



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 2013–2016

ausgearbeitet durch die  
Eidgenössische Energieforschungskommission CORE

## **Impressum**

Oktober 2011

Herausgeberin:

Eidgenössische Energieforschungskommission CORE

Leitung:

Tony Kaiser, Präsident CORE

Autoren:

Allgemeiner Teil: Katja Maus und Rolf Schmitz, BFE

Schwerpunkt Wohnen und Arbeiten: Andreas Eckmanns, BFE

Schwerpunkt Mobilität: Robert Horbaty und Stefanie Huber, Enco Energie-Consulting AG

Schwerpunkt Energiesysteme: Gunter Siddiqi, BFE

Schwerpunkt Prozesse: Stephan Renz, Beratung Renz Consulting

CORE Sekretariat

c/o Bundesamt für Energie

CH-3003 Bern

Tel. +41 31 322 56 11, Fax +41 31 323 25 00

[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

Bezug der Publikation: [www.energieforschung.ch](http://www.energieforschung.ch)

# Inhalt

<b>Vision</b>	<b>4</b>
<b>Forschung im Dienst der Energiepolitik</b>	<b>5</b>
<b>Wissenschaftlicher Hintergrund</b>	<b>6</b>
<b>Ziele</b>	<b>9</b>
Schwerpunkte	
<b>Wohnen und Arbeiten der Zukunft</b>	<b>11</b>
<b>Mobilität der Zukunft</b>	<b>16</b>
<b>Energiesysteme der Zukunft</b>	<b>22</b>
<b>Prozesse der Zukunft</b>	<b>29</b>
<b>Forschungspolitische Empfehlungen</b>	<b>34</b>

# Vision

Das Energieforschungskonzept des Bundes orientiert sich an der folgenden Vision, die von der eidgenössischen Energieforschungskommission (CORE) erarbeitet

wurde und von der Forschergemeinde der Schweiz gemeinsam getragen wird:

Die Schweizer Energieforschung leistet einen relevanten Beitrag zur effizienten und emissionsarmen Energiebereitstellung, -umwandlung und -speicherung. Sie fördert dadurch eine national und international sichere, ökonomisch und ökologisch tragbare Energieversorgung.

# Forschung im Dienst der Energiepolitik

Das Energieforschungskonzept des Bundes ist eine gemeinsame Vision der Schweizer Forschergemeinde und ein Planungsinstrument für die Förderinstanzen des Bundes. Daneben soll es den kantonalen und kommunalen Stellen, die mit der Umsetzung der energiepolitischen Vorgaben vertraut sind oder eigene Förderinstrumente für die Energieforschung haben, als Orientierungshilfe dienen.

## Die CORE

Die Commission fédérale pour la recherche énergétique (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, äussert sich zur energiebezogenen Ressortforschung des Bundes und sorgt für eine angemessene Information über die Erkenntnisse und Entwicklungen der Energieforschung. Der CORE gehören 15 Mitglieder an, welche die Industrie, die Wissenschaft und die Politik vertreten. Ihre aktuelle Zusammensetzung kann unter [www.energieforschung.ch](http://www.energieforschung.ch) eingesehen werden.

Das vorliegende Energieforschungskonzept gilt für die Periode 2013–2016. Es wurde von der CORE unter Einbezug der wichtigsten Schweizer Interessenvertreterinnen und Interessenvertreter im Bereich der Energieforschung erarbeitet und basiert auf aktuellen internationalen wissenschaftlichen Erkenntnissen.

## Forschungspolitischer Hintergrund

Der politische Rahmen für die öffentliche Energieforschung ist durch den Energieartikel in der **Bundesverfassung**<sup>1)</sup> gegeben, gemäss dem sich der Bund für eine ausreichende, breit gefächerte, sichere, wirtschaftliche und umweltschonende Energieversorgung einsetzt sowie eine sparsame und rationelle Energieverwendung und die Entwicklung von Energietechniken fördert, insbesondere in den Bereichen der Energieeffizienz und der erneuerbaren Energie.

Mit dem **Forschungs- und Innovationsförderungsgesetz**<sup>2)</sup> wird der Bund beauftragt, die Grundlagenforschung, die angewandte Forschung und die for-

schungsnahe Entwicklung neuer Energietechnologien, insbesondere im Bereich der sparsamen und rationalen Energienutzung sowie der Nutzung erneuerbarer Energien, zu fördern.

## Energiepolitischer Hintergrund

Die Schweizer **Klimapolitik** hat 2008 das Ziel gesetzt, die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Inland bis 2020 um 20 % gegenüber 1990 zu reduzieren. Die «Neue Energiepolitik» des Bundesrates strebt zudem nach Ablauf der Lebensdauer der Kernkraftwerke den Ausstieg aus der Kernenergie an. Die bundesrätliche Energiepolitik basiert auf den folgenden vier Säulen:

**Energieeffizienz:** Die wichtigste Massnahme zur Sicherstellung der künftigen Energieversorgung ist der sparsamere Umgang mit der Ressource Energie.

**Erneuerbare Energie:** Die Wasserkraft soll als wichtigste einheimische erneuerbare Energie zur Stromversorgung erhalten bleiben und massiv ausgebaut werden. Der Anteil der übrigen erneuerbaren Energie an der Stromerzeugung soll ausgebaut werden.

**Grosskraftwerke:** Ab 2020 fallen wichtige Grosskraftwerke in der Stromversorgung weg. Um den Stromverbrauch ab dieser Zeit zu decken, sind entweder neue konventionelle Grosskraftwerke, Stromimporte oder eine grössere Menge an kleineren Wärmekraftkopplungsanlagen (WKK) nötig.

**Energieaussenpolitik:** Die Verstärkung der internationalen Zusammenarbeit, insbesondere mit der EU, ist eine wesentliche Säule der Energiestrategie.

Darüber hinaus formuliert der **Masterplan Cleantech Schweiz**<sup>3)</sup> Ziele, Handlungsfelder und Massnahmen, um die Wettbewerbsfähigkeit der Schweiz im Bereich Ressourceneffizienz und erneuerbare Energie zu verbessern.

Die **Europäische Union** verfolgt bis 2020 die sogenannte **20/20/20-Strategie**: 20 % CO<sub>2</sub>-Reduktion, 20 % Anteil erneuerbare Energie am Gesamtenergiebedarf der EU sowie 20 % Verbrauchsreduktion im Vergleich zum Jahr 1990.

<sup>1)</sup> SR 101 Art. 89 Energiepolitik

<sup>2)</sup> SR 420.1 Forschungs- und Innovationsförderungsgesetz

<sup>3)</sup> [www.cleantech.admin.ch](http://www.cleantech.admin.ch)

# Wissenschaftlicher Hintergrund

Der **IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)** fordert bis 2050 eine CO<sub>2</sub>-Reduktion um 50 bis 85 % gegenüber dem Niveau von 2000, wenn die globale Erwärmung auf 2 bis 2,4 °C begrenzt werden soll.<sup>1)</sup>

Die **Internationale Energieagentur IEA** formuliert verschiedene Szenarien für die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen.<sup>2)</sup> Das **Basis-Szenario** geht davon aus, dass keine neuen staatlichen Massnahmen eingeführt werden. In diesem Fall würde der Primärenergieverbrauch zwischen 2011 und 2050 um 83 % steigen, und die CO<sub>2</sub>-Emissionen würden auf das Doppelte anwachsen.

Das **BLUE-Map-Szenario** setzt das Ziel einer Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 50 % gegenüber dem Niveau von 2005. Welche bestehenden und neuen CO<sub>2</sub>-armen Technologien zur Zielerreichung beitragen können, zeigt Abbildung 1.

Die CORE hat schon im Energieforschungskonzept 2008–2011 als Leitgedanken pragmatische Ziele für 2050 formuliert:

- Verzicht auf fossile Brennstoffe für die Bereitstellung von Wärme in Gebäuden (Alt- und Neubauten)
- Halbierung des Energieverbrauchs in Gebäuden. Heutiger Primärenergieverbrauch: 500 PJ
- Mindestens Verdreifachung der Nutzung der Biomasse als Energieträger. Heutige Nutzung: 37 PJ
- Senkung des durchschnittlichen fossilen Flottenverbrauchs von Personenwagen auf 3 l je 100 km. Heutiger Verbrauch: 7,6 l je 100 km

Dabei hat die CORE angenommen, dass die Energiedienstleistungen bis 2050 trotzdem um 60 % zunehmen können – beispielsweise die zurückgelegten Distanzen, die Wohnfläche oder die Produktion von Gütern.

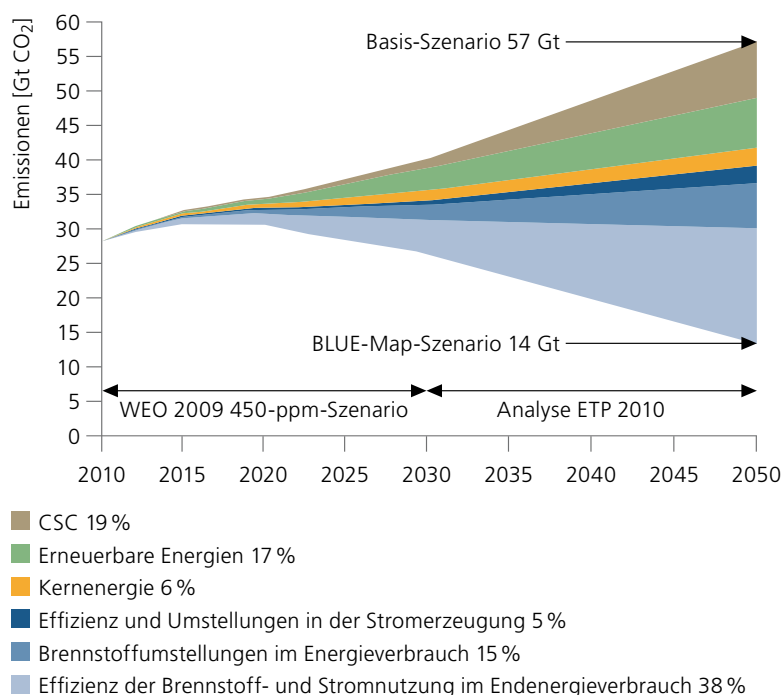


Abbildung 1: Schlüsseltechnologien für die Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im BLUE-Map-Szenario der IEA. (IEA Energy Technology Perspectives 2010)

<sup>1)</sup> WEO: World Energy Outlook, [www.iea.org](http://www.iea.org)

<sup>2)</sup> ETP: Energy Technology Perspectives 2010, [www.iea.org](http://www.iea.org)

In der Schweiz stehen heute zwei Visionen im Zentrum der Diskussion, die beide im ETH-Bereich entwickelt wurden, aber von einer unterschiedlichen Sichtweise geprägt sind: <sup>1)</sup> Die *2000-Watt-Gesellschaft* setzt die Energieeffizienz in den Vordergrund. Sie verlangt, bis 2100 den Primärenergiebedarf weltweit auf ein Niveau zu senken, das einer kontinuierlichen Leistung von 2000 Watt pro Person entspricht. 2010 betrug dieser in der Schweiz 6500 Watt. Das Konzept der *1-Tonne-CO<sub>2</sub>-Gesellschaft* lässt auch einen höheren Energieeinsatz zu, wenn dieser mit erneuerbarer Energie gedeckt wird. Entscheidend ist, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kopf und Jahr langfristig eine Tonne nicht überschreiten.

Der Vergleich dieser beiden Visionen in Abbildung 2 zeigt, dass beide Szenarien in den nächsten Jahren vergleichbare Absenkpfade vorgeben.

Aufbauend auf den beiden Szenarien postulierte der ETH-Rat für die 2. Hälfte des Jahrhunderts die folgenden Ziele:

- Der Primärenergiebedarf für die Schweiz verringert sich um den Faktor 2 bis 3.
- Der CO<sub>2</sub>-Ausstoss reduziert sich bis auf 1 Tonne pro Person und Jahr.
- Die Schadstoffemissionen und die Abfälle sind unkritisch für Mensch und Umwelt.
- Die mit der Energiegewinnung verbundenen Stoffflüsse sind deutlich kleiner als heute, insbesondere werden Stoffkreisläufe geschlossen.

Aus diesem Absenkpfad ergeben sich für die Energieforschung in naher Zukunft zwei Stossrichtungen: Einerseits muss die Energie effizienter genutzt werden, um den Primärenergiebedarf zu senken, und andererseits muss die limitierte fossile Energie durch erneuerbare Energie oder andere CO<sub>2</sub>-freie Energiequellen ersetzt werden, um den Ausstoss von Klimagasen zu reduzieren (Dekarbonisierung).

