier kann die Energieforschung entscheidende Beiträge liefern:

Ressourcen: Als zentrale Elemente der Energieforschung sind neue und verbesserte Technologien und Erkenntnisse zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz und der vermehrte Einsatz erneuerbarer Energie. Produktionskreisläufe sind soweit wie möglich zu schliessen, schädliche Emissionen zu vermeiden und die Kreislaufwirtschaft anzustreben.

Energieinfrastrukturen: Abschätzungen zur Auslegung, zu nötigen Anreizen und möglichen Hindernisse für Investitionen in neue Energieinfrastruktur entwickeln (Energiegewinnung nur Erneuerbar). Entwicklung von Strategien zur Steigerung der Attraktivität solcher Investitionen helfen, diese zu hin zur Nachhaltigkeit zu optimieren.

Technik: Bei allen technischen Lösungen, die der Energiebereitstellung, -umwandlung, -speicherung und -nutzung dienen, wird die grösstmögliche, nachhaltige – ökologisch, ökonomisch, sozial – Annäherung an das jeweilige technische Potenzial angestrebt.

Ökonomie und Volkswirtschaft: Das Energieforschungskonzept zielt darauf ab, die Versorgungssicherheit der Schweiz zu erhalten, zu verbessern und langfristig zu sichern, Wertschöpfung in Form von Arbeitsplätzen, Know-how oder neuen marktfähigen Produkten für das Land zu generieren und die Konkurrenzfähigkeit der Schweiz international zu erhalten und zu steigern sowie ihre Wertigkeit für die Zusammenarbeit zu erhalten.

Gesellschaft: Es sind Fragen zu gesellschaftlichen Bedürfnissen und zu Politikmassnahmen zu beantworten, die eine Umwandlung des Energiesektors ermöglichen. Dabei werden beispielsweise soziologische, psychologische sowie politologische Fragestellungen der Energiebereitstellung, -umwandlung, -speicherung und -nutzung untersucht. Und nicht zuletzt soll die Energieforschung zum Verständnis beitragen, dass sich weder eine nationale Energiepolitik noch eine globale Klimapolitik mit technischen Massnahmen allein umsetzen lässt. Im Interesse einer nachhaltigen Energienutzung sind Verhaltensänderungen erforderlich.

62 – <https://www.iea.org/reports/switzerland-2023>

63 – SR 420.1 - Bundesgesetz vom 14. Dezember 2012 über die Förderung der Forschung und der Innovation (FIFG) (admin.ch)

64 – <https://www.eda.admin.ch/agenda2030/de/home/strategie/strategie-nachhaltige-entwicklung.html>
<https://www.eda.admin.ch/agenda2030/de/home/strategie/strategie-nachhaltige-entwicklung.html>

UMSETZUNG IM BFE

FORSCHUNGSPROGRAMME

Die Forschungsprogramme des BFE sind in die drei Bereiche «Energieeffizienz», «Erneuerbare Energie» und «Geistes- und sozialwissenschaftliche Fragestellungen» gruppiert. Weitere Förderinstrumente des BFE sind das Pilot- und Demonstrationsprogramm ([siehe S. 50](#)) sowie das Forschungsförderungsinstrument SWEET ([siehe S. 50](#)). Die Förderung des BFE richtet sich nach den «Grundsätzen der Energieforschung» sowie der Vollzugsweisung⁶⁵.

«Effizienz»

- Gebäude und Städte
- Mobilität
- Elektrizitätstechnologien
- Netze
- Wärmepumpen und Kältetechnik
- Verbrennungsbasierte Energiesysteme
- Brennstoffzellen
- Industrielle Prozesse
- Batterien

«Erneuerbare Energien»

- Solarthermie und Wärmespeicherung
 - Photovoltaik
 - Solare Hochtemperaturrenergie
 - Wasserstoff
 - Bioenergie
 - Wasserkraft
 - Geoenergie
 - Windenergie
 - Stauanlagensicherheit
- ### «Gesellschaft und Wirtschaft»
- Energie – Wirtschaft – Gesellschaft (EWG)

Detaillierte Angaben zu den einzelnen Forschungsprogrammen und den jeweiligen Forschungsschwerpunkten, die sich an diesem Konzept ausrichten, finden sich auf der Website des BFE. Dort sind auch die jeweiligen Kontaktpersonen aufgeführt.

Alle Kriterien zur Förderung finden sich in der Vollzugsweisung unter www.energieforschung.ch

65 – <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/forschung-und-cleantech/forschungsprogramme.html/>

Pilot- und Demonstrationsprojekte

Die Erprobung von technischen Innovationen oder neuer Geschäftsmodelle unter realen Bedingungen durch Pilot- und Demonstrationsprojekte (P+D), aber auch Feldstudien sind unerlässlich, um sie erfolgreich vom Labor auf den Markt zu bringen und Informationen über ihre Machbarkeit, die technische Funktionalität, die Anwendbarkeit oder die Wirtschaftlichkeit zu erhalten. Besonders bei langen und kostspieligen technischen Entwicklungen im Energiesektor erfolgen private Investitionen in dieser entscheidenden Phase nur beschränkt, da sie sich an strengen Leistungskriterien orientieren. Dies bringt die Entwicklung vieler Technologien ins Stocken. Das P+D-Programm schliesst diese Lücke durch subsidiäre Unterstützung und kann so Investitionsentscheidungen der Privatwirtschaft erleichtern.

