Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE

Energieforschungskonzept 2013–2016

Zusammenfassung

2009 hat die öffentliche Hand 213,5 Mio. CHF für die Energieforschung aufgewendeten, wovon 54 % aus dem ETH-Bereich stammten. Das BFE war mit einem Anteil von 16 % noch vor der EU (Forschungsrahmenprogramme, 11 %) zweitgrösster Finanzgeber.

Mit rund 9 Mio. CHF wird der grösste Anteil der finanziellen Mittel des BFE für Projekte aus dem Bereich Energieeffizienz, weitere 8 Mio. CHF für Projekte im Zusammenhang mit erneuerbarer Energie und rund 3 Mio. CHF für die Koordination aufgewendet. Die Koordination beinhaltet auch die Beteiligungen an internationalen Programmen der EU und – vor allem – der Internationalen Energieagentur (IEA). Weitere knapp 5 Mio. CHF stehen für Pilot- und Demonstrationsprojekte zur Verfügung.

Die Förderung der Energieforschung durch das BFE

Das BFE deckt mit seinen Energieforschungsprogrammen beinahe das gesamte Spektrum der Energieforschung ab. Eine Sonderstellung nehmen die Energieforschungsprogramme zur Kernenergie ein. Für die drei im vorliegenden Energieforschungskonzept aufgeführten Forschungsprogramme Kernfusion, Kerntechnik und nukleare Sicherheit sowie Regulatorische Sicherheitsforschung übernimmt das BFE lediglich die Funktion einer Auskunftsstelle. Die Festlegung der Zielsetzungen sowie die Zuteilung der finanziellen Mittel liegen in der Kompetenz des Staatssekretariats für Bildung und Forschung bzw. des ETH-Rats und des Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI. Lediglich für das Forschungsprogramm Radioaktive Abfälle liegt die Kompetenz beim BFE.

Aktuell führt das BFE neben den vier oben erwähnten Forschungsprogrammen aus dem Bereich der Kernenergie 20 weitere Energieforschungsprogramme, wovon neun der Energieeffizienz, zehn der erneuerbaren Energie und eines der sozioökonomischen Forschung zugeordnet sind.

Internationale Einbindung

Eine der zentralen Aufgaben des BFE ist die Einbindung der Schweizer Forschenden in die internationalen Forschungsprogramme – im Speziellen der EU (Forschungsrahmenprogramme) und der Internationale Energieagentur (IEA).

Das BFE ist zu diesem Zweck in alle wichtigen Gremien der EU und der IEA direkt eingebunden und kann seine Anliegen dort direkt platzieren.

Qualitätssicherung in der Energieforschung

Die Bundesämter, welche Ressortforschung betreiben, müssen die vom Steuerungsausschuss-BFT im Jahr 2005 erlassenen Qualitätssicherungsrichtlinien in der Forschung der Bundesverwaltung umsetzen.

Das BFE wird in der Periode 2013–2016 ein entsprechendes Qualitätssicherungssystem aufbauen, das die lückenlose Verfolgung aller wichtigen Entscheidungen bei der Vergabe von Forschungsprojekten erlaubt, von der ersten Kontaktaufnahme bis zum Projektabschluss.

Inkrafttreten

Das Energieforschungskonzept des Bundesamts für Energie 2013–2016 wird auf 1. Januar 2013 in Kraft treten.

Das Konzept wird in den Sprachen Deutsch und Französisch publiziert.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung **1**
Inhaltsverzeichnis **2**
1 Einleitung **4**
2 Überblick Politikbereiche **5**
2.1 Stand der Forschung **5**
2.2 Strategische Ausrichtung der Energieforschung des BFE **5**
2.2.1 Energieforschungskonzepte des Bundes und des Bundesamts für Energie 5
2.2.2 Der Masterplan Cleantech 6
2.3 Gesetzlicher Auftrag (Spezialgesetze) **7**
2.3.1 Forschungs-, Pilot- und Demonstrationsprojekte 7
2.3.2 Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE) 7
2.4 Rückblick auf Periode 2008–2011 ..... **7**
2.5 Finanzierung **14**
2.6 Herausforderungen und Handlungsbedarf **15**
3 Forschungsschwerpunkte 2013–2016 ..... **17**
3.1 Energieeffizienz **17**
3.1.1 Akkumulatoren und Superkondensatoren 17
3.1.2 Brennstoffzellen 18
3.1.3 Elektrizitätstechnologien und -anwendungen 20
3.1.4 Energie in Gebäuden 21
3.1.5 Kraftwerk 2020 / CCS 23
3.1.6 Netze 24
3.1.7 Verbrennung 26
3.1.8 Verfahrenstechnische Prozesse 28
3.1.9 Verkehr 30
3.2 Erneuerbare Energie **31**
3.2.1 Biomasse und Holzenergie 31
3.2.2 Geothermie 33
3.2.3 Industrielle Solarenergienutzung 35
3.2.4 Photovoltaik 37
3.2.5 Solarwärme und Wärmespeicherung 38
3.2.6 Talsperren 40
3.2.7 Wasserkraft 42
3.2.8 Wasserstoff 43
3.2.9 Wärmepumpen und Kältetechnik 44
3.2.10 Windenergie 46
3.3 Kernenergie **48**
3.3.1 Kernfusion 48
3.3.2 Kerntechnik und nukleare Sicherheit 48
3.3.3 Radioaktive Abfälle 48
3.3.4 Regulatorische Sicherheitsforschung 49
3.4 Querschnittsprogramme **50**
3.4.1 Energie–Wirtschaft–Gesellschaft 50

3.4.2 Pilot- und Demonstrationsprojekte 51

4 Energieforschung des BFE im Rahmen der Energiestrategie 2050 52

4.1 Der Aktionsplan Koordinierte Energieforschung Schweiz 52
4.2 Auswirkungen auf die Energieforschung des BFE 52

5 Finanzierung 2013–2016 54
6 Akteurinnen / Akteure und Schnittstellen 55

6.1 Beschreibung der wichtigsten Akteurinnen und Akteure 55
6.2 Schnittstellen zum Schweizerischen Nationalfonds (SNF) 56
6.2.1 Abgeschlossene und laufende Nationale Forschungsprogramme (NFP) 56
6.2.2 Abgeschlossene und laufende Nationale Forschungsschwerpunkte (NFS) 56

6.3 Schnittstellen zur Kommission für Technologie und Innovation (KTI) 56
6.4 Schnittstellen zu Bundesämtern und weiteren Bundesstellen 57
6.5 Internationale Zusammenarbeit 59
6.5.1 Internationale Energieagentur (IEA) 59
6.5.2 OECD: Nuclear Energy Agency (NEA) 60
6.5.3 EU: Beratende Gremien 60
6.5.4 EU: ERA-NETs, Technology Platforms 60
6.5.5 REPIC 60
6.5.6 D-A-CH Smart-Grids 61
6.5.7 International Partnership for Geothermal Technology (IPGT) 61

7 Organisation und Qualitätssicherung 62

7.1 Interne Organisation 62
7.1.1 Organisation der Forschungsprogramme 62
7.1.2 Pilot- und Demonstrationsprojekte 62
7.1.3 Externe Beratung durch Begleitkommissionen 63
7.1.4 Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE) 63
7.1.5 Begleitgruppen 63
7.1.6 Qualitätssicherung (Ziele neue Periode) 64

7.2 Wissens- und Technologietransfer 64

Anhänge 65
A. Ressortforschung 65
B. Spezialgesetzliche Grundlagen 65
C. Koordination der Forschung der Bundesverwaltung 66
D. Datenbank ARAMIS 66
E. Qualitätssicherung in der Forschung der Bundesverwaltung 67

Endnoten 67

1 Einleitung

Das *Energieforschungskonzept des Bundesamts für Energie 2013–2016* richtet sich nach dem *Konzept der Energieforschung des Bundes 2013–2016* [i], welches von der Eidgenössischen Energieforschungskommission CORE (Kapitel 2.2.1) erstellt wird. Für die Umsetzung verfügt das Bundesamt für Energie über eigene Fördermittel, die subsidiär zu den Anstrengungen der privaten und übrigen öffentlichen Forschungsstellen eingesetzt werden. Die Koordination der Arbeiten erfolgt dabei über die Forschungsprogramme des BFE (Kapitel 3).

Die Betreuung dieser Forschungsprogramme erfolgt durch die jeweilige Programmleitung des BFE [ii]. Für die Umsetzung der Ergebnisse in den Markt werden sie unterstützt durch die Programme *Wissens- und Technologietransfer* und *EnergieSchweiz* des BFE.

Über ihre Tätigkeit legen die Programmleitungen jährlich in ihren Überblicksberichten Rechenschaft ab. Die Berichte werden einzeln und als Sammelband auf der Website der Energieforschung des BFE publiziert [iii]. Zudem erhebt das BFE alle zwei Jahre die *Projektliste der Energieforschung des Bundes* [iv], die Auskunft über die Aufwendungen der mit öffentlichen Mitteln finanzierten Energieforschung sowie eine detaillierte Zusammenstellung der Geldflüsse gibt.

Gemäss der letzten Erhebung für die Jahre 2008/2009 kamen 2009 rund 54 % der von der öffentlichen Hand aufgewendeten 213,5 Mio. CHF aus dem ETH-Bereich. Das BFE war mit einem Anteil von 16 % noch vor der EU (11 %) zweitgrösster Finanzgeber.

Die meisten Geldmittel kamen dem Bereich effiziente Energienutzung zugute (77,8 Mio. CHF), 67,1 Mio. in den Bereich erneuerbare Energie und 54,3 Mio. flossen in den Bereich Kernenergie. Für den Bereich der sozio-ökonomischen Forschung wurden 14,4 Mio. CHF aufgewendet.

Die Forschungskonzepte des Bundes und des BFE

Mit dem *Konzept der Energieforschung des Bundes 2013–2016* und dem vom BFE ausgearbeiteten *Energieforschungskonzept des Bundesamts für Energie 2013–2016* liegen für die Energieforschung gleich zwei Konzepte vor.