Langfristig gesehen unterscheiden sich die beiden Visionen – 2000 Watt und 1 Tonne CO<sub>2</sub> – erheblich. Sie können zur Bevorzugung oder Ablehnung be-

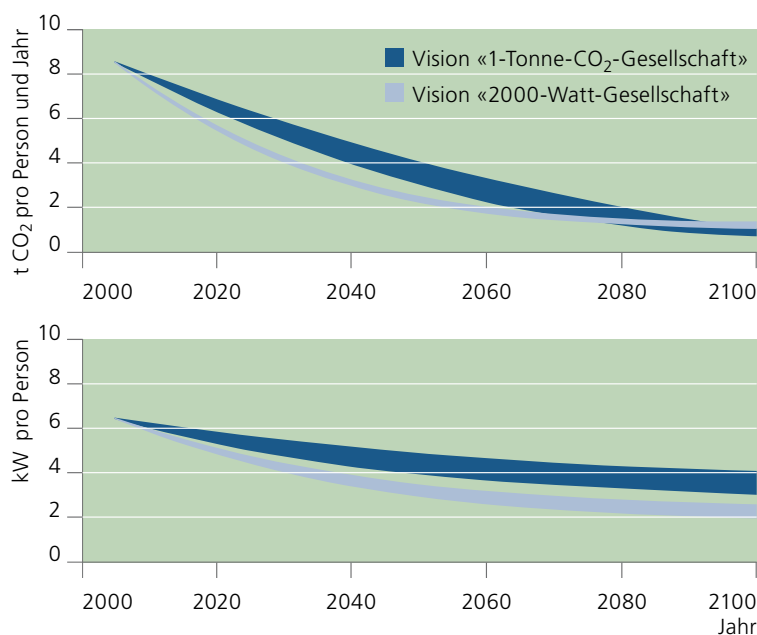


Abbildung 2: Unterschiedliche Wege zur Senkung des Primärenergiebedarfs bzw. der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Vision der 2000-Watt-Gesellschaft (PSI, CCEM, Novatlantis) bzw. der 1-Tonne-CO<sub>2</sub>-Gesellschaft (ETH Zürich).

In naher Zukunft verlaufen die Absenkpfade ähnlich. 2050 werden die Unterschiede der Szenarien offensichtlich: Mit der Dekarbonisierungsstrategie wird eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen auf 3 bis 4 t bei einem Primärenergiebedarf von 4 bis 5,5 kW erreicht, die Effizienzstrategie liegt bei rund 2 t CO<sub>2</sub> und einem Energiebedarf von gut 3 kW.

Ende des Jahrhunderts erreichen beide Strategien das 1-Tonne-CO<sub>2</sub>-Ziel, allerdings mit unterschiedlichem Primärenergiebedarf.

<sup>1)</sup> Fact Sheet des ETH-Rates von April 2009: «Auf dem Weg zu Energiesystemen von morgen»

stimmter Technologien führen. Die Dekarbonisierungsstrategie beinhaltet beispielsweise Technologien wie die CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Lagerung oder das Recycling. In der Mitte dieses Jahrhunderts sollte sich zeigen, welcher Weg der sinnvollere ist.

### 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. Beim Technologietransfer hat die Schweiz im Vergleich zum Ausland viel Potenzial, wie Abbildung 3 zeigt.

Pilot- und Demonstrationsanlagen sollen in Zusammenarbeit mit der Industrie frühzeitig eingeplant werden. Mit ihnen lassen sich die technische Machbarkeit bzw. die Realisierbarkeit in grossmassstäblichen Anlagen aufzeigen. So lassen sich private Investoren finden, denen das Risiko ohne Förderung zu gross wäre.

Das Wissen muss auch weitergegeben und angewendet werden. Hier spielt die Ausbildung der **wissenschaftlichen und technischen Fachkräfte** eine wichtige Rolle. Im Speziellen ist durch den Bund sicherzustellen, dass für die zu installierenden Anlagen ausreichend Fachkräfte zur Verfügung stehen.

### Sozialwissenschaftliche Aspekte

Weiter spielen bei der Einführung neuer Technologien in den Markt oder bei der Implementierung energiepolitischer Instrumente sozialwissenschaftliche Faktoren eine entscheidende Rolle. Der Umsetzung in marktfähige Produkte sowie den sozialwissenschaftlichen Fragestellungen muss deshalb bei sämtlichen Forschungsbereichen entsprechend Beachtung geschenkt werden.

### Internationale Zusammenarbeit

Die internationale Zusammenarbeit verstärkt die Effizienz der eingesetzten Forschungsmittel. Voraussetzungen für eine erfolgreiche Zusammenarbeit sind die aktive Teilnahme an internationalen Programmen sowie anerkannte, qualitativ hochwertige Beiträge der Schweiz. Die internationale Zusammenarbeit muss über den Kreis der Industriestaaten hinausgehen und sich entwickelnde Staaten einbeziehen.

Über die jeweils federführenden Bundesstellen wie das Staatssekretariat für Bildung und Forschung (SBF) sowie die Bundesämter für Energie (BFE), für Umwelt (BAFU) und für Bildung und Technologie (BBT) soll die Zusammenarbeit zwischen der Schweiz und der Internationalen Energieagentur (IEA) sowie den Forschungsprogrammen der EU (Forschungsrahmenprogramme, SET-Plan<sup>1)</sup>, Joint Programming usw.) sichergestellt und gestärkt werden.

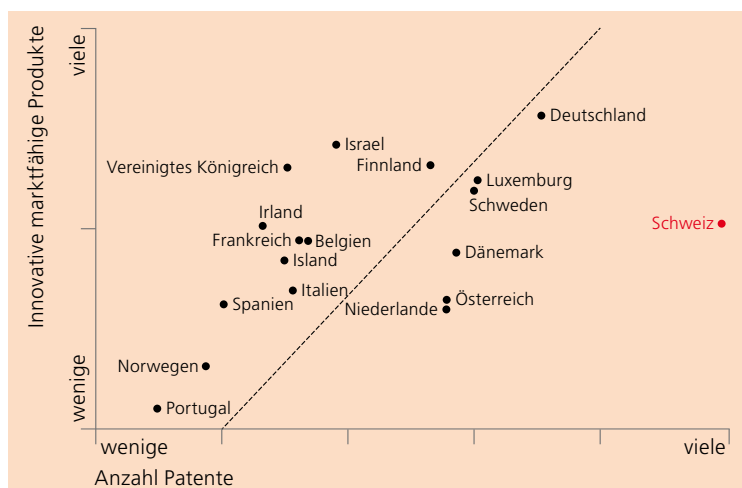


Abbildung 3: Die Schweiz produziert viele Patente, setzt diese aber zu wenig oft in marktfähige Produkte um (Swiss American Chamber of Commerce, European Innovation Scoreboard 2007).



# Ziele

Die Energieforschung soll von einer ganzheitlichen Denkweise getragen werden und sich am Prinzip der nachhaltigen Entwicklung orientieren. Das Energieforschungskonzept des Bundes berücksichtigt die gesamte Wertschöpfungskette Forschung–Innovation–Markt und setzt auf unterschiedlichen Ebenen an.

Die durch die öffentliche Hand geförderte Energieforschung soll sich nach höchsten Qualitätsmassstäben ausrichten.

## **Technisch-wissenschaftlich**

Bei allen Anwendungen, die der Energiebereitstellung, -umwandlung und -speicherung dienen, wird die grösstmögliche, wirtschaftlich vertretbare Annäherung des Stands der Technik an das technische Potenzial angestrebt.

## **Volkswirtschaftlich**

Das Energieforschungskonzept zielt 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.

## **Ressourcenschonend**

Als zentrales Element der Energieforschung sieht die CORE die Verbesserung der Energie- und Ressourceneffizienz sowie den vermehrten Einsatz erneuerbarer Energie und die damit einhergehende Reduktion von Emissionen.

## **Sozialwissenschaftlich**

Nicht zuletzt soll die Energieforschung zum Verständnis beitragen, dass sich die globalen Klimaziele mit technischen Massnahmen allein nicht erreichen lassen, sondern Verhaltensänderungen erforderlich sind. Es sind daher auch Fragen zu beantworten, die sich mit der Akzeptanz neuer Technologien oder Anreizen für deren rasche Marktdurchdringung auseinandersetzen.

## **Vier thematische Schwerpunkte**

Die CORE hat vier Schwerpunkte definiert, denen sich im Wesentlichen alle Bereiche der Energieforschung zuordnen lassen. Sie widerspiegeln das tägliche Leben und den damit verbundenen Bedarf an Energie. Die vier Schwerpunkte sind auch im Ausland als wichtigste Ansatzpunkte für verstärkte Effizienz und Reduktion von Emissionen erkannt worden.

Mit der Festlegung dieser Schwerpunkte sollen die Schlüsselthemen für die Forschung «top-down» herleitbar sein, und das Systemdenken soll gefördert werden. Ebenso soll die Kommunikation des Konzepts vereinfacht und die bereichsübergreifende Forschung besser gefördert werden.

## **Wohnen und Arbeiten der Zukunft**

Auf dem Weg zum energieeffizienten und nahezu emissionsfreien Gebäudepark: Dieser Schwerpunkt umfasst Technologien und Konzepte, die den Energiebedarf und die Energieumwandlung in Gebäuden betreffen. Er schliesst auch die dezentrale Gewinnung erneuerbarer Energie im Gebäudebereich ein.

## **Mobilität der Zukunft**

Reduzierter Treibstoffverbrauch durch effiziente Mobilität und fortschrittliche Antriebstechnik: Die Mobilität der Zukunft befasst sich mit den Aspekten der Effizienz, der Umweltfreundlichkeit und der Energieversorgung im Verkehr. Dazu gehört die Verfügbarkeit sowie die Nutzung des Treibstoffs, sowohl im privaten und öffentlichen Verkehr als auch im Güterverkehr.

## **Energiesysteme der Zukunft**

Intelligent vernetzte Energiesysteme sorgen für eine sichere und nachhaltige Energieversorgung: Dieser Schwerpunkt umfasst die Forschung und Entwicklung von Technologien für die Bereitstellung von Energie bis hin zu ihrer Nutzung beim Endverbraucher.

### Prozesse der Zukunft

Ressourcenverbrauch und Umweltbelastung sollen halbiert werden: Mit den Prozessen der Zukunft sollen Energie- und Materialaufwand über den gesamten Lebenszyklus der Produkte minimiert werden, von der Herstellung über die Nutzung bis hin zur Entsorgung.

Die vier einzelnen Schwerpunkte sind sowohl technisch, wirtschaftlich als auch gesellschaftlich eng ineinander verzahnt. **Sozialwissenschaftliche Aspekte** spielen in allen vier thematischen Schwerpunkten eine wichtige Rolle: Denn die Rolle des menschlichen Verhaltens, die Umsetzung von Forschungsergebnissen in marktfähige Produkte oder das Verständnis über das Funktionieren der Märkte tragen entscheidend zur Erreichung der Ziele bei. Die sozioökonomische Forschung hat drei wichtige Aufgaben: Erstens soll sie innerhalb jedes Forschungsschwerpunktes das menschliche Verhalten und die Wirkung energiepolitischer Instrumente untersuchen.

Zweitens soll der Zusammenhang zwischen den verschiedenen Schwerpunkten hergestellt und die relevanten Potenziale und Kosten aufgezeigt werden. Und schliesslich sollen die politischen, ökonomischen und sozialen Rahmenbedingungen analysiert werden. Langfristig effiziente Lösungen müssen deshalb schwerpunktübergreifend angesetzt werden.

Nicht zuletzt muss es möglich sein, die Massnahmen und Technologien nach einem einheitlichen System zu bewerten und zu gewichten, um Prioritäten setzen zu können.

### Zeithorizonte für die Zielerreichung

In den folgenden Kapiteln werden Prioritäten und Ziele für die einzelnen Schwerpunkte definiert, ausgerichtet auf zwei Zeithorizonte:

- mittel- bis langfristige Forschungsprioritäten für den Zeithorizont 2020–2050;
- kurzfristige Ziele für den Geltungsbereich des vorliegenden Energieforschungskonzepts von 2013 bis 2016.

# Wohnen und Arbeiten der Zukunft

Auf dem Weg zum energieeffizienten und nahezu emissionsfreien Wohnen und Arbeiten: Der Gebäudepark soll in Zukunft weitgehend frei von Schadstoff- und Treibhausgasemissionen betrieben werden. Gebäude sollen eine wichtige Rolle bei der dezentralen Bereitstellung von Energie spielen und insgesamt etwa die Menge Wärme und Strom erzeugen, die zum Wohnen und Arbeiten benötigt wird.