Das Programm deckt das gesamte Spektrum der Energietechnologien ab: die Nutzung erneuerbarer Energie, die Energieeffizienz, Speichertechnologien oder nationalen Stromnetze optimieren. P+D-Projekte zeichnen sich durch einen substantiellen Innovationsgehalt und ein hohes Energie- und Marktpotenzial aus.

Sandbox

Das BFE hat neu die Forschung in «Sandboxen» ermöglicht: in einem geregelten Rahmen können Projekte zugelassen werden, die teilweise vom geltenden gesetzlichen Rahmen abweichen (zeitlich und örtlich begrenzt). Es darf einzig von Art. 6, Art. 8 und Art. 10 – 20a. StromVG. abgewichen werden. Anträge können beim BFE via das übliche Gesuchsformular gestellt werden, welches um «Sandboxen» erweitert wurde. Nach positiver Beurteilung wird die Sandbox in einer ad-hoc-Verordnungen

geregelt. Eine Bewilligung für eine «Sandbox» beinhaltet a priori keine finanzielle Förderung. Falls eine Finanzhilfe erforderlich ist, muss diese ebenfalls über ein bestehendes Förderinstrument beantragt werden.

SWEET/ER

SWEET – «SWiss Energy research for the Energy Transition» – zielt auf die Förderung von Innovationen, die wesentlich zur erfolgreichen Umsetzung der Energiestrategie 2050 und der Erreichung der Schweizer Klimaziele beitragen. Im Wesentlichen richtet sich SWEET nach den bestehenden Regeln der Ressortforschung. Während die Forschungsprogramme des BFE auf die Unterstützung von Einzelprojekten in der gesamten Breite von Energieeffizienz und erneuerbarer Energie ausgelegt sind, fördert SWEET ausschliesslich Konsortialprojekte in kompetitiven Ausschreibungen und zu ausgesetzten Forschungsthemen. Präferiert werden Kooperationen unterschiedlicher Hochschultypen und zwischen Akademie, Forschungseinrichtungen, Privatwirtschaft, öffentlicher Hand und bundesnahen Betrieben (SBB, Post usw.). Damit sollen inter- und transdisziplinäre Konsortien gefördert werden. Ein spezielles Augenmerk wird auf die geistes- und sozialwissenschaftliche Energieforschung gelegt.

Im Juni 2023 eröffnete der Bundesrat die Vernehmlassung über einen zusätzlichen Verpflichtungskredit für das laufende Forschungsförderungsinstrument SWEET. Damit soll SWEET zu SWEETER (SWiss research for the EnErgy Transition and Emissions Reduction) erweitert und die Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Umwelt intensiviert werden. Mit SWEETER sollen Antworten auf neue, dringende Fragen zur Energieversorgungssicherheit der Schweiz, insbesondere

in Bezug auf die Sommer-Winterthematik (Speicherung), sowie zur Dekarbonisierung der Wirtschaft rasch und gezielt erarbeitet werden. Die Finanzierung für die Jahre 2025 bis 2036 soll über einen zusätzlichen Verpflichtungskredit im Umfang von 135 Millionen erfolgen. Mit dem zusätzlichen Verpflichtungskredit können voraussichtlich acht weitere Ausschreibungen zu Themen wie Energiespeicherung und -netze, Energiegewinnung und -speicherung im Untergrund, Raumplanung, Digitalisierung und «smart grids», lokale Energiemärkte und Netzkongvergenz, Kreislaufwirtschaft und industrielle Prozesse, «smart cities» oder soziale Innovationen finanziert werden. Die Vernehmlassung wurde im September 2023 abgeschlossen. Voraussichtlich im Frühjahr 2024 geht die Vorlage ins Parlament.

Weitere und aktuelle Informationen finden sich unter www.bfe.admin.ch/sweet.

