



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Eidgenössische Energieforschungskommission CORE

Konzept der Energieforschung des Bundes 2017–2020

Ausgearbeitet durch die
Eidgenössische Energieforschungskommission CORE

Impressum

Stand März 2016

Herausgeberin Eidgenössische Energieforschungskommission CORE

Leitung Tony Kaiser, Präsident CORE

Autoren

Allgemeiner Teil Katja Maus und Rolf Schmitz

Sozioökonomische Aspekte Anne-Kathrin Faust

Schwerpunkt Wohnen und Arbeiten Andreas Eckmanns

Schwerpunkt Mobilität: Martin Pulfer und Katja Maus

Schwerpunkt Energiesysteme Gunter Siddiqi

Schwerpunkt Prozesse Stephan Renz

Unter Beizug und Mitarbeit aller SCCER-Leitungen

CORE Sekretariat
c/o Bundesamt für Energie
CH-3003 Bern
Tel. + 41 58 462 39 78

www.bfe.admin.ch

Bezug der Publikation www.energieforschung.ch

Inhalt

Vision	4
Forschung für eine erfolgreiche Energiezukunft	5
Forschungspolitischer Hintergrund	7
Die Forschungsschwerpunkte im Kontext	9
Sozio-ökonomische und regulatorische Aspekte	11
Wohnen und Arbeiten der Zukunft	15
Mobilität der Zukunft	24
Energiesysteme der Zukunft	30
Prozesse der Zukunft	38
Forschungspolitische Empfehlungen	46

Vision

Die Schweizer Energieforschung leistet einen relevanten Beitrag zur effizienten und emissionsarmen Umwandlung, Speicherung, Bereitstellung und Verwendung von Energie. Sie fördert dadurch eine sichere, ökonomisch und ökologisch tragbare Energieversorgung. Zudem unterstützt sie eine effektive Energiepolitik.¹⁾

Forschung für eine erfolgreiche Energiezukunft

Der Bundesrat und das Parlament haben für die Schweiz den mittelfristigen Ausstieg aus der Kernenergie beschlossen. Das Bundesamt für Energie hat dazu die *Energiestrategie 2050*²⁾ erarbeitet. Mit der *Energiestrategie 2050* hat sich die Schweiz ehrgeizige Effizienzziele sowohl bei der Nutzung fossiler Energie als auch beim Stromkonsum gesetzt. Die Produktion von Strom aus erneuerbaren Quellen – Photovoltaik, Windenergie, Biomasse und Geothermie – soll stark erhöht werden und den wegfallenden Nuklearstrom weitgehend ersetzen. Gegenüber heute bedeutet die *Energiestrategie 2050* pro Kopf der Schweizer Bevölkerung etwa eine Verdopplung der Energieeffizienz und eine Reduktion des Stromkonsums von ca. 10–20 %. Die Schweiz hat sich zudem international verpflichtet, die Treibhausgasemissionen zu verringern. Bis 2020 verlangt die schweizerische Klimapolitik eine Reduktion von 20 % gegenüber 1990³⁾.

Energieforschungskonzept des Bundes

Das Energieforschungskonzept des Bundes ist eine gemeinsame Vision der Schweizer Forschergemeinde mit Empfehlungen für die mit Mitteln der öffentlichen Hand finanzierte Energieforschung in der Schweiz. Es beschreibt auch die Forschungsziele, die zur Unterstützung der *Energiestrategie 2050* wichtig sind.

Das Konzept ist von Bundesrat und Parlament genehmigt und damit ein Planungsinstrument für alle Förderinstanzen des Bundes. Es ist aber auch eine Orientierungshilfe für die kantonalen und kommunalen Stellen, die über eigene Förderinstrumente in der Energieforschung verfügen.

Das vorliegende Konzept gilt für die Legislaturperiode 2017–2020. Es wurde von der CORE unter Einbezug wichtiger Interessenvertreterinnen und -vertreter der Energieforschung erarbeitet. Es stützt sich auf aktuelle, international anerkannte wissenschaftliche Erkenntnisse und berücksichtigt die energiepolitischen Ziele der Schweiz.

Ein effizienter, umweltfreundlicher und emissionsarmer Umgang mit Energie ist laut Weltklimarat IPCC⁴⁾ für den ganzen Globus sehr dringlich. Im IPCC-Bericht von 2014 werden verschiedene Optionen genannt, mit denen die Erwärmung der Erde möglicherweise auf 2 °C beschränkt werden kann. Die jetzigen Reduktionspläne sind dazu nicht ausreichend. In den vom IPCC untersuchten Szenarien ist zur wahrscheinlichen Einhaltung der 2 °C-Obergrenze eine Reduktion der globalen Treibhausgasemissionen in allen Bereichen bis zum Jahr 2050 von 40 % bis 70 % gegenüber dem Jahr 2010 nötig. Die IPCC-Szenarien beinhalten sowohl beschleunigte Verbesserungen der Energieeffizienz als auch einen drei- bis vierfach höheren Anteil kohlenstofffreier oder kohlenstoffarmer Energieversorgung durch erneuerbare Energie, Kernenergie und fossile Energie gekoppelt mit Kohlenstoffabtrennung und -speicherung (CCS). Sie schlägt auch Bioenergie mit CCS bis zum Jahr 2050 vor. Die globalen CO₂-Emissionen aus dem Energieversorgungssektor würden mit diesen Massnahmen in der nächsten Dekade abnehmen und zwischen 2040 und 2070 um 90 % unter das Niveau von 2010 sinken.

In der Schweiz sind es neben der *Energiestrategie 2050* des Bundes auch zwei langfristige, vom ETH-Bereich entwickelte Visionen, welche die Diskussion zur Energiezukunft prägen: Die 2000-Watt-Gesellschaft setzt die Energieeffizienz in den Vordergrund. Sie postuliert, dass für eine nachhaltige Zukunft der Primärenergiebedarf bis 2100 weltweit auf ein Niveau zu senken ist, das einer kontinuierlichen Leistung von 2000 Watt pro Person entspricht. 2012 betrug dieser Wert in der Schweiz – ohne den Anteil an grauer Energie – 6500 Watt.

Das Konzept der 1-Tonne-CO₂-Gesellschaft (pro Person und Jahr) andererseits lässt grundsätzlich einen höheren Energieeinsatz zu, wenn dieser mit erneuerbarer Energie gedeckt wird. In beiden Visionen gilt, dass die Schadstoffemissionen und die Abfälle für Mensch und Umwelt unkritisch und dass die mit der Energiegewinnung verbundenen Stoffflüsse deutlich kleiner als heute und geschlossen sein müssen.

²⁾ www.bfe.admin.ch/themen/00526/00527/index.html?lang=de (*Energiestrategie 2050*), ³⁾ www.admin.ch/opcd/de/classified-compilation/20091310/201301010000/641.71.pdf (*Revidiertes CO₂-Gesetz ab 1.1.2013*)

Die von der CORE in früheren Energieforschungskonzepten formulierten pragmatischen Ziele für 2050 fügen sich gut in diese Stossrichtung ein und sind auch durch die *Energiestrategie 2050* bestätigt worden:

- Verzicht auf fossile Brennstoffe für die Bereitstellung von Wärme in Gebäuden (Alt- und Neubauten)
- Halbierung des Primärenergieverbrauchs im Gebäudemark gegenüber heute (aktuell: 500 PJ pro Jahr)
- Eine Verdreifachung der Nutzung der Biomasse als Energieträger (heutige Nutzung: 37 PJ pro Jahr)
- Senkung des durchschnittlichen fossilen Flottenverbrauchs von Personenwagen auf 3 l je 100 km (heutiger Verbrauch: 6 l je 100 km)

Die CORE sieht als wichtigstes Ziel die interdisziplinäre Entwicklung neuer, umsetzbarer und damit akzeptierter Energietechnologien. Die zunehmende Bedeutung von Querschnittstechnologien verlangt deshalb eine verstärkte Zusammenarbeit sowohl unter den technischen Forschungsgebieten als auch zwischen den technischen und den nicht-technischen Disziplinen.

Die Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE)

Die CORE wurde 1986 als beratendes Organ für die Energieforschung durch den Bundesrat eingesetzt. Unter anderem erarbeitet sie alle vier Jahre das Energieforschungskonzept des Bundes, prüft die schweizerische Energieforschung und äussert sich zur energiebezogenen Ressortforschung des Bundes. Der CORE gehören 15 Mitglieder an, welche die Industrie, die Wissenschaft und die Politik vertreten. Ihre aktuelle Zusammensetzung kann unter www.energieforschung.ch eingesehen werden.

Kennzahlen [TWh]	2010	2050	Δ
Gesamtenergieverbrauch	233.6	125.3	-108.3
Gesamtstromverbrauch	59.8	53.1	-6.7
davon Haushalte	18.6	13.4	-5.2
davon Mobilität	3.2	11.4	8.2
davon Industrie	19.3	12.6	-6.7
Stromproduktion durch erneuerbare Energie	36.5	62.7	26.2
davon Wasserkraft	35.1	38.5	3.4
davon Photovoltaik	0.1	11.1	11.0
davon Geothermie	0.0	4.4	4.4
davon Windenergie	0.0	4.3	4.2
davon Biomasse/Biogas	0.2	2.8	2.6
übrige	1.0	1.6	0.6

Ausgewählte Kennzahlen der Schweiz bezüglich Energieverbrauch und Stromproduktion für die Jahre 2010 und 2050 (*Energiestrategie 2050*); <https://www.admin.ch/opcl/de/federal-gazette/2013/7561.pdf>
 1 TWh = 1 Milliarde kWh und 1 TWh = 3.6 PJ

Forschungspolitischer Hintergrund

Im Rahmen der *Energiestrategie 2050* wurde für die Legislaturperiode 2013–2016 zusätzlich zum Energieforschungskonzept der Aktionsplan «Koordinierte Energieforschung»⁵ vorbereitet und von Bundesrat und Parlament bewilligt. Er unterstützt die Ziele und damit die Umsetzung der *Energiestrategie 2050* durch den Aufbau zusätzlicher Forschungskapazität an den universitären Hochschulen und Fachhochschulen im Bereich der anwendungsorientierten Energieforschung. Die Ziele des Aktionsplans umfassen Effizienztechnologien, Energiesysteme, Netze und Elektrizitätsübertragung, Bereitstellung von Elektrizität, Energiespeicherung sowie sozio-ökonomische und rechtliche Aspekte. Den Sozialwissenschaften wird damit ebenfalls eine wichtige Rolle bei der Umsetzung der *Energiestrategie 2050* zugewiesen.

Zur Umsetzung des Aktionsplans wurden in den Jahren 2013 und 2014 in einem wettbewerblichen Verfahren acht Kompetenzzentren (Swiss Competence Centers for Energy Research, SCCER) geschaffen und deren wissenschaftliche Ziele definiert. Das Parlament hat für diesen Kapazitätsaufbau an den Hochschulen und Universitäten in der Legislaturperiode 2013–2016 72 Millionen Franken zur Verfügung gestellt. Weitere Mittel standen in der Periode 2013–2016 für Infrastrukturprojekte im ETH-Bereich, für zusätzliche Projektförderung und für Förderprofessuren zur Verfügung. Gesamthaft standen damit für den Aktionsplan 202 Millionen Franken zur Verfügung. Neben der bereits erwähnten Förderung hat der Bundesrat zusätzliche Massnahmen bewilligt: Die finanziellen Mittel des Bundesamts für Energie für Pilot- und Demonstrationsprojekte⁶ wurden deutlich aufgestockt, ein Förderprogramm für Leuchtturmprojekte⁷ initiiert und zwei Nationale Forschungsprogramme⁸ (NFP) des SNF⁹ zu den Themen «Energiewende» und «Steuerung des Energieverbrauchs» gestartet.

Eine Weiterführung der Kompetenzzentren und deren Finanzierung in der nächsten Legislaturperiode wird dem Parlament in der BFI-Botschaft 2017–2020 beantragt. Die Empfehlungen für die wissenschaftlichen Ziele sind in diesem neuen Forschungskonzept integriert.

Nach 2020 sollen diese Kompetenzzentren dann von den beteiligten Hochschulen und Universitäten getragen werden.

Energieforschung und Innovation

Die Schweiz gehört weltweit zu den innovativsten Ländern und nimmt in verschiedenen Studien seit Jahren eine Spitzenstellung ein. Im *Global Innovation Index 2014*¹⁰ rangiert sie weltweit in den «Top 10»; in der 2013 vom Staatssekretariat für Wirtschaft SECO bei der Konjunkturforschungsstelle an der ETH (KOF) in Auftrag gegebenen Studie¹¹ bleibt sie eine der innovationsstärksten Volkswirtschaften Europas und im *Innovation Union Scoreboard*¹² der EU rangiert sie in Europa gar auf Platz 1.

Für die Innovationsleistung eines Staates werden zahlreiche Parameter gemessen und verglichen, darunter Tätigkeiten und Erträge der Unternehmen, «Human Resources», offene, hervorragende und attraktive Forschungssysteme sowie Finanzierung und Förderung der Forschung.

Um den Forschungsstandort Schweiz – und damit auch die Energieforschung – auf dem aktuellen hohen Niveau zu halten, bedarf es deshalb weiterer Anstrengungen:

- Die Schweiz braucht wirksame Massnahmen zur Innovationsförderung und eine gute Zusammenarbeit von Hochschulen und Unternehmen. Dazu gehört insbesondere eine einfache Regelung aller Fragen rund um das geistige Eigentum

⁵ www.admin.ch/opcd/federal-gazette/2012/9017.pdf (Botschaft zum Aktionsplan «Koordinierte Energieforschung», 2013–2016),

⁶ Von CHF 5 Millionen Franken im Jahr 2012 auf CHF 25 Millionen Franken im Jahr 2016, ⁷ CHF 10 Millionen Franken pro Jahr von 2014 bis

2020, ⁸ Total CHF 45 Millionen Franken, ⁹ SNF: Schweizerischer Nationalfonds, ¹⁰ www.globalinnovationindex.org/content.aspx?page=GII-Home, ¹¹ www.kof.ethz.ch/de/medien/mitteilungen/k/weitere-pressemittelungen/1108/2013/04/innovationsstudie/, ¹² http://ec.europa.eu/enterprise/policies/innovation/files/ius/ius-2014-summary_de.pdf

- Zur Rolle des Staates bei der Innovationsförderung gibt es divergierende Meinungen in der Literatur. Für die Schweiz empfehlenswert ist eine pragmatische Politik^{13, 14} zwischen den gegensätzlichen Positionen einer ausgeprägten Industriepolitik und einer Politik, die sich auf das «Setzen von geeigneten Rahmenbedingungen» beschränkt

Die Schweiz braucht für die Erhaltung ihrer Innovationskraft offene «symbiotische Systeme» für Forschung und Entwicklung. Im Bereich der Energieforschung sind die Kompetenzzentren für Energieforschung (SCCER) ein gutes Beispiel dafür. Sie fördern sowohl die Zusammenarbeit zwischen ETH-Bereich, Fachhochschulen und Universitäten, als auch mit der Industrie und unterstützen damit auch den Technologietransfer zwischen der Welt der Forschung und jener der Wirtschaft.

Wissens- und Technologietransfer

Dem Wissens- und Technologietransfer von den Hochschulen in die Industrie kommt eine zentrale Bedeutung zu, damit die in der Forschung erzielten Resultate eine Wertschöpfung am Markt erzielen. Ein Mittel dazu sind Pilot- und Demonstrationsanlagen; sie sollen in Zusammenarbeit mit der Industrie frühzeitig geplant werden. Mit ihnen lassen sich die technische Machbarkeit bzw. die Realisierbarkeit in grossmasstäblichen Anlagen aufzeigen mit dem Ziel, das Risiko für private Investoren zu reduzieren.

Das Wissen muss auch weitergegeben und angewendet werden. Deshalb spielt die Ausbildung der wissenschaftlichen und technischen Fachkräfte eine wichtige Rolle.

Internationale Einbindung

Die internationale Forschungszusammenarbeit fördert die Qualität der Forschung und die Effizienz der eingesetzten Forschungsmittel. Voraussetzungen für eine erfolgreiche Zusammenarbeit sind die aktive Teilnahme an internationalen Programmen – insbesondere die assoziierte Beteiligung an den EU-Rahmenprogrammen – sowie anerkannte, qualitativ hochwertige Beiträge der Schweiz.

Höchste Priorität muss deshalb die Einbindung der Schweizer Forschenden in Forschungsaktivitäten der IEA und der EU haben. Die internationale Zusammenarbeit und der Austausch von Forschenden sollen aber auch über die EU und den Kreis der Industriestaaten hinausgehen und sich entwickelnde Staaten einbeziehen. Über die jeweils federführenden Bundesstellen – Staatssekretariats für Bildung, Forschung und Innovation (SBFI) bzw. Bundesamt für Energie (BFE) – soll deshalb diese Zusammenarbeit sichergestellt und gestärkt werden.

Die «Wissensökonomie Schweiz» ist ebenfalls auf «Bildungsausländer» angewiesen. Der Nachwuchs in akademischen Berufen, von Führungskräften und von Beschäftigten im Bereich der wissensbasierten Dienstleistungen kann ohne sie nicht sichergestellt werden. Selbst bei stagnierendem Beschäftigungsgrad braucht die Schweiz qualifizierte, akademisch ausgebildete ausländische Arbeitskräfte. Sie leisten einen wichtigen Beitrag zur globalen Vernetzung der Schweizer (Energie)Forschung¹⁵.

¹³⁾ B. Hotz-Hart und A. Rohner, «Wirkungen innovations-politischer Fördermassnahmen in der Schweiz», Bern 2013, ¹⁴⁾ M. Mazzucato, «Das Kapital des Staates», Kunstmann, München 2014, ¹⁵⁾ B. Hotz-Hart, «Die Wissensökonomie Schweiz ist auf Bildungsausländer angewiesen», Die Volkswirtschaft 6–2011, S. 47

Die Forschungsschwerpunkte im Kontext

Die Energieforschung soll von einer ganzheitlichen Denkweise getragen werden und sich am Prinzip der nachhaltigen Entwicklung orientieren. Das Energieforschungskonzept des Bundes deckt grundsätzlich die gesamte Wertschöpfungskette Forschung – Innovation – Markt ab und strebt mit der durch die öffentliche Hand geförderten Energieforschung – neben Resultaten von hoher Qualität – selbstredend auch einen volkswirtschaftlichen Nutzen an.

Technik

Bei allen technischen Lösungen, die der Energiebereitstellung, -umwandlung, -speicherung und -nutzung dienen, wird die grösstmögliche, wirtschaftlich vertretbare Annäherung an das jeweilige technische Potenzial angestrebt. Die neuen Möglichkeiten durch die Digitalisierung sollen als Querschnittsthema in allen thematischen Schwerpunkten ausgeschöpft werden.

Ressourcen

Als zentrale Elemente der Energieforschung sieht die CORE neue und verbesserte Technologien zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz und den vermehrten Einsatz erneuerbarer Energie.

Damit einher geht automatisch eine Reduktion schädlicher Emissionen.