Das *Konzept der Energieforschung des Bundes* wird seit dem Jahre 1986 veröffentlicht und alle vier Jahre überarbeitet. Es soll einerseits den Förderinstanzen des Bundes wie etwa dem BFE oder dem SBFI aber auch dem ETH-Bereich als Planungsinstrument und andererseits den kantonale und kommunale Stellen, welche mit der Umsetzung der energiepolitischen Vorgaben betraut sind, als Orientierungshilfe dienen. Im Weiteren informiert es interessierte Forschende und Forschungsstellen darüber, in welchen Bereichen der Bundesrat Forschungsprioritäten setzt.

Das Konzept beschreibt die für die gesamte öffentliche Hand formulierten Ziele mit den vier Schwerpunkten «Wohnen und Arbeiten», «Mobilität», «Energiesysteme» und «Prozesse». Die Zielpublika sind in erster Linie Förderinstitutionen und Forschende.

Das *Energieforschungskonzept des Bundesamts für Energie* definiert konkrete Zielsetzungen für die einzelnen Forschungsprogramme des BFE, die sich allerdings eng an den Zielsetzungen des *Konzept der Energieforschung des Bundes* ausrichten.

Mit der Periode 2013–2016 sind die Bundesstellen, welche Ressortforschung betreiben, verpflichtet, ihre Forschungskonzepte in einem einheitlichen Raster darzustellen, das unter anderem die Zusammenarbeit zwischen und die Schnittstellen zu anderen Bundesämtern, zum Hochschulbereich, zu den Förderprogrammen des Schweizerischen Nationalfonds (SNF) und zur Kommission für Technologie und Innovation (KTI) aufzeigt. Zudem müssen die Zielsetzungen für die Periode 2013–2016 dargestellt werden.

Zielpublika dieses Konzepts sind in erster Linie die politischen Instanzen des Bundes – im Speziellen die Parlamentsvertreter und -vertreterinnen –, aber auch Forschende, die sich über die im Energieforschungskonzept beschriebenen Zielsetzungen informieren können, welche Forschungsprojekte Chancen auf eine Unterstützung durch das BFE haben.

2 Überblick Politikbereiche

2.1 Stand der Forschung

Das BFE unterstützt mit seinen Forschungsprogrammen innovative Projekte aus dem gesamten Bereich der Energieforschung. Aufgrund der teilwiese sehr unterschiedlichen Reifegrade der einzelnen Forschungsgebiete bezüglich der Marktnähe ist der Stand der Forschung der in Kapitel 3 aufgeführten Forschungsprogramme sehr verschieden. Aus diesem Grund ist anstelle einer Übersicht über den allgemeinen aktuellen Stand der Forschung jeweils ein entsprechender Abschnitt bei der Beschreibung der wichtigsten Ergebnisse der einzelnen Forschungsprogramme beigefügt.

2.2 Strategische Ausrichtung der Energieforschung des BFE

Die nationale und internationale Vernetzung Schweizer Forschenden ist neben der aktiven Unterstützung von wirtschaftlich risikoreichen Forschungsvorhaben und dem Schliessen von Lücken in der Kette des Wissens- und Technologietransfers die Hauptaufgabe der Energieforschung des BFE. Über ein umfassendes, über viele Jahrzehnte aufgebautes Kontaktnetzwerk sucht das BFE aktiv nach aussichtsreichen Projekten, verlinkt ähnliche ausgerichtete Forschungsvorhaben und kann die Forschenden mit potenziellen Geldgebern zusammenbringen. Darin unterscheidet sich die Forschungsförderung des BFE von jenen anderer Forschungsförderungsinstitutionen.

2.2.1 Energieforschungskonzepte des Bundes und des Bundesamts für Energie

Bei der Förderung der Energieforschung richtet sich das BFE an den im *Konzept der Energieforschung* des *Bundes 2013–2016* [i] festgelegten Zielvorgaben aus.

Im *Konzept der Energieforschung des Bundes 2013–2016* sind 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. Für jeden der Schwerpunkte wurde ein Leitsatz definiert:

- *Wohnen und Arbeiten der Zukunft*: Auf dem Weg zum energieeffizienten und nahezu emissionsfreien Gebäudepark.
- Mobilität der Zukunft: Reduzierter Treibstoffverbrauch durch effiziente Mobilität und fortschrittliche Antriebstechnik.
- Energiesysteme der Zukunft: «Intelligent» vernetzte Energiesysteme sorgen für eine sichere und nachhaltige Energieversorgung.
- *Prozesse der Zukunft*: Der Ressourcenverbrauch und die Umweltbelastung von Produkten sollen über den gesamten Lebenszyklus halbiert werden.

Enge Koordination zwischen den beiden Konzepten

Aufgrund der engen Zusammenarbeit zwischen dem BFE und der CORE bereits bei der Erarbeitung des *Konzepts der Energieforschung des Bundes* fliessen die Zielsetzungen schon frühzeitig in die Konzepte der einzelnen Forschungsprogramme des BFE ein, die wiederum in ihrer Gesamtheit das *Energieforschungskonzept des Bundesamts für Energie 2013–2016* bilden.

Energieforschungskonzept des BFE: Leitsätze

Die Ausrichtung der Energieforschung des BFE richtet sich dabei nach folgenden Leitsätzen:

1. Ganzheitliche Denkweise: Die Energieforschung soll von einer ganzheitlichen Denkweise getragen werden. Insbesondere ist den Beziehungen zwischen Technik und Umwelt sowie gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Aspekten Beachtung zu schenken. Inter- und transdisziplinäre Vorhaben sind zu fördern.

2. Zweckgerichtete Forschungsprojekte: Das BFE unterstützt in erster Linie zweckgerichtete und angewandte Energieforschung. Es strebt dabei den Aufbau von Kompetenzzentren an, die technologische zweckorientierte Forschung im ständigen Kontakt mit der Industrie betreiben. Zudem engagiert sich das BFE im Speziellen bei zukunftsträchtigen Themen, die von der

Privatwirtschaft noch nicht aufgegriffen werden.

3. Wertschöpfung in der Schweiz: Die Energieforschung des BFE gibt jenen Forschungsvorhaben Vorrang, die von kompetenten Forschergruppen bearbeitet werden, eine hohe Wertschöpfung für die Schweiz erwarten lassen oder signifikante Beiträge zur globalen Nachhaltigkeit liefern.

Forschung im Ausland wird daher nur unterstützt, wenn dadurch auch eine Wertschöpfung – in wirtschaftlicher oder wissenschaftlicher Hinsicht – in der Schweiz erfolgt.

4. Fokus Versorgungssicherheit: Entsprechend der Amtsstrategie des BFE richtet sich die vom BFE geförderte Energieforschung an der Versorgungssicherheit der Schweiz und an einem effizienten Wissens- und Technologietransfer aus.

5. Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses: Zur Wahrung der Kontinuität soll die Bildung und der Erhalt personell und materiell gut dotierter Forschergruppen sichergestellt werden. Dies beinhaltet ebenfalls die Förderung des wissenschaftlichen und technologischen Nachwuchses.

6. Förderung der Vernetzung: Das BFE fördert die Vernetzung von Forschungs- und Lehrinstitutionen, welche fachspezifische und international anerkannte Kompetenzzentren bilden.

7. Kooperation mit Privatwirtschaft: Der Einsatz von Bundesmitteln in der Privatwirtschaft erfolgt nach dem Beteiligungsprinzip, wonach sich die Unternehmen am Aufwand der öffentlichen Forschungsinstitutionen beteiligen, so dass Vorhaben mit guten Aussichten auf Umsetzung zum Zuge kommen. Auch sollen Impulse zur Entfaltung einer industriellen Eigendynamik ausgelöst werden. Die wirtschaftsfreundliche Nutzung des mit öffentlichen Fördermitteln ermöglichten geistigen Eigentums (Patente, Lizenzen) wird gesichert.

8. Internationale Zusammenarbeit: Gute Forschung hat immer eine internationale Ausrichtung. Internationale Zusammenarbeit verstärkt die Effizienz der eingesetzten Mittel. Voraussetzung für eine erfolgreiche Zusammenarbeit – insbesondere im Rahmen von IEA- und EU-Projekten – sind eine aktive Teilnahme und anerkannte, qualitativ hochwertige Beiträge der Schweiz. Die Energieforschung des BFE ist daher in den wichtigsten Gremien der IEA und der EU im Bereich der Energieforschung aktiv vertreten, um die Interessen der Schweizer Forschenden gezielt einbringen zu können. Die internationale Zusammenarbeit geht dabei über den Kreis der Industriestaaten hinaus und zieht sich entwickelnde Staaten mit ein.

2.2.2 Der Masterplan Cleantech

Der Bundesrat hat im September 2011 den *Masterplan Cleantech – Eine Strategie des Bundes für Ressourceneffizienz und erneuerbare Energien* zur Kenntnis genommen. Darin werden unter anderem verschiedene Massnahmen zur Stärkung der Energieforschung in der Schweiz vorgeschlagen, namentlich

- die Verbesserung der Synergien zwischen den verschiedenen beim Bund vorhandenen Forschungsförderungsmöglichkeiten;
- die Stärkung der staatlichen Förderung im Bereich von Pilot- und Demonstrationsanlagen;
- die Bündelung der fragmentierten Kompetenzen bei Forschungsinstituten in Exzellenz- und Kompetenzzentren;
- die Konzentration der Aktivitäten für Wissens- und Technologietransfer in einem gemeinsamen Programm;
- der Ausbau der Mittel für die anwendungsorientierte Forschung im Gleichschritt mit der Grundlagenforschung und stärkere Verankerung in den Leistungsaufträgen des ETH-Bereichs;
- die Förderung des Nachwuchses im Bereich Forschung und Entwicklung an den Hochschulen und die Stärkung der Nachwuchsförderprogramme des Schweizerischen Nationalfonds.