Forschung im Bereich Kernenergie

Ein Gebiet, das besondere Aufmerksamkeit verlangt, ist jenes der Fachkräfte im Bereich der Kernenergie. Nicht nur für die Restlaufzeit der Schweizer Kernkraftwerke, sondern auch für den Nachbetrieb, die Phase des Rückbaus und der geplanten Einlagerung – noch bis weit ins nächste Jahrhundert – braucht die Schweiz Nachwuchskräfte. Zudem soll die Expertise für die Begutachtung der Entwicklungen auf dem Gebiet der Kerntechnik erhalten bleiben. Um diese Fachkräfte auszubilden und ihre Expertise langfristig sicherzustellen, ist die entsprechende Forschung im nuklearen Bereich weiterhin nötig und zu fördern. Das BFE führt jedoch keine eigenen Forschungsprogramme im Bereich Kernenergie, es unterstützt aber punktuell Forschungsaktivitäten, die der Förderung internationaler

Kooperationen im Bereich der nuklearen Sicherheit und des Kompetenzerhalts dienen (z.B. IAEA oder OECD) und solche, die das Monitoring fortgeschrittener Kerntechnologien im Ausland umfassen. Forschungstätigkeiten im Bereich der Kernspaltung werden durch das Paul-Scherrer-Institut (PSI) und die ETHZ wahrgenommen, jene im Bereich der Fusion durch die EPFL und die regulatorische Sicherheitsforschung erfolgt durch das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI). Informationen zur entsprechenden Forschung sind bei den zuständigen Stellen erhältlich:

- Fusion: EPFL, Swiss Plasma Center (SPC), www.epfl.ch/research/domains/swiss-plasma-center/
- Kerntechnik und nukleare Sicherheit:
 - » Paul-Scherrer-Institut (PSI), www.psi.ch/nes
 - » ETH Zürich, «nuclear engineering»
- Regulatorische Sicherheitsforschung: Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI), www.ensi.ch/de/sicherheitsforschung/

FINANZIERUNG

AUFWENDUNGEN DER ÖFFENTLICHEN HAND

Von 2005 bis 2020 haben die öffentlichen Mittel für die Energieforschung kontinuierlich zugenommen, wie Abbildung 2 zeigt. Vor allem seit 2014 ist im Rahmen der Energiestrategie 2050 und dem Aktionsplan «Koordinierte Energieforschung Schweiz» eine deutliche Zunahme festzustellen. Stark zum Ausbau beigetragen hatten der Aufbau und die Etablierung der nationalen Kompetenzzentren in der Energieforschung (SCCER) durch die Innosuisse, neue nationale Forschungsprogramme im Energiebereich (NFP 70 und 71, NFP Energie) des Schweizer Nationalfonds sowie ein gezielter Ausbau der Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmpro-

jekte des BFE. 2022 betrugen die Aufwendungen der öffentlichen Hand real knapp 365 Mio. Franken (2020: knapp 432 Mio. Franken). Der Rückgang gegenüber den Vorjahren ist auf das Auslaufen des Förderprogrammes Energie (SCCER) begründet: Der ETH-Bereich und die Innosuisse haben daher weniger zur Energieforschung in der Schweiz beigetragen; das NFP Energie ist 2020 ausgelaufen. Da das Förderprogramm SWEET sowie die energieorientierten Ausschreibungen von Flagship geringer dotiert sind als das Förderprogramm Energie, kann der Rückgang voraussichtlich auch in Zukunft nicht ganz kompensiert werden.