Um diese Vision zu erreichen, werden im Schwerpunkt «Wohnen und Arbeiten der Zukunft» Technologien und Konzepte erforscht, die den Energiebedarf, die Energieumwandlung und -verwendung sowie die lokale Gewinnung erneuerbarer Energie in Gebäuden, Arealen, Siedlungen und Städten betreffen.

Weil Kosten-Nutzen-Betrachtungen bei bestehenden Gebäuden zu anderen Lösungen als bei Neubauten führen, stellen sich unterschiedliche Herausforderungen:

In **bestehenden Gebäuden** soll der Energieverbrauch (gelieferte Energie) stark reduziert werden und der Betrieb CO<sub>2</sub>-frei erfolgen.

**Neue Gebäude** sollen im Betrieb keine umweltbelastenden Emissionen generieren. Die Emissionen, die durch Erstellung und Entsorgung verursacht werden, sollen gegenüber heute um eine Grössenordnung reduziert werden.

Dazu müssen Forschende **Technologien und Konzepte** entwickeln, die eine intelligente Gewinnung, Umwandlung und Nutzung von Energie im Gebäudebereich ermöglichen. Dies umfasst sowohl die **technologische** als auch die **sozioökonomische Forschung**. Das erarbeitete Wissen muss schliesslich in Produkte umgesetzt und in den Markt transferiert werden.

Dabei sind die Schnittstellen mit den anderen Schwerpunktthemen zu betrachten, wie beispielsweise der Einfluss der Gebäude- und Raumplanung auf die Mobilität.

## Hintergrund

Gebäude sind für rund 45 % des Primärenergieverbrauchs und für 40 % der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen der Schweiz verantwortlich. Hier liegt ein grosses Optimierungspotenzial. Verschiedene nationale und internationale Strategien fordern deshalb eine konsequente Umgestaltung des Gebäudeparks nach Kriterien der nachhaltigen Entwicklung. Auf nationaler Ebene orientieren sie sich an den in der Einleitung erklärten Szenarien der *2000-Watt-Gesellschaft* sowie der *1-Tonne-CO<sub>2</sub>-Gesellschaft*. Zudem formulierte der Schweizerische Ingenieur- und Architektenverein (SIA) in Zusammenarbeit mit dem Bund, Instituten des ETH-Bereichs und der Stadt Zürich im Merkblatt «SIA 2040 Effizienzpfad Energie» ein Etappenziel für das Jahr 2050, das diesen beiden Szenarien Rechnung trägt. Demnach sind kontinuierlich total 2000 Watt nicht erneuerbare Primärenergie und 2 t CO<sub>2</sub>-Äquivalent pro Person und Jahr anzustreben. Der Gebäudebereich soll davon rund die Hälfte beanspruchen dürfen. Dabei wird nicht nur die für den Betrieb benötigte Energie berücksichtigt, sondern auch die in den Baustoffen enthaltene graue Energie sowie der durch den Gebäudebestand verursachte Energieverbrauch für Mobilität.

Das Etappenziel des SIA-Effizienzpfades bis 2050 wurde unter der Prämisse der heutigen technischen Machbarkeit und finanziellen Zumutbarkeit sowie unter Wahrung eines architektonischen und städtebaulichen Spielraums festgelegt. Bezogen auf das einzelne Objekt dient es somit als Minimalanforderung für Pilot- und Demonstrationsprojekte (P+D-Projekte).

Zukünftige Forschungsanstrengungen im Schwerpunkt «Wohnen und Arbeiten» sollten deutlich über dieses Etappenziel hinausgehen und etwa eine Halbierung der SIA-Zielwerte anstreben.



*Mehrfamilienhaus-Erneuerung mit vorgefertigten Elementen. Im Projekt «Prefab Retrofit» der Internationalen Energieagentur (IEA) wird unter Schweizer Leitung eine neuartige Lösung für eine effiziente Erneuerung von Mehrfamilienhäusern entwickelt. Die Gebäude werden mittels Laserscanning und Aufnahmen aus der Luft dreidimensional vermessen. Dies erlaubt eine effiziente und massgenaue Vorfertigung der neuen Gebäudehülle in der Fabrik. Die Bauprozesse werden dadurch wesentlich verkürzt. (Empa)*

## Mittel- bis langfristige Prioritäten

### Bestehende Gebäude

Um Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren, müssen bestehende Gebäude wirtschaftlich tragbar erneuert werden. Bei der energietechnischen Sanierung steigen die Kosten ab einem gewissen Stand der Verbesserung für jede zusätzlich eingesparte Energieeinheit stark an. Kann diese Effizienzsteigerung bzw. die damit verbundene CO<sub>2</sub>-Reduktion mit anderen Massnahmen umweltfreundlich erreicht werden, beispielsweise durch die Nutzung erneuerbarer Energie, so ist es aus volkswirtschaftlicher Sicht sinnvoller, in die günstigere Massnahme zu investieren. Zur Bewertung des Nutzens von Energieeffizienzmassnahmen gegenüber Massnahmen zur CO<sub>2</sub>-Kompensation fehlen heute sowohl die methodischen Grundlagen als auch Anwendungsinstrumente. Deren Erarbeitung ist ein zentrales Anliegen an die Forschung.

Bei **Wohnbauten** soll die Forschung Lösungen bereitstellen, um den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen von bestehenden Gebäuden im erwähnten Sinn zu minimieren, beispielsweise mit neuen, hocheffizienten Dämmstoffen, die den Anforderungen bei Sanierungen gerecht werden, oder mit innovativen Planungstools. In **Nicht-Wohnbauten** wie z. B. Büros, Schulen oder öffentlichen Gebäuden gilt es insbesondere, die von Computern, der Beleuchtung, aber auch von Menschen abgegebene Wärme zu nutzen und dies bei der Sanierung der Gebäudehülle zu berücksichtigen.

Für **historisch erhaltenswerte Gebäude** braucht es Sanierungslösungen, die das architektonische Bild von Fassade, Fenstern und anderen Bauteilen möglichst wenig beeinträchtigen.

Um die Transformation des Gebäudebestands voranzutreiben, ist der Anreiz für Sanierungen zu steigern. Dies setzt geeignete wirtschaftliche und politische Rahmenbedingungen voraus. Die Forschung ist gefordert, dazu die entsprechenden Instrumente und sozio-ökonomischen Grundlagen zu erarbeiten.

Schliesslich sollte die Forschung nicht nur die einzelnen Gebäude betrachten, sondern auch Lösungen erarbeiten, wie ganze **Areale, Quartiere und Städte** nachhaltig entwickelt werden können.

#### **Neubauten**

Bei Neubauten liegt der Fokus der Forschung auf Betrachtungen des Energieverbrauchs sowie der Schadstoff- und CO<sub>2</sub>-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes. Zur **Reduktion des Energiebedarfs** während des Betriebs sind Technologien gefragt, welche die Energieverluste substanziell reduzieren und die Energiegewinnung über die Gebäudehülle unterstützen. Dabei soll die architektonische Vielfalt gewährleistet bleiben.

Ein zentrales Anliegen bei Neubauten ist die **Minimierung der grauen Energie und der grauen Emissionen**, beispielsweise durch die Entwicklung neuer Materialien oder Planungswerkzeuge.

#### **Gebäudetechnologien**

Gemäss den Konzepten des «Zero Energy Buildings» oder des «Plusenergiehauses» sollen Gebäude in Zukunft vermehrt Energie bereitstellen. Die Forschung ist gefordert, innovative Technologien zu entwickeln, die in und an bestehenden Gebäuden sowie in Neubauten Energie gewinnen und die Energie im Gebäude effizient nutzen.

Dazu müssen die **Technologien zur Gewinnung von erneuerbarer Energie** auf dem Gebäude und zur Nutzung der Abwärme verbessert und neue entwickelt werden. Die architektonische Integration ins Gebäude hat dabei einen hohen Stellenwert. Darüber hinaus gilt es, die **Standardisierung und die Zuverlässigkeit** dieser Technologien zu erhöhen.

Ein zentrales Thema im Bereich Gebäudetechnologien ist die **Wärme- und Kältespeicherung**. Neben der technischen Machbarkeit ist die Wirtschaftlichkeit solcher Lösungen ein zentrales Kriterium.

**Elektrische Geräte**, Energiewandler und -verbraucher sollen dank integrierter Intelligenz an Effizienz gewinnen und minimale Stand-by-Verluste aufweisen.

Schliesslich braucht es innovative Lösungen zur **gebäudeübergreifenden Vernetzung**, um das Energieerzeugungs- und Lastmanagement von Gebäuden, Arealen und Siedlungen zu optimieren.

#### **Integration Wohnen und Arbeiten**

Damit im optimierten Gebäudepark ein nachhaltiges Wohnen und Arbeiten möglich ist, sollen **Siedlungskonzepte und neuartige Wohn- und Arbeitsmodelle** entwickelt werden. Darüber hinaus ist das **Benutzerverhalten** durch Technologien und Konzepte zu optimieren, die auf spezifische Verbrauchertypen bzw. unterschiedliche Altersgruppen eingehen.

## Forschungsthemen 2013–2016

Die nachfolgende Liste zeigt eine Auswahl von Forschungsthemen, die in der Periode 2013–2016 angegangen werden sollten. Soweit sinnvoll und möglich sind konkrete Zielwerte angegeben.

### **Bestehende Gebäude**

#### **Wirtschaftliche Erneuerung von bestehenden Gebäuden**

- Neuartige Berechnungsmethoden und Planungsinstrumente zur Reduktion des Energieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei Gebäudesanierungen mit bestmöglichem Kosten-Nutzen-Verhältnis. Die Betrachtungen sollen über den gesamten Lebenszyklus der Gebäude angestellt werden
- Hocheffiziente, nicht auf Vakuum basierende Dämmmaterialien für die Gebäudesanierung mit einer Wärmeleitfähigkeit ( $\lambda$ ) von maximal 15 mW/(m · K)
- Methoden und Tools zur Optimierung der Energieverluste über die Gebäudehülle im Verhältnis zu den inneren Wärmegegewinnen von Nicht-Wohnbauten
- Demonstration von Lösungen zur energetischen Sanierung des historisch erhaltenswerten Bestands (Denkmalschutz)
- Ermitteln des optimalen Mix energiepolitischer Instrumente und Rahmenbedingungen (inkl. Vorschriften) zur beschleunigten Transformation des Gebäudebestands in einen nachhaltigen Zustand
- Analyse von Kosten, Nutzen, Akzeptanz und Hemmnissen verschiedener Sanierungsstrategien
- Demonstration von Konzepten und Strategien zur nachhaltigen Entwicklung von Arealen, Quartieren und Städten («smart cities»)

### **Neubauten**

#### **Minimierung des Energieverbrauchs, der Schadstoffe und der Emissionen über den gesamten Lebenszyklus**

- Demonstration von Prototypen neuartiger innovativer Baumaterialien für die Gebäudehülle (Vakuumisulationspaneele, dynamische Gebäudeelemente, Vakuumfenster, schaltbare Gläser)
- Konzepte, neue Technologien und Materialien zur Minimierung der grauen Energie und grauen Emissionen (z. B. Ersatz von Metallen in verschiedenen Funktionen wie Tragstruktur, Gebäudehülle, Haustechnik usw.)
- Soziopsychologische Aspekte der Akzeptanz des technologischen Fortschritts bei energieeffizienten Gebäuden

### **Gebäudetechnologien**

#### **Technologien zur Deckung des Energiebedarfs in Gebäuden**

- Innovative Solarkomponenten und Testprozeduren, insbesondere für Hybridkollektoren zur Bereitstellung von Wärme und Strom
- Solarunterstützte Klimatisierung von Gebäuden
- Untersuchung und Dokumentation von Standardkonfigurationen für Solarthermie-Wärmepumpensysteme
- Verbesserung des Wirkungsgrades thermodynamischer Maschinen (Wärmepumpe, Kältemaschine). Anzustreben ist eine Verbesserung von heute 45 auf 65 bis 70 % des theoretischen Wirkungsgrades (Gütegrad)
- Wirtschaftliche Optimierung der Tiefe von Erdwärmesonden für Wärmepumpen in Verbindung mit solarer Regeneration und (partieller) saisonaler Speicherung
- Exergieoptimierte Lösungssets für die Gebäudekühlung