Ökonomie und Volkswirtschaft

Das Energieforschungskonzept zielt auch darauf ab, die Versorgungssicherheit der Schweiz 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 steigern.

Gesellschaft und Verhalten

Es sind Fragen zu beantworten, die sich mit der Akzeptanz neuer Technologien oder Anreizen für deren rasche Marktdurchdringung auseinandersetzen. Dabei werden ökonomische, soziologische, psychologische sowie politologische Fragestellungen bezüglich 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 auch Verhaltensänderungen erforderlich.

Sozio-ökonomische und regulatorische Aspekte

Aus den oben beschriebenen Gründen – weil Technik und Gesellschaft sich nicht trennen lassen – sind in diesem Forschungskonzept den technischen Schwerpunkten einige Überlegungen und Fragestellungen vorangestellt. Diese «nicht-technischen» Aspekte werden soweit sie technologiespezifisch sind, in den einzelnen Schwerpunkten behandelt. Soweit sie aber schwerpunktübergreifend sind, sollen sie als übergeordnete Fragestellungen ihren eigenen Platz erhalten.

Vier thematische Schwerpunkte

Die CORE hat vier technisch definierte Schwerpunkte gewählt, denen sich im Wesentlichen alle Bereiche der Energieforschung zuordnen lassen. Sie widerspiegeln das tägliche Leben und die damit verbundenen Aspekte von Energiegewinnung und -nutzung. Mit den Visionen dieser Schwerpunkte sollen die Schlüsselthemen für die Forschung «top-down» hergeleitet werden können und das Systemdenken sowie die Disziplinen übergreifende Forschung gefördert werden.

Zu diesem ganzheitlichen und umsetzungsbezogenen Zugang zur Energieforschung gehören auch sozialwissenschaftliche, rechtliche, ökonomische und psychologische Fragen. Sie werden deshalb seit Kurzem auch im SCCER «Society and Transition», CREST, sowie im Nationalen Forschungsprogramm NFP 71 «Steuerung der Energieverbrauchs» bearbeitet.

Die Schwerpunkte

Wohnen und Arbeiten der Zukunft

Der Gebäudepark der Schweiz soll in Zukunft emissionsneutral und energieeffizient betrieben werden. Er trägt dezentral dazu bei, Produktion und Nachfrage im elektrischem Netz im Gleichgewicht zu halten. Die menschlichen Bedürfnisse im Bereich Wohnen und Arbeiten werden auf ressourcenschonende Weise befriedigt.

Mobilität der Zukunft

Durch Verkehrstelematik, fortschrittliche Antriebstechnik und fahrerlose Fahrzeuge zu einer attraktiven, leistungsfähigen und emissionsarmen Mobilität – dies ist ein tragender Wirtschafts- und Entwicklungsfaktor. In Zukunft sollen der Gesamtenergieverbrauch sowie die Klima- und Schadstoffemissionen trotz Mobilitätswachstum substanziell reduziert werden. Dazu ist die Forschung und Entwicklung im Bereich hocheffizienter Transporttechnologien und mobiler Speichertechnologien voranzutreiben sowie das Verständnis der Hemmnisse neuer Mobilitätsformen zu erarbeiten.

Energiesysteme der Zukunft

Vernetzte Energiesysteme sind das Fundament für eine sichere, belastbare und nachhaltige Energieversorgung. Die Bereitstellung solcher Systeme ist zentral für eine effektive Energiepolitik, insbesondere für die *Energiestrategie 2050*. Die Ziele sind hohe Effizienz, minimale ungenutzte Energiepotenziale sowie minimale negative Umwelteinflüsse (Abfälle) und Risiken für die Bevölkerung. Wie Teilsysteme ausgelegt werden und wie sie optimal zusammen wirken, führt zu einer Vielzahl von Forschungsfragen, die einen weiten Spielraum für Innovationen darstellen.

Prozesse der Zukunft

Neuartige Verfahren und Werkstoffe werden durch LCA-basierte¹⁶ Entwicklungsprozesse für die Herstellung von ressourcenoptimierten und marktfähigen Produkten eingesetzt. Der Energie- und Materialverbrauch der Produktionsanlagen ist durch hocheffiziente Komponenten minimiert. Informationstechnologien unterstützen die Prozessintegration bis hin zur Energieoptimierung der Produkte im Betrieb. Erneuerbare und gut rezyklierbare Rohstoffe haben dabei Vorrang. Das Ziel ist, einen möglichst kleinen ökologischen Fussabdruck zu hinterlassen.

Zeithorizonte für die empfohlenen Forschungsziele

In den folgenden Kapiteln werden Prioritäten und Ziele für die vier thematischen Schwerpunkte definiert; sie sind auf zwei Zeithorizonte ausgerichtet:

- mittel- bis langfristige Forschungsprioritäten für den Zeithorizont 2020–2050
- kurzfristige Ziele für den Geltungsbereich des vorliegenden Energieforschungskonzepts von 2017–2020

Sozio-ökonomische und regulatorische Aspekte

In Zukunft sollen Energieverbrauch und CO₂-Emissionen substantiell reduziert werden, dies trotz Wirtschaftswachstum. Dazu ist eine weitere Lockerung der Kopplung von Wachstum und Wohlstand einerseits und Energiekonsum andererseits notwendig. Zudem soll ein Umbau des Energiesystems stattfinden, der einen schrittweisen Ausstieg aus der Kernenergie sowie einen vermehrten Einsatz von erneuerbarer Energie beinhaltet. Dieser Umbau sollte möglichst ökonomisch effizient sein und auf einer breiten gesellschaftlichen Akzeptanz aufgebaut werden.

Die *Energiestrategie 2050* des Bundesrates beinhaltet den schrittweisen Ausstieg aus der Kernenergie bei gleichzeitiger Einhaltung der Klimaziele sowie dem Erhalt der bisher hohen Versorgungssicherheit in der Schweiz. Dies bedingt eine Erhöhung der Energieeffizienz sowie einen Ausbau der Energieproduktion aus erneuerbaren Quellen. Um diese Ziele zu erreichen, ist die Entwicklung technischer Lösungen unabdingbar; technologischer Fortschritt allein reicht jedoch nicht aus. So verlangt die Umsetzung der *Energiestrategie 2050* neben einem Umbau des Energiesystems einen Paradigmenwechsel im Energieverbrauch und somit eine Veränderung im Verhalten der Akteure. Der damit verbundene nutzungszentrierte Ansatz erfordert neue Konzepte und strukturelle Anpassungen bei Infrastrukturen, Wirtschaft, Politik sowie bei vorherrschenden gesellschaftlichen Normen und beim Verhalten.

Die Aufgabe der psychologischen, sozio-ökonomischen und regulatorischen Forschung ist es, ein besseres Verständnis des Verhaltens der Akteure und des Funktionierens der Märkte herzustellen, und die relativen Potenziale und Kosten verschiedener Massnahmen aufzuzeigen. Ausserdem sollten eine globale Sicht auf den Umbau des Energiesystems sowie ein besseres Verständnis der Querverbindungen und Wechselwirkungen verschiedener Massnahmen und Verhaltensweisen angestrebt werden. Gesellschaft und Technik hängen eng zusammen und lassen sich nicht trennen. Damit technische Lösungen ihren Beitrag zur nachhaltigen Energienutzung leisten können, müssen die relevanten wissenschaftlichen Aspekte des sozialen, öko-

nomischen und politischen Umfelds in ihrer Entwicklung berücksichtigt werden. Darum finden sich sozio-ökonomische Fragestellungen auch weiterhin direkt in den verschiedenen technischen Schwerpunkten dieses Forschungskonzeptes, wenn sie technologiespezifischer Natur bzw. für eine Technologie besonders relevant sind.

Allerdings birgt eine rein technologiebezogene Betrachtungsweise das Risiko, in der Forschung die Querverbindungen zwischen den Disziplinen aus den Augen zu verlieren. Die Determinanten des Verhaltens von Hauseigentümern, die gleichzeitig als Stromproduzenten agieren, sind beispielsweise sowohl aus Energieeffizienz Gesichtspunkten im Wohnbereich als auch für die Architektur der Energiesysteme und den Netzausbau relevant. Ebenso haben viele politische Instrumente und Massnahmen schwerpunktübergreifende Effekte, und sollten daher auch schwerpunktübergreifend untersucht werden.

Zudem bietet eine solche Betrachtung sozio-ökonomischer Themen bei verschiedenen Fragestellungen auch die Chance, Synergien zu nutzen. So kann verhindert werden, dass jeder technische Bereich beispielsweise Fragen der Technologieakzeptanz separat untersucht, obwohl eine technologieübergreifende Herangehensweise effizienter wäre. Schliesslich gibt es wichtige originär sozio-ökonomische Fragestellungen, die sich nur bedingt in die technischen Schwerpunkte eingliedern lassen, wie zum Beispiel Analysen von Energiemärkten oder die Entwicklung gesamtwirtschaftlicher Modelle zur Analyse von Energiepolitik.

Der Umbau des Energiesystems verlangt somit neben technischen Lösungen Änderungen des Verhaltens der Akteure. So müssen politische und regulatorische Instrumente und Massnahmen entwickelt und Rahmenbedingungen geschaffen werden, die den Umbau des Energiesystems begünstigen. Hierzu braucht es die psychologische, sozio-ökonomische und regulatorische Forschung. Der erhöhte Stellenwert dieser Energieforschung spiegelt sich bereits heute in der Schweizer Forschungslandschaft wider, insbesondere durch die Aufsetzung des Nationalen Forschungsprogrammes (NFP) 71 «Steuerung des Energieverbrauchs» sowie des Schweizerischen Kompetenzzentrum in Energieforschung CREST (Competence Center for Research in Energy, Society and Transition), die sich bis 2020 sozio-ökonomischen und regulatorischen Fragestellungen im Energiebereich widmen. Es bedarf jedoch auch über diesen Zeitraum hinaus weiterer Forschung insbesondere in den Bereichen Energiekonsum und individuelles Verhalten, Unternehmen und Märkte sowie energie- und umweltpolitische Massnahmen und Instrumente.

Mittel- bis langfristige Prioritäten

Energiekonsum und individuelles Verhalten

Die angestrebte Reduktion des Energiekonsums geht mit einer Veränderung des individuellen Verhaltens einher. Unter diesem Schwerpunkt sollen das Verhalten der verschiedenen Akteure mit psychologischen, soziologischen und mikro-ökonomischen Ansätzen analysiert und Handlungsempfehlungen formuliert werden. Forschung in diesem Bereich dient dazu, besser zu verstehen, welches die Beweggründe der jeweiligen Akteure sind, und wie spezifische energiepolitische Instrumente wirken. Ziel ist es, die psychologischen, ökonomischen und sozialen Determinanten der Energienachfrage sowie der individuellen Entscheidungsprozesse und der gruppenspezifischen Prozesse zu analysieren. So sollen Massnahmen entwickelt werden, die dazu beitragen können, den individuellen Energiekonsum zu reduzieren. In diesem Kontext sollen auch die Zusammenwirkung verschiedener Massnahmen und Rebound-Effekte weiter untersucht werden.

Unternehmen und Märkte

Dieser Schwerpunkt konzentriert sich auf das energie-relevante Verhalten von Unternehmen sowie das Funktionieren der Märkte. Unternehmen sind wichtige Akteure, ihre Strategien beeinflussen das Konsumentenverhalten, und ihre Investitionsentscheidungen haben einen erheblichen Einfluss auf den Aufbau neuer Energieinfrastrukturen. Es bedarf Forschung zu Anpassungsmassnahmen in den Unternehmen sowie zur Entwicklung von Rahmenbedingungen, die Innovation und technologische Veränderungen bezüglich Energieeffizienz fördern. Zudem spielt die Ausgestaltung der Energiemärkte eine wichtige Rolle bei dem Umbau der Energiesysteme. Daher sollten effiziente Designs von Energiemärkten und der Einfluss des Marktdesigns auf die Förderung erneuerbarer Energien erforscht werden.

Energie- und umweltpolitische Massnahmen und Instrumente

In diesem Teilbereich sollen mit Hilfe makro-ökonomischer Analysen energiepolitische Massnahmen und Instrumente untersucht sowie mit Hilfe von Szenarien die zukünftige Energienachfrage, das Energieangebot und Rahmenbedingungen analysiert werden. Tatsächlich hat die sozio-ökonomische Forschung die Aufgabe, auch unabhängig von Forschungsschwerpunkten die politischen, ökonomischen und sozialen Rahmenbedingungen sowie das Zusammenspiel von verschiedenen politischen Massnahmen und deren Effekte zu analysieren. Dabei sollten auch Wechselwirkungen mit nicht energiepolitischen Massnahmen berücksichtigt werden, beispielsweise in der Raumplanung, der Klima- oder Verkehrspolitik. Dies gilt nicht nur auf nationaler, sondern auch auf internationaler Ebene. Die internationale Klima- und Energiepolitik haben grossen Einfluss auf die Energiemärkte in der Schweiz. Das Aufzeigen dieses Einflusses sowie der Wechselwirkungen der nationalen und internationalen Politikmassnahmen bilden wichtige Forschungsschwerpunkte. Dies gilt auch für die Positionierung der Schweiz in den internationalen Energiemärkten.

Forschungsthemen 2017 – 2020

Die nachfolgende Liste zeigt eine Auswahl von Forschungsthemen, die in der Periode 2017–2020 angegangen werden sollten. Die aufgeführten Forschungsthemen sind zum Grossteil für mehrere technische Forschungsschwerpunkte relevant. So ist beispielsweise ein besseres Verständnis der Einflussfaktoren des individuellen Energiekonsums sowohl bei der Mobilität als auch in den Bereichen Wohnen und Arbeiten in der Zukunft wichtig.

Energiekonsum und individuelles Verhalten

- Sozio-ökonomische Determinanten sowie affektive, normative und kognitive Einflussfaktoren des individuellen Energiekonsums, Rebound-Effekte
- Zusammenhänge zwischen Information (am Beispiel von energiespezifischem Wissen) und der Entscheidungsfindung von Individuen in ihrem sozialen Kontext und ihren Bevölkerungsgruppen, Modellierung der Entscheidungsfindung inkl. Wirkung von rationalen (Risk vs. Return) und «Bounded Rationality»-Einflüssen
- Sozio-politische Akzeptanz (durch Stakeholder und Gesetzgeber), Gemeinschaftsakzeptanz, Akzeptanz politischer Massnahmen
- Akzeptanz und Einfluss von neuen energiesparenden Technologien auf das Verhalten der Haushalte
- Innovation im Energiebereich: Verhalten von Haushalten, Bedeutung und Wirkung von sozialen Innovationen

Unternehmen und Märkte

Investitionen

- Attraktivität von Investitionen in Energieinfrastruktur aus Perspektive der Investoren und der Portfoliooptimierung; Analyse und normative Bewertung der rechtlichen Rahmenbedingungen bei langfristigen Investitionen
- Hemmnisse bei Investitionen in Energieeffizienz und die erneuerbaren Energien

Unternehmensstrategie und Organisation

- Strategien für smarte Energiesysteme
- Energiebereich als Innovationssystem; Funktionsweise und Bestimmungsgründe; Innovationsanreize und Hemmnisse; Diffusion von Neuerungen
- Einflussmöglichkeiten von Firmen auf das Verhalten von Mitarbeitenden und Einflussmöglichkeiten der Mitarbeitenden auf Firmen inkl. arbeitsrechtliche Grenzen

Marktdesign

- Design der Energiemärkte in der Schweiz, effizientes Marktdesign, Designmöglichkeiten zur Förderung der Erneuerbaren, rechtliche Umsetzung effizienter Designs
- Liberalisierung sowie Marktregulierungsaspekte

Energie- und umweltpolitische Massnahmen und Instrumente

Gesamtwirtschaftliche Modellierung, Szenarien und Analysen

- Makroökonomische Modelle für Szenarien und Simulationen verschiedener energiepolitischer Optionen (Ausstieg aus der Kernkraft, Fördermassnahmen, Lenkungsabgaben, ökologische Steuerreform) und ihrer Wirkungen auf die Energieversorgung und die Wettbewerbsfähigkeit der Schweizer Industrie
- Ganzheitliche Analysen des Energiesystems; Bildung von aktors- und gesellschaftszentrierten Szenarien als Ergänzung zu energiezentrierten Szenarien, d.h. Entwicklung von Gesellschaftsformen (inkl. Lebensformen, Raumnutzung, Arbeit, Wohnen, Einkauf, Freizeit, Mobilität, u.a.), welche innerhalb der veränderten Rahmenbedingungen erfolgreich sein können; Anreize und Hemmnisse, welche diese Gesellschaftsformen begünstigen bzw. behindern
- Entwicklung von Nachfragemodellen und -szenarien, die individuelles Verhalten und soziale Interaktionen berücksichtigen
- Mechanismen zur weiteren Entkopplung von Energieverbrauch und Wirtschaftswachstum
- Strategien zur Anpassung an die Klimaänderung (Abkühlung, Wasserverfügbarkeit usw.)

Analyse energie- und klimapolitischer Instrumente und Massnahmen

- Gestaltung des Überganges vom Förder- zum Lenkungssystem
- Wechselwirkungen von klima- und energiepolitischen Instrumenten und Massnahmen

Rechtliche und internationale Aspekte

- Positionierung der Schweiz in den internationalen Energiemärkten sowie Möglichkeiten der Einbindung der Schweiz in den europäischen Energie(Strom-)markt – u.a. inkl. Pumpspeicherwerke im europäischen Netz
- Einfluss und Wechselwirkung von ausländischer Energiepolitik und internationaler Klimapolitik mit schweizerischen Instrumenten und Massnahmen
- Konformität der schweizerischen Instrumente und Massnahmen mit dem internationalen Recht
- Möglichkeiten zur Minderung/Auflösung von Zielkonflikten im Raumplanungs-, Umwelt- und Energierecht, Möglichkeiten und Grenzen der Beschleunigung von Planungs- und Bewilligungsverfahren

Wohnen und Arbeiten der Zukunft

Der Gebäudepark soll in Zukunft klimaneutral und energieeffizient betrieben werden. Er trägt dezentral dazu bei, Produktion und Nachfrage im elektrischem Netz im Gleichgewicht zu halten. Die menschlichen Bedürfnisse im Bereich Wohnen und Arbeiten werden auf ressourcenschonende Weise befriedigt.

Dieser Vision entsprechend, werden im Schwerpunkt *Wohnen und Arbeiten der Zukunft* Technologien und Konzepte erforscht, die den Energiebedarf reduzieren und die Effizienz der Energieumwandlung und -verwendung steigern. Daneben werden die dezentrale Energiespeicherung, die lokale Gewinnung erneuerbarer Energie in Gebäuden, Arealen, Siedlungen und Städten sowie das Zusammenspiel von Energieverbrauch, dezentraler Energiegewinnung und Netzinfrastrukturen und -betrieb erforscht. Dezentrale Energiesysteme müssen sich zweckmässig in das zukünftige Energiesystem der Schweiz integrieren, damit eine ganzheitlich effiziente und wirtschaftliche Energieversorgung garantiert wird.