Die Energieforschung des BFE ist mit ihren Aktivitäten in erster Linie in den ersten vier Massnahmen tätig. Insbesondere unterstützt sie mit ihren finanziellen und personellen Mitteln die im Masterplan Cleantech Schweiz formulierte Zielsetzung, eine höhere Innovations- und Wertschöpfungsleistung zu erreichen. Die einzelnen Forschungsprogramme tragen mit ihren spezifischen Zielsetzungen dabei entweder zur Erhöhung der Energieeffizienz oder zur Förderung der erneuerbaren Energie bei. Mit seinem Wissens- und Technologietransfer (WTT) greift das BFE schliesslich die aus der Forschung gewonnenen Erkenntnisse auf und fördert unter anderem auch über das Programm EnergieSchweiz die Transformation in den Markt. Da das BFE auch im Förderbereich *Ingenieurwissenschaften* der Kommission für Technologie und Innovation (KTI) Einsitz hat, ist es in allen Bereichen der Wertschöpfungskette bis hin zur produktenahen Forschung verankert.

2.3 Gesetzlicher Auftrag (Spezialgesetze)

Das Engagement des Bundes in Forschung und Forschungsförderung wird durch Art. 64 der Bundesverfassung (SR 101) legitimiert, indem der Bund die wissenschaftliche Forschung und die Innovation fördern kann. Die Forschungsaktivitäten der Bundesverwaltung werden im Forschungs- und Innovationsförderungsgesetz (FIFG, SR 420.1) weiter präzisiert: Die Bundesverwaltung ist hierbei ein Forschungsorgan, soweit sie für die Erfüllung ihrer Aufgaben Forschung in Auftrag gibt oder unmittelbar unterstützt (Art. 5). Der Bund fördert die Forschung nach dem FIFG und Spezialgesetzen unter anderem durch direkte Beiträge (Art. 6). Die Departemente können für Aufgaben im öffentlichen Interesse Forschungsaufträge erteilen oder sich an den Kosten von Forschungsvorhaben beteiligen (Art. 16). Mit Art. 24 werden die Forschungsorgane verpflichtet, Mehrjahresprogramme zu erstellen, in welchen sie Auskunft über die beabsichtigten Forschungstätigkeiten geben. Das BFE stützt sich bei seiner Forschungsförderung ferner auch auf die nachfolgend aufgeführten rechtlichen Grundlagen ab.

2.3.1 Forschungs-, Pilot- und Demonstrationsprojekte

Für die direkte Projektunterstützung werden neben dem FIFG folgende Gesetze bzw. Verordnungen beigezogen.

- *Energiegesetz* EnG (SR 730.0), Art. 12 und 14
- *Subventionsgesetz* SuG (SR 616.1), Art. 11 und 23
- *Kernenergiegesetz* KEG (SR 732.1), Art. 86;
- *Bundesgesetz über das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat* ENSIG (SR 732.2), Art. 6;
- *CO_2-Gesetz* (SR 641.71);
- *Bundesgesetz über die Wasserbaupolizei* (SR 721.10), Art. 3^{bis}, wird ersetzt durch das neue Bundesgesetz über die Stauanlagen vom 1.10.2010, Datum des Inkrafttretens nicht bestimmt (voraussichtlich Januar 2013);
- *Verordnung über die Sicherheit der Stauanlagen* (SR 721.102), wird ersetzt durch eine total revidierte Verordnung (zurzeit in Bearbeitung), Datum des Inkrafttretens nicht bestimmt (voraussichtlich Januar 2013).

2.3.2 Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE)

Für die Arbeiten der CORE werden die folgenden Spezialreglemente beigezogen.

- Verfügung des Bundesrats über die Einsetzung der Eidgenössischen Energieforschungskommission;
- Regierungs- und Verwaltungsorganisationsgesetzes RVOG (SR 172.010), Art. 57;
- Ausserparlamentarische Kommissionen: Kriterienkatalog zur Überprüfung nach Artikel 57d des Regierungs- und Verwaltungsorganisationsgesetzes vom 21. März 1997 (RVOG; SR 172.010).

2.4 Rückblick auf Periode 2008–2011

Die Energieforschung des BFE betreut durchschnittlich laufend 300 Forschungs- und 50 bis 60 Pilot- und Demonstrationsprojekte mit Beteiligung des BFE. Diese wurden auch in der Periode 2008–2011 wieder intensiv begleitet. In den Jahresberichten der Programmleitungen [iii] sind die erreichten Ergebnisse der jeweiligen Forschungsprogramme im Detail beschrieben.

Nachfolgend sind kurze Rückblicke der Forschungsprogramme in alphabetischer Reihenfolge aufgeführt.

Akkumulatoren

In den Jahren 2000–2008 war das Thema Akkumulatoren integrierter Bestandteil des Forschungsprogramms Verkehr. Mit den relativ bescheidenen Mitteln konnten in der Folge nur einzelne ausgewählte Forschungsthemen unterstützt werden. Weil in der Schweiz eine auf dem Gebiet der Hochtemperaturbatterien international führende KMU beheimatet ist, wurde der Fokus auf die Erforschung dieses Batterietyps gelegt. Ziele waren unter anderem eine Absenkung der Betriebstemperatur des Akkus und die Verlängerung der Akkulebensdauer. Im Experiment konnten Akkumulatoren

bei Temperaturen in der Grössenordnung von 100 °C statt der üblichen 270–350 °C betrieben werden.

Biomasse und Holzenergie

Bei der Systemoptimierung und -integration wurden Projekte durchgeführt, welche sich mit der Ermittlung der diffusen Methanemissionen bei Biogasanlagen beschäftigten.

Ebenfalls in diesem Zusammenhang wurden die Thematik Geruchsemissionen bearbeitet. Ein weiteres wichtiges Thema war die Verbesserung des biologischen Wirkungsgrades (Abbaugrad) bei Biogasanlagen durch den Einsatz verschiedener Substratvorbehandlungsmethoden. Ferner wurden neue Verfahren und Technologien entwickelt bzw. weiter entwickelt, beispielsweise die katalytische hydrothermale Vergasung von nasser Biomasse, welche nun in eine Pilotphase geht.

Im Hinblick auf die Entwicklung von marktreifen Holzvergasungsanlagen wurde die Wirkungsgradsteigerung durch effiziente Gasreinigung am Beispiel der Hochtemperaturentschwefelung weiter entwickelt. Ein weiteres neu erforschtes Verfahren dient der online Messung von Alkalien in Prozessgasen (z. B. aus der Holzvergasung). Feinstaubemissionen bei Holzheizungen waren ein wichtiges Forschungsthema. Ferner wurde im Bereich holzige Biomasse ein Projekt begonnen, welches die Entwicklung eines holzbefeuerten Blockheizkraftwerks mit Heissluftturbine im Pilotmassstab zum Ziel hat.

Im Rahmen der Qualitätssicherung wurde die Datengrundlage für Ökobilanzen aktualisiert bzw. aufgrund neuer Erkenntnisse erweitert.

Brennstoffzellen

Im Bereich der Entwicklung von Festoxidbrennstoffzellen für stationäre Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen konnten durch die enge Zusammenarbeit zwischen industriellen und akademischen Partnern in einem gross angelegten nationalen Projekt grosse Fortschritte erzielt werden, dies insbesondere in der Erhöhung der Lebensdauer solcher Systeme auf Grund der Identifikation von grundlegenden Alterungsmechanismen und der Entwicklung von Lösungen zu dieser Problematik. Weiter wurden im Bereich der Polymer-Elektrolyt-Brennstoffzellen (PEFC) für Mobilitätsanwendungen neue kostengünstigere Membranen entwickelt. Durch den Einsatz von Grossanlagen (Synchrotron Light Source des PSI) konnten erstmals grundlegende in-situ-Untersuchungen an PEFC durchgeführt werden, die ein besseres Verständnis des Betriebsverhaltens dieser Systeme ermöglichen. Im Pilotbereich konnte die Alltagstauglichkeit von PEFC-Systemen in verschiedenen Projekten demonstriert werden, so zum Beispiel in einem Kommunal-Reinigungsfahrzeug mit Brennstoffzellenantrieb, in der erfolgreichen Integration eines luftgekühlten PEFC-Systems in einer mobilien Minibar der SBB oder in der Anwendung von Brennstoffzellensysteme für unterbrechungsfreie Stromversorgungsanlagen.

Elektrizitätsanwendungen

In der Thermoelektrik konnten kompetente Forschungsstätten und Industriepartner für das zielgerichtete Vorantreiben dieser neuen Technologie gewonnen werden. In der Hochtemperatursupraleitung fand der erhoffte Materialdurchbruch leider nicht statt, sodass auch entsprechende Anwendungen keinen relevanten Markteintritt erfahren haben. Die Thematik der Druckluftspeicherung wurde durch einen Spin-off der EPFL aufgenommen und es soll nun im Rahmen einer Machbarkeitsstudie geklärt werden, ob sich diese Technologie zur Speicherung eignet, welches die geeigneten Einsatzgebiete sind und welche spezifischen Eigenschaften diese Speicherung aufweist.

Bei den Haushaltsgeräten konnten Grundlagen und Erkenntnisse im Bereich der Vakuumtechnik als Isolationsmaterial und im Optimieren der Kühlkompressoren erzielt werden. Auch im Bereich der elektrischen Motoren leisteten Forschungsergebnisse einen wesentlichen Beitrag zur Effizienzsteigerung. So wurde mit der Industrie ein eigentliches Sparkit für Aufzüge entwickelt, welches die Effizienz bestehender Liftanlagen verbessert. Primär durch internationale Kooperationen und durch punktuelle nationale Aktivitäten konnten diverse Grundlagen zur Effizienzverbesserungen im IKT-Bereich (IKT: Informations- und Kommunikationstechnik) erarbeitet werden. Sehr erfreulich war zudem, dass die Industrie gewonnen werden konnte, als Ersatz von Elektroheizungen die Entwicklung einer Einzelraumwärmepumpe anzugehen.