- Neuartige Kältemittel mit einem «Ozone depletion potential» ODP = 0 und «Global warming potential» GWP < 5
- Photovoltaik-Fassadenelemente mit flexiblen Geometrien zur Gebäudeintegration
- WKK für Gebäudeanwendungen: Fokus auf erneuerbare/CO<sub>2</sub>-freie Energie (Biomasse, Brennstoffzelle), Optimierung fossiler WKK, Ziel:  $\eta_{\text{tot}} > 95 \%$ ,  $\eta_0 > 50 \%$
- Kriterien zur Beurteilung, wann eine WKK besser ist als eine zentrale GuD-Lösung
- Neue Materialien und innovative Konzepte zur Wärme- und Kältespeicherung (saisonale Speicherung für Gebäude und Areale, technische Wärme- und Kältespeicher mit hoher Speicherdichte usw.)
- Innovative Sanierungslösungen für Lüftungs- und Klimasysteme (Eingriffstiefe, Kosten, bedarfsgerechte Lüftung)
- Elektrische Geräte, Wandler und Verbraucher mit erhöhter Effizienz und minimierten Stand-by-Verlusten (z. B. Kühlschränke, LED-Retrofit-Leuchten usw.)
- Auf die Benutzerbedürfnisse abgestimmte Lösungen im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT), wie Smart User Interface, Smart Metering, Smart Grids; selbstlernende MSR-Technik; Erforschen des Einflusses dieser Techniken auf den Wärme- und Elektrizitätsverbrauch von Geräten und Gebäuden
- Untersuchung der thermisch-elektrischen Speichermöglichkeiten in Haushalten
- Lastmanagement von Gebäuden in Interaktion mit dem Elektrizitätsnetz und der Speicherkapazität von Elektrofahrzeugen

### **Integration Wohnen und Arbeiten**

#### **Wohnen und Arbeiten im energie- und treibhausgasoptimierten Gebäudepark**

- Auswirkungen von Wohnsitz und Mobilitätswahl, Akzeptanz neuer Wohn- und Arbeitsmodelle, Entwicklung von Konzepten zur Verringerung des durch den Gebäudestandort verursachten Verkehrs
- Rebound-Effekte im Bereich Wohnen und Arbeiten (Anzahl und Leistungsfähigkeit elektronischer Geräte im Zusammenhang des energieeffizienten Wohnens) und Ableitung von Suffizienz-Strategien zur Vermeidung dieser Effekte
- Konsumentensegmentspezifische Strategien und Konzepte zur Verbesserung des Benutzerverhaltens unter Berücksichtigung der Benutzerbedürfnisse
- Sozioökonomische Analyse der Rolle von Hauseigentümern als Stromproduzenten
- Quantifizierung des Einflusses der globalen Klimaentwicklung und des Mikroklimas von Siedlungen und Städten auf den Heiz- und Kühlbedarf von Gebäuden und Implementierung in Planungswerkzeuge

# Mobilität der Zukunft

Reduzierter Treibstoffverbrauch durch effiziente Mobilität und fortschrittliche Antriebstechnik: Die leistungsfähige, flexible Mobilität ist ein tragender Wirtschafts- und Entwicklungsfaktor. In Zukunft sollen der Gesamtenergieverbrauch sowie die Klima- und Schadstoffemissionen trotz Wachstum substanziell reduziert werden. Dazu ist die Forschung und Entwicklung im Bereich hocheffizienter Transporttechnologien voranzutreiben, deren breiter Einsatz zu beschleunigen sowie eine sinnvolle Mobilität durch Verhaltensänderungen zu fördern.

Der Themenschwerpunkt Mobilität setzt auf verschiedenen Ebenen an, um die Ziele zu erreichen. Er umfasst Aspekte der Effizienz und Umweltfreundlichkeit, der Energieversorgung und Treibstoffverfügbarkeit sowie die Nutzung des privaten und des öffentlichen Verkehrs auf Strasse, Schiene, Wasser und in der Luft. Für die Schweiz liegen die Herausforderungen in folgenden Bereichen:

Die Reduktion des Energieverbrauchs verlangt nach **effizienten Fahrzeugsystemen**. Dazu zählen verbrauchs- und emissionsarme Motoren sowie fortschrittliche Antriebskonzepte mit neuartigen Energiespeichern.

Eine Effizienzsteigerung und eine Reduktion der Umweltbelastung lassen sich auch durch **effiziente Verkehrssysteme** als Ganzes erreichen. Hierfür sind einerseits attraktive Modelle für den öffentlichen Verkehr und die kombinierte Mobilität gefragt, andererseits der innovative Einsatz von Informations- und Kommunikationssystemen.

Die **Substitution fossiler Treibstoffe** setzt voraus, dass Treibstoffe biogener Herkunft oder aus anderen erneuerbaren Quellen wirtschaftlich verfügbar sind. Zudem muss die entsprechende Infrastruktur vorhanden sein, und die Antriebssysteme müssen auf die neuen Energieträger optimiert werden.

Entscheidend für eine Verbrauchsreduktion ist auch das **Benutzerverhalten**. Es muss ein Verständnis geschaffen werden, welche Mobilität zweckmässig ist und wie verschiedene Verkehrsmittel intermodal genutzt werden können. Dazu braucht es eine gesamtheitliche Information (z. B. Ökobilanzen) sowie ein besseres Verständnis der Akzeptanz von Instrumenten, Technologien und Geschäftsmodellen.

Eine sinnvolle Mobilität setzt eine Gesamtbetrachtung des Verkehrs voraus. Diese ist eingebunden in die Energieversorgung, in das Wohnen und Arbeiten sowie eine raumwirksame Planung.

## Hintergrund

Die Mobilität basiert zu einem grossen Teil auf fossiler Energie und verursacht in der Schweiz rund 40 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Sowohl im Ausland als auch in der Schweiz wurden für die künftige Mobilität verschiedene Szenarien und Konzepte erarbeitet, z. B. durch die Internationale Energieagentur, die European Climate Foundation, das Energy Science Center der ETH Zürich, Schweizerische Bundesämter oder den Energietrialog Schweiz. Diese sind teilweise untereinander abgeglichen bzw. auf die spezifischen Bedürfnisse der Länder angepasst. Aus diesen Einschätzungen von Schweizer Expertinnen und Experten lassen sich bis 2050 folgende konkrete Ziele ableiten:



Der **Einsatz fossiler Energieträger** für den Personen- und Güterverkehr soll durch die Verbesserung der Energiewandlung, der Komponenten und der Steuerung sowie der Fahrzeugsysteme um den **Faktor 2 reduziert werden**.

Beim motorisierten Individualverkehr ist eine Reduktion des **Treibstoffverbrauchs von Neuwagen** um den **Faktor 3** zu erzielen.

Der **Kurz- und Mittelstreckenverkehr** muss grösstenteils **entkarbonisiert** werden, zum Beispiel durch Elektromobilität und effiziente Speichertechnologien.

Beim **Langstreckenverkehr** sollen Effizienzsteigerungen, die Substitution fossiler Treibstoffe, die Verlagerung auf die effizientesten Verkehrsmittel und innovative Management-Ansätze den Energieverbrauch und die CO<sub>2</sub>-Emissionen stark vermindern.



Wissenschaftler der ETH Zürich haben einen **Benzin-Druckluft-Hybrid** entwickelt, der 30% weniger Treibstoff verbraucht als ein herkömmlicher Antrieb und nur 20% mehr kostet. Ein derzeitiger Hybridantrieb spart rund 35% Energie, kostet aber rund 200% mehr als ein Benzinfahrzeug gleicher Leistung. Das Projekt stösst international auf grosse Resonanz. In Zusammenarbeit mit der Autoindustrie soll das Konzept nun umgesetzt werden.

## Mittel- bis langfristige Prioritäten

### Substitution fossiler Treibstoffe

Um die Treibhausgasemissionen zu reduzieren, sind neben effizienter Antriebe auch Energieträger oder Treibstoffe gefragt, die keine CO<sub>2</sub>-Emissionen verursachen. Ziel ist eine **Entkarbonisierung** des Verkehrs. Der individuelle Nahverkehr soll vollständig ohne fossile Treibstoffe auskommen. Im Mittel- und Langstreckenverkehr sowie im Güterverkehr sollen diese schrittweise durch alternative Energieträger substituiert werden.

Ein Forschungsschwerpunkt liegt bei der Entwicklung von Herstellverfahren für **alternative Energieträger und Treibstoffe**. Dazu zählen Biotreibstoffe der 2. und 3. Generation, deren Herstellung nicht in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion steht, zum Beispiel Treibstoff aus Holz, Stroh, Abfallbiomasse oder Algen. Weiter kommt auch solar erzeugter Wasserstoff als Energieträger infrage. Thematisch fällt die Herstellung der Treibstoffe, v.a. Wasserstoff, in den Bereich «Prozesse der Zukunft».

Für neue Energieträger wie Elektrizität oder Wasserstoff stellt sich zudem die Herausforderung, eine **Infrastruktur** mit Verrechnungssystem aufzubauen. Dazu sind benutzerfreundliche, marktfähige und grossflächig einsetzbare Lösungen zu entwickeln. Ein Beispiel sind Betankungssysteme für Elektrizität mit Schnellladung und dazugehörige Geschäftsmodelle.

Um elektrischen Antrieben zum wirtschaftlichen Durchbruch zu verhelfen, sind **mobile Speichertechnologien** wie Batterien, Ultra- und Supercaps entscheidend.

Ebenfalls zur Substitution fossiler Treibstoffe beitragen können Systeme, mit denen sich verschiedene Energieträger, wie beispielsweise Biogas und Erdgas, sowie unterschiedliche Antriebssysteme flexibel kombinieren lassen, ohne dass sich Verbrauch oder CO<sub>2</sub>-Emissionen erhöhen. Weiter sind Angebote und Geschäftsmodelle zu entwickeln, mit denen sich verschiedene Mobilitätsbedürfnisse mit dem jeweils optimalen Antrieb bzw. Fahrzeug bewältigen lassen.

### Effizienz von Verkehrssystemen

Bei den Verkehrssystemen ist durch Effizienzsteigerung ebenfalls eine Verbrauchsminderung erzielbar. Einen wichtigen Beitrag können **Informations- und Kommunikationstechnologien** leisten. Solche Lösungen helfen, die Verkehrsträger besser auszulasten oder die Nutzung von Strasse und Schiene zwischen Güter- und Personenverkehr zu koordinieren. Zudem bilden Informationstechnologien die Basis für aktive Sicherheitssysteme in Fahrzeugen. Diese sind für die Verbreitung von Leichtbaufahrzeugen eine wichtige Voraussetzung.

Eine weitere Priorität liegt bei der Integration der Mobilität in bestehende **Verteilnetze und Kommunikationssysteme**. Beispielsweise, indem Plug-in-Hybride in ein intelligentes Stromnetz eingebunden werden.

Ein zentrales Anliegen ist ferner, den öffentlichen Verkehr attraktiver zu gestalten. Dazu gehört, dass alltagstaugliche **Alternativen zu Kurzstreckenflügen** geboten werden oder dass die Nutzerinnen und Nutzer unterschiedliche Mobilitätsformen einfacher miteinander kombinieren können – nicht nur auf lokaler Ebene, sondern auch auf nationaler und internationaler Ebene.