Strategien zur Effizienzsteigerung und zur Reduktion des Verbrauchs nicht erneuerbarer Energie im Gebäudebestand sind zentral, um im Gebäudebereich Klimaneutralität erreichen zu können (d.h. die jährliche Bilanz der Treibhausgase ist Null). Das optimale Ausmass von Effizienzsteigerungen ist vom Kosten-Nutzen-Verhältnis von zusätzlichen Effizienzmassnahmen im Vergleich mit der Nutzung erneuerbarer Energie abhängig zu machen.

Neue Gebäude sollen im Betrieb keine umweltbelastenden Emissionen generieren und hohen Komfort bei Raumklima, Lärm/Akustik, Licht und Hygiene gewährleisten. Gebäude und verwendete Materialien sind ressourcenschonend herzustellen. Die Treibhausgasemissionen, die durch die Erstellung, Rückbau und Entsorgung von Gebäuden verursacht werden, sind gegenüber heute deutlich zu reduzieren.

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 ermöglichen. Dies umfasst sowohl die technologische als auch die sozio-ökonomische Forschung. Das erarbeitete Wissen muss schliesslich in Produkte und Planungs-, Beratungs- und Ausführungswerkzeuge sowie bei Bedarf in energiepolitische Programme und Instrumente umgesetzt und in den Markt transferiert werden. Dabei hängt es vom Verhalten der Eigentümer, Betreiber und Nutzer der Gebäude ab, ob die Spar- und Effizienzmöglichkeiten ausgeschöpft und die Ziele erreicht werden können.

Die Schnittstellen mit den anderen Schwerpunktthemen sind zu beachten, wie beispielsweise der Einfluss der Gebäude- und Raumplanung auf den Energieverbrauch für Mobilität und Infrastruktur oder der Einfluss von Smart-Grid- und Smart-Meter-Technologien auf die Einsatz- und Speichermöglichkeiten dezentraler erneuerbarer Energiegewinnung.

Nachhaltige Erneuerung des Gebäudeparks

Gebäude sind für rund 45 % des Primärenergieverbrauchs und für 40 % der gesamten CO₂-Emissionen der Schweiz verantwortlich. Hier liegt ein grosses Reduktions- und Optimierungspotenzial. Verschiedene nationale und internationale Strategien fordern eine konsequente Umgestaltung des Gebäudeparks nach Kriterien der nachhaltigen Entwicklung.

Basierend auf den in der Einleitung erklärten Visionen der «2000-Watt-Gesellschaft»¹⁷ sowie der «1-Tonne-CO₂-Gesellschaft»¹⁸ formulierte der Schweizerische Ingenieur- und Architektenverein (SIA) in Zusammenarbeit mit dem Bund, der ETH und der Stadt Zürich im «SIA-Effizienzpfad Energie»¹⁹ für den Gebäudebereich ein Etappenziel für das Jahr 2050. Demnach

¹⁷⁾ «Bilanzierungskonzept 2000-Watt-Gesellschaft», *Energie-Schweiz für Gemeinden 2014*, ¹⁸⁾ «Energierstrategie für die ETH Zürich», *ETH 2008*,

¹⁹⁾ Merkblatt «SIA-Effizienzpfad Energie» (Merkblatt SIA 2040), SIA 2016

sind bis 2050 eine durchschnittliche Leistung von 2000 Watt nicht erneuerbare Primärenergie und 2 t CO₂-Äquivalent pro Person und Jahr anzustreben. Der Gebäudebereich soll davon rund die Hälfte beanspruchen dürfen. Um die für den Gebäudebetrieb benötigte Energie in einen gesamtheitlicheren Kontext zu stellen, wird zusätzlich die in den Baustoffen und Gebäudetechnik-elementen enthaltene graue Energie sowie der durch den Gebäudestandort verursachte Energieverbrauch für Mobilität berücksichtigt.

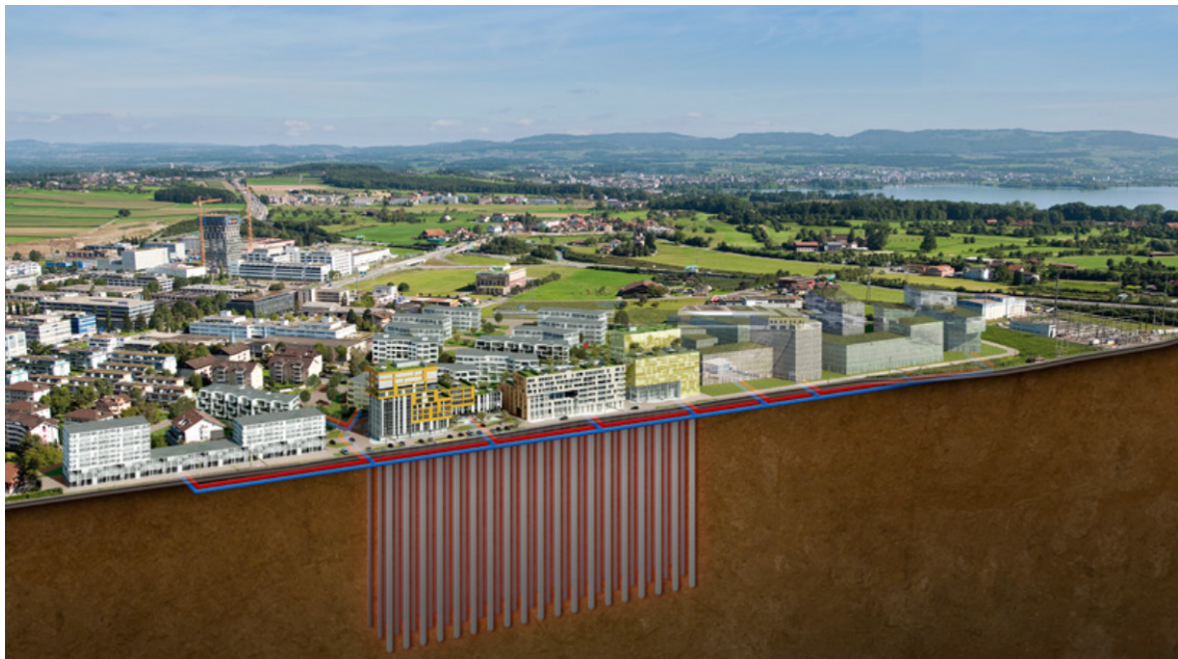
Dieses Etappenziel wurde unter der Prämisse der technischen Machbarkeit und finanziellen Zumutbarkeit sowie unter Wahrung eines architektonischen und städtebaulichen Spielraums festgelegt.

Ziele

Das Merkblatt «SIA-Effizienzpfad Energie» postuliert Zielwerte 2050 für die Primärenergie und die entsprechenden Treibhausgasemissionen in den sechs Gebäu-

dekategorien Wohnen, Verwaltung, Schulen, Lebensmittelverkauf, Fachgeschäfte, Restaurants und bietet eine entsprechende Berechnungsmethodik an. Bezogen auf das einzelne Objekt dienen diese Zielwerte als Minimalanforderung für Pilot- und Demonstrationsprojekte.

Nebst diesen umfassenden Zielwerten werden separate Richtwerte für den Betriebsaufwand und die Erstellung von Gebäuden sowie für die Mobilität genannt. Die Forschungsanstrengungen sollen etwa eine Halbierung dieser Richtwerte am einzelnen Objekt anstreben, um einen Schritt in Richtung der Vision eines CO₂-neutralen Gebäudebetriebs zu tun.



Die Arealüberbauung «Suurstoffi» in Rotkreuz verfolgt das Ziel eines CO₂-freien Betriebs der Wärme- und Kälteversorgung für Wohn-, Büro- und Gewerbenutzungen. Das Konzept basiert auf einem sogenannten «Anergienetz» in Kombination mit Erdwärmesonden und auf dem Areal produziertem Photovoltaikstrom (bei Spitzenbedarf Zukauf von Labelstrom). Die «Warm»-Leitung dient als Wärmequelle für die Wärmepumpen der einzelnen Gebäude, die «Kalt»-Leitung wird für Freecooling (ohne Wärmepumpe) genutzt.
Bild: Zug Estates und HSLU T+A

Mittel- bis langfristige Prioritäten

Gebäudehülle und -konzepte, Bauprozesse

Eine weitgehende Reduktion von Energieverbrauch und CO₂-Emissionen bestehender Gebäude ist eine grosse wirtschaftliche Herausforderung, welche die Optimierung aller möglichen Massnahmen am Gebäude erfordert. Bei der energietechnischen Erneuerung der Gebäudehülle steigen die Kosten mit zunehmender Verbesserung der Isolation progressiv an. Können diese Effizienzsteigerung und die damit verbundene CO₂-Reduktion mit anderen Massnahmen umweltfreundlich erreicht werden, so ist es aus volkswirtschaftlicher Sicht sinnvoller, in günstigere Massnahmen mit geringeren Grenzkosten zu investieren.

Bei Neubauten liegt der Fokus der Forschung auf dem Energiebedarf sowie den Schadstoff- und Treibhausgasemissionen über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes, inklusive dem grauen Energiebedarf und den damit verbundenen grauen Treibhausgasemissionen für die Herstellung der Materialien und die Erstellung der Bauten. Zur Reduktion des Energieverbrauchs während des Betriebs sind Technologien gefragt, welche nicht nur die Energieverluste substanzial reduzieren sondern auch die Energiegewinnung über die Gebäudehülle unterstützen. Dabei soll die architektonische Vielfalt gewährleistet bleiben.

Ganz allgemein sind Gebäude den künftigen Komfort- und Raumbedürfnissen anzupassen. Bei den Raumbedürfnissen sind Möglichkeiten zur Deckung der vorhandenen Bedürfnisse mit minimalen Infrastrukturen durch innovative Gebäudegestaltungs- und Grundrisslösungen zu erforschen.

Methoden zur Bewertung des Nutzens von Energieeffizienzmassnahmen gegenüber dem Nutzen zusätzlicher erneuerbarer Energiegewinnung auf der Ebene des einzelnen Gebäudes sind heute verfügbar. Es fehlen aber Grundlagen für eine Optimierung von Neubauten und Gebäudeerneuerungen aus Sicht des Gesamtsystems, d.h. unter Einbezug neuer – zentraler und dezentraler – Speichermöglichkeiten, smarter Energieversorgungsnetze und Demand Side Management. Mithilfe von Smart-Meter-, Automations- und

Smart-Grid-Technologien sollen Synergiepotenziale sowohl von Einzelgebäuden als auch von ganzen Arealen und Quartieren genutzt werden. Dazu sind innovative Instrumente zur integralen Planung, Lösungsevaluation und -optimierung zu entwickeln.

Für Wohnbauten soll die Forschung neue kostengünstige und hocheffiziente Dämmösungen bereitstellen, die architektonisch-ästhetischen Ansprüchen sowie den Anforderungen an historisch erhaltenswerte Gebäude gerecht werden.

In Nicht-Wohnbauten wie z.B. Büros, Schulen oder öffentlichen Gebäuden gilt es, innovative Lösungen zum sommerlichen Wärmeschutz kombiniert mit Lösungen zur Reduktion des Bedarfs künstlicher Beleuchtung (Tageslichtnutzung) zu entwickeln. Dabei ist die von Geräten, der Beleuchtung, aber auch von Menschen abgegebene Wärme zu nutzen und zusammen mit den Einflüssen der zu erwartenden Klimaänderung bei der Konzeption der Gebäudehülle von Neubauten bzw. bei der Sanierung bestehender Gebäudehüllen zu berücksichtigen.

Für sämtliche Gebäudetypen sind innovative Fensterkonzepte und innovative Verglasungen zu erforschen, die sowohl im Winter als auch im Sommer ein optimales Klima bei minimalem Energiebedarf ermöglichen.

Gebäudetechnik

Gebäude sollen – einzeln oder im Verbund – ihren Energiebedarf in Zukunft möglichst selber decken können («Zero Energy Buildings») oder über das Jahr gemittelt sogar eine positive Energiebilanz aufweisen («Plusenergiehäuser»). Zusätzlich sollen Gebäude aber auch dazu beitragen, Bedarfs- und Produktionsextrima im elektrischen Netz auszugleichen. Die Forschung ist einerseits gefordert, innovative Technologien zu entwickeln, um möglichst viel Energie in und an Gebäuden zu gewinnen. Andererseits sollen Technologien und Betriebsalgorithmen erforscht und entwickelt werden, welche eine möglichst gute zeitliche Abstimmung des Energieverbrauchs im Gebäude auf die am Gebäudestandort produzierte Energie ermöglichen. Forschungsthemen sind zudem Zweckmässigen

keit, Technologiewahl und Auslegung zur lokalen Speicherung, insbesondere Tages-, Wochen- und saisonale Speicherung, von nicht direkt verwertbaren Überschüssen aus der Energiegewinnung im Gebäude.

Die Technologien zur Gewinnung von erneuerbarer Energie am Gebäude und zur Nutzung von Abwärme sollen weiterentwickelt und noch wirtschaftlicher gemacht werden. Die architektonische Integration ins Gebäude wie auch die Entwicklung aktiver multifunktionaler Gebäudehüllenelemente zur besseren architektonischen Integration und Kostenreduktion haben dabei einen hohen Stellenwert. Darüber hinaus gilt es, die Standardisierung und die Zuverlässigkeit dieser Technologien zu erhöhen.

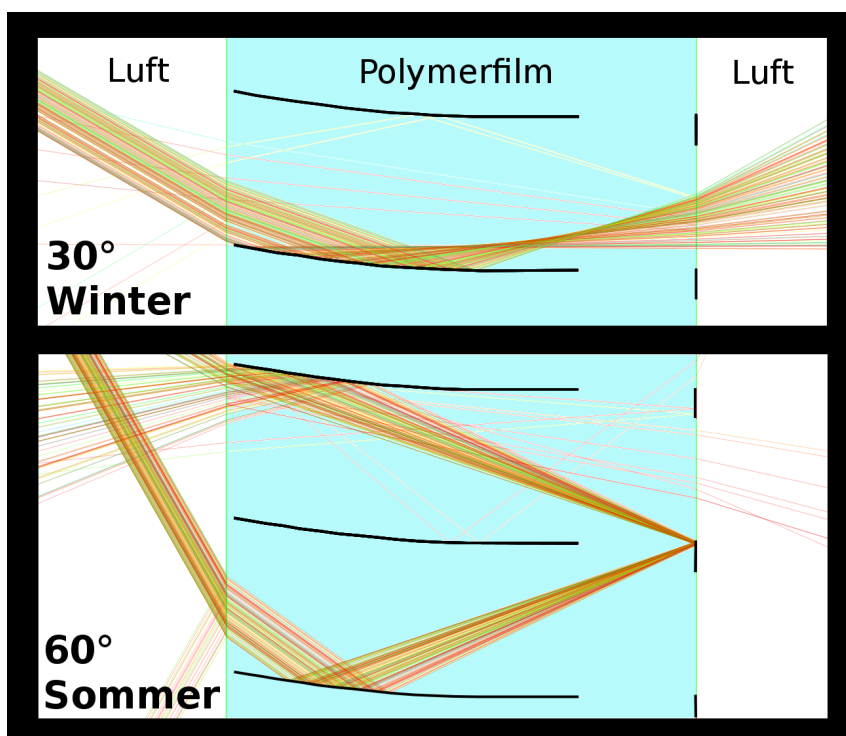
Ein wichtiger Aspekt ist die Erforschung kostengünstiger dezentraler Wärme- und Kältespeicherungstechnologien, welche u.a. einen Beitrag zur Stabilisierung

der Stromsystems leisten können. Neben der technischen Machbarkeit ist die Wirtschaftlichkeit solcher Lösungen ein zentrales Kriterium.

Hocheffiziente Wärmepumpentechnologien unterstützen die ökologische Transformation der Energiebereitstellung in Gebäuden. Sie sind oft eine der Voraussetzungen, um den verbleibenden Energieverbrauch von Gebäuden so zu reduzieren, dass er mit erneuerbaren Energien gedeckt werden kann.

Exergetisch vorteilhafte, ökologische, dezentrale Wärmekraftkopplungstechnologien sind bezüglich Anteil Stromproduktion, Lebensdauer und Kosten weiterzuentwickeln.

Aufgrund einer tendenziell steigenden Zahl von Hitzeperioden ist damit zu rechnen, dass in Zukunft der



Im Projekt «Integrierte multifunktionale Verglasung für dynamische Tageslichtnutzung» werden ein innovatives integriertes Konzept und die Entwicklung von neuartiger Verglasung zur Tageslichtnutzung untersucht. Die neuartige Verglasung soll die Funktionen von Tageslichtnutzung, Blendschutz, Überhitzungsschutz im Sommer und Wärmedämmung im Winter kombinieren. Ferner sollen neuartige Mikrostrukturen für die Umleitung einfallender Sonnenstrahlung sorgen, damit Tageslicht tief in den Innenraum in gewählten Winkeln ähnlich wie ein anidolisches spiegelbasiertes System projiziert werden kann, sowie den Blendschutz ermöglichen. Für bestimmte Winkel werden die Strahlungseinträge reduziert. Die Herstellung und Verbesserung von Mikrostrukturen durch die selektive Positionierung von Mikrospiegeln gehört zu den technologischen Fortschritten in diesem Bereich. Bild: EPFL-LESO-PB

Kühlbedarf im Gebäudebereich steigen wird. Dadurch wird von Kühlanlagen eine grössere Regulierbarkeit benötigt, was auch erhöhte Anforderungen an einen effizienten Betrieb im Teillastbereich erfordert .

Zur Überwachung und Regelung des gebäudeeigenen Energieverbrauchs, also zur Abstimmung von internem Verbrauch, im Gebäude produzierter Energie und dezentraler Speicherung sowie zur gebäudeübergreifenden Vernetzung sind innovative Lösungen mit IKT- und Automations-, Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnologien zu erforschen.

Areale und Quartiere

Um den elektrischen und thermischen Energiebedarf der Schweiz weitestgehend mit lokal vorhandenen, erneuerbaren Energiequellen zu decken, sind ganzheitliche Lösungsansätze notwendig. Quartiere bzw. Areale können zu dezentralen, vernetzten Energiesystemen ausgebaut werden. Das ist oft die Voraussetzung, um lokal verfügbare erneuerbare Energie und Abwärme wirtschaftlich zu verwerten und den elektrischen und thermischen Energiebedarf im Quartier oder Areal mit einem möglichst hohen Anteil an lokal gewonnener Energie sicherzustellen.

Dabei können dezentrale Energiesysteme Energiedienstleistungen für das jeweilige Quartier/Areal oder 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 und sind Subsysteme im zukünftigen Energiesystem.

Forschungsbedarf besteht im Bereich der energetischen und wirtschaftlichen Optimierung von Areal-Verbundlösungen, einschliesslich innovativer IKT zur Regelung und Optimierung von Energieerzeugungs- und Lastmanagement im Areal bzw. Quartier. Damit kann ein wichtiger Beitrag zur Konkretisierung der Debatte über «Smart Cities and Communities» geleistet werden.