Energie in Gebäuden

Im Zeitraum 2008–2011 wurden in allen fünf Schwerpunkten des Forschungsprogramms entscheidende Fortschritte erzielt. Im Bereich der *Gebäude- und Siedlungskonzepte* wurden Grundlagen für den elektronischen Bauteilkatalog, das Nachweistool für Minergie-Eco sowie ein Leitfaden für die 2000-Watt-kompatible Arealentwicklung erarbeitet. Im Schwerpunkt *Gebäudesanierung* wurde ein IEA-Projekt zu bezüglich Energie und Treibhausgas optimierten Sanierungslösungen gestartet. Der Bereich der *Gebäudetechnik* konnte eine Vielzahl Effizienz verbessernder Projekte durchgeführt werden, die von Konzepten der passiven Kühlung bis hin zur intelligenten Steuerung von Lüftungen, Beschattung, Beleuchtung, usw. reichten. Im Schwerpunkt *Stromverbrauch* konnten nur sehr wenige Projekte gefördert werden. Analysiert wurden die Elektrizitätsverbräuche verschiedener Gebäudetypen, mit dem Ziel, eine verbesserte Grundlage für die Berechnung derselben zu erhalten. Im Bereich der *innovativen Materialien* konnten einige Problemstellungen zur Herstellung von Vakuumfenstern gelöst sowie ein Deklarationsraster für Vakuumdämmungen im Baubereich entwickelt werden.

Ergänzend zu den Forschungsschwerpunkten wurden Pilotprojekte zur Demonstration von Schlüsseltechnologien mit Fokus auf die Gebäudesanierung sowie Erstanwendungen neuer Technologien und Systeme in Neubauten und Bestandsbauten gefördert.

Energie–Wirtschaft–Gesellschaft

Dieses Forschungsprogramm hat in der Periode 2008–2011 in folgenden drei Bereichen schwerpunktmässig geforscht: (i) methodische Weiterentwicklung der Modelle für die Energieperspektiven, (ii) verbessertes Verständnis des Innovationsprozesses bezüglich Energietechnologien und (iii) Analyse des individuellen und gesellschaftlichen Verhaltens im Umgang mit Energie. In diesen drei Bereichen und mit zusätzlichen Studien zum Investitions- und Kaufverhalten der Konsumentinnen und Konsumenten wurden signifikante Fortschritte erzielt. Mehrere themenspezifische Workshops wurden durchgeführt und verschiedene Artikel wurden international publiziert

Geothermie

Der Fokus der Forschung liegt bei der tiefen Geothermie für Wärmegewinnung und Stromerzeugung. Standortanalysen haben mit dazu geführt, Projekte in St. Gallen, Lavey-les-Bains, in der Region Côte des Kantons Waadt, im Kanton Genf, Brigerbad und Winterthur näher an eine Realisierung zu bringen. An Hand des gestoppten Basler Projekts *Engineered Geothermal System* (EGS) wurde ein besseres Verständnis und eine Analysemethodik des seismischen Risikos erarbeitet. Zudem zeigen Studienresultate der induzierten Seismizität, wie zukünftig das Risiko der induzierten Seismizität auf ein akzeptables Niveau gesenkt werden kann. Mit dem Beitritt der Schweiz zur International Partnership for Geothermal Technology (IPGT) ergeben sich für Schweizer Forschende neue Möglichkeiten der internationalen Zusammenarbeit im Gebiet der EGS.

Bei der untiefen Geothermie wurden Projekte unterstützt, welche mit 300 m bis 1000 m tiefen Erdwärmesonden (EWS) Raumwärme mittels Wärmepumpen bereitstellen. Allerdings ergeben sich bei tiefen Sonden teilweise operationelle Probleme, die mit Fallbeispielen analysiert und gelöst wurden.

Industrielle Solarenergienutzung

Bei der Nutzung konzentrierter Solarwärme für thermochemische Prozesse zur Produktion von chemischen Energieträgern (Wasserstoff bzw. Syngas) konnten grosse Erfolge erzielt werden, so beispielsweise bei der Aufskalierung des Solarofens für die solare Zink-Produktion auf 100 kW. Dieser wurde in einer Testanlage in Odeillo/Frankreich erfolgreich getestet. Weiter konnten durch verschiedene Projekte am Institut für Solarprüfung SPF an der Hochschulen Rapperswil (HSR) die Kompetenzen im Bereich der Erzeugung solarer Prozesswärme ausgebaut werden. Parallel konnten auch verschiedene Pilot- und Demoprojekte umgesetzt werden, welche den Einsatz von konzentrierter Solarenergie zur Erzeugung von industrieller Prozesswärme auch in der Schweiz erfolgreich demonstrieren. Im Bereich der konzentrierenden Solarwärme für Elektrizitätsproduktion (CSP) wurden die industriellen Aktivitäten zur Entwicklung eines innovativen Parabolrinnenkollektors mit Luft als Wärmeträgermedium erfolgreich weitergetrieben. Praktisch alle Forschungsprojekte waren in internationale Projekte eingebunden.

Kernfusion

Das «Centre de recherche en physique des plasmas» (CRPP) der EPFL hat seine Aktivitäten im Zusammenhang mit dem Aufbau des Forschungsreaktors «International Thermonuclear Experimental Reactor» (ITER) fortgesetzt. Die Arbeiten des CRPP fanden an zwei Standorten statt: an der EPFL, wo mit Hilfe des «Tokamak à configuration variable» (TCV) am magnetischen Plasmaeinschluss geforscht wurde und am PSI, wo Forschung im Bereich der Supraleitung und der Materialforschung betrieben wurde. Der TCV der EPFL ist in zweifacher Hinsicht weltweit einzigartig. Einerseits erlauben sein flexibler Aufbau und sein Betriebsmodus die Erzeugung und den Einschluss verschiedenster Plasmaformen. Dies ermöglicht die Verifikation von numerischen Modellen und unterstützt die Planung der Geometrie künftiger Reaktoren. Andererseits kann durch die gerichtete Einstrahlung von Millimeterwellen das eingeschlossene Plasma sehr flexibel geheizt werden.

Das Departement für Physik der Universität Basel hat seine Forschungsarbeiten bezüglich der Diagnosespiegel von ITER fortgesetzt. Insbesondere wurden Beschichtungen der dem Plasma ausgesetzten Spiegel mit Rhodium und Molybdän untersucht.

Kernspaltung und nukleare Sicherheit

Das Forschungsprogramm *Kernspaltung und nukleare Sicherheit* wurde in der Zeitspanne 2008–2011 im Zeichen der mittelfristigen Erneuerung der elektrischen Produktionskapazität der schweizerischen Nuklearindustrie geführt.

Die am schweizerischen Reaktorpark ausgerichtete Forschung hat sich auf folgende Schwerpunkte konzentriert: Alterung der Materialien; schwere Unfälle einschliesslich der Möglichkeit der Rückhaltung von Radionukliden im Sicherheitsbehälter, welche aus einem beschädigten Reaktorbehälter entweichen könnten; Zuverlässigkeit und Verhalten der Operateurinnen und Operateure in Kontrollräumen.

Der Ausblick, in der Schweiz mehrere Reaktoren mit dem höchsten Sicherheitsstandard zu bauen, (Generation III), hat sowohl in reaktorphysikalischer Hinsicht als auch im thermohydraulischen Bereich zu kollaborativen Anstrengungen geführt. Damit konnten für Leichtwasserreaktoren der Generation III realistische Sicherheitsmargen ermittelt werden.

Die Forschung auf der breiten Konzeptpalette der Reaktoren der vierten Generation wurde auf internationaler Ebene weitergeführt. Verschiedene Kombinationen bei der Auswahl von Kühlmitteln (Gas, flüssiges Metall), Brennstoff (Uran, Thorium) als auch Sicherheitskonzepte (aktive und passive sowie Eigensicherheit) wurden untersucht. Der Beitrag der Schweiz hat sich auf das Verhalten von Reaktormaterialien bei hohen Temperaturen sowie auf das dynamische Verhalten eines Reaktorkerns mit schnellen Neutronen fokussiert.

Eine starke simultane Kopplung von Physik, Chemie und Materialwissenschaften (multi-Physik) ist notwendig, um die Komplexität eines Nuklearreaktors zu erfassen. Konsequenterweise muss eine starke Zusammenarbeit von angewandter und akademischer Forschung und der Ausbildung in allen diesen Gebieten erfolgen. Ein klares Zeichen wurde kürzlich durch die Einführung des Studiengangs «Masters in Nuclear Engineering» gesetzt, welcher gemeinsam von den beiden ETH in Zürich und Lausanne und dem PSI durchgeführt wird.

Kraftwerk 2020 / CCS

Im Forschungsprogramm wurden Fortschritte bei der Zielsetzung erreicht, den elektrischen Wirkungsgrad von Gas- und Dampfkombikraftwerkes auf mindestens 62 % anzuheben: eine 2011 in Deutschland in Betrieb gegangene Referenzanlage der Firma Siemens hat einen elektrischen Wirkungsgrad von 60,8 % ausgewiesen. Bei luftgekühlten Turbogeneratoren konnte durch eine erfolgreiche Minimierung der Ventilationsverluste eine Effizienz von über 99 % erreicht werden. 2009 wurde das Programm um das Thema Abscheidung und Speicherung von Kohlendioxid (Carbon Dioxide Capture and Storage, CCS) erweitert, um auch hier Optionen für durch das Gesetz gegebene Anforderungen der inländischen Kompensation bereit zu stellen. Das theoretische CO_2-Speicherpotenzial des Schweizer Mittellandes wird auf maximal 2700 Mio. Tonnen (rund das 70-fache des jährlichen CO_2-Ausstosses der Schweiz) geschätzt.

Das Programm befindet sich nun in einer Phase der kontinuierlichen Erneuerung des Projektportfolios, welches die modifizierte Ausrichtung (stärkere Betonung von CCS-Themen) immer deutlicher zeigt. Mit neu lancierten Projekten wurden wichtige thematische Lücken – etwa im Bereich der Integration von Biogasen in den Kraftwerkprozess, im Bereich der Schaufelkühlung und in der Integration von Kraftwerken in das Netz, und dies insbesondere bezüglich der Netzstabilität bei Lastschwankungen – geschlossen und die Bearbeitung der Schwerpunkt-Themenfelder abgerundet.

Netze

Im Bereich der elektrischen Netze wurden unter anderem verschiedene Projekte gefördert, um den Einfluss dezentraler, fluktuierender Einspeisung auf das Versorgungssystem zu untersuchen. Unter Beteiligung verschiedener Netzbetreiber hat beispielsweise das wissenschaftlich begleitete Pilotprojekt VEiN (Verteilte Einspeisung in Niederspannungsnetze) verschiedenste Auswirkungen von Kleinanlagen (Photovoltaik, Wärme-Kraft-Kopplung, Wind usw.) in einem Niederspannungsnetz in Rheinfelden identifizieren, analysieren und entsprechende Lösungsansätze aufzeigen können.