### Effizienz von Fahrzeugsystemen

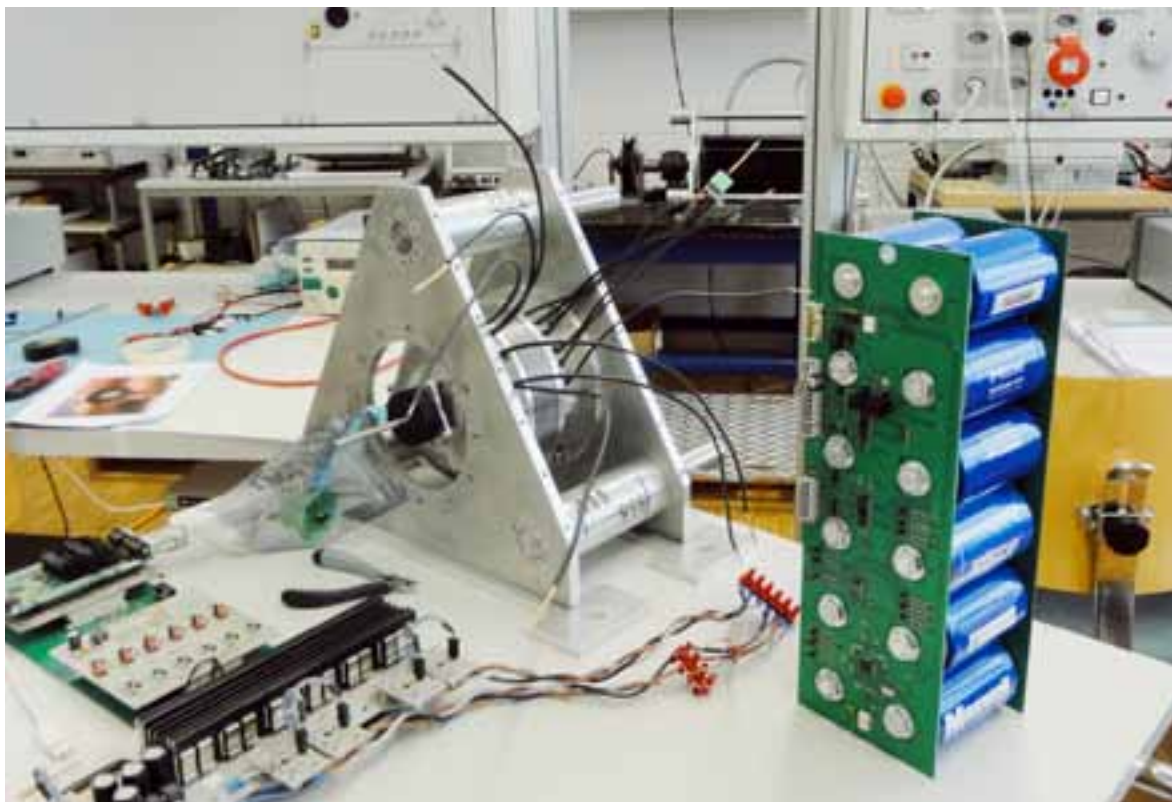
Das Schlüsselthema im Bereich Mobilität ist, den **Verbrauch fossiler Treibstoffe zu senken**. Die Potenziale liegen hierbei in der Steigerung der Wirkungsgrade durch Downsizing oder Turbocharging sowie in der Optimierung des gesamten Antriebssystems, beispielsweise durch Hybridisierung und verstärkte Abwärmenutzung. Zudem kann die Reduktion des Fahrzeuggewichts durch Leichtbau einen wichtigen Beitrag zur Verbrauchsminderung leisten.

Gleichzeitig sind Schadstoff- und Lärmemissionen zu senken, hin zum Ziel eines **nahezu emissionsfreien Fahrzeugs**. Verbesserte Katalysatoren, Partikelfilter oder neue Technologien zur Schallminderung sind dafür beispielhafte Forschungsthemen.

### Sozialwissenschaftliche Aspekte

Basis für eine effiziente Gestaltung der Mobilität ist ein fundiertes Verständnis für die Entstehung und die Beeinflussung von Mobilität sowie eine ganzheitliche Information der Nutzerinnen und Nutzer. Dies bedingt eine **gesamtheitliche Bewertung** von Mobilitäts- und Transportleistungen, zum Beispiel über Lebenszyklus- und Gesamtsystembetrachtungen, Ökobilanzen, Technologiefolgenabschätzungen usw.

Weiter sollen **mobilitätsvermeidende Konzepte und Technologien** entwickelt werden sowie neue Geschäfts- und Arbeitsmodelle zur Reduktion der Mobilität oder zur Effizienzsteigerung. Schliesslich sollte das Verständnis für die Wirkungsweise neuer Mobilitätskonzepte und Technologien sowie deren Akzeptanz weiterentwickelt werden: zur Einführung neuer Instrumente wie Lenkungsabgaben im Verkehr, zur Einführung von Technologien und Geschäftsmodellen im Bereich Elektromobilität, zur Ausgestaltung von Anreizen und Preissystemen oder von Verkehrslenkungskonzepten wie Mobility-Pricing.



Superkapazitätenmodul «SAM» des Kompetenzzentrums CC IEE der Hochschule Luzern: Es dient in hocheffizienten Antrieben zur Pufferung der Leistungsspitzen bei der Aufnahme von Bremsenergie, die anschliessend für die Beschleunigung wieder zur Verfügung steht. Die Technologie der Superkapazitäten wurde schergewichtig in der Schweiz entwickelt (Maxwell S.A. in Rossens). (Hochschule Luzern, Technik und Architektur)

## Forschungsthemen 2013–2016

Die nachfolgende Liste zeigt eine Auswahl von Forschungsthemen, die in der Periode 2013–2016 angegangen werden sollten. Soweit sinnvoll und möglich sind konkrete Zielwerte angegeben.

### Entkarbonisierung

- Weiterentwicklung von Fahrzeugkomponenten resp. Systemen zur effizienteren Anwendung alternativer Treibstoffe (u. a. Elektrizität) und Energieträger (u. a. Wasserstoff und Biotreibstoffe)
- Herstellungsverfahren Biotreibstoffe 2. Generation, Bioethanol aus lignosezellulosehaltigen Rohstoffen: Kostensenkungen um bis zu 50 %
- Demonstrationsfahrzeuge für hocheffiziente Fahrzeuge des Langsamverkehrs, welche v. a. im Nahverkehr den motorisierten Individualverkehr effektiv entlasten können
- Verbesserung der Akkumulatoren in mobilen Anwendungen von heute rund 120 Wh/kg (bezogen auf Akkublock) auf eine Energiedichte von mindestens 150 Wh/kg und auf eine Lebensdauer von mindestens 1500 Zyklen
- Demonstrationsprojekte für eine breit gestreute Infrastruktur zur Schnellladung von Autoakkumulatoren inkl. Untersuchung und Minimierung von Auswirkungen auf die Lebensdauer der Akkumulatoren

### Verkehrssysteme

- 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, Konzepten und Komponenten sowie erste Anwendungen für die Steigerung der Energieeffizienz des öffentlichen Verkehrs um bis zu 10 % (z. B. Auslastungssteigerungen, Antriebsoptimierungen)
- Weiterentwicklung und Umsetzung von Konzepten zur flüssigeren Betriebsführung im öffentlichen Verkehrsnetz (z. B. dynamische Fahrempfehlungen)
- Ermittlung der Auswirkungen einer relevanten Markteinführung von Plug-in-Hybrid- und Elektrofahrzeugen auf die Stromversorgung sowie des Einflusses möglicher Massnahmen
- Ermittlung der Möglichkeiten und Quantifizierung der Potenziale, mit Plug-in-Hybrid- und Elektrofahrzeugen den Lastgang der Stromversorgung substanziell zu beeinflussen resp. über das Smart Grid Fahrzeugbatterien und stochastische Energieerzeugung ergänzend einzusetzen

### Fahrzeugsysteme

- Weiterentwicklung von Informationstechnologien und Sensorik als Basis für aktive Sicherheitssysteme in Fahrzeugen zur Verbesserung der Voraussetzungen für Leichtbaufahrzeuge
- Kombination von Leichtbau, Windschlüpfrigkeit, leichten Laufreifen und effizientesten Antrieben zur Verbrauchssenkung von familientauglichen Personenwagen bis auf ca. 2,5 l/100 km
- Pilotfahrzeuge und Demonstrationsprojekte für Aufladungs-/Hybridisierungskonzepte, die Treibstoffersparungen von mind. 35 % gegenüber Referenzfahrzeugen mit nur minimalen Zusatzkosten erlauben
- Erhöhung des Wirkungsgrads von Verbrennungsmotoren um 3 % im Fahrzyklus für schwere Dieselfahrzeuge, auf dem Prüfstand demonstriert

**Sozioökonomisch/soziotechnologisch**

- Weiterentwickeltes Verständnis – unter Berücksichtigung des Rebound-Effektes –, welche Technologien, Instrumente und Anreize berufsbedingte Mobilität und induzierten Verkehr vermeiden (z. B. Telearbeitsplätze) und Freizeitverkehr vermindern helfen (z. B. durch entsprechende naheliegende Angebote)
- Untersuchungen und entsprechende Feldversuche zu Möglichkeiten und Grenzen von De-Synchronisierung der arbeits- und freizeitbedingten Verkehrsströme für eine gleichmässige Auslastung der Verkehrsträger
- Identifikation nachhaltiger Mobilitätsinfrastrukturen und Geschäftsmodelle für Arbeit und Freizeit (z. B. Telekonferenzen) sowie deren anwenderfreundliche, standardisierte Umsetzung. Nachführung der Grundlagen für die entsprechenden energiepolitischen Rahmenbedingungen
- Gross angelegte Pilotprojekte mit neuen Mobilitätskonzepten und -formen in allen Landesteilen, um die Umsetzung neuer Technologien und Geschäftsmodelle zu fördern, bei der Bevölkerung Akzeptanz zu schaffen und Grundlagen für spätere energiepolitische Entscheide zu erarbeiten
- Reduktion von Unsicherheiten bei Ökobilanzen und Lebenszyklusanalysen durch eine Verbesserung der Datengrundlagen und Methodik, um eine ganzheitliche Betrachtungsweise der Mobilität zu unterstützen. Aufbereitung der verfügbaren Tools und des jeweils aktuellen Wissensstandes für breite Anwendungen und Kommunikationsmassnahmen

# Energiesysteme der Zukunft

«Intelligent» vernetzte Energiesysteme sorgen für eine sichere und nachhaltige Energieversorgung: Die Bereitstellung der Energie (Elektrizität, Wärme, Kälte sowie Brenn- und Treibstoffe) für den Konsum soll in Zukunft gesellschaftlich akzeptiert, möglichst effizient, frei von Treibhausgasemissionen und sicher erfolgen. Die Versorgungssicherheit des Landes muss gewährleistet werden. Hierzu sind von der Forschung und Entwicklung innovative Lösungen bereitzustellen, sodass der Schweizer Energiebedarf in den nächsten Jahrzehnten entsprechend der «neuen Energiepolitik», die den Ausstieg aus der Kernenergie anstrebt, nachhaltig gedeckt wird.

Neue Technologien und der geschickte Einsatz von Systemlösungen sollen die Abhängigkeit der Schweiz von fossilen Brennstoffen reduzieren. Durch die Ablösung der fossilen Energieträger entsteht künftig ein Mehrbedarf an Elektrizität (Elektromobilität, Wärmepumpen). Gemäss der Energiestrategie der ETH Zürich kann sich der Elektrizitätsanteil beim Endenergiebedarf auf 50 % verdoppeln. Diese **«zweite Elektrifizierung»** ist entscheidend für die Effizienzsteigerung im gesamten Energiesystem.

Die Deckung des Mehrbedarfs wird in einer ersten Phase durch eine Effizienzsteigerung bei der Energieumwandlung von fossilen Primärenergieträgern erzielt, wobei das CO<sub>2</sub> abgeschieden werden muss. Weiter sind erneuerbare Energiequellen wie Biomasse, Geothermie, Sonne, Wasser und Wind vermehrt zu nutzen.

Längerfristig soll die erneuerbare Energie 55 % des gesamten Energiebedarfs decken. Der Energietrialog Schweiz schätzt ein Potenzial von rund 20 TWh Strom (heute 1,3 TWh) und 36 TWh Wärme (heute 12 TWh) aus erneuerbarer Energie (ohne Wasserkraft) bis 2050.

Dieser Wandel betrifft sämtliche Bereiche von der Umwandlung der Primärenergie in Elektrizität, Wärme und Kälte wie auch die Übertragung und Speicherung, die Integration von Teilsystemen sowie Sicherheitsaspekte bis hin zum Konsum. Die Schlüsselthemen umfassen optimale Lebenszyklen von bestehenden Anlagen und Elektrizitätstechnologien, biogene und

fossile Energiesysteme, intelligente Netze sowie ausgewählte Gebiete der Nukleartechnik. Sämtliche Betrachtungen beziehen sich auf die gesamte Lebensdauer. Die erzielten Fortschritte müssen einen ausgewogenen Nutzen in den drei Dimensionen Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft aufweisen.

Insbesondere die **Wechselwirkungen zwischen Wirtschaft und Gesellschaft**, die Toleranz gegenüber Technologien und deren Akzeptanz haben für Energiesysteme als wichtige Infrastrukturen besondere Bedeutung. Die Energieforschung des Bundes zielt auf eine starke Anwendungsorientierung durch aktives Wissen- und Technologietransfermanagement.

Die Integration der Schweiz als gleichwertige Handelspartnerin **im europäischen Energiemarkt** wird in allen Szenarien vorausgesetzt, um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten und um für einen besseren Zugang zu erneuerbarer Energie aus Wind, Geothermie und Sonne aus dem Ausland zu sorgen. Komponenten der Energiesysteme müssen im Kontext und vergleichend bewertet werden, um Prioritäten setzen zu können je nach Bedürfnissen der Stakeholder. Im Rahmen der zunehmenden Liberalisierung der Energiemärkte werden sich Technologiewahl, Investitionen und Geschäftsmodelle zunehmend dynamisieren. Dabei werden sich Herausforderungen ergeben für Investitionen und Investitionsanreize sowie für langlebige Infrastrukturen und deren Anreize.