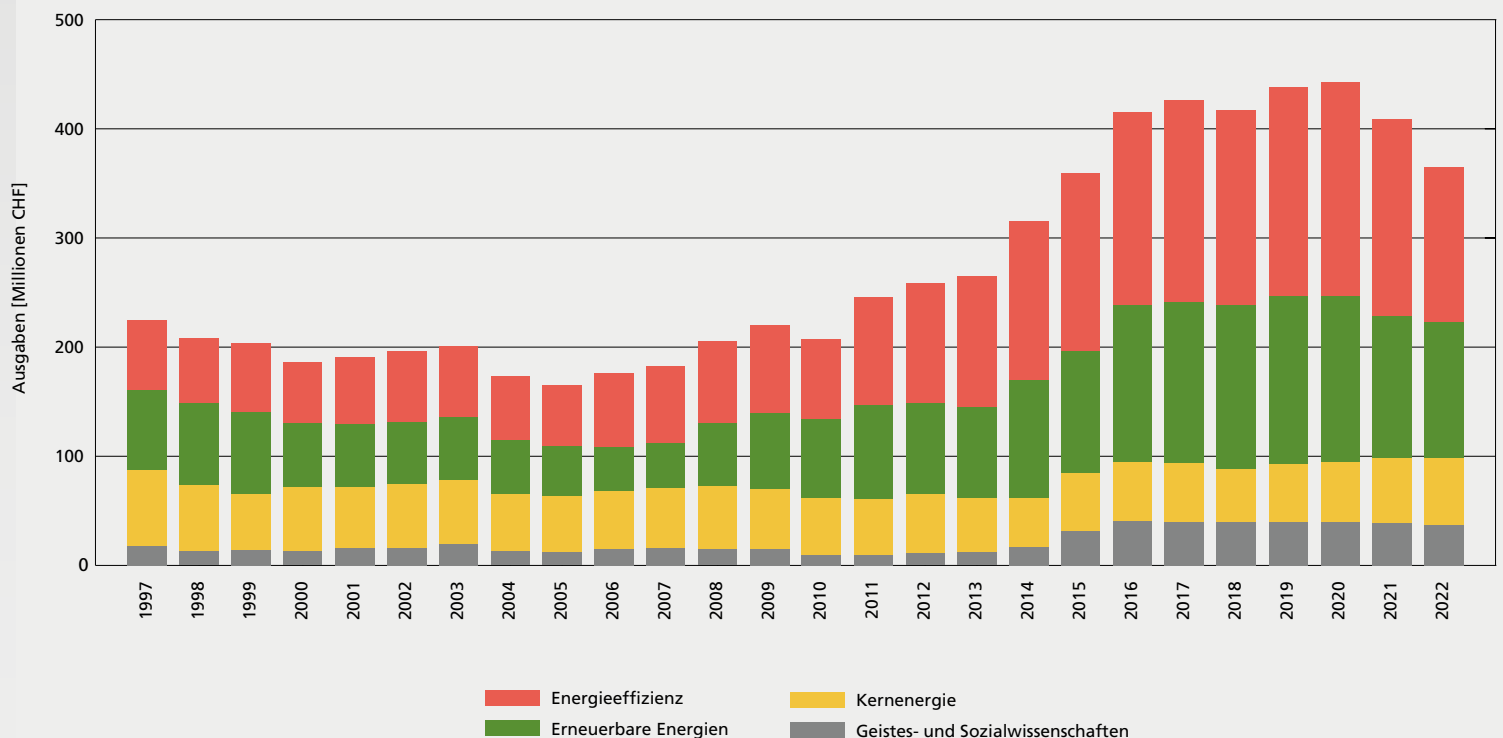


Abbildung 2: Entwicklung der Förderung der Energieforschung durch die öffentliche Hand. (Quelle: BFE, teuerungskorrigiert)

MITTEL DES BFE

Geplante Mittel 2025 bis 2028

Tabelle 1 zeigt die für die Periode 2025–2028 vorgesehenen Budgets für Forschungs-, Pilot- und Demonstrationsprojekte des BFE, sowie für das Förderprogramm SWEET.

Die Angaben sind Annahmen und keine eingestellten Finanzmittel. Die Budgets der einzelnen Jahre müssen jeweils von den Räten bewilligt werden.

	2025	2026	2027	2028**
Pilot- und Demonstrationsprojekte	22'884'400	23'344'200	23'571'500	
Forschungsprogramme	17'752'400	17'744'900	18'076'300	
Förderprogramm SWEET	17'784'000	19'760'000	19'760'000	
Koordination*	2'644'000	2'634'000	2'689'000	
Total	61'064'800	63'483'100	64'096'800	

Tabelle 1: Vom BFE eingeplante Budgets für die Periode 2025–2027

Basis bildet der Finanzplan 2025–2028. Das Budget muss jeweils von den Räten bewilligt werden.

* Inklusive externer Leitung Forschungsprogramme und Expertinnen und Experten SWEET

** es liegen noch keine geplanten Budgets vor

Eingesetzte Mittel 2021 bis 2024

Tabelle 2 zeigt die für die Periode 2021–2024 eingestellten Budgets für Forschungs-, Pilot- und Demonstrationsprojekte des BFE, sowie für das Förderprogramm SWEET. 2021 und 2022 sind «ist-Werte»; der Voranschlag für 2024 bedarf noch der Bewilligung der Räte.

Die Angaben für 2023 und 2024 sind Annahmen und keine eingestellten Finanzmittel. Die Budgets der einzelnen Jahre müssen jeweils von den Räten bewilligt werden.

	2021	2022	2023	2024
Pilot- und Demonstrationsprojekte	13'253'035	14'109'547	20'272'400	17'500'000
Forschungsprogramme	25'491'054	17'757'400	17'783'800	17'916'000
Förderprogramm SWEET	9'940'000	7'783'810	13'832'000	13'832'000
Koordination*	2'087'879	2'028'379	2'444'000	2'178'500
Total	50'771'968	41'679'136	54'332'200	55'035'600

Tabelle 2: Vom BFE verwendete Budgets 2021 und 2022, eingestelltes Budget für die 2023 und Budget gemäss Voranschlag 2024.

* Inklusive externer Leitung Forschungsprogramme und Expertinnen und Experten SWEET

AKTEURE UND SCHNITTSTELLEN

Durch die breite der Energieforschung ergeben sich vielfältige thematische und organisatorische Schnittstellen. Eine der zentralen Aufgaben des BFE ist die Vernetzung der nationalen Akteure innerhalb der Schweiz und mit der internationalen Forschungsgemeinschaft. Zu diesem Zweck hat das BFE in den letzten Jahrzehnten ein weites Beziehungsnetz aufgebaut, das sowohl den gesamten Hochschulbereich, als auch die privaten Forschungsinstitutionen umfasst.

Sämtliche vom BFE geförderten Forschungsprojekte werden von den Leitungspersonen der Forschungsprogramme des BFE begleitet, wodurch ein intensiver Wissensaustausch mit den wichtigsten Akteuren der Schweizer Forschungsgemeinschaft sichergestellt werden kann. Das BFE vertritt die Schweiz in allen für die Energieforschung relevanten Gremien der Internationalen Energieagentur (IEA).