Zukunftsgerichtete Forschungsprojekte wie VoFEN (Vision of Future Electricity Networks) haben das erhebliche Potenzial eines gemeinsamen, optimierten Betriebes verschieden gearteter Netzinfrastrukturen (Elektrizität, Gas, Wärme usw.) nachweisen können. Allerdings ist der Übergang von bereits existierenden Infrastrukturen nicht trivial, zumal in der Schweiz nur relativ wenige Netze bestehen, die gekoppelt werden könnten.

Photovoltaik

Die vergangene Periode kann aus Sicht von Forschung und Industrie insgesamt als erfolgreich eingestuft werden. Führende Forschungsarbeiten auf verschiedenen Gebieten konnten weiter ausgebaut und neue Rekordresultate erzielt werden, so beispielsweise bei der Entwicklung von CIGS- und Silizium-Dünnschichtsolarzellen. Im Bereich der Zellen wurden zudem thematisch neue Projekte zu organischen Solarzellen gestartet mit Erfolg versprechenden Ansätzen. Weiter konnte durch den Aufbau eines Zertifizierungszentrums für Photovoltaikmodule am Forschungszentrum ISAAC im Tessin die Kompetenzen in diesem Bereich deutlich verstärkt werden. Die zunehmend an Bedeutung gewinnende Thematik der Wechselwirkung zwischen Photovoltaiksystemen und dem elektrischen Netz wurde ebenfalls angegangen. Die meisten Projekte waren in der einen oder anderen Form in internationale Aktivitäten eingebunden.

Weiter fand in diesem Zeitraum insgesamt eine deutliche Zunahme der industriellen Tätigkeiten statt. Diese baut zum einen auf der langjährigen, früheren Entwicklung und deren Resultate auf und wird zum anderen wesentlich durch die internationale Dynamik beeinflusst.

Radioaktive Abfälle

Das Forschungsprogramm *Radioaktive Abfälle* konnte 2009 gestartet werden. Im geistes- und sozialwissenschaftlichen Bereich konnten damit die drei Projekte *Kommunikation mit der Gesellschaft*, *Literaturstudie zur Markierung von geologischen Tiefenlagern* sowie *Werthaltungen und Meinungen bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle* durchgeführt werden. Im Bereich der Markierung von geologischen Tiefenlagern konnte im Jahr 2011 als Fortsetzung der Literaturstudie auf internationaler Ebene im Rahmen der OECD ein dreijähriges Forschungsprojekt gestartet werden. Das Projekt *Abfallbewirtschaftung im Vergleich* vergleicht die Bewirtschaftungpraxis konventioneller und radioaktiver Abfälle in der Schweiz.

In der zweiten Jahreshälfte 2010 wurden die Projekte *Pilotlager: Auslegung und Inventar*, *Monitoringkonzept und -einrichtungen* sowie *Lagerauslegung* gestartet. Sie befassen sich mit technisch-naturwissenschaftlichen Anforderungen an ein Tiefenlager und das zugehörige Pilotlager. Diese drei Projekte werden sich bis in die Periode 2013–2016 erstrecken.

Regulatorische Sicherheitsforschung

Die Herausforderungen für das ENSI sind erheblich gewachsen. Dazu zählen insbesondere der sichere Langzeitbetrieb der bestehenden Kernkraftwerke und das Sachplanverfahren für die geologische Tiefenlagerung. In diesen Bereichen sowie in Bezug auf externe Ereignisse wurden die meisten neuen Projekte gestartet. Beispiele dafür sind die Projekte NORA (Edelme-

tall-Einspeisung in den Primärkreislauf zur Verringerung der Rissbildung), FORGE (Auswirkungen der in einem Tiefenlager gebildeten Gase) und OECD SMART (Erschütterung von Kernkraftwerksbauten infolge von Erdbeben). Die Aufarbeitung des Fukushima-Unfalls lässt weiteren Forschungsbedarf erwarten.

Entsprechend dem Aufgabenzuwachs hat das ENSI seit 2008 das Programm stark ausgeweitet. Die Zahl der Projekte hat von 17 (2007) auf 33 (2010) und auf 37 (2011) zugenommen. Zugleich stiegen die Aufwendungen von etwa 4,1 Mio. CHF im Jahr 2007 auf etwa 4,7 Mio. CHF im Jahr 2010. Im Jahre 2011 sind sie auf etwa 6,4 Mio. CHF gestiegen.

Solarwärme und Wärmespeicherung

In der vergangenen Periode konnten folgende Themenbereiche erfolgreich entwickelt und eine Markteinführung vorgespurt werden: Thermochrome Beschichtungen von Absorbern, architektonische Integration von Solarkollektoren, Stagnationsverhalten von Kollektoren und Kollektorfeldern, Machbarkeit solarthermischer Kühlung, kombinierte Systeme von Wärmepumpen und Solarthermie, solare Frischwassermodule sowie ein Pilotprojekt zur saisonalen Speicherung einer grossen Überbauung in Genf, das aber Ende 2011 aufgrund von zusätzlichen Studien zu möglichen Senkungen des Untergrunds abgebrochen wurde.

Nicht im gewünschten Umfang bearbeitet werden konnten die thermochemische Speicherung auf der Basis von Natronlauge (NaOH), die Verbesserung von Phasenwechselmaterialien (PCM) zur Wärmespeicherung sowie die Entwicklung eines Kollektors aus extrudiertem Polymer.

Talsperren

Zwei Projekte aus dem betreffenden Zeitraum werden gegenwärtig weitergeführt:

Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR) in Talsperrenbeton. In einem Bauwerk ist Beton komplexen Spannungen ausgesetzt, welche die Entwicklung von durch AAR hervorgerufenen Mikrorissen in Gesteinskörnung und Zementstein beeinflussen. Zur Untersuchung der Eigenschaftsverschlechterungen von betroffenem Beton wurde ein Programm in die Wege geleitet, welches Versuche und Simulationen kombiniert. Dank einem führenden Informatikmodell konnten die bisher unbekannten Ursachen mehrerer in der Praxis beobachteter Effekte aufgezeigt werden.

Dammbruch bei kleinen Talsperren: Feststofftransport und Flutwellenausbreitung in starkem Gefälle: Dank des innovativen Einsatzes optischer Techniken kann der Kern des Erosionsprozesses infolge einer Dammbruchwelle (Fliessgeschwindigkeiten, Konzentrationen) untersucht werden. Die Versuchskampagne ist inzwischen angelaufen. Der Feststofftransport in starkem Gefälle wurde anhand systematischer Versuche analysiert. Diese haben gezeigt, dass grosse Residualblöcke in Fliessgewässern den Feststofftransport massgeblich beeinflussen. Die Versuche zur Parameteranalyse sind im Gange.

Verbrennung

Internationale Beachtung fand ein Versuchsträger für grosse Dieselmotoren. In einem von der EU mitfinanzierten Projekt konnten Wärtsilä, ABB, die ETH und das PSI die Brennstoffeinspritzung verbessern und erste Erkenntnisse rasch in die Praxis umsetzen. Im bereits laufenden Folgeprojekt werden Massnahmen zur Reduktion der Russbildung untersucht. In einem deutsch-schweizerischen Gemeinschaftsprojekt wurden Brennstoffkennzahlen für die homogene selbstgezündete Verbrennung untersucht und erfolgreich mit einem an der ETH entwickelten 3-D-Verfahren abgebildet. Für die Bestimmung der Enthalpiefreigabe der Radikale im Zündprozess wurden am PSI massenspektrometrische Messmethoden entwickelt, welche die Strahllinie der Swiss Light Source nutzen. Das Projekt fand Eingang in eine europäische COST-Forschungsaktion [v] und wird fortgesetzt. Ferner wurden die Auswirkungen von Bio-Dieselgemischen auf die Abgasnachbehandlung untersucht: Ein höherer Bio-Anteil verbessert die Regeneration der Partikelfilter, hinterlässt aber eine grössere Menge Asche.

Verfahrenstechnik

Das junge und kleine Forschungsprogramm konnte sich weiter etablieren. Bei der Entwicklung von Methoden und Tools wurden gute Umsetzungsfortschritte erzielt. So bestehen bei zwei Entwicklungen grosse Chancen für die Kommerzialisierung über Spin-offs der ETH Zürich, und das im Rahmen des Forschungsprogramms von der Hochschule Luzern (HSLU) entwickelte Prozessintegrationstool «PinCH» ist in der Anwendungsphase. Erfreulich sind die guten Ergebnisse für die Effizienzsteigerung von Trocknungsanlagen. Weitere bearbeitete Themen waren Prozessanalysen, Abwärmenutzung, Wärmespeicherung sowie eine Marktübersichtsstudie. Bei Anfragen für Projektunterstützung im Bereich der Wärmerückgewinnung zeigte sich der Bedarf, mittels Engineeringtools den Auslegungsaufwand zu minimieren. Interessante Ideen entstanden im Bereich Bioraffinerien (mobile Bioreaktoren). Zurzeit läuft die Ausweitung der Aktivitäten auf die Fertigungstechnik.

Verkehr

Die Erfindung und Erforschung des pneumatischen Hybrid durch die ETH Zürich war das herausragende Resultat der im Rahmen des Forschungsprogramms geförderten Projekte. Von diesem Antrieb, der in künftigen Automobilen den Ottomotor nur um maximal 20 % verteuern soll, hat die ETH auf dem dynamischen Prüfstand ein Einsparpotenzial von 25–35 % nachgewiesen. Dieselmotoren sind in der Herstellung rund zwei Mal und Elektrohybrid-Motoren rund drei Mal so teuer wie ein Ottomotor.