Die Realisierung von Verbundlösungen für bestehende Areale mit mehreren Eigentümern und Akteuren ist eine komplexe Herausforderung. Modelle für erfolgversprechende Trägerschaften und für Akzeptanzfindungs- und Vorgehensprozesse bei der Prüfung und beim Aufbau von Areal-/Quartier-Verbundlösungen sowie für unterstützende rechtliche Rahmenbedingungen, energetische bzw. planerische Instrumente sowie Finanzierungslösungen sollen untersucht und evaluiert werden.

Mensch, Markt, Politik

Im Schwerpunkt *Wohnen und Arbeiten der Zukunft* soll das Verhalten der im Gebäudebereich relevanten Akteure (Eigentümer, Investierende, Nutzende, Beratende, Ausführende/Unternehmer) und die deren Verhalten bestimmenden Rahmenbedingungen, Einflussfaktoren, Hemmnisse und Treiber untersucht sowie die Möglichkeiten zur beschleunigten Transformation des Gebäudebestandes erforscht werden. Zu erörtern sind die Akzeptanz neuer Technologien, Konzepte und Modelle bei Investoren und Nutzenden sowie Möglichkeiten zur Überwindung allfälliger Hemmnisse.

Andererseits ist das Verhalten der Unternehmungen, die im Bereich *Wohnen und Arbeiten der Zukunft* aktiv sind, zu erforschen, inklusive der Faktoren, welche ihre Aktivitäten und Geschäftsmodelle beeinflussen. Unter anderem sind die Treiber und Anreize zu analysieren, die seitens der Hauseigentümer für eine Vernetzung sprechen. Zu untersuchen ist ebenfalls, wie die Nutzen der Vernetzung verteilt werden bzw. nach welchen Kriterien sie verteilt werden sollen.

Damit im optimierten Gebäudepark ein nachhaltiges Wohnen und Arbeiten möglich ist, sollen zudem Siedlungskonzepte und neuartige Wohn-, Wohnungs- und Arbeitsmodelle entwickelt und ihre möglichen Auswirkungen auf die energetischen Zielsetzungen erforscht werden. Das Zusammenspiel von Benutzerverhalten und eingesetzten Technologien soll optimiert werden, wobei die Technik ein sinnvolles Benutzerverhalten unterstützen soll.

Forschungsthemen 2017–2020

Die nachfolgende Liste zeigt eine Auswahl von Forschungsthemen, die in der Periode 2017–2020 angegangen werden sollten.

Gebäudehülle und -konzepte, Bauprozesse

Neue Technologien und Konzepte

- Innovative Gebäudekonzepte (längerer Lebenszyklus der tragenden Strukturen zur Ressourcenschonung, konsequenter Einsatz nachwachsender trenn- und rezyklierbarer Baustoffe, Leichtbau), neue Technologien und Bauprozesse
- Materialien mit minimalem grauem Energieverbrauch und grauen Treibhausgasemissionen. Erarbeitung von Grundlagen zum grauen Energieverbrauch von Gebäudetechnik
- Hocheffiziente Dämmkomponenten und -materialien für die Gebäudesanierung, die den Anforderungen der Verarbeitung auf der Baustelle (Zuschnitt) gerecht werden und den Arbeitsaufwand auf der Baustelle deutlich reduzieren
- Verbesserung der wärmetechnischen Eigenschaften von Verglasungen und Fenstern: Schaltbare Gläser, Gläser mit variablem g-Wert, usw.
- Erarbeitung von Grundlagen zur Verbesserung der Nutzungsflexibilität bei Neubauten und umfassenden Erneuerungen, zur Erhöhung der Nutzungsdauer oder zur Reduktion des grauen Energieaufwandes bei künftigen Erneuerungen oder bei Anpassungen an Nutzungsänderungen

Berechnungsmethodik, Tools

- Planungsinstrumente zur Reduktion des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen bei Gebäudesanierungen über den gesamten Lebenszyklus mit bestmöglichem Kosten-Nutzen-Verhältnis. Erarbeiten einer Beurteilungsmethode
- Integration energetischer Aspekte in Building Information Modeling-Systems (BIM) und Erforschung der Möglichkeiten von BIM zur Reduktion des Energieverbrauchs über den gesamten Lebenszyklus. Untersuchung der Möglichkeiten der Nutzung von energierelevanten GIS-Daten

Gebäudetechnik

Thermische und elektrische Nutzung der Solarenergie

- Solare Fassadenelemente (PV, Solarthermie) mit flexiblen Geometrien und gutem optischem Erscheinungsbild zur besseren Gebäudeintegration bzw. zur Eignung als gestalterisches Element
- Vereinfachung von Solarthermie-Systemen zur Kostenreduktion und Erhöhung der Zuverlässigkeit
- Optimierung der Abstimmung von Energie-Eigenbedarf, dezentraler Solarenergienutzung und dezentralen Speichermöglichkeiten

Wärmepumpen

- Verbesserung des Gütegrades von Wärmepumpen und Kältemaschinen sowie optimierte Einbindung ins Energiesystem des Gebäudes und ins Elektrizitätsnetz
- Neuartige und wirtschaftliche Kältemittel mit hoher thermodynamischer Effizienz, geringem Treibhauspotenzial und ohne ozonschädigende Wirkung

Wärme-Kraft-Kopplung (WKK)

- Optimierung von WKK-Systemen: Integration zur variablen erneuerbaren Stromproduktion

Geothermie bis 500 m Tiefe

- Chancen und Risiken der Erschliessung von Grundwasserschutzgebieten mit Erdwärmesonden-Systemen
- Grundlagenaufbereitung und Auslegungstools für saisonale Wärmespeicher mit Erdwärmesonden

Kältebereitstellung

- Ressourcen- und kostenoptimierte Lösungen für die aktive und passive Gebäudekühlung

Dezentrale Speicherung

- Neue Komponenten und Materialien sowie innovative Konzepte zur dezentralen Wärme-, Kälte- und Stromspeicherung (Tages-, Wochen- und Saisonspeicher für Gebäude und Areale, technische Speicher mit hoher Speicherdichte, Aktivierung der Wärmespeicherfähigkeit der Gebäude, usw.)

Lüftungssysteme

- Optimierung des Primärenergieverbrauchs von Lüftungsanlagen im Betrieb und ihres grauen Energieverbrauchs

Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT)

- Erforschung des längerfristigen Einflusses von IKT-Technologien auf den Wärme- und Elektrizitätsverbrauch von Geräten und Gebäuden (inkl. Eigenverbrauch, grauer Energie, Kosten, Akzeptanz)
- Last- und Produktionsmanagement von Gebäuden in Interaktion mit dem Elektrizitätsnetz und möglichen gebäudeinternen technischen Speichern und Speicherkapazitäten (inkl. Elektrofahrzeuge)

Monitoring und Betriebsoptimierung

- Analyse der Übereinstimmung von Planungswerten mit den realen Verbrauchswerten bei Neubauten und Erneuerungen, Identifikation und Analyse der Ursachen für allfällige Diskrepanzen und Ableitung von Empfehlungen
- Entwicklung kostengünstiger Methoden zur Verbrauchserhebung von Betriebsenergie und von Energie für gebäudeinduzierte Mobilität
- Analyse technischer Möglichkeiten zur Selbstregulierung der Systeme sowie Analyse ihrer längerfristigen Wirksamkeit

Areale und Quartiere

- Demonstration von Konzepten zur nachhaltigen Entwicklung von Arealen, Quartieren und Städten (2000-Watt-Areale und «Smart Cities and Communities») in Richtung Klimaneutralität
- Erforschung von Transformationspfaden und Strategien sowie unterstützenden Instrumenten und Rahmenbedingungen für eine Areal- und Quartierentwicklung in Richtung Klimaneutralität bei Gebäudegruppen bzw. «2000-Watt-Arealen»²⁰
- Quantifizierung des Einflusses von globaler Klimaentwicklung und Mikroklima in Siedlungen/Städten auf den Heiz- und Kühlbedarf von Gebäuden; Implementierung in Planungswerkzeuge
- Erarbeitung von Grundlagen für die Stadt- bzw. Quartierplanung, die zu einer Reduktion des «Heat Island»-Effekts und damit zu geringeren Kühllasten und höherem Komfort führen
- Untersuchung von Ausgestaltungs- und Optimierungsmöglichkeiten von Niedertemperaturnetzen zur Nutzung unterschiedlicher Quellen und Speicher von erneuerbarer Energie, Umweltwärme und Abwärme für Heizungs- und Kühlzwecke unter Nutzung neuer IKT Technologien zur Messung, Steuerung und Regelung
- Erforschung und Evaluation von Modellen für erfolgversprechende Trägerschaften, für Akzeptanzfindungs- und Vorgehensprozesse bei der Prüfung und beim Aufbau von Areal-/Quartier-Verbundlösungen sowie von unterstützenden rechtlichen Rahmenbedingungen, energetischen bzw. planerischen Instrumenten sowie Finanzierungslösungen
- Digitale Plattformen für integratives, multidisziplinäres und kollaboratives Planen unter Berücksichtigung energetischer Aspekte, ggf. unter Nutzung der Möglichkeiten eines Geoinformationssystems (GIS)

Mensch, Markt, Politik

Individuelles Verhalten

- Analyse der Treiber zur Wohnsitzwahl und deren Auswirkungen auf den mobilitätsbedingten Energieverbrauch, Entwicklung von Handlungsempfehlungen. Untersuchung der Akzeptanz neuer Wohn- und Arbeitsmodelle und deren Auswirkungen auf den Energieverbrauch
- Konzepte für neue raum- und ressourcenschonende Wohnformen
- Eruierung energetischer Reduktionspotenziale von Suffizienz-Strategien
- Bestimmungsfaktoren energierelevanter Bedürfnisse und Möglichkeiten/Instrumente zur Beeinflussung dieser Bedürfnisse im Bereich Wohnen und Arbeiten (wie Sharing-Konzepte im Bereich Wohnen und Arbeiten, Wohnflächen-/Belegungsvorgaben bei Förderung usw.)
- Sozio-ökonomische Determinanten, affektive und kognitive Einflussfaktoren auf energetische Konsumentscheidungen und auf das Verbrauchsverhalten im Bereich Wohnen und Arbeiten
- Energetische Bau- und Erneuerungsentscheidungen von Investoren im Gebäudebereich, Bestimmungsfaktoren dieser Entscheidungen und Instrumente zur Beeinflussung energierelevanter Entscheidungen
- Untersuchung der Einflussfaktoren, Treiber und Hemmnisse sowie von möglichen Anreizen, welche Gebäudeeigentümer dazu bringen, sich zu vernetzen und einem Verbund anzuschliessen
- Einflussmöglichkeiten von Hauseigentümern auf Mieter und Einflussmöglichkeiten der Mieter auf Hauseigentümer inkl. mietrechtliche Grenzen
- Analyse des Nutzerverhaltens im Gebäudebereich sowie der Auswirkungen neuer Energietechnologien im Gebäudebereich auf das Nutzerverhalten

Unternehmungen und Märkte

- Demand Side Management (DSM) mit neuen Energie- und IKT-Technologien: Möglichkeiten, erforderliche Instrumente/Rahmenbedingungen
- Analyse der unterschiedlichen Sichtweisen sowie Koordination der beteiligten Akteure (insbesondere der Gebäudeeigentümer und Netzbetreiber) bei der Optimierung von Handlungsempfehlungen
- Analyse von Aus- und Weiterbildungsbedürfnissen und zugehörigen Umsetzungsinstrumenten zur Verbesserung der Beratungs- und Ausführungsqualität bei den beratenden Intermediären und bei den Unternehmungen im Neubau- und Erneuerungsbereich

Mobilität der Zukunft

Durch Verkehrstelematik, fortschrittliche Antriebstechnik und innovative Mobilitätskonzepte zu einer attraktiven, leistungsfähigen und emissionsarmen Mobilität – in Zukunft sollen der Gesamtenergieverbrauch sowie die Treibhausgas- und Schadstoffemissionen trotz Mobilitätswachstum substanziell reduziert werden. Dazu ist die Forschung und Entwicklung im Bereich hocheffizienter Transporttechnologien, Treibstoffen aus erneuerbarer Energie und mobiler Speichertechnologien voranzutreiben sowie ein besseres Verständnis zum Nutzerverhalten neuer Mobilitätsformen zu erarbeiten.

Um diese Vision für den Mobilitätsbereich zu erreichen, müssen alle Bereiche der Mobilität optimiert und wo immer möglich die physische Mobilität (Verkehr) vermindert werden. Dazu braucht es neben der Verfügbarkeit leichter und effizienter Fahrzeuge, dem flächendeckenden Einsatz von Automationstechnologien sowie einem teilweisen Ersatz fossiler Treibstoffe, neue integrale Ansätze. Das Verhalten des Einzelnen wie auch der ganzen Gesellschaft wird eine entscheidende Rolle spielen. Durch interdisziplinäre Herangehensweisen müssen völlig neue Ansätze gefunden werden.

Die Materialwissenschaften bilden eine wichtige Grundlage für den Leichtbau, die Effizienz von Speichersystemen und die Sicherheit von ganzen Systemen. Neue Materialien und Technologien – Bionik²¹, Nanotechnologien, Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) und modernste Sensorik – werden in der Mobilität zwar bereits genutzt, besitzen aber noch Entwicklungspotenzial. Neben grossen Chancen bergen sie jedoch auch Risiken wie z.B. die erhöhte Unfallgefahr der E-Bike-Mobilität oder die im Brandfall von Kohlefaser-verstärkten Kunststoffen entstehenden lungengängigen Fasern.

Verkehrstelematik und Automationstechnologien sollen die Effizienz der Mobilität durch Verkehrsverflüssigung, Vermeidung unnötiger Fahrten, Fahrtenpooling usw. verbessern. Unklar sind bis jetzt die Folgen der flächendeckenden IKT, wie etwa ständig verfügbare Carsharing-Online-Plattformen auf die physische Mobilität. Diese Wissenslücken sind zu schliessen und Rebound-Effekte nach Möglichkeit zu verhindern.

Es ist für die Mobilität besonders relevant, sie im Kontext der modernen Zivilisation und damit auch im Kontext der anderen Schwerpunkte zu betrachten.

Geringer Energieverbrauch trotz mehr Mobilität

Die Mobilität beansprucht heute rund 35 Prozent des nationalen Endenergiekonsums. Das Verkehrsvolumen ist – sowohl absolut als auch relativ – immer noch steigend. Sowohl der Strassen- als auch der Schienenverkehr wachsen in der Schweiz schneller als die Bevölkerung. Die Hauptursachen sind die zunehmende Länge der Fahrtstrecken, gefolgt vom Bevölkerungswachstum und der gesteigerten individuellen Mobilität. In den letzten Jahren ist dadurch die Anzahl der Stautunden auf dem Autobahnnetz doppelt so schnell gewachsen wie die Verkehrsleistung. Da man dem Verkehrswachstum mit dem Ausbau der Infrastruktur nicht gerecht werden kann, werden neue Mobilitätsformen gesucht und benötigt. Zu den Spitzenzeiten gelangt auch der öffentliche Verkehr an die Grenze seiner Kapazität, obwohl im schienengebundenen Regional- und Fernverkehr die mittlere Auslastung mit 23 beziehungsweise 31 Prozent eher tief ist.

Um in der Schweiz in Zukunft einen hohen Mobilitätsgrad und ein gesamthaft attraktives, effizientes und umweltfreundliches Verkehrssystem zur Verfügung zu haben und die Ziele der *Energiestrategie 2050* zu erreichen, sind Fortschritte in vielen Gebieten nötig. Dazu gehören neue Technologien wie elektrifizierte Antriebe, die zusätzlich einen Beitrag zur Emissionsreduktion leisten können. Neue Konzepte des Verkehrsmanagements, die auf umfassende, verkehrsmittel-

²¹ Bionik: «Lernen von der Natur als Anregung für eigenständiges technisches Weiterarbeiten» aus Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler, W. Nachtigall 2002



Der neuartige Elektrobuss des Konsortiums ABB, TPG, Opi und SIG vermeidet die starre Einbindung des Trolleybusses an die Oberleitung, behält jedoch die sonstigen Vorteile eines Elektrobusses. Geladen wird der Bus mittels konduktiver Ladung an den Endstationen und Schnellladungen unterwegs an bestimmten Bushaltestellen. Bild: EPFL

übergreifende Mobilitätsinformation zugreifen können, ein verändertes Benutzerverhalten – mit oder ohne politische Massnahmen – und Modelle aus der «Sharing economy» sind weitere neue Lösungsansätze. Nicht zuletzt werden neue Entwicklungen in der Kontroll- und Steuerungstechnik langfristig völlig neue Wege zu einer effizienten und umweltfreundlichen Mobilität eröffnen. Wichtige neue Trends in der zukünftigen Mobilität umfassen selbststeuernde, fahrerlose Fahrzeuge, IKT-basierte, umfassende Verkehrsinformationssysteme und – im privaten Bereich und dort insbesondere bei der jüngeren Generation – die Tendenz weg vom Besitz eines Verkehrsmittels hin zur gemeinsamen Nutzung.

Zur Vermeidung von Spitzenbelastungen der Infrastruktur, um diese so besser und effizienter nutzen zu können («Peak shaving»), müssen auch «Desynchronisierungsstrategien» in umsetzbare und akzeptable Konzepte transferiert werden. Verkehrsverursachende

Aktivitäten – Ferien, Arbeit, Schule, usw. – können durch eine Flexibilisierung der Zeiten und der Orte (Telearbeit) oder durch Preissignale («Road pricing») reduziert werden.

Mittel- bis langfristige Prioritäten

Bei der Erforschung, Entwicklung und späteren Implementierung von neuartigen Technologien ist eine ganzheitliche Systembetrachtung (Sicherheit für Mensch und Umwelt, Recycling, Materialverfügbarkeit, Akzeptanz und Finanzierbarkeit) eine grundlegende Voraussetzung.

Energiespeicherung und Substitution fossiler Treibstoffe

Die gegenwärtig grösste Herausforderung beim Ersatz von Verbrennungsmotoren durch reine Elektroantriebe ist die kostengünstige Speicherung elektrischer Ener-

gie in Fahrzeugen. Elektrochemische Energiespeicher (Batterien und Akkumulatoren) verfügen über eine Energiedichte, die im Regelfall nur rund fünf Prozent jener der fossilen Treibstoffe entspricht. Diese Speicher sind demzufolge relativ schwer. Momentan beherrschen Lithium-Ionen-Speicher den Markt. Sie weisen gegenüber Blei-Batterien eine etwa fünffach höhere spezifische Energie auf. Diese Entwicklung ist eine wichtige Voraussetzung für die starke Verbreitung von Elektrobikes. Ein entsprechender Boom bei den Elektromobilen jedoch bis heute ausgeblieben. Weitere Forschungsanstrengungen zur Erhöhung der Energie- und Leistungsdichte, der Lebensdauer von Batterien bei gleichzeitiger Reduktion der Kosten sind deshalb notwendig.