NATIONALE AKTEURE UND SCHNITTSTELLEN

Die folgende Übersicht zeigt die Energieforschungslandschaft der Schweiz vereinfacht auf.

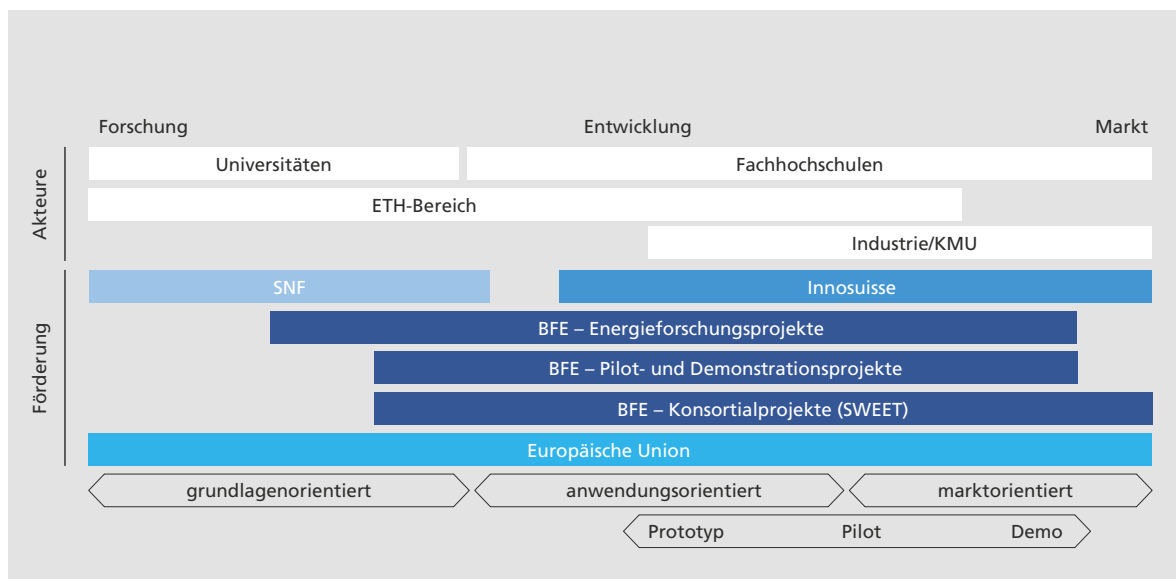


Abbildung 3: Thematische Schnittstellen finden sich mit der Innosuisse und dem SNF, dies vor allem falls diese Organisationen im Bereich Energieforschung Programme respektive Projekte ausschreiben.

Bei den privaten Organisationen decken die Kontakte sowohl grosse Firmen mit ausgeprägten eigenen Forschungsaktivitäten wie beispielsweise ABB oder IBM ab, als auch eine Vielzahl innovativer KMU wie Indeotec oder Awtec bis hin zu Start-ups und Ingeni-

urbüros. Daneben bestehen Kooperationen mit Partnern, welche ein grosses Multiplikationspotenzial aufweisen, wie etwa Post, SBB oder Elektrizitätsversorgungsunternehmen wie Axpo, BKW und diverse Stadtwerke.

SCHNITTSTELLEN ZU FORSCHUNGSFÖRDERUNGSPROJEKTEN

Über seine Forschungsprogramme ist die Energieforschung des BFE eng mit allen Forschungsinstitutionen an Schweizer Hochschulen, welche sich mit Energieforschung beschäftigen, vernetzt. Eine gute Übersicht

gibt die folgende Karte, die im jährlichen Jahresbericht «Energieforschung und Innovation» (siehe: www.energieforschung.ch) aktualisiert wird.