Mit Swissauto / Wenko wurde mit der Entwicklung des Range Extender (REX) in einem zusätzlich optimierten VW Polo wesentliche Effizienzsteigerung erzielt. Angetrieben wird das Fahrzeug von einem Elektromotor (inkl. Generator und Akkumu-

lator), der von einem kleinvolumigen Einzylinder-4-Takt-Ottomotor mit einer Leistung von 24 kW unterstützt wird. Je nach Einsatzprofil resultiert ein Energieverbrauch von weniger als 20–40 kWh (2–4 Liter) pro 100 km.

Im Bereich des Leichtbaus erzielte die Georg Fischer AG durch Bionik-Simulation wertvolle und insbesondere rasch umsetzbare Resultate. Bereits 2010 wurden 30 % des Konzernumsatzes im Bereich Automotive mit Baugruppen erzielt, die mit diesem Verfahren optimiert wurden.

Im Projekt LIGHT-TEC-I wird ein Produktionsverfahren für Faserverbund-Materialien, der sogenannte Schmelzprägeprozess, entwickelt, welches die produktive Herstellung von Leichtbau-Strukturbauteilen zum Ziel hat. Die dabei verwendeten hoch faserverstärkten Thermoplastmaterialien besitzen ein sehr gutes Festigkeits/Gewichts-Verhältnis und können effizient und umweltfreundlich verarbeitet werden. Das übergeordnete Ziel ist wie im weiter oben beschrieben Projekt die Absenkung des Treibstoffverbrauchs durch Gewichtsreduktion. 100 kg tiefere Fahrzeugmasse senken den Verbrauch um rund 6 %.

Wasserkraft

Im Bereich der Grosswasserkraft wurden verschiedene Projekte im Bereich Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke – z. B. zur Vermeidung der Stauraumverlandung – und dem Bau und Betrieb von Hochdruckleitungen und geänderten Rahmenbedingungen gefördert. Im Bereich Kleinwasserkraft wurden schweizweit GIS-basierte Potenzialuntersuchungen durchgeführt, die inzwischen den einzelnen Kantonen für ihre eigene Planung zur Verfügung stehen. Dabei werden auch einschränkende Faktoren infolge von Gewässer- und Landschaftsschutz berücksichtigt. Eine grössere Anzahl einzelner Projekte hatte die Lösung spezieller technischer, betrieblicher und ökologischer Fragen im Bereich Kleinwasserkraft zum Inhalt. So wurden so genannte Gegendruckturbinen für Stromgewinnung in der Trinkwasserversorgung gefördert, Untersuchungen zur Verbesserung der Fischdurchgängigkeit und neue Konzepte zur Nutzung sehr kleiner Fallhöhen wurden untersucht und bewertet und Ansätze zur Lösung der Geschiebeproblematik in Niederdruckanlagen untersucht.

Wasserstoff

Die Forschungsprojekte in der vergangenen Periode konnten erfolgreich durchgeführt werden. Bei der direkten solaren Produktion von Wasserstoff über Photokatalyse konnten wesentliche Verbesserungen bei den Wirkungsgraden der eingesetzten Oxid-Materialien erzielt werden. Zusätzlich wurde auch die Langzeitstabilität dieser Strukturen erhöht.

Die EPFL konnte sich hier als Leading house in Europa etablieren und koordiniert die Arbeiten in einem grossen europäischen Projekt in diesem Bereich. Im Bereich der Wasserstoffspeicherung in Festkörpern konnten grundlegende Erkenntnisse der Wasserstoffabsorption und -desorption in komplexen Metallhydriden gewonnen werden, welche diese Materialien der praktischen Anwendung ein grosses Stück näher gebracht haben. Parallel zu grundlegenden und angewandten Forschungsthemen fanden erfolgreiche Arbeiten zur alkalischen Hochdruckelektrolyse statt. Weiter wurde in verschiedenen Demonstrationsprojekten die Einsatztauglichkeit der Wasserstofftechnologie demonstriert, beispielsweise zur Langzeitspeicherung elektrischer Energie aus regenerativen Quellen. Die meisten Projekte waren direkt in internationale Aktivitäten eingebunden.

Wärmepumpen, WKK, Kälte

In der Periode 2008–2011 konnte der Vorteil der Leistungsregulierung von Kompressor und Ventilator von Luft/Wasser-Wärmepumpen theoretisch und experimentell aufgezeigt werden. Im Bereich Kompressoren gelang es nach früheren Projekten mit R134a nun auch, ein Projekt mit einem Turbokompressor für CO_2 für den Einsatz in der Warmwasserbereitung zu starten. Leider konnte das Prinzip der magnetischen Wärmepumpen (noch) nicht in die Praxis umgesetzt werden, da der in Projektphase 2 geplante Prototyp nicht gebaut werden konnte. Zur Erhöhung der Quellentemperatur und zur direkten Nutzung der Sonnenenergie wurde die Kombination Wärmepumpe und thermische Solartechnik untersucht und mehrere Projekte in diesem Bereich durchgeführt.

Im Bereich Wärme-Kraft-Kopplung lag der Focus auf Wärmenutzung der Abgase und auf Nutzung von Abwärme aus Prozessen durch eine neue Art von Gasturbine. Die inverse Gasturbine weist eine Brennkammer auf, die unter Umgebungsdruck steht.

Im Bereich Kälte wurde die Abwärmenutzung untersucht und ein Projekt zur Nutzung der Expansionsenergie in CO_2-Kälteanlagen gestartet.

Windenergie

Für die Schweiz konnten insbesondere in den Bereichen Vereisung (Antifreeze-Beschichtung für Rotorblätter von Windenergieanlagen), Ertragsprognosen im komplexen Terrain und Vogelschlag wichtige Erkenntnisse gewonnen werden. Diese sind in die Praxis bereits eingeflossen.

Mit den Forschungsaktivitäten in den Bereichen «Betrieb von Windkraftanlagen unter turbulenten und vereisenden Bedingungen» und «Soziale Akzeptanz von Windkraftanlagen» hat sich die Schweiz internationales Renommee erarbeitet. Das ausgewiesene Interesse der internationalen Windenergieszene an unseren Resultaten unterstreicht die Qualität der durchgeführten Forschungsvorhaben.

Pilot- und Demonstrationsprojekte

Pilot- und Demonstrationsprojekte stellen ein unabdingbares Bindeglied zwischen Labor und Markt dar. Sie dienen der Prüfung und Demonstration der erforschten Technologien in einem Massstab, welcher Aufschluss über die Wirtschaftlichkeit, die Anwendbarkeit und die technische Machbarkeit der Technologie erlaubt.

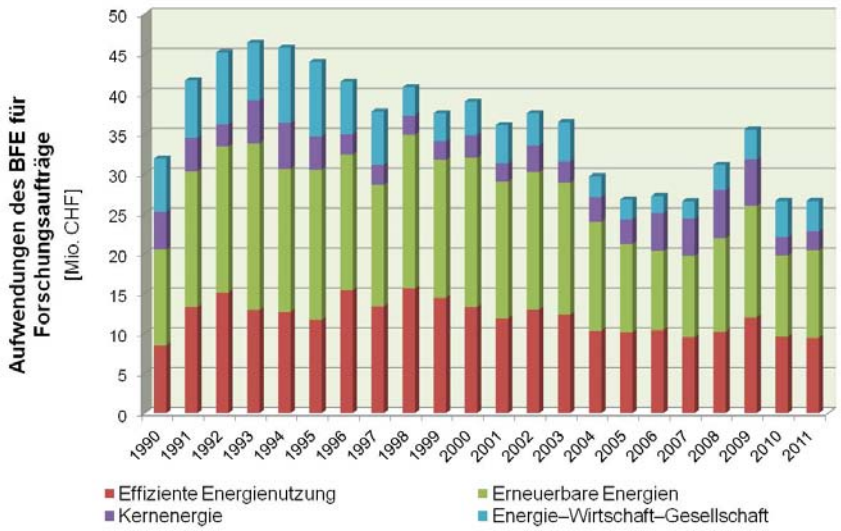

Abbildung 1 *Entwicklung der finanziellen Mittel des BFE in Mio. CHF für die Energieforschung im Bereich der Forschungsaufträge seit 1990 (teuerungskorrigiert für 2011).*
Energie–Wirtschaft–Gesellschaft: Energiewirtschaftliche Grundlagen (inklusive Wissens- und Technologietransfer sowie Forschungskoordination).

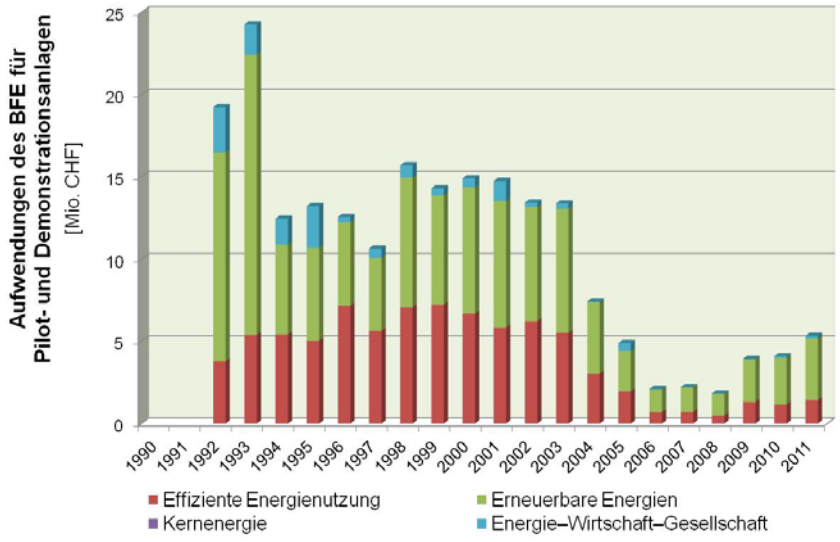

Abbildung 2 *Entwicklung der finanziellen Mittel des BFE in Mio. CHF für die Energieforschung im Bereich der Pilot- und Demonstrationsprojekte seit 1990 (teuerungskorrigiert für 2011). Bis 1997 wurde unter «effiziente Energienutzung» auch die fossile Energie aufgeführt.*

Während den Jahren 2008 bis 2011 wurden vom BFE rund 150 Pilot- und Demonstrationsprojekte unterstützt mit einem Budget von 16,3 Mio. CHF (Tabelle 1).