*Die Sonne bestrahlt die Schweiz jährlich mit 220-mal mehr Energie, als im gleichen Zeitraum im Land verbraucht wird. Bis jetzt wird aber weniger als 0,1% des Strombedarfs und 0,4% des Wärmebedarfs mit Solarenergie gedeckt – die Kosten sind zu hoch. Dank neuer Entwicklungen reduzieren sich die Preise für Solarmodule aber jährlich. Um die Markttauglichkeit der Solarmodule zu testen, führt beispielsweise das SUPSI im Tessin mechanische Belastungstests durch. Zudem wird an solarthermischen Konzepten gearbeitet, die mit Spiegeln die Sonnenenergie konzentrieren, Wasser aufheizen und mit konventionellen Turbinen Strom generieren. Im Bild: Im Solarpark Gams sind in einem neuen Firmengebäude auf Dach und Fassaden verschiedene aktuelle Photovoltaik-Technologien – mono- und multikristalline sowie amorphe Silizium-Solarzellen – in einer Anlage von insgesamt 60 kW Leistung kombiniert und erzeugen über das Jahr deutlich mehr Strom, als das Gebäude verbraucht. (Heizplan AG).*

## Mittel- bis langfristige Prioritäten

### Bestehende Anlagen

Die Kapazität der bestehenden Kraftwerke sowie der Fernwärme- oder Kühlanlagen soll umweltschonend genutzt werden. Auf der Basis von Lebenszyklusanalysen wird die Bewirtschaftung nachhaltig gestaltet. Die Umwandlungseffizienz lässt sich steigern, wenn die Energieumwandlung in Strom, Wärme und Kälte in ein System integriert wird. Produkte und Anwendungen, die Elektrizität verbrauchen, sollen effizienter werden.

Bei der Deckung des Strom- und Wärmebedarfs mit fossilen Energieträgern ist eine **Entkarbonisierung** unerlässlich. Dafür muss die Effizienz der Kraftwerke markant gesteigert und die CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus den Abgasen entwickelt und demonstriert werden.

**Gas-und-Dampf-(GuD)-Kraftwerke** sollen einen Wirkungsgrad von 62 bis 63 % erreichen, bei reduzierten Emissionen.

### Kohlenwasserstoffbasierte Energiesysteme

Generell soll die Wettbewerbsfähigkeit der Verbrennungs-, Vergasungs- und Vergärungssysteme von Biomasse verbessert werden für Strom-, Wärme- und Treibstoffanwendungen. Dies betrifft zentrale wie auch dezentrale Systeme.

Die Forschung zur **CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Lagerung (CCS)** wird interdisziplinär betrieben, einerseits in der Komponentenforschung zu den Kombikraftwerken, andererseits in der prozessorientierten Energieforschung (Baustoffherstellung, Erdöl- und Erdgasverarbeitung und Chemie- und Metallindustrie). Komplementär dazu untersucht die erdwissenschaftlich ausgerichtete Forschung mögliche CO<sub>2</sub>-Lagerstätten im Untergrund, um das theoretische CO<sub>2</sub>-Speicherpotenzial der Schweiz von 2700 Mio. t dereinst nutzen zu können. Pilot- und Demonstrationsprojekte im Bereich der CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Nutzung und CO<sub>2</sub>-Injektionstests zur Bestimmung des Verhaltens von CO<sub>2</sub> in potenziellen Lagerstätten sollen die Nachhaltigkeit der CCS-Technologien aufzeigen.

### **Erneuerbare Energie**

Längerfristig ist der steigende Energiebedarf durch nachhaltig genutzte erneuerbare Energie zu decken. Deren Konkurrenzfähigkeit muss durch technologische Fortschritte erhöht werden.

Durch den Ausbau der **Wasserkraft** über die nächsten Jahrzehnte können möglicherweise zusätzlich 5 bis 10 TWh Elektrizität erzeugt werden. Es müssen Lösungen gefunden werden, die im Einklang mit dem Natur-, Landschafts- und Gewässerschutz realisiert werden können. Zudem braucht es neue Technologien, um die Sicherheit und Sanierung der bestehenden Talsperren zu gewährleisten.

Die **Photovoltaik** als einheimische Energiequelle und als Technologie mit einem grossen Exportpotenzial bedingt zur Verbesserung der Effizienz und zur Reduktion der Kosten Forschung sowohl in der Zellen- und Systemtechnik als auch im Bereich gebäudeintegrierter Module.

**Windkraftwerke** stehen in der Schweiz oft an Standorten mit besonderen Bedingungen: Kälte und Schnee sowie tiefe oder turbulente Windgeschwindigkeiten verlangen nach speziellen Massnahmen, welche die Verfügbarkeit und den Energieertrag steigern. Dazu müssen neue Anlagekomponenten entwickelt werden. Wichtig ist zudem, die Projektrealisierungszeiten zu

verkürzen, indem die soziale und ökologische Akzeptanz erhöht wird.

Das grösste einheimische Potenzial für die Bereitstellung von Bandenergie (Wärme und Strom) bietet die **Geothermie**. Dort ist ein über längere Jahre hin konzentrierter Effort notwendig, um die Prognostizierbarkeit und Zuverlässigkeit in der Auffindung und Bestimmung von unterirdischen Wärme- und Heisswasserreservoirs zu erhöhen und diese sicher und kostengünstig zu erschliessen, zu betreiben und wieder rückzubauen.

### **Intelligente, leistungsfähige Netze**

Erneuerbare Energie wird oft dezentral eingesetzt und ist zum Teil sehr variabel. Zielführend für deren Einbindung ist deshalb die Betrachtung des gesamten Energiesystems mit kleinen und grossen, dezentralen und zentralen Kraftwerken mit zeitlich variabler Stromerzeugung und solchen zur Deckung der Grundlast. Eng daran gekoppelt sind intelligente Netze für den Transport von Energieträgern und Elektrizität, welche die Erzeugung und den Verbrauch optimal steuern sowie Energieangebot und -nachfrage aufeinander abstimmen. Im elektrischen Netz hat sich der Begriff **Smart Grid** durchgesetzt. Dies betrifft sowohl das Management als auch die Steuerung der Energieflüsse.

Basiert die künftige Stromversorgung auf grösseren Mengen erneuerbarer Energie, sind **Energiespeicher** im Netz unerlässlich. Hier besteht Forschungsbedarf im Bereich der grossen Speicherkraftwerke wie auch bei effizienten lokalen Technologien: Batterien und Superkondensatoren, Wärmespeicher, Wasser-, Druckluft- und Gasspeicher oder thermische und thermochemische Speicher für Sonnenenergie.



### Nuklear-Technologien

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

Forschungsanstrengungen zur Entsorgung und zur Reduktion von nuklearen Abfällen (z. B. Transmutation) müssen aufrechterhalten werden.

Damit die drei Etappen des Standortauswahlverfahrens für ein geologisches Tiefenlager **radioaktiver 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 der Masse mitwirken, dass sie urteilsfähig bleibt.

Die neuen **Reaktortechnologien** der Generation IV sollen hinsichtlich der Sicherheit, der Abfallbeseitigung und Lagerung kontinuierlich evaluiert werden.



*In dieser Laboranlage stellen Forschende des PSI aus dem Naturrohstoff Holz energiereiches Gas her. Das Verfahren wandelt das Holz in synthetisches Erdgas um, das in öffentliche Gasleitungen eingespeist werden kann. Dadurch wird die Energie aus Holz für die Stromerzeugung in Gaskraftwerken oder den Autoantrieb verfügbar. Zugleich wird damit eine sehr umweltfreundliche Energiequelle erschlossen, da die Holzvergasung CO<sub>2</sub>-neutral ist. (Scanderbeg Sauer Photography)*

## Forschungsthemen 2013–2016

Die nachfolgende Liste zeigt eine Auswahl von Forschungsthemen, die zur Erreichung der langfristigen Prioritäten in der Periode 2013–2016 angegangen werden sollten. Soweit sinnvoll und möglich sind konkrete Zielwerte angegeben. Entsprechende Pilot- und Demonstrationsprojekte sind anzustreben.

### **Bestehende Anlagen**

#### *Optimale und umweltschonende Nutzung von Ressourcen*

- Systemoptimierung für die Effizienzsteigerung der Energiewandlung
- Lebenszyklusanalysen als Tool für die nachhaltige Bewirtschaftung
- Elektrizitätstechnologien für Produkte (thermoelektrische Generatoren) und Anwendungen mit erhöhter Effizienz (supraleitende Kabel, Generatoren und Verteilnetztransformatoren)

### **Kohlenwasserstoffbasierte Energiesysteme**

#### *Gas- und Dampfkombikraftwerke*

- Erhöhung des elektrischen Wirkungsgrades von 60 % auf über 62 %
- Steigerung der Komponenten-Wirkungsgrade
- Reduktion des Kühlluft-Bedarfs, Steigerung der Prozess-Parameter
- Steigerung der Gesamt-Wirkungsgrade und Optimierung für Auskopplung von Wärme auf verschiedenen Wärmeniveaus
- Einsatz CO<sub>2</sub>-neutraler Brennstoffe (Biomasse)
- CO<sub>2</sub>-Abscheidungstechnologien bei minimiertem zusätzlichem Energieaufwand
- Zuschaltung durch schnelle Netzstabilisierung (Leistungserhöhung von über 3 % pro Sekunde)

#### *CO<sub>2</sub>-Speicherung*

- Bestimmung der effektiven Speicherressourcen im schweizerischen Untergrund für CO<sub>2</sub>-Lagerung

#### *Einsatz von Biomasse*

- Verbesserte Gasreinigung
- Besserer Aufschluss von Substrat für höhere Gaserträge bei der Vergärung
- Sicherheitsrelevante Aspekte
- Systemoptimierung und Integration zur Wirkungsgraderhöhung, umfassende Bewertung der Wertschöpfungskette
- Standardisierungen und Grundlagen zur Qualitätssicherung, Sensibilisierung der Öffentlichkeit durch gute Kommunikation

## **Erneuerbare Energie**

### ***Wasserkraft***

- Entschärfung der Konflikte zwischen Wasserkraft und Gewässerökologie/Landschaftsschutz im Verbund mit Umweltforschung, durch Lösungen für Schwall/Sunk-Problematik und Fischwanderung
- Auswirkungen des Klimawandels (Gletscherrückgang, Sedimenteintrag, hydrologische Veränderungen)
- Anpassungen von Speicherkraftwerken an veränderte Betriebsanforderungen im europäischen Verbundnetz
- Realisierbare Potenziale und Standardlösungen für Kleinwasserkraftwerke und Niederdruckanlagen
- Erhöhung der Sicherheit von Talsperren durch Forschung zur Alterung von Staumauerbeton (Alkali-Aggregat-Reaktion)
- Abschätzung von extremen Hochwasserereignissen; grossräumige Geländeüberwachung
- Messung von Starkbeben durch moderne Starkbebenmessnetze; Langzeitmessungen für Vorhersage von Talsperrenverhalten

### ***Wind***

- Entwicklung und Optimierung von Anlagekomponenten, Messgeräten und Nutzungskonzepten für schweizerische Verhältnisse
- Erhöhung der Akzeptanz für Windenergie und Verkürzung der Planungs- und Bewilligungsdauer

### ***Geothermie***

- Integrierte Explorationsmethoden und Reservoir-Erschliessung durch revolutionäre Bohrtechnologien
- Stimulation des Bohrlochumfelds und des Untergrunds zur Erhöhung der Durchlässigkeit
- Physikalische und chemische Kopplungsprozesse während der Gesteinsdeformation
- Nachhaltiges Reservoir-Management durch Modellierung der Bewirtschaftung eines Reservoirs
- Effiziente Energiewandlung durch organische und anorganische Arbeitsmittel
- Kostensenkung durch integrale Systemforschung; sicherheitsrelevante Prozesse und Methoden (induzierte Seismizität)

### ***Photovoltaik***

- Neue Materialien für Dünnschichtsolarzellen
- Verbesserung der Solarzellen und der Infrastruktur für grossflächige Prozesse sowie für Pilotproduktionslinien
- Produktionstechnologien für Dünnschichtsolarzellen und kristallines Silizium
- Netzintegration von Solarstrom und die intelligente Netzsteuerung
- Qualitätssicherung von Solarmodulen und der elektrischen Systemtechnik