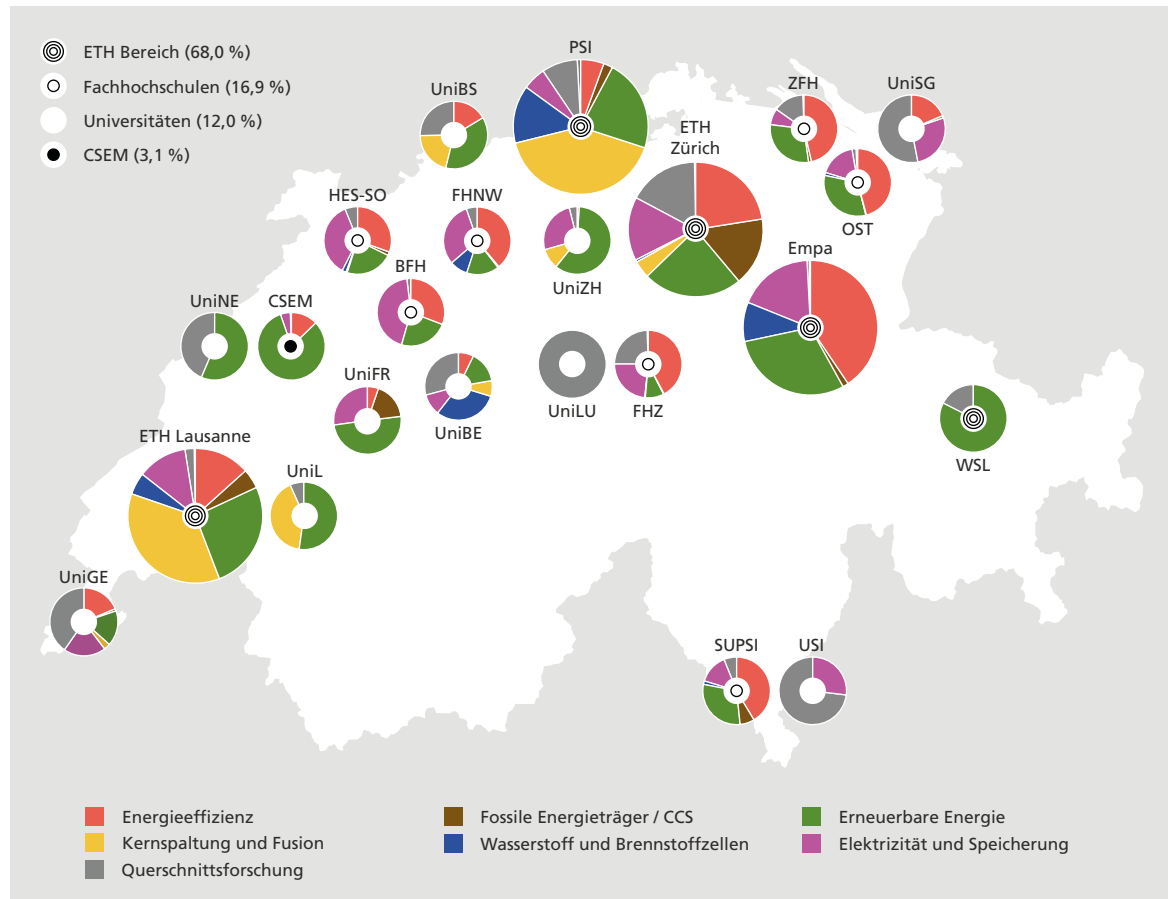


Abbildung 4: Energieforschungsthemen an Schweizer Hochschulen (2022). Die Themen sind nach der Klassifikation der Internationalen Energieagentur (IEA) aufgegliedert. Der grösste Teil der öffentlichen Energieforschung (68% der eingesetzten öffentlichen Mittel) findet im ETH-Bereich statt. BFH: Berner 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 (Die Kreisgrösse dient der Unterscheidung des ETH-Bereiches von anderen Hochschulen)

SCHNITTSTELLEN ZU BUNDESÄMTERN

Der Bundesrat hat für die Legislaturplanung 2023–2027 vier Leitlinien festgelegt⁶⁶: Sicherung und Förderung von Wohlstand, Zusammenhalt, Sicherheit und natürlichen Ressourcen. Basierend darauf und auf zahlreichen Strategien sowie dazugehörigen Aktionsplänen des Bundes haben die Bundesstellen mit Ressortforschung⁶⁷ im Jahr 2022 gemeinsame Herausforderungen definiert. Bei allen Bundesstellen geht es darum, ein Bewusst-

sein für die Herausforderungen zu schaffen und die Partizipation aller interessierten Bundesstellen zu fördern.

Querschnittsthemen wie Ressourcennutzung, internationale Beziehungen, digitale Transformation sowie Bildung und Innovation unterstützen die Bewältigung thematischer Herausforderungen.

Als trans- und interdisziplinäres Forschungsgebiet hat die Energieforschung in vielen Teilgebieten Schnittstellen und Berührungspunkte zu anderen Politikbereichen. Beispiele dazu sind:

- Klima: CO₂-Ausstoss von verbrennungsbasierten Prozessen beim Verkehr, bei Gebäuden und in der Industrie; Auswirkungen der Klimaerhitzung auf die Energiegewinnung
- Gesundheit: Feinstaub bei Holzfeuerungen; Lärm
- Raumnutzung: Energiesysteme in Arealen und Quartieren; Planung von Energie-Infrastrukturen; Mobilität,
- Meteorologie: Vorhersagenoptimierung
- Umwelt: Lärm, Restwasser, Landschaft

Ein erfolgreiches Beispiel wie Herausforderungen der Ressortforschung gemeinsam angegangen werden ist das «National Centre for Climate Services» (NCCS www.nccs.admin.ch).

Als Netzwerk des Bundes für Klimadienstleistungen ist das NCCS ein Zusammenschluss von derzeit neun Einheiten des Bundes (MeteoSchweiz, BAFU, BLW, BAG, BABS, BLV, BFE, ETHZ, WSL). Als nationales Koordinations- und Innovationsorgan und Wissensdrehscheibe unterstützt das NCCS klimakompatible Entscheidungsfindungen, um Risiken zu minimieren, Chancen zu maximieren und Kosten zu optimieren.