Besonderem Gewicht kam dabei den Programmen Biomasse und Holzenergie, Geothermie, Netze, Gebäude und Photovoltaik zu. Die P+D-Projekte sind mit den Forschungsprogrammen thematisch abgestimmt.

Weitere Aktivitäten

Liste der Projekte

Wie alle zwei Jahre, hat das BFE auch im Frühjahr 2011 die *Liste der Projekte* [iv] veröffentlicht. Die erhobenen Daten beziehen sich dabei auf die Periode 2008/2009. Die öffentlichen Aufwendungen für die Energieforschung sind den Datenerhebungen zufolge von 156 Mio. CHF im Jahre 2005 kontinuierlich auf 213 Mio. CHF im Jahre 2009 angestiegen.

Neugestaltung Konzept der Energieforschung des Bundes

In den Jahren 2010/2011 hat die Neugestaltung des *Konzepts der Energieforschung des Bundes* 2013–2016 das BFE stark beschäftigt: Das Konzept wurde vollständige überarbeitet und eine Fokussierung auf nur mehr 4 Schwerpunkte wurde vorgenommen. Bei der Ausarbeitung der Zielsetzungen der Schwerpunkt wurden die wichtigsten Akteure der Schweizer Energieforschung von Anfang an in die Arbeiten einbezogen und die Zielvorgaben in diversen Workshops mit Vertreterinnen und Vertretern aus Wissenschaft und Wirtschaft geschärft.

Fukushima 2011

Die Katastrophe um den japanischen Kernreaktor Fukushima hat in der zweiten Jahreshälfte 2011 zu einer deutlich erhöhten Aktivität bei den parlamentarischen Vorstössen geführt.

Zudem hat der Bundesrat im Rahmen einer interdepartementalen Arbeitsgruppe Ener-

gie (IDA Energie) den Auftrag erteilt, den Beitrag der Energieforschung an die Sicherstellung der Energieversorgung der Schweiz und den dafür ggf. nötigen zusätzlichen Finanzbedarf zu erheben. Die Energieforschung des BFE war in diesen Prozess intensiv involviert.

2.5 Finanzierung

Das BFE steuert einen Anteil von rund 10 % an die Ausgaben der öffentlichen Hand im Bereich der Energieforschung bei. Damit fördert das BFE neben den eigentlichen Forschungs-, Pilot- und Demonstrationsprojekten auch die Vernetzung der Schweizer Forschergemeinde mit den internationalen Forschungsprogrammen der EU und der IEA.

Entwicklung im Politikbereich

Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der finanziellen Mittel des BFE für die Energieforschung für die Jahre 1990 bis 2011 im Bereich der Forschungsprojekte (Aufträge). Analog ist die Entwicklung für die finanziellen Mittel im Bereich der Pilot- und Demonstrationsprojekte in Abbildung 2 dargestellt.

Aus Abbildung 3 ist schliesslich die Entwicklung der Aufwendungen der gesamten öffentlichen Hand im Bereich der Energieforschung dargestellt (Forschungs- und Pilot- und Demonstrationsprojekte). Seit 2006 ist wieder ein kontinuierlicher Anstieg der Aufwendungen für die Energieforschung festzustellen. Bereits 2009 wurde der von der CORE im Jahre 2005 empfohlene Mindestaufwand von 200 Mio. CHF für das Jahr 2011 leicht übertroffen.

Im Bereich der Pilot- und Demonstrationsprojekte haben sich die Aufwendungen der öffentlichen Hand im Jahr 2009 mit 11,7 Mio. CHF gegenüber dem Vorjahr (6,8 Mio. CHF) beinahe verdoppelt. Gegenüber den Aufwendungen in den Jahren 2000 bis 2003 mit Werten zwischen 26,6 und 29,8 Mio. CHF liegen sie aber noch weit zurück (Abbildung 4).

In der Folge der Ereignisse vom März 2011 in Japan (Fukushima) wurde im Rahmen der vom Bundesrat eingesetzten IDA Energie eine Verdoppelung der Aufwendungen der öffentlichen Hand vorgeschlagen. Als erster Schritt wurde vom Bundesrat eine Serie Nationaler Forschungsprogramme bewilligt, die über ein Budget von 45 Mio. CHF über 5 Jahre verfügen. Zudem hat der Bundesrat die Mittel des BFE für Pilot- und Demonstrationsprojekte Plafond erhöhend aufgestockt (Ressortforschung): um 5 Mio. CHF ab 2013.

Mittel für die direkte Finanzierung (2008–2011)

Die Finanzierung für die Jahre 2008 bis 2011 ist in Tabelle 1 dargestellt. Für das Jahr 2009 hat der Bundesrat der Energieforschung des BFE in Erfüllung der Motion Theiler (06.3835) eine einmalige, auf ein Jahr befristete Budgeterhöhung von 4 Mio. CHF zugesprochen, von welcher 1 Mio. CHF zugunsten der Pilot- und Demonstrationsprojekte und 3 Mio. CHF zugunsten von Forschungsprojekten im Bereich der erneuerbaren Energie verwendet wurden. Ab 2010 hat das BFE eine Budgeterhöhung um 2,1 Mio. CHF bei den Pilot- und Demonstrationsprojekten erhalten.

Mit durchschnittlich rund 9,3 Mio. CHF pro Jahr wurden in den Jahren 2008 bis 2011 (für 2011: Budget-Zahlen) Projekte im Bereich der Energieeffizienz am stärksten unterstützt, gefolgt von Projekten im Bereich der erneuerbaren Energie mit total rund 8,2 Mio. CHF. Im Bereich der Kernenergie unterstützt das BFE lediglich ein Projekt an der Universität Basel im Zusammenhang mit Plasmaforschung (Volumen: 0,2 Mio. CHF) und kleinere Projekte im Rahmen

	2008	2009	2010	2011
Beitrag an ENSI[1]	0	2'100'000	2'100'000	2'131'500
Pilot- und Demonstrationsprojekte	2'800'000	3'800'000	4'900'000	4'777'500
Forschungsprojekte[2]	21'061'000	24'203'900	21'103'900	19'135'300
Total	23'861'000	30'103'900	28'103'900	26'044'300

Tabelle 1 *Finanzierung der durch das BFE geförderten Energieforschung für die Jahre 2008 bis 2011 in CHF*
[1]Die Beiträge für das ENSI laufen nur aus finanztechnischen Gründen über das BFE und werden direkt an das ENSI weitergeleitet. Zusätzlich verfügt das ENSI noch über weitere Forschungsmittel (2010 rund 2,9 Mio. CHF, 2011 rund 4,3 Mio. CHF, die bei den Aufwendungen des BFE nicht erfasst sind).
[2]inkl. Aufwand für Koordination und externe ProgrammleiterInnen, sowie Beiträge an internationale Organisationen (in erster Linie: IEA)

des Forschungsprogramms *Radioaktive Abfälle* (Volumen: 0,08 Mio. CHF). Schliesslich transferiert das BFE seit 2009 jeweils rund 2,1 Mio. CHF an das ENSI [vi].

Für Querschnittsaufgaben wie die sozioökonomische Forschung, den Wissens- und Technologietransfer sowie für die Koordination der Energieforschung und die Sicherheitsforschung bei Talsperren wurden durchschnittlich rund 3,6 Mio. CHF ausgegeben.

Beteiligung an internationalen Forschungsprogrammen

Zusammen liegen die Aufwendungen für die Beteiligung an den Forschungsprogrammen der IEA und der EU bei rund 0,8 Mio. CHF, wobei der wesentliche Teil von über 0,7 Mio. CHF für die Beteiligung an den Implementing Agreements der IEA (Kapitel 6.5.1) aufgewendet wird. Bei der EU fallen Kosten in erster Linie bei der Beteiligung an den *European Energy Research Area Networks* (ERA-NETs, Kapitel 6.5.4) an. Weitere Beiträge in der Höhe von je rund 50 kCHF werden für die Beteiligungen an der internationalen D-A-CH-Kooperation (D-A-CH: Deutschland, Österreich, Schweiz) zum Thema Smart Grids (Kapitel 6.5.6) und an der International Partnership for Geothermal Technolgy (Kapitel 6.5.7) aufgewendet.

2.6 Herausforderungen und Handlungsbedarf

Die wichtigste Herausforderung für die Energieforschung ist die rechtzeitige Bereitstellung von geeigneten Technologien und Methoden, um die sowohl in der Schweiz, als auch in Europa (EU) und weltweit (IEA) gesetzten Ziele hinsichtlich der Reduktion des Energieverbrauchs innerhalb der gegebenen – teilweise unterschiedlichen – Fristen zu erreichen. Diese Zielsetzungen sind in diversen Publikationen wie etwa den *Energy Technology Perspectives 2010 – Scenarios & Strategies to 2050* der IEA und den Roadmaps für verschiedene Technologien (IEA, EU) beschrieben.

Für die Energieforschung des BFE sind die für die Schweiz relevanten Herausforderungen im *Konzept der Energieforschung des Bundes* zusammengefasst. Die bereitzustellenden Technologien und Methoden sollen sich an den folgenden Zielen ausrichten:

- Reduktion des CO_2-Ausstosses um den Faktor 6 auf maximal 1 Tonne pro Person und Jahr bis zum Jahr 2100;
- Reduktion des Energiebedarfs um den Faktor 2,5 bis zum Jahr 2100;
- Minimierung der Schadstoffemissionen (Stickoxide, Feinstaub, Treibhausgasrelevante Emissionen usw.);
- Massive Verringerung der durch die Energiegewinnung bedingten Stoffflüsse.

Dies bedeutet, dass mittelfristig sowohl für Alt- als auch für Neubauten ein Verzicht auf fossile Brennstoffe für die Bereitstellung von Wärme erfolgen und der Energieverbrauch halbiert werden soll.

Im Bereich der Energiebereitstellung soll mindestens eine Verdoppelung der Nutzung der Biomasse erfolgen, und beim Verkehr soll der durchschnittliche fossile Flottenverbrauch von Personenwagen von heue 7,6 Liter pro 100 km auf unter 3 Liter gesenkt werden.