Superkondensatoren (Supercaps²²⁾ sind Energiespeicher mit sehr hoher Leistungsdichte. Sie sind geeignet für Spitzenbelastungen und kommen bei Strassenbahnen und Bussen bereits heute zum Einsatz. In Elektromobilen werden sie aufgrund ihres hohen Preises noch kaum eingebaut, daher müssten sie kostengünstiger gefertigt werden. Ansatzpunkte sind beim Material und bei den Fertigungstechniken vorhanden.

De karbonisierungsoptionen für den Verkehr liegen grundsätzlich in der Effizienzsteigerung von Verbrennungsmotoren, dem Einsatz von biogenen Treibstoffen, einer teilweisen oder vollständigen Elektrifizierung. Bei all diesen Optionen soll neben ihrer technischen Optimierung auch geprüft werden, wie sinnvoll sie ökologisch und ökonomisch sind.

Hohe Effizienz durch intelligente Mobilitäts- und Verkehrssysteme mit IKT-Einsatz

Im öffentlichen Verkehr ist durch ein teilweises Umlenken der Verkehrsströme von Hauptverkehrszeiten zu Zeiten geringerer Auslastung eine ausgeglichene Verteilung der Fahrgäste anzustreben. Finanzielle Anreize auf der Strasse oder der Schiene können diesen Prozess unterstützen. Flexible Schul- und Arbeitsmodelle im Zusammenspiel mit Telearbeit helfen ebenfalls, Verkehrsspitzen abzubauen und besonders das Pendlervolumen zu reduzieren. Konzepte und Strategien zur Desynchronisierung sollten deshalb entwickelt und auf

ihre energetische, ökonomische, ökologische und gesellschaftliche Wirkung untersucht werden.

Mehr als die Hälfte des Verkehrs wird in hoch entwickelten Ländern durch Freizeitaktivitäten verursacht; ein Grossteil davon ist der motorisierte Individualverkehr. Der öffentliche Verkehr, der ausserhalb der Rushhours über grosse freie Kapazität verfügt, könnte mit neuen Tarifmodellen und Erschliessungskonzepten den Modal Split zu seinen Gunsten beeinflussen und sowohl Energiesparpotenziale erschliessen als auch einen Beitrag zur Reduktion von CO₂-Emissionen leisten.

Fahrerlose Strassenfahrzeuge besitzen das Potenzial, in den nächsten Jahren eine grosse Umwälzung im Mobilitätsbereich auszulösen. Im Nahverkehr könnten sie beispielsweise im Taxiverkehr, bei der «letzten Meile» des öffentlichen Verkehrs oder für Bus und Tram zu einer wirtschaftlichen Ergänzung oder gar Alternative zu Zeiten schwacher Nachfrage werden. Neue Formen des Carpooling und der Telematik, beispielsweise durch Verwendung von IKT, können noch viel Potenzial erschliessen. In diesen Bereichen müssen die bestehenden Wissenslücken geschlossen und die Umsetzungshemmnisse erkannt und abgebaut werden.

Effiziente Fahrzeugsysteme

Den Energiebedarf absolut und spezifisch zu senken und insbesondere den Verbrauch fossiler Treibstoffe zu reduzieren, bleibt ein Schlüsselthema in der Mobilität. Beim motorisierten Individualverkehr ist bis 2050 eine Reduktion des Treibstoffverbrauchs von Neuwagen um den Faktor 3 technisch machbar und deshalb anzustreben. Effizientere Antriebsketten²³ (Verbrennungsmotor, hybride und elektrische Systeme) und Nebenaggregate, Rekuperation, Leichtbau sowie die Reduktion der Luft- und Rollwiderstände bergen nach wie vor Potenzial.

Neue Materialien und Fertigungstechnologien ermöglichen mehr Effizienz bei den Fahrzeugkonzepten generell oder im Leichtbau. Wissenslücken gilt es hier vor allem im Bereich Sicherheit und Lebenszyklusanalysen der Materialien (einschliesslich des Materialrecyclings) zu schliessen. So sind aktive Sicherheitssysteme



Die fahrerlosen Shuttle-Fahrzeuge an der EPFL erschliessen das Hochschulgelände mit einer energieeffizienten, lärmarmen und lokal emissionsfreien Mobilität. Dieses neuartige Verkehrsmittel könnte den Strassenverkehr revolutionieren. Bild: EPFL

eine Voraussetzung für einen radikalen Leichtbau der Fahrzeugsysteme; ihre Weiterentwicklung ist entscheidend.

Mit der Absenkung der Widerstände in den Akkusystemen oder der Verwendung von Ultrakondensatoren in Hybrid- und in Elektrofahrzeugen kann der Wirkungsgrad der Rekuperation (Energierückgewinnung beim Bremsvorgang) deutlich erhöht werden.

Durch optimierte Fahrzeugsysteme soll die Verwendung seltener Erden und die eingesetzte graue Energie reduziert werden. Bereits in der Entwicklungsphase der Fahrzeugsysteme muss das spätere Recycling im Auge behalten werden.

Fortschritte werden durch interdisziplinäre Ansätze wie etwa der Bionik erwartet; Simulations- und Diagnosemethoden ermöglichen ein besseres Verständnis beispielsweise des Verbrennungsprozesses und erschliessen damit ebenfalls neue Optimierungspotenziale.

Benutzerverhalten und gesellschaftlicher Wandel

Mit dem Trend zur kollaborativen Gesellschaft und damit zu einem Lebensstil, der dem Besitz eines Autos weniger Bedeutung beimisst als der Nutzung zum Zeitpunkt des Bedarfs, eröffnen sich neue Möglichkeiten zur effizienten, ressourcensparenden Mobilität. Durch die "geteilte" Nutzung eines Fahrzeug können zwischen fünf und zehn Privatautos ersetzt werden²⁴. Gerade die Schweiz mit ihrer gut ausgebauten Verkehrsinfrastruktur und als Pionierland des Carsharings hat gute Voraussetzungen, unter Einbezug des öffentlichen Verkehrs, des Langsamverkehrs und der selbstfahrenden, automatisierten Verkehrsmittel neue integrierte Verkehrskonzepte zu entwickeln und deren ökonomisches und ökologisches Potential zu erschliessen. Das umfassende Verständnis einer Mobilität mit minimalem Einfluss auf die Umwelt inkludiert die Akzeptanzforschung und ganzheitliche Betrachtung der obigen Ansätze, inklusive Verkehrsvermeidungsstrategien wie Road-Pricing und Anti-Rebound-Strategien.

²⁴⁾ Nach Knoflacher, H.; TU Wien, 2014

Forschungsthemen 2017–2020

Energiespeicherung und Substitution fossiler Treibstoffe

- Weiterentwicklung von Fahrzeugkomponenten beziehungsweise -systemen zur effizienten und wirtschaftlichen Anwendung alternativer Treibstoffe (u. a. Elektrizität) und Energieträger (u. a. Wasserstoff, synthetische und Biotreibstoffe)
- Untersuchung der Auswirkungen bei der Nutzung neuartiger Energiespeicher und -träger wie Power to Gas (P2G) unter Berücksichtigung der ökologischen und ökonomischen Performance
- Erhöhung der Energiedichte von Akkumulatoren für mobile Anwendungen von heute rund 150 Wh/kg (bezogen auf den Akkublock) auf eine Energiedichte von mindestens 300 Wh/kg sowie Erhöhung der Lebensdauer auf mindestens 4000 Zyklen bei gleichzeitiger Verbesserung der Handhabungssicherheit
- Minimierung der Auswirkung der Schnellladungen auf die Lebensdauer der Akkumulatoren
- Ermittlung der Möglichkeiten und Quantifizierung der Potenziale, um mit Plug-in-Hybrid- und Elektrofahrzeugen den Lastgang der Stromversorgung substanziell zu beeinflussen, beziehungsweise Fahrzeugbatterien und stochastische Energieerzeugung ergänzend im Netzbetrieb einzusetzen

Hohe Effizienz durch intelligente Mobilitäts- und Verkehrssysteme mit IKT-Einsatz

- Interdisziplinäre Forschungsprojekte zur Entwicklung neuer Mobilitätssysteme
- Entwicklung von Konzepten zur «Desynchronisierung» inklusive umfassender Abklärung zu Effizienz, Kapazität, Sicherheit, Akzeptanz und weiteren möglichen Folgen
- Demonstration neuer Mobilitätsmodelle inklusive umfassender Begleitforschung (beispielsweise Effizienz, Kapazität, Sicherheit, Akzeptanz, Folgeabschätzung)
- Weiterentwicklung und Umsetzung von Konzepten zur flüssigen Betriebsführung im öffentlichen Verkehrsnetz (dynamische Fahrempfehlungen, Fahrpläne, usw.)
- Aufbau innovativer Konzepte für Carsharing und -pooling, die u. a. auf neuen Kommunikationstechnologien basieren
- Reduktion von Ungenauigkeiten bei Ökobilanzen und Lebenszyklusanalysen durch eine Verbesserung der Datengrundlagen und der Methodik, so dass eine ganzheitliche Betrachtungsweise der Mobilität beziehungsweise des Mobilitätssystems möglich ist

Effiziente Fahrzeugsysteme

- Eine Erhöhung des Wirkungsgrads bei Verbrennungsmotoren für Fahrzeuge um 10 % (Leistungsbereich bis ca. 250 kW) ist auf dem Prüfstand nachgewiesen
- Weiterentwicklung von Informationstechnologien und Sensoren als Basis für aktive Sicherheitssysteme in Fahrzeugen zur Verbesserung der Voraussetzungen für Leichtbaufahrzeuge
- Kombination von Leichtbau, Windschlüpfrigkeit, Leichtlaufreifen, IKT, effizientesten Antrieben usw. zur Verbrauchssenkung von Personenwagen, damit bei diesen ein Energieverbrauch von nur noch ein bis zwei Liter Benzinäquivalent pro 100 km erforderlich sind

- Pilotfahrzeuge und Demonstrationsprojekte für Hybridisierungskonzepte, die Treibstoffeinsparungen von mindestens 25–35 % gegenüber Referenzfahrzeugen bei nur minimalen Zusatzkosten aufweisen
- Integration von Lenkungssystemen für effiziente und weniger dynamische Fahrweise, beispielsweise in Kombination mit GPS

Benutzerverhalten und gesellschaftlicher Wandel

- Entwicklung von Massnahmen und Angeboten, welche die Attraktivität des öffentlichen Verkehrs und der kombinierten Mobilität steigern, um eine Verlagerung des motorisierten Individualverkehrs sowie des Luftverkehrs auf den öffentlichen Verkehr zu erzielen
- Entwicklung von Massnahmen und Angeboten, die eine Verlagerung auch beim Gütertransport auf die Schiene bewirken
- Entwicklung von Massnahmen, Konzepten und Komponenten sowie erste Anwendungen zur Steigerung der Energieeffizienz des öffentlichen Verkehrs um bis zu 10 % (beispielsweise Auslastungssteigerungen, Antriebsoptimierungen)
- Sozio-ökonomisch bzw. sozio-technologisch weiter entwickeltes Verständnis (z.B. vorbeugender Abbau von Schwellenängsten bei der Einführung neuer technischer Systeme) – unter Berücksichtigung des Rebound-Effektes – darüber, welche Technologien, Instrumente und Anreize berufsbedingte Mobilität und induzierten Verkehr vermeiden und Freizeitverkehr vermindern helfen
- Untersuchungen und Feldversuche zu Möglichkeiten und Grenzen von Desynchronisierung der arbeits- und freizeitbedingten Verkehrsströme für eine gleichmässige Auslastung der Verkehrsträger
- Identifikation nachhaltiger Mobilitätsinfrastrukturen und Geschäftsmodelle für Arbeit und Freizeit sowie deren anwenderfreundliche, standardisierte Umsetzung; Nachführung der Grundlagen für die entsprechenden energiepolitischen Rahmenbedingungen
- Pilotprojekte mit neuen Mobilitätskonzepten und -formen in ausgewählten Landesteilen, um die Umsetzung neuer Technologien und Geschäftsmodelle zu fördern, bei der Bevölkerung Akzeptanz zu schaffen und Grundlagen für spätere energiepolitische Entscheide zu erarbeiten
- In lokal begrenzten Gebieten soll die Wirkung der einzelnen Varianten des Roadpricings erprobt und evaluiert werden

Internationale Zusammenarbeit

Grundsätzliche Abklärungen im internationalen Verbund sind anzustreben bei:

- Normierung und Standardisierung von wichtigen Fahrzeugkomponenten wie beispielsweise Ladeinfrastruktur, Bordnetz, (Wasserstoff-)tank
- Untersuchung des Gefährdungspotenzials elektromagnetischer Strahlung hinsichtlich einer allfälligen künftigen induktiven Aufladung der Fahrzeuge
- Vereinheitlichte Lebenszyklusanalysen neuer Fahrzeugsysteme und wichtiger Bauteile mit einem verstärkten Augenmerk auf die Rezyklierbarkeit

Energiesysteme der Zukunft

Intelligent vernetzte Energiesysteme sind das Fundament einer sicheren, belastbaren und nachhaltigen Energieversorgung. Die Bereitstellung solcher Systeme ist zentral für die Entwicklung und Anwendung einer Energiepolitik, insbesondere für die *Energiestrategie 2050* der Schweiz. Die Integration energetischer Subsysteme erlaubt die ganzheitliche Verknüpfung von Energieträgern wie Strom, Wärme/Kälte, Treibstoffe mit Infrastrukturen wie Hochspannungs-, Wasser- und Transportnetzen, aber auch mit Kommunikationsinfrastrukturen. Das Ziel ist eine optimale Effizienz und ein Minimum an ungenutzten Energiepotenzialen, negativen Umwelteinflüssen und Risiken für die Bevölkerung. Wie die Komponenten und Teilsysteme auszulegen sind, damit sie optimal zusammen wirken, führt zu einer Vielzahl von Forschungsfragen, die einen weiten Spielraum für Innovationen darstellen.

Das Szenario «Neue Energiepolitik»(NEP) des Bundesrats verlangt grosse Absenkungen beim Endenergieverbrauch, welche Forschungsergebnisse und Innovationen im Markt bedingen. Die «Energiesysteme der Zukunft» sind das Rückgrat, mit dem die zu erzielenden Fortschritte in den Schwerpunkten *Wohnen und Arbeiten, Mobilität* und *Prozesse der Zukunft* zusammengehalten werden.

Integrierte Energiesysteme²⁵ bestehen aus einer Reihe von ineinander greifenden und wechselseitig abhängigen Elementen. Integrierte Energiesysteme haben eine Anzahl von eng verknüpften Bestandteilen.

Ein erstes Element umfasst die physischen Bestandteile, die Energie liefern, wandeln, speichern und transportieren. Deren Komponenten sind primäre Energieangebote, vor allem die erneuerbare Energie, Einrichtungen für die Wandlung in nützliche Produkte wie Brennstoffe, Wärme und Kälte oder Strom und Einrichtungen für Speicherung und Transport von Energieträgern. Ein Einsatz ist mit Eingriffen in Natur und Umwelt verknüpft, was ein integriertes Management der Gefahren und die Massnahmen zur Risikominderung erfordert. In diesem Sinne ist auch ein tiefes Verständnis der ganzheitlichen Lebenszyklusanalysen notwendig.

Eine zweite Serie von Elementen umfasst die physischen Komponenten, die die Energiesysteme miteinander verknüpfen und auf externe Signale reagieren lässt. Parallel dazu und idealerweise darin integriert ist ein drittes Element: die Dienstleistungssysteme der Informations- und Kommunikationstechnologien, die Plattformen für einen sicheren Datenverkehr liefern, um die Steuerung des Energiesystems zu gewährleisten.

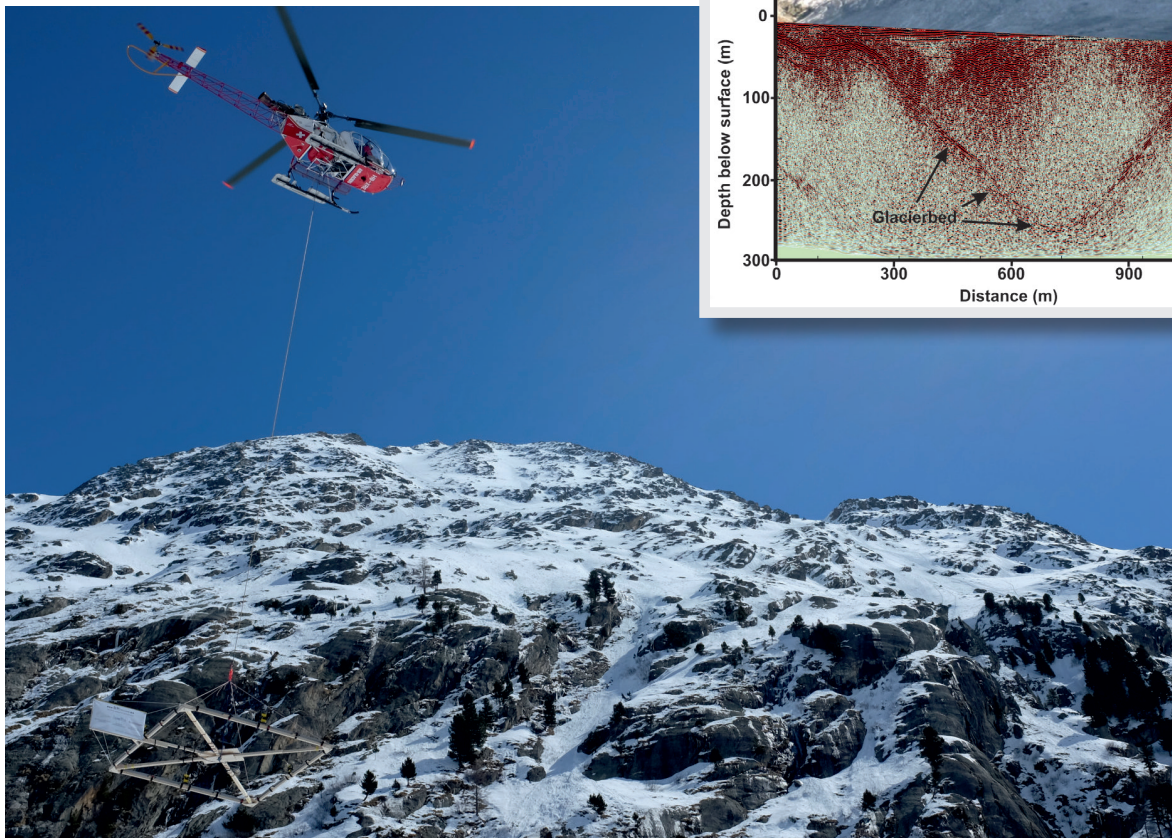
Überlagert und eng verknüpft mit der Systemsteuerung sind Systemkontrollen. Dieses Element überwacht, prüft und gewährleistet letztlich die Sicherheit und Zuverlässigkeit der realen Geräte, die an der Energieinfrastruktur angeschlossen sind.