INTERNATIONALE EINBINDUNG

Erfolgreiche Forschung hat immer auch eine internationale Ausrichtung: Internationale Zusammenarbeit verstärkt die Effizienz der eingesetzten Mittel und ermöglicht einen effektiven Wissensaustausch zwischen den Forschenden. Voraussetzung für eine erfolgreiche Zusammenarbeit – insbesondere im Rahmen von Projekten der IEA und der EU – sind wissenschaftlich anerkannte und qualitativ hochwertige Beiträge der Schweiz. Die nationale und internationale Vernetzung der Schweizer Forschenden ist daher neben der aktiven Unterstützung von wirtschaftlich risikoreichen Forschungsvorhaben und dem Schliessen von Lücken in der Innovationskette ein wichtiges Element der Energieforschung.

Die Beteiligung an der energierelevanten Zusammenarbeit im Europäischen Forschungsraum (European Research Area, ERA) der EU ist für die Schweiz derzeit nur

als «nicht assoziiertes Drittland» möglich. Aktuelle Informationen finden sich auf der Seite des SBFI⁶⁸. Inhaltliche Mitgestaltung ist unter diesen Umständen nur punktuell möglich, die Teilnahme Schweizer Forschenden am grössten Teil der ERA hingegen schon. Aktuelle Ausschreibungen [siehe S. 10](#).

Die Schweiz ist über das BFE in die wichtigsten Forschungsprogramme der IEA eingebunden. Hierbei stehen vor allem die Technology Collaboration Programmes (TCP) im Vordergrund. Die Schweiz ist an den für die Energieforschung wesentlichen TCP beteiligt⁶⁹.

66 – <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-92499.html>

67 – <https://www.ressortforschung.admin.ch/rsf/de/home.html>

68 – <https://www.sbf.admin.ch/sbf/de/home/forschung-und-innovation/internationale-f-und-i-zusammenarbeit/>

69 – <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/forschung-und-cleantech/internationale-zusammenarbeit.html>

WISSENSCHAFTLICHE BEGLEITKOMMISSIONEN UND QUALITÄTS- SICHERUNG

Das BFE deckt praktisch das gesamte Spektrum der Energieforschung ab. Dabei beschränkt es sich nicht auf die Vergabe von Fördermitteln, sondern begleitet die einzelnen Forschungsprojekte eng und vertritt die Forschungsprogramme aktiv in nationalen und internationalen Gremien. Die dazu nötigen Fachkenntnisse sind entweder innerhalb des BFE vorhanden oder werden durch externe Personen (externe mandatierte Programmleitungen) sichergestellt.

BEGLEITKOMMISSIONEN

Dem BFE steht mit der ausserparlamentarischen Eidgenössischen Energieforschungskommission CORE ein beratendes Gremium für strategische Fragen zur Seite. Die CORE setzt unter anderem alle vier Jahre die Schwerpunkte für das vorliegende Konzept, schreibt Empfehlungen und Themen für das Förderprogramm SWEET vor. Alle Tätigkeiten

der CORE werden in Jahresberichten der Kommission veröffentlicht unter: www.bfe.admin.ch/core.

Der Mitglieder der CORE werden vom Bundesrat gewählt und vertreten die wichtigsten Akteure der Schweizer Energieforschung, wie etwa Industrie, KMU, Energiewirtschaft, ETH-Bereich, Fachhochschulen, und Universitäten. Neben dem BFE haben das BAFU, das SBFI, swissuniversities, Innosuisse und der SNF als Beobachter Einsitz. Die vollständige und nachgeführte Liste der Mitglieder der CORE kann ebenfalls auf ihrer Website eingesehen werden.

Das Sekretariat der CORE wird durch das BFE wahrgenommen. In der Regel tagt die CORE jährlich an vier Halbtagen und führt jeweils im Sommer eine zweitägige Retraite durch.

Die Forschungsprogramme des BFE verfügen fallweise über fachspezifische Begleitgruppen.

QUALITÄTSSICHERUNG

Das BFE richtet sich bei der Forschungsförderung nach den Richtlinien der Qualitätssicherung in der Ressortforschung des Bundes: Der interdepartementale Koordinationsausschuss für die Ressortforschung des Bundes erlässt Richtlinien zur Qualitätssicherung in der Forschung der Bundesverwaltung.⁷⁰ Das Qualitätssicherungskonzept umfasst die drei Hauptpfeiler: Forschungsmanagement, Berichterstattung und Wirksamkeitsprüfung. Eine zentrale Rolle spielen die strategische Planung, transparente Vergabeverfahren, die Projektinformation in der Datenbank ARAMIS, die Veröffentlichung der

Forschungsergebnisse und die Forschungsbegleitung. Die Richtlinien sind insbesondere an Personen von Bundesstellen gerichtet, welche in die Forschung zur Erfüllung der Aufgaben der Bundesverwaltung direkt involviert sind. Die Bundesstellen mit Forschung sind angewiesen, die Richtlinien bei der Gestaltung ihrer eigenen amtspezifischen Qualitätssicherungskonzepte und Richtlinien anzuwenden.