### ***Solarthermische Kraftwerke***

- Nicht solare Reaktortechnologie für Synthesegas als Vorstufe von flüssigen Treibstoffen
- Wirkungsgradsteigerungen in der Umwandlung von Sonnenenergie in chemische Energie

### ***Konzentrierende Solarthermische Kraftwerke (CSP)***

- Wirkungsgradsteigerung und Kostensenkungen von Kraftwerken und deren Komponenten (Reflektoren, Absorber, Steuerung)

## **«Intelligente leistungsfähige Netze»**

### ***Abstimmung zwischen Energiebereitstellung und Energiebedarf***

- Gekoppelte Netze und Multi-Trägernetze (Strom, Wärme, Gase)
- Netzstabilisierende Lade-Infrastrukturen für Elektrofahrzeuge
- Übertragungsnetzarchitektur: Planungswerkzeuge und Grundlagen zur Frage Verkabelung vs. Freileitungen
- Übertragungsnetzbetrieb: länderübergreifende Netzüberwachung und Koordination, Sicherheitskriterien und Systemdienstleistungen
- Integration erneuerbarer Energie in Niederspannungsnetze und in Mittelspannungsnetze
- Integration und Bewirtschaftung von Speichern sowie Integration von Elektromobilität
- Monitoring und Steuerung der Niederspannungsnetze, Informationserfassung, -übertragung und -verarbeitung auf Mittelspannungsebene
- Schutz kritischer Infrastruktur
- Demand Side Participation unter Berücksichtigung der Nutzerbedürfnisse

### ***Energiespeicher***

- Lokale, effiziente Speichertechnologien, wie Batterien und Superkondensatoren, Wärmespeicher, Druckluft- und Gasspeicher, thermische und thermochemische Speicher von Sonnenenergie

## **Sicherheit und Anwendung der Nukleartechnologien**

### ***Regulatorische Sicherheitsforschung***

- Forschung an 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)
- Sozial- und geisteswissenschaftliche Grundlagen für die erfolgreiche Durchführung des Standortauswahlverfahrens für geologische Tiefenlager
- Transmutation als Abfallverwertung

### ***Reaktortechnologien***

- Evaluation neuer Reaktor-Technologien und Brennstoffe (Thorium), deren Sicherheit, der Abfallbeseitigung und der Lagerung

### ***Fusion***

- Wissenschaftliche Grundlagen mit Fokus auf Materialforschung

# Prozesse der Zukunft

Der Ressourcenverbrauch und die Umweltbelastung von Produkten sollen über den gesamten Lebenszyklus halbiert werden: Industrie-, Dienstleistungs- und Landwirtschaftsbetriebe in der Schweiz beziehen 36 % des Gesamtenergie- und 61 % des Stromverbrauchs. Der Energiebedarf für die Mobilität der Mitarbeitenden und den Transport der Güter ist darin nicht enthalten. Um die Klimaziele zu erreichen und den Strombedarf zu reduzieren, muss die Wirtschaft einen wesentlichen Beitrag leisten.

Die Prozesse der Zukunft sollen Produkte mit einem möglichst **geringen Energie- und Materialverbrauch** sowie minimalen Umweltauswirkungen herstellen. Die Bilanzierung erfolgt dabei über die gesamte Wertschöpfungskette. Sie betrachtet die technischen Vorgänge und die dazugehörenden Material- und Stoffflüsse für die Gewinnung der Rohstoffe, die Erzeugung der Werkstoffe, die Herstellung von Halbfabrikaten und Fertigprodukten, aber auch die Verteilung und Nutzung bis zur Entsorgung der Produkte.

Erneuerbare Ressourcen und **Recycling** am Ende des Lebenszyklus der Produkte leisten wichtige Beiträge, um die Energie- und Materialbilanz zu verbessern. Geeignete **Produktionsstandorte** und deren Aufteilung können den Energieverbrauch reduzieren. Zudem kann damit der Einsatz von erneuerbaren Energieträgern oder die Nutzbarmachung überschüssiger Energie verbessert werden.

Zahlreiche Massnahmen zur Reduktion des Energie- und Materialverbrauchs von Industriebetrieben sind heute bekannt. Sie werden jedoch nur teilweise umgesetzt. Oft sind die ökonomischen Rahmenbedingungen ein wesentliches Hindernis. Die Forschung muss deshalb auch kostengünstige Massnahmen hervorbringen. Zudem sind **Anreizsysteme** zur Minimierung der Umsetzungsbarrieren wichtig.

## Hintergrund

Die industriellen Prozesse gliedern sich in Tausende unterschiedliche Technologien. Hinzu kommen Prozesse aus dem Dienstleistungs- und Landwirtschaftssektor. Trotz des hohen Anteils am Gesamtenergieverbrauch werden deshalb für Prozesse in den einschlägigen Energiestrategien keine Verbrauchsgrenzwerte vorgegeben, wie dies für Gebäude oder Fahrzeuge der Fall ist. Erfahrungen der Energieagentur der Wirtschaft, die im Rahmen der CO<sub>2</sub>-Gesetzgebung zahlreiche Unternehmen bei der Umsetzung von Energiesparmassnahmen begleitet hat, zeigen **Sparpotenziale von bis zu 30 %**, bei einzelnen Prozessen durch die Optimierung des Verfahrens bis 80 %.

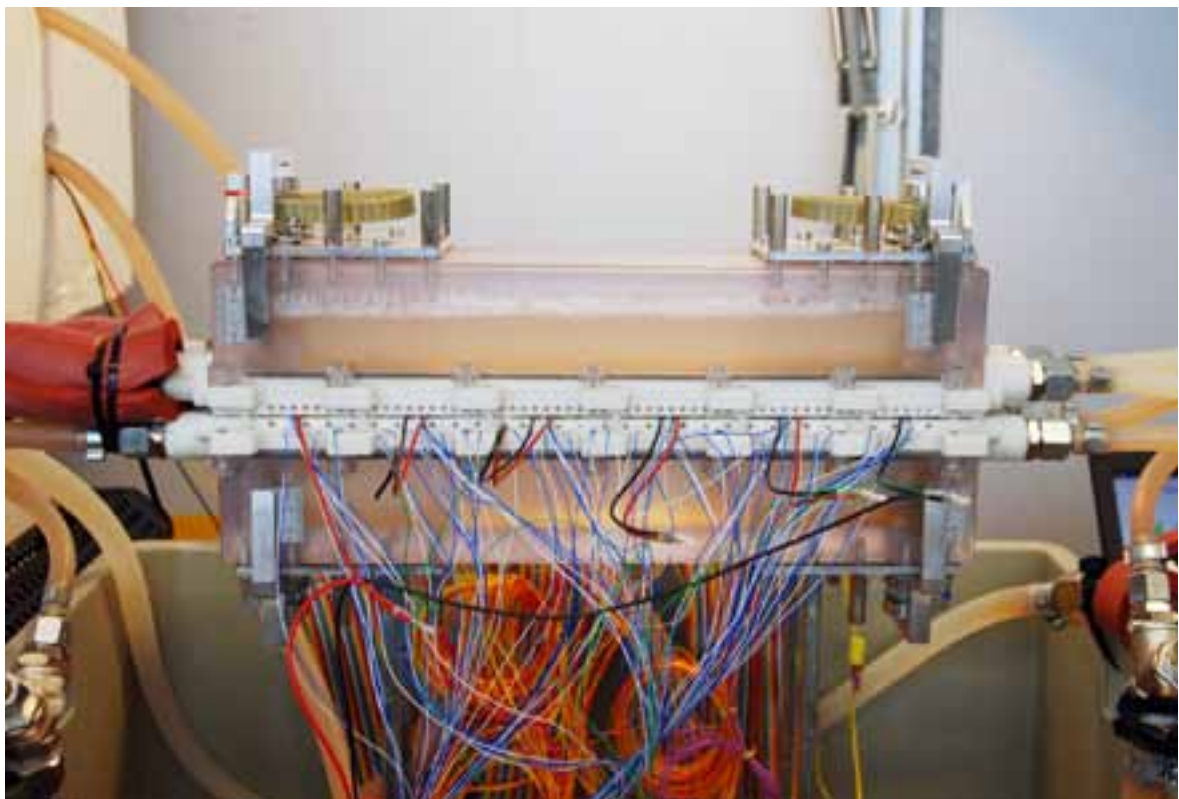
Die Reduktion des Energieverbrauchs soll die **Wertigkeit der Energie** berücksichtigen. Priorität hat die Reduktion des Stromverbrauchs sowie der Prozesstemperaturen, die typisch zwischen 180 °C und 400 °C liegen. In erster Linie soll also der Exergiebedarf reduziert werden. Tieferer Prozesstemperaturen sind auch für den Einsatz von **Solarwärme** besser geeignet.

Neben der Verbesserung einzelner Komponenten ist für grössere Einsparungen eine Anpassung der Verfahren notwendig. Die Verknappung der Rohstoffe erfordert eine Optimierung zwischen der Energie- und Materialbilanz. Bei der Entsorgung ist in der Regel der **Stoffrückgewinnung** gegenüber der Energienutzung der Vorzug zu geben.

Die Fokussierung der Anstrengungen, Prozesse und Produkte besonders in **energieintensiven Branchen zu verbessern**, genügt nicht. Das Massnahmenspektrum muss auf die grosse Anzahl der mittleren und kleineren Energieverbraucher der Sektoren Industrie, Dienstleistung und Landwirtschaft ausgedehnt werden.

Schätzungen in der Fachliteratur sehen bei Prozess- und Produktverbesserungen ein grosses Potenzial: Bis 2020 können der Energieeinsatz, der Exergieverbrauch und die Treibhausgasemissionen pro Wertschöpfungseinheit um 20 % und **bis 2050 um 50 % gesenkt werden**. Beim Materialbedarf wird ein Potenzial in der

gleichen Grösse angenommen. Die Forschungsunterstützung durch die öffentliche Hand muss deshalb Projekte mit hohem Einsparpotenzial priorisieren.



*Die Abwärme aus Abwasser kann durch thermoelektrische Generatoren in Elektrizität umgewandelt werden. In vielen Prozessen in der Wirtschaft, Industrie und bei der Energieumwandlung fällt Abwärme an. Mit einem 1-kW-Demonstrator an der ETH Zürich wird die grundsätzliche Machbarkeit gezeigt und die Effizienz beurteilt. In konkreten Anwendungsfällen soll aufgezeigt werden, dass die Abwärmenutzung von Rechenzentren sowie die Nutzung der Wärme aus geothermischen Quellen möglich sind.*



## Mittel- bis langfristige Prioritäten

### Produktentwicklung

In der Produktentwicklung sind der Ressourcenverbrauch und der Umwelteinfluss über den gesamten Lebenszyklus einzubeziehen. Ziel ist eine lebenszyklusbasierte, ressourcenoptimierte Produktgestaltung. Das resultierende Produktkonzept umfasst die Funktionen und die Materialisierung, die geeigneten Herstellverfahren, die energie- und umweltrelevanten Eigenschaften während der Nutzungsphase sowie die Verfahren zur Entsorgung mit hohem Rückgewinnungsanteil.

Der Materialeinsatz soll auf die funktionalen Eigenschaften der Produkte minimiert werden. Dabei sind die Verfügbarkeit der Rohstoffe und die Möglichkeit der Rückgewinnung zu berücksichtigen.

### Produktherstellung

Effizientere oder neuartige **Herstellverfahren** sollen den Energiebedarf und den Materialverbrauch reduzieren, beispielsweise mit Membrantechnologien statt thermischen Trennverfahren, mechanischen statt thermischen Trocknungsanlagen, Kalt- anstatt Warmumformung und kontinuierlichen statt unterbrochenen Prozessen. Hinzu kommt die Entwicklung neuartiger Werkstoffe, die für die Herstellung, Nutzung und Entsorgung weniger Ressourcen verbrauchen, wie beispielsweise Bioplastics. Die Herausforderung dabei ist, die funktionalen Eigenschaften der resultierenden Stoffe zu erhalten.

Die Materialintensität kann durch den Einsatz anderer oder neu entwickelter Verfahren reduziert werden, z. B. durch Umformverfahren statt spanenden Werkzeugen. Oder es werden neue Werkstoffe entwickelt, die bei der Herstellung und Nutzung weniger Ressourcen verbrauchen.