Die zunehmende Liberalisierung der Energiemärkte führt zu einem tiefgreifenden Wandel des Investorenverhaltens, zu einer zunehmenden Dynamisierung von Geschäftsmodellen und zu einer grösseren Auswahl an Technologien, die zur Marktreife gelangen. Diese Entwicklung steht in einem Spannungsverhältnis zur Langlebigkeit von Infrastrukturanlagen. Daher entwickelt sich ein zunehmendes Bewusstsein, dass komplementär zu den technischen und ingenieurwissenschaftlichen Aspekten die Wechselwirkung des Energiesystems mit einem umfassenden letzten Ele-

²⁵⁾ Dieser Ansatz beruht auf einem vom National Renewable Energy Laboratory des US-amerikanischen Department of Energy beschriebenen Konzepts eines integrierten Energiesystems.

ment, dem dynamischen Marktumfeld, verstanden werden muss. Dieses wird stark durch ökonomische, regulatorische und politische Rahmenbedingungen bestimmt. Um die *Energiestrategie 2050* der Schweiz umzusetzen, muss Forschung und Innovation dazu eingesetzt werden, den drei Dimensionen der Nachhaltigkeit (wirtschaftlicher Nutzen, gesellschaftliche Wohlfahrt, und Umwelt- und Naturschutz) optimal zu entsprechen. Die gesellschaftliche Akzeptanz der Restrukturierung des schweizerischen Energiesystems durch neue Technologien und Konzepte, sowohl für die Nutzung einheimischer Ressourcen als auch für die Veränderung des Verhaltens beim Energiekonsum in einer zunehmend technologiekritischen Bevölkerung, stellt eine grosse Herausforderung dar. Zudem rücken politische und ökonomische Umbrüche innerhalb Euro-

pas die nationale Versorgungssicherheit verstärkt in den Vordergrund. Die Schweiz ist sehr tief in den europäischen Energiemarkt integriert. Dies wird so bleiben, unabhängig von der politischen und kommerziellen Ausgestaltung der zukünftigen ausländischen Beziehungen. Die physische Integration führt trotz externer Faktoren zu einer grösseren inländischen Versorgungssicherheit.



Die Alpen ohne Gletscher

Die Erstellung einer topografischen Karte, welche die Eisdicke der Schweizer Gletscher präzise darstellt, ist einen grossen Schritt näher gerückt: Im April 2015 wurde ein kristallklares Bild des Grundes des Otemma-Gletschers im Kanton Wallis während einer Radarerkundung aus der Luft aufgenommen. Das neue und verbesserte eisdurchdringende Helikopter-Radarsystem wurde ein Jahr nach der Vollendung der gemeinsamen Forschung durch die Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) und die Explorations- und Geophysikgruppe der ETH-Zürich erfolgreich getestet. Das Hauptziel des Gletscherinventar-Projektes ist die Erstellung einer Reliefkarte der Schweizer Alpen ohne Gletscher bzw. mit Darstellung der Eisdicke der Schweizer Gletscher. Das Projekt wird durch die SCCER-SoE (Swiss Competence Centre for Energy Research – Supply of Energy) und die Schweizerische Geophysikalische Kommission (SGPK) finanziert.
Bild: Beat Rinderknecht, BR-Technik. Radargramm: Lasse Rabenstein, ETH Zürich

Mittel- bis langfristige Prioritäten

Forschung und Innovation sind für das Erreichen der langfristig ausgelegten Richtwerte für den Endenergieverbrauch zentral; so soll sich im Jahr 2050 der Landesverbrauch der Schweiz auf 125 TWh belaufen, rund 54 % tiefer als im Referenzjahr 2000. Die schweizerische Klimapolitik beabsichtigt bis 2030 die Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 um 50 Prozent senken²⁶. Der Stromverbrauch (nach Verlusten und parasitären Verbrauch) würde gemäss dem diesen Richtwerten zu Grunde liegenden Szenario pro Jahr rund 53 TWh betragen, ein Rückgang um 18 % gegenüber dem Referenzjahr 2000 trotz zunehmendem Wohlstand und steigenden Bevölkerungszahlen. Auf der Angebotsseite soll die Wasserkraft, das Rückgrat der schweizerischen Stromversorgung, rund 39 TWh liefern. Weiter sollen im Jahr 2050 rund 24 TWh Strom aus anderen erneuerbaren Energien bereitgestellt werden. Mittelfristige Richtwerte für das Jahr 2035 belaufen sich auf einer Gesamtenergienachfrage von 152 TWh, einer dem Szenario entsprechenden Reduktion des pro Kopf Verbrauchs von 43 %.

Energieeffizienz, Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit

In Bezug auf das Angebot von Wärme/Kälte und Strom ist zu erwarten, dass bestehende Systeme und Anlagen unter den Gesichtspunkten der ökologischen Nachhaltigkeit und der Energieeffizienz ihren Betrieb kontinuierlich optimieren. Ein Werkzeug dazu sind Lebenszyklusanalysen gekoppelt mit Entscheidungsanalysen. Effizienter Ressourceneinsatz, Fokus auf Entwicklung und der Einsatz effizienzsteigernder Technologien und Technologien zur Minderung und Vermeidung von Treibhausgasemissionen werden den ökologischen Fussabdruck verringern.

Für Systeme der Strombereitstellung und deren Integration in die Netze sind insbesondere eine gute Vernetzung (Steuerung und Kontrolle), eine hohe Verfügbarkeit und ein sicherer Betrieb nötig. Eine zuverlässige Integration erneuerbarer Energiequellen in Stromnetze beruht einerseits auf «intelligenten» Verfahren und andererseits auf neuen Steuerungssystemen.

Strom aus erneuerbaren Quellen

Neben der Energieeffizienz und Einsparungen, ist die Nutzung der erneuerbaren Energien für die Strombereitstellung ein Grundpfeiler der *Energiestrategie 2050*. Bis 2035 sollen rund 14,5 TWh Strom aus neuen erneuerbaren Energien bereitgestellt werden (2014 waren es 3 TWh), was einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 8 % entspricht. Nachhaltigkeitskriterien, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit werden in einen Mix resultieren, um zusätzlichen Kosten für Energiespeicherung und Netzanpassungen aufgrund des erwarteten beträchtlichen Zubaus von Photovoltaik und Windenergie zu minimieren.

So soll die mittlere Stromproduktion aus der Wasserkraft um 1,5 bis 3,2 TWh pro Jahr gesteigert werden. Dies kann unter Berücksichtigung des Umwelt- und Naturschutzes und sozio-ökonomischer Faktoren erzielt werden, wenn neben etablierten Lösungen (Erhöhung der Staumauern, Ausbau der installierten Leistung) auch innovative Ansätze zur Nutzung in bestehenden Anlagen und neue Standorte für Pumpspeicherkraftwerke gefunden werden. Aber der Klimawandel wird nicht nur die Wasserverfügbarkeit beeinflussen, sondern auch den Zustand des Wassereinzugsgebiets durch einen erhöhten Sediimenteintrag und zu potenziell gravierenderen Konsequenzen von gehäuft aufzufindenden Naturgefahren führen.

Für die schweizerische Wasserkraft ist das Winterhalbjahr die kritische Periode, da es zu einem Abfall von 50 % der heutigen Produktion kommen kann. Allein deshalb werden Speicherkapazitäten, die flexibel genutzt werden können, eine wichtige Rolle für die Versorgungssicherheit spielen – nicht nur für die nationalen Bedürfnisse, aber auch für Europa.

Dem Einsatz der Photovoltaik kommt in der *Energiestrategie 2050* eine grosse Rolle zu, da rund die Hälfte des Stromes aus neuen erneuerbaren Quellen über Photovoltaik produziert werden soll. Allgemeine Herausforderungen für die Technologie liegen in einer weiteren Kostenreduktion über die gesamte Wertschöpfungskette, massgeblich über eine weitere Effizienzsteigerung einzelner Komponenten und die indust-

²⁶⁾ <http://www.bafu.admin.ch/klima/03449/12696/index.html?lang=de&msg-id=56394>

rielle Umsetzung neuer Produkte und neuer Herstellungsverfahren. Weiter sind die Bereitstellung von Lösungen zur Integration (sowohl im Gebäude als auch im elektrischen Netz) und Fragen der Nachhaltigkeit (Minderung von Energie- und Materialeinsatz bei der Produktion, Recycling) von Bedeutung.

Leistungsfähige Smart Grids

An moderne, leistungsfähige elektrische Netze werden deutlich höhere Anforderungen gestellt: den sicheren und zuverlässigen Betrieb eines international eingebundenen Netzes mit einer grossen Zahl von Teilnehmern – zentrale und dezentrale Produzenten sowie grosse und kleine Konsumenten, die ihre Stromlieferanten frei wählen können. Gleichzeitig sind Ansprüche an umweltfreundliche Produktion, effizienten Gebrauch und hohe Flexibilität zur optimalen Anpassung von (intermittierender) Stromproduktion an den -konsum zu garantieren.

Um diese anspruchsvolle Aufgabe bewältigen zu können, braucht es auf der technischen Ebene eine weit gehende Integration der Stromproduktion aus variablen erneuerbaren Energiequellen ins Netz. Diese wird durch eine Beteiligung der Stromkonsumenten via «Demand-side-management», eine ausreichende Bereitstellung von Speicherkapazität, sowie einer durchgreifenden Integration von Informations- und Kommunikationstechnologien zur Bewältigung der neuen Komplexität im Netz charakterisiert sein. Vielversprechende Konzepte, kausale Zusammenhänge und multivariate Systemanalysen können durch die Anwendung von «Big-Data» und neuen Analysemethoden unter den Gesichtspunkten der Datensicherheit geprüft und entwickelt werden.

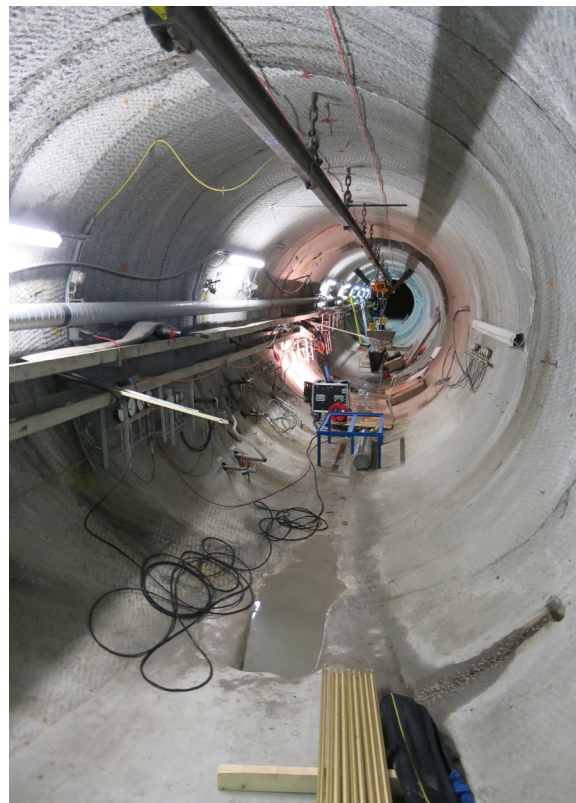
Energiespeicherung

Neue Telekommunikationssysteme, Systeme zur Datenakquisition, zur Datenanalyse und Netzwerkkontrolle werden es mittelfristig erlauben, «verteilte» Energiespeicherung vorteilhaft einzusetzen. Ergänzend dazu können die indirekte Speicherung von Strom in Form von Wärme oder die chemische Speicherung in Form von Wasserstoff oder Kohlenwasserstoffen helfen, den Ausgleich zwischen Angebot und Nachfrage zu erleichtern. Auch ein Ausgleich unter den Energieträ-

gern für thermische und motorische Energiedienstleistungen wird so möglich werden.

Kerntechnologie

Die unabhängige regulatorische Sicherheitsforschung soll weitergeführt werden, um Erkenntnisse aus dem schweren Störfall in Fukushima zu gewinnen und Lehren ziehen zu können.



Anwendungsorientierte erdwissenschaftliche Forschung im Grimsel Testlabor im Berner Oberland, um geothermische Ressourcen der Schweiz zu erschliessen. Geophysikalische Tests werden in Tunnels des Testlabors durchgeführt, um die Felsmassen umfassend zu charakterisieren (Bild unten rechts) bevor ein kontrollierter Test erfolgt, um eine hydraulische Stimulation durchzuführen.
Bild: Florian Amann, SCCER – SoE

Forschungsanstrengungen zur Entsorgung und zur Reduktion von nuklearen Abfällen sollen aufrechterhalten werden. Damit die drei Etappen des Standortauswahlverfahrens für ein geologisches Tiefenlager für radioaktive Abfälle erfolgreich durchgeführt werden können, sollen sozial- und geisteswissenschaftliche Grundlagen erarbeitet werden.

Die Schweiz soll bei der Entwicklung von Technologien für sichere und effizientere Reaktoren bis hin zur Kernfusion in dem Masse mitwirken, dass sie urteilsfähig bleibt. Letztlich sollen neue Reaktortechnologien der Generation IV hinsichtlich der Sicherheit, der Abfallbeseitigung und Lagerung kontinuierlich evaluiert werden. Die Fusionsforschung soll in dem Umfang weitergeführt werden, wie sie im Rahmen multilateraler Forschungszusammenarbeit finanziert werden kann und nicht zulasten der Forschungsmittel für andere Energietechnologien geht.

Überwachung von Sicherheit und Risiken im Energiesektor

Die zunehmende Abhängigkeit der Schweiz von erneuerbarer Energie verlangt eine kontinuierliche und ganzheitliche Betrachtung der Sicherheit und der Risiken. Sie umfasst die robuste Abschätzungen der Energieressourcen, der Sicherheit und Verfügbarkeit in Abhängigkeit vom Klimawandel, von anderen Umwelteinflüssen und von den politischen Rahmenbedingungen. Ebenso müssen neue Rahmenbedingungen für

die kontinuierliche Optimierung von Angebot und Nachfrage in einem sich ändernden Marktumfeld entwickelt werden. Gesellschaftspolitische Entwicklungen schreiben zwingend eine moderne Analyse der Risiken und Massnahmen zu deren Beherrschung für natürliche oder vom Menschen induzierte Gefährdungen im Energiesektor (insbesondere auch der Infrastruktur) vor. Letztere ist stark gekoppelt an eine gesellschaftliche Akzeptanz von neuen Technologien unter Berücksichtigung von Risikoaversion und Versorgungssicherheit.

Bedarf an Demonstrationsversuchen

Die Komplexität von Forschung und Technologie beim Nachweis der technischen Machbarkeit, von Planung und Betrieb zukünftiger Infrastrukturen kann Demonstratoren in der Grössenordnung kommerzieller Anlagen erfordern. Solche Plattformen ermöglichen es, neue Technologien und Infrastrukturen zu studieren und deren Potenzial in einer realistischen Umgebung zu prüfen. Beispiele sind das Lastmanagement und das Verhalten von integrierten Energiesystemen mit grossem Anteil von variablen erneuerbarer Energiequellen und notwendigen Speicherkapazitäten. Der Nachweis der petrothermalen Geothermie in der Schweiz, der in der Energiestrategie eine bedeutende Rolle zugeordnet ist, ist ein weiteres Beispiel; er lässt sich nur im 1:1-Massstab erbringen. Im zurzeit herrschenden Marktumfeld in der Stromwirtschaft kann dieser Nachweis nur mit grosser Unterstützung durch die öffentliche Hand erbracht werden.

Forschungsthemen 2017 – 2020

Die CORE empfiehlt die folgenden Forschungsthemen für die Periode 2017-2020, die sich an der Umsetzung der *Energiestrategie 2050* orientieren und die Stärken des Denk- und Werkplatzes Schweiz im internationalen Wettbewerb erhalten und weiter ausbauen sollen. Die CORE will nicht willkürlich Gewinner herausgreifen, sondern fördert den Ideenwettbewerb unter den für die Schweiz gültigen Rahmenbedingungen, die natürlicher, gesellschaftspolitischer und ökonomischer Natur sind. Daher wird von einer präskriptiven Prioritätensetzung abgesehen.

Bindeglieder des Energiesystems

- Bedeutung gross-skaliger Energiespeicherung in integrierten Energiesystemen
- Einschätzung der Integrationsmöglichkeiten bestehender Pumpspeicher mit neuen Speichertechnologien
- Optimale Planwerkzeuge für aktive Verteilnetze, die Speichertechnologien umfassen
- Bestimmung von Alterungsmodellen von Speichersystemen (mit Schwerpunkt auf elektrochemischen Speichern) für die Anwendung in Werkzeugen für Planung und Betrieb von Netzen
- Simulatoren für massiv verteilte Energiespeichersysteme
- Effiziente und wettbewerbsfähige Speicherung, insbesondere für kurzfristige und saisonale Wärmespeichersysteme (Latentwärmesysteme und thermochemische Sorptionssysteme)
- Effiziente und wettbewerbsfähige Speicherung, insbesondere für dezentralisierte Speichersysteme variabler Strombereitstellung (Wasserelektrolyse, Power-to-Gas mit assoziierter Elektrolyse von CO₂ und H₂O; Produktion von hoch-energetischen Brennstoffen)
- Chemische Speicherung flüssiger und gasförmiger synthetischer Treibstoffe aus erneuerbaren Energien
- Rückwandlung von Wasserstoff aus erneuerbaren Quellen über stationäre Brennstoffzellen in Strom
- Verteilte stationäre Batteriesysteme (einschliesslich Li- und Na-Ionen und Redox Durchflusstechnologien)
- Neue Materialien für Energiespeicherung und -wandlung bei verschiedenen Temperaturen

Erneuerbare Energien

Wasserkraft

- Auswirkung des Klimawandels auf das Produktionspotenzial, auf die Wasserverfügbarkeit (Gletscherschwund, Neuschneesummen und -schmelze, Wasserabflusszustände, Sedimenteintrag und -transport) und auf die Betriebssicherheit (Hochwasser und Hanginstabilitäten)
- Auslastungs- und Effizienzsteigerung bestehender Anlagen für flexiblen Betrieb zur Bedienung zusätzlicher und stark schwankender Nachfrage
- Technologie für die Anpassung bestehender Infrastrukturen im Hinblick auf erhöhte Produktionseffizienz und flexible Betriebsweise während saisonaler und Tagesspitzennachfragen
- Auswirkungen auf aquatische Ökosysteme von neuen und herausfordernden Betriebsweisen und grössere Anzahl von Kleinwasserkraftwerken; Strategien zur Minderung der Auswirkungen
- Bestimmung zukünftiger Rahmenbedingungen für eine mehrzielige Betriebsstrategie für die Wasserkraft (maximale Produktion, Zuverlässigkeit und Flexibilität, Wirtschaftlichkeit und Bewahrung von

- Ökosystemen) unter den Gesichtspunkten der zukünftigen Entwicklung der Nachfrage und einem zunehmend dynamischen Markt und gesellschaftlich-politischer Anforderungen
- Sicherheit und langfristige Verbesserung der Wasserkraftinfrastruktur (z.B. Alterung des Staumauerbetons, gesteigerte Häufigkeit und höhere Hochwasser, Starkbeben und nachfolgende Ereignisse, moderne Beobachtungssysteme und verbesserte Bewertungssysteme für Anfälligkeit)
 - Integrierte Pilot- und Demonstrationsprojekte für neue Produktionsweisen und -technologien in Grosswasserkraftanlagen