Das BFE verfügt im Rahmen seines «Internen Kontrollsystems» (IKS) über ein dreistufiges Verfahren bei der Vergabe von Forschungs-

aufträgen: mindestens zwei Fachpersonen prüfen den eingereichten Projektantrag gemäss einem vorgegebenen Projektbewertungsbogen bezüglich seiner Relevanz, dem Beitrag zu den Zielsetzungen der Energieforschung, der wissenschaftlichen Qualität des Vorgehens und der Kompetenzen der Forschenden und ggf. weiteren Beteiligten. Die finanz- und beschaffungsrelevanten Aspekte durchlaufen ein Prüfverfahren in der Finanzsektion und eine abschliessende inhaltliche Prüfung erfolgt durch die fachliche Linie mit Doppelunterschrift.

Forschungsmanagement

Die Bewertung der Projektanträge Forschung und Entwicklung (F+E) erfolgt über die Forschungsprogrammleitungen unter Beizug mindestens einer weiteren Fachperson. Pilot- und Demonstrationsprojekte (P+D) werden in fachspezifischen ad-hoc-Gruppen bewertet (Beizug von marktnahen Fachpersonen aus dem BFE). SWEET-Konsortien werden von einer externen Fachgruppe bewertet.

In den Gesuchen wird die strategische Relevanz, das Umsetzungs- und Multiplikationspotenzial, Nachhaltigkeitskriterien sowie mögliche Risiken eines geplanten Vorhabens abgefragt und fliessen neben den eigentlichen Inhalten in die Bewertung ein (siehe Gesuch und Vollzugsweisung www.energieforschung.ch).

Berichterstattung

Sämtliche Forschungs-, Pilot- und Demonstrationsprojekte mit Beteiligung des BFE sind in der öffentlich zugänglichen Datenbank des Bundes ARAMIS⁷¹ abgelegt. Ausgewählte, vom BFE unterstützte P+D-Projekte sind auf der Cleantech-Karte⁷² des BFE dargestellt.

Daneben organisieren die Forschungsprogramme des BFE regelmässig fachspezifische Tagungen und Konferenzen, an welchen die Erkenntnisse aus den durch das BFE unterstützten Forschungsprojekten vorgestellt und diskutiert werden. Schliesslich veröffentlicht das BFE jährlich die Aufwendungen der öffentlichen Hand für die Energieforschung (www.energieforschung.ch).

Evaluation der Energieforschung

Die Forschungskommission CORE hat den Auftrag, zur Energieforschung des BFE Stellung zu nehmen. Externe Evaluationen erfolgten in der Periode 2017–2020 sowohl des Programms für Pilot- und Demonstrationsprojekte (2018) als auch der Energieforschung (2019)⁷³. Die EFK prüft die ordnungsgemässe Vergabe regelmässig.

Wissens- und Technologietransfer

Das BFE fördert den Wissens- und Technologietransfer (WTT) im Energiebereich mit verschiedenen Instrumenten und Massnahmen:

- Schaffung einer WTT-Stelle;
- Publikation von Fachartikeln;
- Aktiver Austausch mit Umsetzungsakteuren und EnergieSchweiz;
- Tagungen und Konferenzen;
- Begleitgruppen.

70 – www.ressortforschung.admin.ch/dam/rsf/de/dokumente/dokumentation/publikationen/qualitaetsrichtlinien/richtlinien-qs-dt-Revision-v.6.pdf.download.pdf/RichtlinienQS_dt_Revision_V.6.pdf, Qualitätssicherung in der Ressortforschung des Bundes, Richtlinien des interdepartementalen Koordinationsausschusses-Ressortforschung, 26. März 2014.

71 – Das Informationssystem ARAMIS enthält Informationen über Forschungsprojekte und Evaluationen, die der Bund selber durchführt oder (mit-)finanziert. www.aramis.admin.ch

72 – www.bfe.admin.ch/geoinformation

73 – <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/news-und-medien/evaluationen.html>

IMPRESSUM

Stand Februar 2024

Herausgeberin Eidgenössische Energieforschungskommission CORE

Koordination Katja Maus

Autoren und Autorinnen, unter Mitarbeit der CORE

Allgemeiner Teil Katja Maus

Energie, Gesellschaft und Politikmassnahmen Anne-Kathrin Faust

Energiesysteme Sandra Hermle

Wohnen und Arbeiten Andreas Eckmanns

Mobilität Luca Castiglioni

Industrielle Prozesse Carina Alles

CORE-Sekretariat & Bundesamt für Energie

CH-3003 Bern

Tel. + 41 58 462 39 7

www.energieforschung.ch