Erneuerbare Energie kann in solarchemischen oder -thermischen Verfahren direkt genutzt werden. Bei Prozessen mit kohlestoffhaltigen Brennstoffen kann das CO<sub>2</sub> abgeschieden werden. Die Effizienz einer **Herstellanlage** kann gesteigert werden, indem die Wirkungsgrade der einzelnen Komponenten wie Motoren, Kühl- oder Bewegungssysteme gesteigert oder hybride Antriebssysteme eingesetzt werden. Beispiele sind Baumaschinen mit Elektro- und Verbrennungsmotor.

Zudem braucht es Konzepte zur Nachrüstung bestehender Grossanlagen mit energieoptimierten Komponenten und Steuerungen. Der Energieeinsatz soll möglichst auf den physikalischen Bedarf des Verfahrens begrenzt und der Bezug für periphere Komponenten minimiert werden.

Die Energie soll in der Produktion entsprechend ihrer Wertigkeit eingesetzt werden. Die **Energieflüsse** sollen exergetisch optimiert werden. Ungenutzte Energie ist zurückzugewinnen. Dazu gehört das Senken der Prozesstemperaturen und die Exergierückgewinnung aus Abwärmeströmen (Organic Rankine Cycle, Thermoelektrik).

Besondere Bedeutung hat die Energiespeicherung, um Zeitdifferenzen zwischen Angebot und Nachfrage in diskontinuierlichen Prozessen auszugleichen. Neuartige Energiespeicher für kinetische, elektrische und thermische Energie sollen entwickelt und integriert werden.

**Informations- und Kommunikationstechnologien** verbrauchen immer mehr Energie. Der spezifische Energieeinsatz in IT-Systemen (kWh/Byte) soll reduziert werden. Themen sind Prozessoren mit geringerem Strombedarf, verbesserte Kühlsysteme mit Wärmerückgewinnung oder Konzepte zum funktionsoptimierten Einsatz der IKT-Systeme.

### Produktnutzung

Der Energieverbrauch und die Auswirkungen auf die Umwelt während der Produktnutzung werden bereits in der Entwicklungsphase bestimmt. Die Relation von grauer Energie zu Produktnutzungsdauer soll für neue Produkte verbessert werden. Zudem ist die Verbrauchsenegie entsprechend dem Verwendungszweck zu minimieren.

### Produktentsorgung

Bei der Produktentsorgung sollen die eingesetzten Ressourcen möglichst wieder zurückgewonnen werden. Der Energieeinsatz soll minimiert und die Stoffrückgewinnung maximiert werden. Rückgewinnungskonzepte müssen bereits bei der Produktentwicklung festgelegt werden.

**Verhalten**

Das Verhalten der Herstellungsbetriebe sowie der Kundinnen und Kunden bestimmt die Art der angebotenen Produkte sowie die Nachfrage. Die Hemmnisse und mögliche Anreizsysteme zur Erhöhung des Marktanteils von ressourcenoptimierten Produkten

sollen erforscht werden. Dazu gehören u.a. sozio-ökonomische Analysen zur Vermeidung von Reboundeffekten. Die Anforderungen an die Prozesse der Zukunft und die erforderlichen Methoden zu deren Entwicklung müssen auch zeitgerecht in die Ausbildung implementiert werden.

## Forschungsthemen 2013–2016

Der hohe Anteil der Industrie und des Dienstleistungssektors am Schweizer Stromverbrauch erfordert grössere Anstrengungen zur Erforschung und Umsetzung nachhaltiger Sparmassnahmen. Neben der inkrementellen Verbesserung einzelner Komponenten der Herstellprozesse sollen mit der Energieforschung des Bundes neue oder alternative Verfahren aufgezeigt werden, die eine substanzielle Reduktion des Energie- und Materialverbrauchs bewirken. Mit Leuchtturmprojekten sollen in der Periode 2013–2016 die Möglichkeiten und Potenziale verschiedener Verfahren in unterschiedlichen Branchen demonstriert werden. Herstellprozesse sind oft unternehmensspezifisch konzipiert. Die öffentliche Forschung fokussiert auf die Verbesserung grundlegender Verfahren oder vielfältig einsetzbare Anlagekomponenten. Dazu gehört auch die Erweiterung und Präzisierung der Datengrundlagen und der Simulationswerkzeuge. Zur Reduktion des Exergiebedarfs sind Projekte zur Senkung der Prozesstemperaturen anzugehen, die im Idealfall den Einsatz von Solarwärme erlauben. Relevant ist auch das Aufzeigen der Wege für die Umsetzung der Forschungsergebnisse (Anreize über Label, Lenkungsabgaben, Quoten oder Standards). Die sozioökonomischen Rahmenbedingungen der Industrie- und Dienstleistungsbetriebe sind dabei zu berücksichtigen. Die Anforderungen an die Prozesse der Zukunft sollen auch in die Ausbildung einfließen.

Die nachfolgende Liste zeigt eine Auswahl von beispielhaften Forschungsthemen, die zur Erreichung der langfristigen Prioritäten in der Periode 2013–2016 angegangen werden sollten. Soweit sinnvoll und möglich sind konkrete Zielwerte angegeben.

**Produktentwicklung**

- Erarbeitung des kumulativen Exergiebedarfs von Produkten von der Rohstoffgewinnung über die Herstellung und Nutzung bis zur recyclingoptimierten Entsorgung in Abhängigkeit der Werkstoffwahl
- Demonstration von Produktkonzepten mit auf die Funktion minimiertem Energie- und Materialeinsatz unter Berücksichtigung von Lebensdauer und Recycling
- Datengrundlagen und Simulationsmodelle zur Auswahl effizienter Technologieketten in der Fertigungsindustrie zur Reduktion des Energie- und Materialverbrauchs
- Verbesserung der Datengrundlagen zur grauen Energie in Werkstoffen, Halbfabrikaten und Produkten und Einbezug der Nutzungsdauer



**Produktherstellung: Verfahren**

- Demonstration von temperaturreduzierten thermischen Herstellverfahren
- Weiterentwicklung von Werkstoffen wie Bioplastics unter Berücksichtigung der Herstellung der biogenen Rohstoffe
- Entwicklung von biochemischen Verfahren als Ersatz für konventionelle thermische Prozesse
- Analysieren der Transportphänomene in mehrphasigen Medien zur Optimierung der Stoffflüsse
- Evaluieren solarchemischer Prozesse zur direkten Produktion chemischer Stoffe

**Produktherstellung: Anlagen**

- Erarbeitung robuster Datengrundlagen und Entwicklung numerischer Simulationsmodelle zur Darstellung des Energieverbrauchs bei der Herstellung
- Weiterentwicklung der Instrumente zur optimalen Abstimmung der Energieflüsse in Prozessketten unter Berücksichtigung neuartiger Komponenten zur Energiespeicherung
- Erhöhung des Wirkungsgrads von Hochtemperatur-Solarwärmeprozessen (bis 250 °C) für industrielle Anwendungen auf über 60 % durch verbesserte Werkstoffe und Systemdesign (optische Verluste, Reflexionsgrade, Wärmeverlust); Reduktion der Kosten
- Entwicklung eines Demonstrators zur solaren Wärmeerzeugung bis 400 °C und Integration in verfahrenstechnische Prozesse
- Modelle und Monitoringtools zur energieoptimierten Steuerung kontinuierlicher und diskontinuierlicher chemischer Prozessketten
- Reduktion des Stromverbrauchs von Elektrolyseapparaten um 20 % durch Rückgewinnung und Verstromung des Wasserstoffs (Demonstrator)
- Weiterentwicklung nanotechnologiebasierter Oberflächenbeschichtungen zur Reduktion von Ablagerungen bei der Stofftrennung oder Wärmeübertragung
- Demonstration der Reduktion des Energieverbrauchs von Werkzeugmaschinen um 25 % durch systematische Verbesserung und Integration der peripheren Komponenten
- Entwicklung neuartiger Schrittmotoren zur Erhöhung der Energieeffizienz von Antriebssystemen gegenüber dem Stand der Technik um 10 %
- Demonstration der thermoelektrischen Generatoren für die Exergiegewinnung aus Wärmeströmen im Niedertemperaturbereich wie beispielsweise in Rechenzentren

**Produktnutzung**

- Demonstration von Monitoringtools zur webbasierten Überwachung der Nennbetriebszustände von Produkten mit hohem Energieverbrauch

**Produktentsorgung**

- Verbesserung der energetischen Abfallverwertung in der Zementindustrie und Demonstration der CO<sub>2</sub>-Abscheidung

# Forschungspolitische Empfehlungen

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

## Grundsätze der Förderung

Primär soll die **anwendungsorientierte Energieforschung** gefördert werden. Mit Kompetenzzentren, die angewandte Forschung im ständigen Kontakt mit der Industrie betreiben, ist der Technologietransfer zu unterstützen. Den Vorrang sollen Forschungsgebiete haben, die von kompetenten Forschergruppen bearbeitet werden, eine hohe Wertschöpfung für die Schweiz erwarten lassen und signifikante Beiträge zur nationalen und globalen Nachhaltigkeit liefern. In Forschungsgebieten hoher Priorität sind zur Wahrung der Kontinuität die Bildung und der Erhalt personell und materiell gut dotierter Forschungsgruppen sicherzustellen.

Ein verstärktes Engagement der öffentlichen Hand sieht die CORE bei der **Vernetzung** von Forschungs- und Lehrinstitutionen, die **international anerkannte Kompetenzzentren** bilden, sowie bei zukunftssträchtigen Themen, die von der Privatwirtschaft noch nicht aufgegriffen werden. Dabei muss die wirtschaftsfreundliche Nutzung des mit öffentlichen Fördermitteln erarbeiteten geistigen Eigentums (Patente, Lizenzen usw.) sichergestellt werden.

## Forschung im ETH-Bereich

Mittel- und langfristig müssen die Finanzmittel für die Forschungsinstitutionen des Bundes, namentlich des ETH-Bereichs, sichergestellt und erhöht werden. Die Forschungsinstitutionen müssen mit der internationalen Entwicklung Schritt halten können. Im Speziellen darf die internationale Stellung der Schulen und Forschungsinstitute im ETH-Bereich nicht durch Budgetkürzungen gefährdet werden. Die Zielsetzungen des Energieforschungskonzepts sollen in der Leistungsvereinbarung zwischen Bundesrat und ETH eine adäquate Integration finden.

## Forschung an Fachhochschulen und Universitäten

Zur Stärkung des schweizerischen Forschungsplatzes soll der Bund über entsprechende Finanzierungshilfen die Vernetzung von Fachhochschulen und Universitäten

mit dem ETH-Bereich fördern. Die Fachhochschulen und Universitäten sind angehalten, sich am Energieforschungskonzept zu orientieren.

## Ressortforschung des Bundes

Ein wichtiger Faktor bei der Ausrichtung der Schweizer Energieforschung ist die Ressortforschung, die im Wesentlichen durch das Bundesamt für Energie BFE getragen wird. Sie stellt ein zentrales Element der Steuerung dar und erreicht mit relativ geringen finanziellen Mitteln eine grosse Wirkung auf die Ausrichtung der Energieforschung sowohl des ETH-Bereichs als auch der Fachhochschulen, der Universitäten und selbst der privaten Institutionen. Zudem trägt sie wesentlich zur Einbindung der Schweizer Forschenden in die internationalen Programme der IEA und der EU bei. Die CORE empfiehlt daher, die Ressortforschung im Energiebereich auszubauen und namentlich die Finanzmittel für Pilot- und Demonstrationsanlagen zu erhöhen. Dabei ist eine gute gegenseitige Abstimmung der Ressortforschung zu empfehlen.

## SNF und KTI

Die Aktivitäten der Kommission für Technologie und Innovation (KTI) sollen durch geeignete Förderstrategien stärker auf die Energieforschung ausgerichtet werden. Auch der Schweizerische Nationalfonds soll bei der Wahl seiner nationalen Forschungsprogramme und nationalen Forschungsschwerpunkte energierelevante Projektvorschläge unterstützen.

## Wissens- und Technologietransfer

Beim Technologietransfer hat die Schweiz im Vergleich zum Ausland viel Potenzial, wie Abbildung 3 (S. 8) zeigt. Die heutigen Aktivitäten im Wissens- und Technologietransfer sind vorwiegend angebotsgetrieben. Nötig sind neue Wege zur Identifizierung der Bedürfnisse und zur Erhöhung der Transferrate.

## Förderung von Fachkräften

Um einer weiteren Verschärfung des Fachkräftemangels in den technischen Berufen vorzubeugen, ist der Bund aufgefordert, Massnahmen zu ergreifen, um die Ausbildung sowohl auf der sekundären als auch auf der tertiären Stufe zu fördern.