Energetische Nutzung des tiefen Untergrunds

- Physikalische, chemische und mechanische Eigenschaften von Gestein (Fluid-Gestein Wechselwirkung, Integrität von Deckgestein, Erzeugung von Durchlässigkeit)
- Hoch-auflösende Erkundungsmethoden zur Auffindung und Evaluation von Ressourcen und damit verbundener Störungsarchitektur
- Integrierte numerische Simulationsmethoden für dynamische Fließprozesse im Untergrund
- Neue Methoden die Gesteinspermeabilität zu erhöhen um optimale Wärmetauscher und Geothermiereservoir herzustellen
- Planbare, zuverlässige und kostengünstige Erschliessungs- und Nutzungsmethoden (auch obertägiger Natur) von Geothermiereservoirs
- Methoden für die Risikoeinschätzung, Überwachung, Vermeidung induzierter Seismizität und Minderung allfälliger Konsequenzen von Schadenbeben
- Testen und Validierung von Technologien, Prozessen und Verfahrensabläufen in in-situ Bedingungen im Untergrund und Einrichtung einer entsprechenden nationalen Forschungsinfrastruktur für Geothermieforschung im Untergrund
- Nationale Pilot- und Demonstrationsprojekte für tiefe Geothermie, CO₂- und andere Gasspeicher

Siliziumunabhängige Photovoltaik

- Neue Werkstoffe für Dünnschichtsolarzellen
- Verbesserungen von Solarzellen und Infrastrukturen für grossmassstäblicher Prozesse und Fertigungsanlagen
- Produktionstechnologien für Dünnschichtzelle
- Qualitätssicherung von Modulen und elektrische Systemtechnik

Bioenergie

- Wirtschaftliche Nutzung nachhaltiger Biomasse in der Schweiz
- Vorbehandlung der Biomasse für Produktstandardisierung, Speicherung, Transport und effiziente Umwandlung in Energieträger und Dienstleistungen
- Fermentationstechnologien (auch mikrobiologischer Art) für höheren Biogasertrag und zur direkten Produktion flüssiger Treibstoffe
- Gestufte Biomasseverbrennungsverfahren mit Emissionsminderung
- Verbesserte Vergasungstechnologien für nasse und trockene Biomasse (Effizienz, Schadstoffausstoss,

geschlossene Stoffkreisläufe, Korrosionsbeständigkeit, Ablagerungen, Lebensdauer von Katalysatoren, Systemintegration und Kosteneffizienz)

- Entwicklung polyvalenter Prozesstechnologien für Biomassevergasung
- Optimierte Strombereitstellung aus Biomasse (Exergie, Wirtschaftlichkeit, Markterschliessung)
- Abschätzung des Potenzials nicht-holzartiger Biomasse in der Schweiz
- Soziale Akzeptanz von Biomasse Industrieanlagen in der Schweiz

Intelligente Hochleistungsnetzte

- Überwachung und dynamische Kontrollmethoden für Übertragungs- und Verteilnetzte
- Integration von mehrfachen Anschlüssen von AC-DC (Wechsel- zu Gleichstrom), Übertragung und Verteilung
- Leistungselektronik und Umschaltung: Neue Leistungswandlerarchitektur und Hochspannungs- und Hochleistungsschaltgeräte
- Steuerung massiv verteilter Stromerzeugung- und Speichereinrichtungen durch neue kontrolltheoretische Ansätze
- Multi- und polyvalente Netze; Grundlagen der Wechselwirkungen von Multi-Netzwerken für Planung, Betrieb und Steuerung
- Wechselwirkung zwischen Demand Side Response und den Zusatz- und Nebenleistungen der Verteilnetze einerseits, und den primären, sekundären und tertiären Reserven der Übertragungsnetze andererseits
- Standardisierung und Netzwerksteuerung: Auswirkung der Netzanschlussrichtlinien (grid codes) auf die Betriebs- und Steuerungsverfahren
- Komponenten der Leistungssysteme: Auswirkung neuer Beobachtungs-, Steuerungs- und Schutzvorrichtungen auf Netzbetrieb und -steuerung
- Steuerung, Verfahren und Design polyvalenter Energienetze (Erd- und Biogas, Niedertemperaturverteilnetze, Strombereitstellung und –Verteilung, und Energie-Hubs)
- Intelligente Integration dezentraler Stromerzeugung
- Akkurate Modelle für die kurz- und mittelfristigen Vorhersagen der Strombereitstellung aus erneuerbaren Quellen für Szenarien der schweizerischen Energiesysteme

Kernenergie: Sicherheit und Nutzen

Regulatorische Sicherheitsforschung

- Erforschen von Brennstoffen und Materialien, externen Ereignissen, menschlichen Faktoren, Systemverhalten, Störfallabläufe und Strahlenschutz. Mitwirkung an internationalen Datenbanken zu Schäden und internen Ereignissen

Radioaktive Abfälle

- Untersuchung von Tongesteinen, Auslegung und Inventar eines Tiefenlagers inkl. Pilotlager (Gasentwicklung und -verhalten im Nah- und Fernfeld eines Tiefenlagers)
- Optimierung der Abfallbeseitigung, Vermeidung und Beseitigung der Abfälle

Prozesse der Zukunft

Neuartige Verfahren und Werkstoffe werden durch LCA-basierte Entwicklungsprozesse für die Herstellung von ressourcenoptimierten und marktfähigen Produkten eingesetzt. Der Energie- und Materialverbrauch der Produktionsanlagen ist durch hoch-effiziente Komponenten minimiert. Informationstechnologien unterstützen die Prozessintegration bis hin zu Energieoptimierung der Produkte im Betrieb. Erneuerbare und gut rezyklierbare Rohstoffe haben Vorrang. Das Ziel ist, einen möglichst kleinen ökologischen Fussabdruck zu hinterlassen.

Entwicklung und Umsetzung verbesserter oder neuartiger Produktionsprozesse werden vorab durch ökonomische, technologische oder gesetzliche Rahmenbedingungen angetrieben. Der Energieeinsatz, der Rohstoffverbrauch sowie die direkten und indirekten Einflüsse auf die natürliche Umwelt gewinnen als Produktionsfaktoren zunehmend an Bedeutung. Die Reduktion des Ressourcenverbrauchs ist ein Ziel in den Nachhaltigkeitskonzepten vieler Unternehmen und essentiell für die *Energiestrategie 2050*.

Prozesse der Zukunft erzeugen unter wettbewerblichen Bedingungen Konsum- und Investitionsgüter, welche die Kundenbedürfnisse über den gesamten Lebenszyklus mit einem möglichst kleinen ökologischen Fussabdruck optimal erfüllen.

Die Lebenszyklusanalyse soll bereits bei der Entwicklung des Produkts angewendet werden. Als Freiheitsgrade zur Erfüllung der Funktionalität spielen dabei neue Werkstoffe, energie- und materialeffiziente Prozesse, ein minimaler Energiebedarf bei der Nutzung sowie ein geeignetes Recycling eine zentrale Rolle. Durch das Fertigungsverfahren wird der grundlegende Energie- und Materialverbrauch für die Herstellung des Produkts bestimmt. Substanzielle Einsparungen sind durch die Entwicklung neuartiger Verfahren möglich.

Verfahren werden in Produktionsanlagen umgesetzt, die beheizt, gekühlt, angetrieben und gesteuert werden müssen. Ihr ökologischer Fussabdruck kann durch die Wahl der Energiebereitstellung, der Energieflüsse und der Energierückgewinnung stark beeinflusst wer-

den. Verbesserte Komponenten und integrierte Abläufe ermöglichen eine energetische Optimierung. Einen massgeblichen Einfluss auf den ökologischen Fussabdruck haben auch der Energieverbrauch während der Nutzungsphase der Güter sowie der Aufwand für die sinnvolle Wiedergewinnung (Recycling) der eingesetzten Materialien als neue Rohstoffe.

Der Einsatz erneuerbarer Energiequellen kann eine Anpassung der Prozesse erfordern, bei der Anwendung von Solarthermie beispielsweise eine Anpassung der Prozesstemperaturen. Relevant ist auch eine hohe Versorgungssicherheit, die für intermittierende Stromquellen mit Energiespeichern und die intelligente Einbindung ins Versorgungsnetz verbessert werden kann. Erforderlich ist deshalb eine verstärkte Integration in die Energiesysteme der Zukunft. Die energetische Nutzung der Biomasse steht in Konkurrenz zur Nutzung als Rohstoff für die Herstellung von biogenen Materialien wie beispielsweise Biokunststoffe²⁷.

Für die erfolgreiche Implementierung der Prozesse der Zukunft sind auch regulatorische und sozio-ökonomische Aspekte miteinzubeziehen. Gesetze können die Umsetzung von Energieeffizienzmassnahmen fordern, aber auch verhindern, wenn von den Aufsichtsbehörden bewilligte Prozesse nur mit grossem Aufwand geändert werden können. Aber auch ökonomische oder andere marktrelevante Überlegungen können dazu führen, dass energetische oder ökologische Argumente weniger stark gewichtet werden. Zu untersuchen ist deshalb auch, wie die Kundenbedürfnisse entwickelt werden können, um die Marktakzeptanz

von Produkten mit möglichst kleinem ökologischen Fussabdruck zu verbessern.

Der Forschungsschwerpunkt Prozesse der Zukunft betrifft den Industrie-, den Dienstleistungs- und den Landwirtschaftssektor, welche 36 % des Gesamtenergie- und 61 % des Stromverbrauchs der Schweiz verursachen. Darin nicht enthalten ist der Energiebedarf für den Transport der Güter und die Mobilität der Mitarbeitenden.

Das «Internet der Dinge» und «Industrie 4.0»

Mit der «IoT-Revolution» (Internet of Things)²⁸ lassen sich nicht nur Fertigungsprozesse von der Planung bis zur Auslieferung der Güter steuern und dokumentieren, wie dies unter dem Begriff «Industrie 4.0» verstanden wird²⁹. Mit der Vielzahl der erfassten Daten können die Prozesse auch energetisch optimiert werden^{30, 31}. Intelligente Sensoren und hoch integrierte

Mechatronik lassen darüber hinaus eine Überwachung und Regelung der Produkte während der Nutzungsphase zu, um den Energieverbrauch zu minimieren. Die Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) wird somit die Verbesserung der Prozesse substantiell unterstützen. Zusammen mit dem Dienstleistungs- und dem Konsumbereich ist sie dennoch ein relevanter Energieverbraucher. Die Vorteile müssen gegen den zusätzlichen Energieverbrauch abgewogen werden und die Energieeffizienz der IKT muss erheblich verbessert werden.

Additive Fertigungsverfahren erlauben eine schnelle Herstellung auch von komplexen dreidimensionalen Bauteilen bei vergleichsweise geringem Energie- und Werkstoffverbrauch. Die einsetzbaren Werkstoffe sind allerdings noch begrenzt und das Recycling wird noch wenig beachtet.



Leitsystem steuert den gesamten Produktionsprozess und liefert zeitgenau Informationen über den Energieeinsatz.
Bild: genkurl/Shutterstock

²⁸⁾ In Objekten ist künstliche Intelligenz (Computer) eingebaut und diese miteinander verbunden, ²⁹⁾ VDMA, Industrie 4.0 konkret- Lösungen für die industrielle Praxis, April 2015, ³⁰⁾ VDI Technologiezentrum, Innovations- und Effizienzsprünge in der chemischen Industrie? Wirkungen und Herausforderungen von Industrie 4.0 und Co., Juli 2014, ³¹⁾ VDI Zentrum Ressourceneffizienz, Material- und Energieeffizienzpotenziale durch den Einsatz von Fertigungsdatenerfassung und -verarbeitung, Feb. 2015

Neue Materialien wie ultraharte oder leichte Werkstoffe sowie widerstandsarme Oberflächenbeschichtungen erlauben es, Güter mit längerer Lebensdauer und geringerem Energiebedarf zu entwickeln³². Die begrenzte Verfügbarkeit von Rohstoffen zwingt die Industrie Strategien zur Minimierung des Materialeinsatzes, zum Einsatz von alternativen Materialien und zur Rückgewinnung nach der Nutzungsphase der Güter zu entwickeln (Kreislaufwirtschaft). Ein grosses Einsparpotenzial an Ressourcen wird durch den Einsatz von biogenen Werkstoffen wie Biokunststoffe erwartet. Im Vergleich zu mineralölbasierten Kunststoffen sind die biogenen nicht eindeutig formuliert, was für das Recycling oder die Entsorgung eine zusätzliche Herausforderung ist³³.

Neue Technologien in der pharmazeutischen und chemischen Industrie sind synthetische Biologie, zielgenauer Stoffeinsatz und fortschrittliche Werkstoffe (Advanced Materials)³⁴. Mit modernen Fertigungstechnologien (Advanced Manufacturing) sollen kontinuierliche Prozesse für ein erweitertes Spektrum an Produkten eingesetzt werden können.

Keine Standardrezepte zur Optimierung von Prozessen

Die Vielfalt der eingesetzten Technologien erlaubt keine Standard-Rezepte für den effizienten Energie- und Materialeinsatz. Erfahrungen der Energieagentur der Wirtschaft (EnAW) zeigen, dass oft Energiesparpotenziale von 30 % vorhanden sind. Diese Grössenord-

nung wird durch internationale Studien gestützt^{35, 36}. Langfristig wird beispielsweise in Konzepten zur Prozess-Intensivierung oder Next Generation Manufacturing von einer technischen Reduktion von 50% ausgegangen.

Die Entwicklung verbesserter oder sogar disruptiver Technologien erfordert von den Unternehmen eine Neuausrichtung der Produktionsprozesse. Dabei bieten sich Chancen, die Prozesse auf energieeffizienten und ressourcenschonenden Prinzipien auszurichten.

Wie eine Studie der Economist Intelligent Unit³⁷ zeigt, bewerten 77 % der befragten Industriemanager die Energieeffizienz als kritischen Erfolgsfaktor in den nächsten 20 Jahren. 45 % der Antworten gaben die Nachhaltigkeitsziele des Unternehmens als Schlüsselfaktor an, welcher die Investitionen in Energieeffizienz antreibt. Zahlreiche nationale und internationale Programme widmen sich der Ressourceneffizienz und damit implizit der Reduktion des Energieeinsatzes, so die Europäische Plattform für Ressourceneffizienz, das Joint Programm Energy Efficiency in Industrial Processes der Europäischen Kommission, die Forschungsagenda Green Economy des deutschen Bundesministeriums für Bildung und Forschung oder die Programme des Zentrums für Ressourceneffizienz des VDI³⁸. In der Schweiz werden auch Ziele für ressourcenschonende Technologien, Prozesse und Produkte im Masterplan Cleantech³⁹ des Bundes festgelegt.

³²⁾ BMBF, MatRessource, Materialien für eine ressourceneffiziente Industrie und Gesellschaft, Sep. 2014, ³³⁾ Bio-Based Industries (Public-Private Partnership) der EU, ³⁴⁾ SATW, Technology Outlook, 2015, ³⁵⁾ IEA, Technology Roadmap Energy and GHG Reductions in Chemical Industries via Catalytic Processes, 2013, ³⁶⁾ VDI Zentrum Ressourceneffizienz, Analyse von Ressourceneffizienzpotenzialen in KMU der chemischen Industrie, Okt. 2014, ³⁷⁾ Economist Intelligent Unit, beauftragt durch ABB, Economist Intelligent Unit, Intelligent manufacturing: Targeting better energy efficiency, Sept. 2013, ³⁸⁾ VDI: Verein Deutscher Ingenieure, ³⁹⁾ EVD u. UVEK, Masterplan Cleantech, 2011

Mittel- bis langfristige Prioritäten

Entwicklungsprozess und LCA

In zukünftigen Entwicklungsprozessen sollen der Materialeinsatz auf die erforderlichen funktionalen Eigenschaften der Produkte reduziert und gleichzeitig der Energieaufwand minimiert werden. Dafür müssen die Datengrundlagen von Werkstoffen und Verfahren erweitert, die Entwicklungswerkzeuge mit den Vorgaben der LCA ausgestattet sowie die Implementierung vorangetrieben werden. Dazu gehört auch die Integration in die Ausbildung.

Verfahren und Werkstoffe

Optimale energie- und materialeffiziente Verfahren sollen möglichst wenig Exergie benötigen und die Werkstoffe weitgehend nutzen, damit wenig Abfall erzeugt wird. Beispiele sind mechanische anstatt thermische Trennverfahren oder Kaltumformen anstatt Giessen. Für etablierte Verfahren sind grundlegend neue Ansätze (Paradigma-Wechsel, Process Intensification⁴⁰⁾ zur Beschleunigung und Verbesserung der Effizienz in Prozessen zu erforschen. Dazu gehören mikrotechnische Verfahren, mit denen viel genauer produziert werden kann, die Nutzung anderer Wirkprinzipien oder die Entwicklung kontinuierlicher Prozesse. Weiter zu erforschen sind zudem biotechnologische Verfahren, die typischerweise bei deutlich tieferen Temperaturen als synthetisch-chemische Verfahren ablaufen. Langfristig werden durch neuartige Verfahren Energieeinsparungen bis zu 50 % prognostiziert.

Die Energieforschung soll zudem in die Entwicklung neuartiger Technologien wie additive Fertigung oder Nanoprozesse miteinbezogen werden und deren Potenziale und Gefahren zur Reduktion des Ressourcenverbrauchs bis hin zum Recycling aufzeigen und mit modellhaften Anlagen demonstrieren.

Bei der Entwicklung und der Wahl der Werkstoffe ist es wichtig, auch deren Gesamtenergiebilanz – von der Rohstoffgewinnung bis zum Recycling – einzubeziehen. Forschungspriorität hat zudem die Entwicklung von aus Biomasse erzeugten Werkstoffen für die Verfahrens- und Fertigungstechnik.

Anlagen und Energietechnik

Substanzielle und langfristige Verbesserungen bei der Energie- und Materialeffizienz werden mit integrierten und kontinuierlichen Prozessen möglich. Forschungsbedarf besteht weiterhin bei den eingesetzten Energietechniken und bei der Optimierung der Energieflüsse. Einzubeziehungen ist die Verfügbarkeit variabler erneuerbarer Energieressourcen. Dafür sind die Flexibilität der Produktionsplanung und -steuerung und die Möglichkeiten der Integration in Smart-Grids auszuloten.

Auch die Standortfrage der Produktionsanlage gehört dazu. Langfristig wirksam sind Konzepte zur Integration von emissionsarmen Produktionsprozessen in den urbanen Raum, womit die Nutzung überschüssiger thermischer Energie verbessert und der Berufsverkehr reduziert werden können. Diesbezügliche Forschungsaktivitäten sind mit den Schwerpunkten Energiesysteme, Wohnen und Arbeiten sowie Mobilität abzustimmen.

Industrie 4.0-Konzepte zusammen mit verbesserten Sensoren und Simulationsmodellen können die vorgenannten Verbesserungen unterstützen oder überhaupt erst ermöglichen. Wichtig ist deshalb, dass sich die Energieforschung mit den neuartigen Produktionsprozessen befasst bzw. Teil der Produktionsforschung ist.

Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT)

Der massive Ausbau des Einsatzes der IKT führt trotz laufender Reduktion des spezifischen Energiebedarfs (kWh/Byte) zu einem erheblichen Zuwachs des Energieverbrauchs. Die IKT werden immer stärker mit den Anlagen und Gütern verwoben, weshalb eine breitgefächerte Optimierung der Systeme anzugehen ist. Priorität hat mittelfristig die Entwicklung von Hochleistungscomputersystemen mit effizienterer Energieversorgung auf Prozessorebene, weniger Verlustleistung, verbesserte Kühlsysteme und die Nutzbarmachung der Abwärme für weitere Anwendungen.

Langfristig muss der Energiebedarf der IKT durch fundamental verbesserte Systeme gesenkt werden. Zu

⁴⁰⁾ EFCE Working Party on Process Intensification; US Department of Energy, Process Intensification, Feb. 2015

erforschen sind zudem Massnahmen um den Rebound-Effekt zu dämpfen.

Nutzungsphase

Die Energieeffizienz in der Nutzungsphase von Investitions- und Konsumgütern muss bereits in deren Entwicklung mit einbezogen werden. Dabei ist eine Optimierung zwischen Ressourcenverbrauch für die Herstellung und während der Nutzungsphase anzustreben, um in der Gesamtbilanz einen möglichst kleinen ökologischen Fussabdruck zu erzielen. Die Wahl der Werkstoffe spielt bezüglich Lebensdauer, Reibungsverlusten oder Energiebedarf von bewegten Teilen eine wichtige Rolle. Durch die Integration von miniaturisierter Sensorik und intelligenter Mechatronik können Produkte besser entlang dem effektiven Energiebedarf betrieben, Abweichungen von Soll-Betriebszuständen frühzeitig erfasst und Instandhaltungsmassnahmen ausgelöst werden. Durch «Retrofit»-Methoden und die Möglichkeit zur Reparatur kann die Lebensdauer weiter erhöht und die Effizienz der Güter auch im Laufe der Nutzungsphase verbessert werden.

Recycling

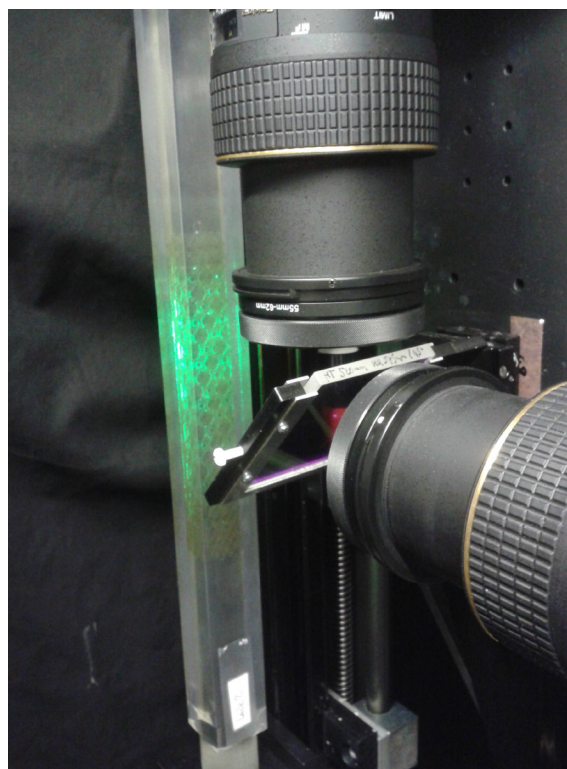
Am Ende der Nutzungsdauer sollen die in die Güter eingesetzten Ressourcen möglichst zurück gewonnen werden. Dabei sind Verfügbarkeit der Stoffe, energetischer Aufwand für die Rückgewinnung oder die Möglichkeiten, daraus thermische oder chemisch gebundene Energie zu gewinnen, entscheidende Kriterien. Die Energieforschung zeigt dabei Wege auf, wie die Prozesse unter Berücksichtigung einer maximalen Ressourcenrückgewinnung energieeffizient gestaltet und betrieben werden können.

Monitoring Energieverbrauch

Um Energieeffizienz-Massnahmen identifizieren und deren Potenzial bewerten zu können, sind geeignete Datengrundlagen nötig. Relevante Information sind Temperaturen, Abwärmepotenziale, Potenzial für energetische Synergien sowie Einsatzmöglichkeiten energiesparender Verfahren.

Verhalten

Relevant für die Entwicklung und Umsetzung der Prozesse der Zukunft sind das Verständnis und die Unterstützung durch die Entscheidungsträger sowie das Know-how in den Unternehmen. Die Energieforschung muss sich deshalb auch mit Managementtools und mit der Ausbildung befassen. Hinzu kommt die Erforschung der Hemmnisse und der möglichen Anreizsysteme zur Erhöhung der Nachfrage nach ressourcenoptimierten Produkten. Dies beispielsweise bezüglich Preissensibilität für in der Lebensdauer oder der Energieeffizienz verbesserte aber teurere Produkte. Effizienzmassnahmen führen häufig zu Rebound-Effekten, deren Vermeidung in die Verhaltensforschung miteinbezogen werden muss.



Process Intensification: Neuartiges Reaktorkonzept basierend auf porösen Strukturen zur kontinuierlichen und effizienten Produktion von Chemikalien in der chemischen und pharmazeutischen Industrie. Experimenteller Versuchsaufbau zur Charakterisierung und Optimierung des neuartigen Reaktorkonzepts bezüglich Wärme- und Stofftransport. Bild: ETHZ, P. Rudolf von Rohr

Forschungsthemen 2017 – 2020

Die folgende Liste zeigt eine Auswahl von Forschungsthemen für die Periode 2017–2020. Unter Berücksichtigung der ökonomischen Rahmenbedingungen soll eine gute Ressourceneffizienz hohe Priorität haben. Fallweise muss ein Abgleich zwischen Energie- und Materialeffizienz erfolgen. Verschiedene Forschungsthemen sind mit Themen anderer Schwerpunkte verbunden.

Entwicklungsprozess und LCA

- Erarbeiten von Datengrundlagen von bestehenden und neuartigen Werkstoffen⁴¹
- Weiterentwicklung von Simulationsmodellen zur Auswahl effizienter, ökonomischer Technologieketten, inklusive neuartiger Verfahren zur Reduktion des Energie- und Materialverbrauchs
- LCA-basierte Analyse des kumulativen Energiebedarfs von Produkten in Abhängigkeit der Werkstoffwahl
- Demonstration von Produktkonzepten mit minimalem Einsatz von Energie und Material, insbesondere toxischen oder umweltbelastenden Materialien
- Nutzung der Potenziale der Industrie 4.0 für eine Produktentwicklung nach Kriterien der Energie- und Materialeffizienz für dynamische Beschaffungsmärkte

Verfahren und Werkstoffe

- Weiterentwicklung detaillierter Analysen der chemischen Prozesse und Entwicklung von Simulationsmodellen für die Erforschung neuartiger ressourceneffizienter Verfahrenstechniken im Sinne der Prozessintensivierung; Darstellung im Labormassstab
- Erforschung von Werkstoffen und Technologien, die es ermöglichen, in spezifischen Anwendungen über den gesamten Lebenszyklus die Energieeffizienz zu verbessern
- Verbessern von in grossem Massstab eingesetzten Verfahren wie katalytische Prozesse
- Entwicklung und Verbesserung von biochemischen Verfahren als Ersatz für konventionelle thermische Prozesse
- Entwicklung von Datengrundlagen und Methoden zur technologischen, funktionalen oder materiellen Werkstoffsubstitution
- LCA-basierte Analyse der Ressourceneffizienz von neuartigen und biogenen Werkstoffen und Implementierung in die Werkstoffforschung und -anwendung

Produktionsanlagen und Energietechnik

Produktionsanlagen

- Nutzung verbesserter oder neuartiger Werkstoffe und Fertigungsverfahren für die energetische Optimierung von Produktionsanlagen
- Entwicklung numerischer Simulationsmodelle zur Minimierung des Energiebedarfs

⁴¹⁾ Heute existieren rund 40'000 metallische und 40'000 nichtmetallische Werkstoffvarianten (VDI, Ressourceneffizienz durch Werkstoffsubstitution, Dez. 2013)

- Demonstration der Potenziale neuartiger Sensorik und Mechatronik für die energieoptimierte Überwachung, Steuerung und Instandhaltung von Produktionsanlagen
- Entwicklung von Methoden und Programmen zur Nutzung der Möglichkeiten von Industrie 4.0-Konzepten zur Verbesserung der Ressourceneffizienz: Integration in die Entwicklungspfade der Industrie 4.0-Technologien
- Entwicklung von Konzepten und Steuerungsalgorithmen zur optimalen Abstimmung der Energieflüsse in Prozessketten unter Berücksichtigung neuartiger Komponenten zur Energierückgewinnung und -speicherung
- Einbezug von variabler erneuerbarer Energie sowie Interaktion mit Energienetzen, insbesondere dem Stromnetz in Smart-Grid-Konzepten

Energietechnik

- Erhöhung des Wirkungsgrads elektromotorischer Antriebssysteme inklusive Verbesserung der bedarfsge-rechten Steuerung und Möglichkeiten der Energierückgewinnung; Forschung bezüglich Substitution stra-tegischer Rohstoffe
- Erhöhung des Wirkungsgrads von verbrennungsmotorischen und hybriden Antriebssystemen von Maschinen; Abgleich mit Forschungsvorhaben der Mobilität der Zukunft
- Energetische Verbesserung von fluiddynamischen Systemen wie Pumpen, Ventilatoren oder Düsen
- Weiterentwicklung von hocheffizienten und für den industriellen Einsatz robusten Speichersystemen für thermische, elektrische und kinetische Energie
- Verbesserung von Technologien zur thermischen, elektrischen, chemische oder kinetischen Energierück-gewinnung auch für den Einsatz bei geringen Temperaturen und in stark verstreuten Energieflüssen
- Verbesserung der Energieeffizienz und Demonstration der Einsatzflexibilität von Wärme-Kraft-Kopp-lungssystemen in Abhängigkeit von der Energienachfrage der Produktion, dem Angebot aus variablen Energiequellen und dem Stromnetz
- Erhöhung des Wirkungsgrads von Kältemaschinen um 20 % gegenüber dem aktuellen Stand der Technik
- Entwicklung und Demonstration von Wärmepumpen zur Nutzbarmachung von Abwärme von Prozess-temperaturen, beispielsweise von 80 °C auf über 120 °C

Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT)

- Neues Denken im Prozessordesign mit integrierter Kühlung, effizienterer 3D Prozessorverpackung und tieferem Energieverbrauch
- Weiterentwicklung von verbesserten Kühlsystemen insbesondere Möglichkeiten zur Energierück-gewinnung (Abwärmennutzung) in IKT-Systemen
- Entwicklung von Software mit Energieeffizienz als Kriterium (Energy Aware Computing)
- Entwicklung von Planungsinstrumenten zur Implementierung von Vorgaben der Energieeffizienz von IKT-Konzepten (zu der rechnerischen Leistung auch Energieeffizienz als Norm einführen)
- Aufzeigen von Energieeffizienzpotentialen in neuartigen IKT-Systemen und Komponenten sowie Implementierung der Energieforschung in deren Entwicklungsprozesse

Nutzungsphase

- Entwicklung von «intelligenten» (selbstregulierenden) Produkten, die über Sensorik und mechatronische Systeme verfügen, um den Energiebedarf während der Nutzungsphase selber zu minimieren
- Demonstration von Monitoringtools zur webbasierten Überwachung und Steuerung der Nennbetriebszustände von Produkten einschliesslich Selbstdiagnose und Instandhaltungsüberwachung
- Entwicklung von Retrofit-Konzepten für die Verbesserung der Ressourceneffizienz von Produkten

Monitoring Energieverbrauch

- Beurteilung der Ressourceneffizienz von Produktionssystemen unter Berücksichtigung vor- und nachgelagerter Prozesse
- Nutzung des Internet of Things als Chance für Realtime-Energiemonitoring und Energiemanagement

Recycling und Entsorgung

- Modellierung und Analyse der Entsorgungskette basierend auf Material- und Energiebilanzen
- Untersuchung der Resilienz von Rohstoffversorgungsketten für Produktionssysteme
- Entwicklung von energie- und materialeffizienten Recycling- und Entsorgungskonzepten für komplexe Produkte
- Verbesserung der energetischen Abfallverwertung inklusive Abwärmenutzung und CO₂-Abscheidung

Verhalten

- Erforschung von Hemmnissen zur energieoptimierten Produktionsplanung und -umsetzung sowie Entwicklung von Lösungsansätzen einschliesslich Managementmodelle und Ausbildung
- Untersuchung von ökonomischen und regulatorischen Hemmnissen und Aufzeigen von Verbesserungsmöglichkeiten
- Analyse der Marktfähigkeit von material- und energieoptimierten Prozessen und Produkten und Ableiten von Marketingstrategien einschliesslich Massnahmen zur Vermeidung von Rebound-Effekten
- Überprüfung und Verbesserung der Kommunikationsinstrumente zur Information des Kunden über die Ressourceneffizienz von Produkten, beispielsweise durch «Labeling»

Forschungspolitische Empfehlungen

Die CORE empfiehlt den Förderinstanzen der öffentlichen Hand, sich am vorliegenden Energieforschungskonzept zu orientieren um sicherzustellen, dass die öffentlichen Gelder zielgerichtet eingesetzt werden.

Grundsätze der Förderung

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 also einen wesentlichen Beitrag zur Umsetzung der nationalen *Energiestrategie 2050* liefern. Das vorliegende Konzept enthält aber auch Empfehlungen für Energieforschung, die nicht in direktem Zusammenhang mit der *Energiestrategie 2050* steht.

Eine Voraussetzung ist die hohe Qualität der Gemeinde der Forscherinnen und Forscher, 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 akademischen Zusammenarbeit und der Zusammenarbeit von Hochschulen und Industrie ist für die Umsetzung der Forschungsergebnisse zentral und soll aufrecht erhalten werden. Eine effiziente und zielgerichtete Umsetzung wird gefördert durch eine wirtschaftsfreundliche Regelung des mit öffentlichen Fördermitteln erarbeiteten geistigen Eigentums wie beispielsweise Patente oder Lizenzen.

Stärkung der Energieforschung im ETH-Bereich sowie an den Fachhochschulen und Universitäten

Die von der Kommission für Technologie und Innovation (KTI) geförderten acht schweizerischen Kompetenzzentren für Energieforschung⁴² und die über den Schweizerischen Nationalfonds (SNF) finanzierten Forschungsprogrammen NFP 70⁴³ und NFP 71⁴⁴ sind gut gestartet und operativ. Die Etablierung der SCCER ermöglicht den Hochschulen einen personellen Kapazitätsaufbau im Bereich der Energieforschung, der auch Förderprofessuren (finanziert vom SNF) und finanzielle Beiträge an Forschungsinfrastrukturen einschliesst.

Die CORE unterstützt diese Politik und empfiehlt, den Ausbau der Kompetenzzentren – entsprechend dem für 2013–2016 vom Parlament bewilligten Vorgehen – in der Legislaturperiode 2017–2020 weiterzuführen. Nach 2020 soll die aufgebaute Kapazität wie vorgesehen durch die regulären Budgets der Hochschulen und Universitäten finanziert und nachhaltig gesichert werden.

Ressortforschung des Bundes

Eine wichtige Funktion bei der Förderung der Schweizer Energieforschung hat die Ressortforschung des Bundesamts für Energie (BFE). Mit ihren finanziellen Mitteln gelingt es ihr, zukunftsträchtige Technologien und Projekte zu unterstützen, die sich in Bezug auf ihre technologische Reife zwischen Grundlagenforschung und Marktnähe befinden; sie ist somit eine sinnvolle Ergänzung zur Förderung durch SNF und KTI. Ferner ist das BFE vom Bundesrat beauftragt, die Beteiligung der Schweiz Forschenden an den Forschungsprogrammen der Internationalen Energieagentur (IEA) sicherzustellen. Neben den Länderbeiträgen finanziert das BFE dabei auch die Aufwendungen von Schweizer Forschenden im Rahmen der einzelnen Forschungsprogramme (Implementing Agreements).

Trotz der Einstufung der Schweiz als Drittland im Rahmen der Forschungsrahmenprogramme nimmt sie wesentlich an den sogenannten European Research Area Networks (ERA-Net) teil. Hier kommt der Ressortforschung des BFE ebenfalls eine besondere Rolle zu, da die Finanzierung der energiebezogenen Ausschreibungen durch das BFE finanziert wird.

Die CORE empfiehlt, den Umfang der Ressortforschung im Energiebereich mindestens auf dem Niveau der Vorjahre beizubehalten und damit unter anderem die internationale Einbindung – vor allem bei den Forschungsprogrammen der IEA und der EU – sicherzustellen.

Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte

Mit den Mitteln für Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Energiebereich wird die Energiepolitik durch die beschleunigte Einführung innovati-

ver Technologien in den Markt unterstützt. Gleichzeitig wird die Ausstrahlung schweizerischer Cleantech-Innovationen über die Landesgrenze hinaus verstärkt. Die CORE empfiehlt, diese Finanzmittel auf dem derzeitigen Niveau von 35 Millionen Franken zu belassen, die Projektanträge weiterhin streng zu evaluieren und insbesondere die Anliegen der *Energiestrategie 2050* zu berücksichtigen.

Mit einem Anteil von 4,4 TWh an den Ausbauzielen der *Energiestrategie 2050* nimmt die Geothermie eine wichtige Position ein. Bis heute sind allerdings noch keine produktiven Anlagen in Betrieb. Umfassende Kenntnisse des Untergrunds sind unerlässlich, um eine zuverlässige Vorhersage geeigneter Standorte machen zu können. Dazu sind mehrere Sondierbohrungen und Stimulierungsversuche im Untergrund nötig. Aufgrund der Ziele in der *Energiestrategie 2050* empfiehlt die CORE, entsprechende Finanzmittel für eine schweizweite Kampagne bereitzustellen.

Know-how-Erhalt in der Kernenergie

Ein Gebiet, das besondere Aufmerksamkeit braucht, ist jenes der Fachkräfte im Bereich der Kernenergie. Nicht nur für die Restlaufzeit der Schweizer Kernkraftwerke, sondern auch für die Nachlaufzeit und die Phase des Rückbaus – also noch während 3 bis 4 Jahrzehnten – braucht die Schweiz dringend Nachwuchskräfte. Sie braucht sie darüber hinaus als Experten bezüglich der Vermeidung, der Reduktion und der Lagerung von radioaktiven Abfällen. Zudem muss die Expertise für die Begutachtung der Entwicklungen auf dem Gebiet der Kerntechnik erhalten bleiben.

Um diese Fachkräfte auszubilden und ihre Expertise zu langfristig sicherzustellen, ist ein Minimum an entsprechender Forschung im nuklearen Bereich nötig.