Dabei muss berücksichtigt werden, dass bis 2050 die Energiedienstleistungen, die zurückgelegten Distanzen, die Wohnfläche pro Person, die Wohnbevölkerung gesamthaft und die Produktion von Gütern stark zunehmen können.

Für die einzelnen Forschungsprogramme des BFE sind die aus dem Handlungsbedarf abgeleiteten Zielsetzungen in Kapitel 3 dargestellt.

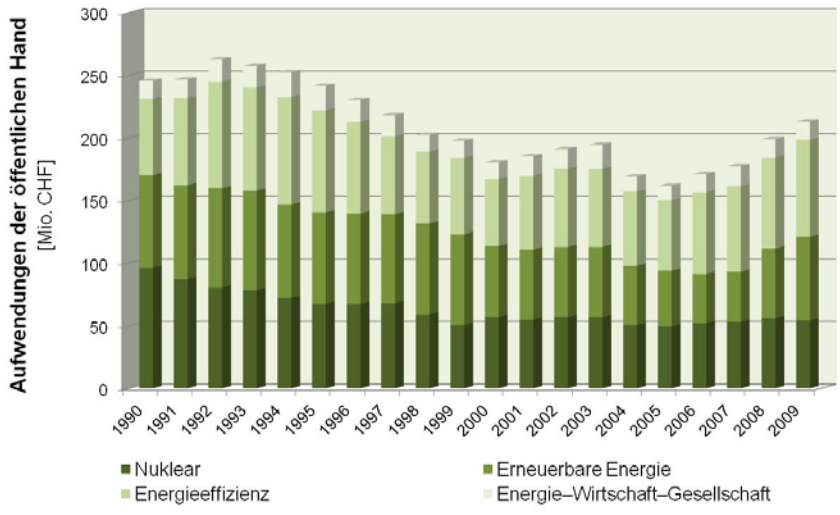

Abbildung 3 *Aufwendungen in Mio. CHF für die Energieforschung seit 1990 (teuerungskorrigiert für 2009). Das BFE führt alle zwei Jahre eine detaillierte Datenerhebung bei den Projektnehmern durch. Die letzte Erhebung umfasst die Daten 2008/2009, weshalb spätere Werte nicht angegeben werden können.*

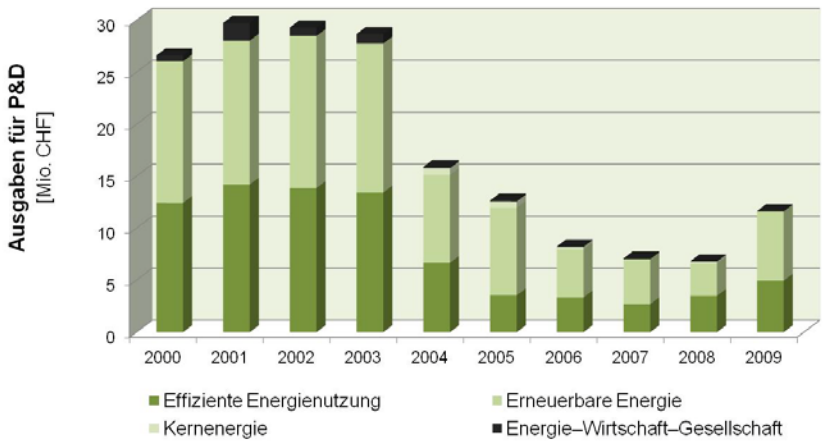

Abbildung 4 *Öffentliche Mittel für Pilot- und Demonstrationsprojekte im Energiesektor (teuerungskorrigiert für 2009). Das BFE führt alle zwei Jahre eine detaillierte Datenerhebung bei den Projektnehmern durch. Die letzte Erhebung umfasst die Daten 2008/2009, weshalb spätere Werte nicht angegeben werden können.*

Organisatorischer Handlungsbedarf

Im Anschluss an die Ereignisse vom 11. März 2011 in Japan (Fukushima) hat er Bundesrat die *IDA Energie* eingesetzt, die u. a. den Beitrag der Energieforschung an die Sicherstellung der Energieversorgung der Schweiz und den dafür ggf. nötigen zusätzlichen Finanzbedarf untersuchen soll.

Im Rahmen dieses Mandats hat die Arbeitsgruppe die 5 Aktionsfelder Energieeffizienz, Netze, Speichertechnologien, Stromproduktion durch erneuerbare Energie und sozio-ökonomische und rechtliche Aspekte als dringend zu verstärkende Forschungsgebiete definiert. Die dafür notwendigen zusätzlichen finanziellen Mittel schätzt die Arbeitsgruppe auf rund 200 Mio. CHF (2013–2016).

Grosses Gewicht misst die Arbeitsgruppe dabei den Pilot- und Demonstrationsprojekten zu. Die zusätzlichen vom Bundesrat dafür bewilligten Mittel für das BFE bedeuten ab 2013 eine Neuausrichtung des BFE und werden neue Strukturen im Programm *Pilot- und Demonstrationsprojekte* nötig machen. Da bereits für 2013 eine Verdoppelung der finanziellen Mittel eingeplant ist, wurden schon im Laufe des Sommers 2012 erste konzeptionelle und organisatorische Schritte eingeleitet, um die zusätzlichen Mittel zielgerecht und effizient einsetzen zu können.

Mit dem Entscheid des Bundesrats eine Reihe von Nationalen Forschungsprogrammen (NFP) für die Prüfrunde 2011/12 zum Thema Energie zu lancieren, werden ab 2014 jährlich rund 10 Mio. CHF für Forschungsprojekte zur Verfügung stehen, was starken Einfluss auf die Verfügbarkeit von wissenschaftlichem Personal haben wird. Der Rolle des BFE, die Schweizer Energieforschung zu koordinieren, kommt damit eine noch grössere Bedeutung zu.

3 Forschungsschwerpunkte 2013–2016

Bei der Festlegung seiner Forschungsschwerpunkte richtet sich das BFE an den Vorgaben der CORE aus. Aktuell fördert das BFE Energieforschung über 25 Forschungsprogramme, die den gesamten Energiebereich abdecken. Nachfolgend sind für sämtliche Forschungsprogramme generelle Informationen und Details zu den Forschungsschwerpunkten und -zielen aufgeführt.

3.1 Energieeffizienz

3.1.1 Akkumulatoren und Superkondensatoren

Akkumulatoren stellen eine noch wenig genutzte Möglichkeit zur Speicherung von bedarfs-asynchron anfallender erneuerbarer Energie – beispielsweise Windenergie oder Solarstrom – dar. Die Schwächen dieser Speichertechnologie liegen u.a. in der noch tiefen spezifischen Energie (Energiedichte), der beschränkten Anzahl Ladezyklen sowie der Toxizität und der Seltenheit bestimmter Komponenten.

Das Forschungsprogramm *Akkumulatoren* erforscht und erprobt deshalb innovative Ansätze für neue oder verbesserte elektrochemische (Akkumulatoren) und elektrostatische Energiespeicher (Ultrakondensatoren). Zusätzlich wird das Verständnis der Phänomene der Speicherung vertieft und entsprechende Grundlagen erarbeitet.

Grundsätzlich werden zwei Hauptstossrichtungen verfolgt:

- Erforschung der Elektrochemie in den einzelnen Akkumulatoren-Zellen;
- Verbesserung des Zusammenspiels der einzelnen Akkumulatoren mit intelligenten Batteriemanagementsystemen.

Angestrebt wird eine erfolgreiche Synthese der in diesen Stossrichtungen erzielten Resultate zu künftigen Produkten mit hoher Marktchance.

	«Zebra»	Li-Technologie	Ultrakondensatoren
Spezifische Energie [Wh/kg]			
Stand 2011	120	120	15
Potenzial	650	790	60
Wirkungsgrad [%]	90	90	98
Spezifische Leistung [W/kg]	200	400	1000
Ladezyklen [–]	1000	1000	100‘000
Häufigkeit rarstes Metall [ppm]	Ni: 84	Li: 17 Co: 25	–

Tabelle 2 Kenndaten verschiedener Speichertechnologien

	2011	2016	2050
Spezifische Energie [Wh/kg]	150	300	600
Wirkungsgrad [%]	90	95	98
Spezifische Leistung [W/kg]	200	400	1000
Ladezyklen [–]	1000	2000	5000
Kalendarische Lebensdauer [Jahre]	7	10	20
Kosten [CHF/kWh]	800	400	300

Tabelle 3 Ausgewählte Ziele des Forschungsprogramms Akkumulatoren

Stand der Forschung

International konzentriert sich die Akkumulatorenforschung in den letzten Jahren vor allem auf die verschiedenen Technologien um das leichteste Metall im Periodensystem, dem Lithium. Dieses Metall ist in der Erdkruste jedoch relativ selten, bzw. ist nur sehr verdünnt vorzufinden. Demgegenüber verwendet die in der Schweiz gefertigte «Zebra»-Batterie – eine Hochtemperaturbatterie – Natrium und Nickel, die relativ häufig in der Erdkruste vorkommen.

In Tabelle 2 sind die wichtigsten Eigenschaften der beiden Technologien *Akkumulatoren* und *Ultrakondensatoren* in einem groben Vergleich gegenübergestellt.

Wieso die öffentliche Hand diesen Bereich fördern soll

Die Schweizer Akkumulatorenindustrie verfügt kaum über eigene Forschungs-, wohl aber über Entwicklungsabteilungen.

Akkumulatorentechnologien werden aber künftig im Verbund mit erneuerbarer Energie und mit dezentraler Energieversorgung eine sehr wichtige Rolle spielen. Es ist davon auszugehen, dass die Verbesserung der Akkumulatoren mit der zunehmenden Verwendung der Nanotechnologie – einer Stärke der Schweizer Industrie – einher. Eine Förderung dieses Themengebiets stärkt daher die Chancen der Schweizer Industrie und des Bildungsstandorts Schweiz.

Forschungsschwerpunkte und prioritäre Themen

Moderne Akkumulatoren schöpfen das theoretische Potenzial noch lange nicht aus. Während die öffentliche Hand in anderen Industrienationen die Akkumulatorenforschung fördert, sind die finanziellen Mittel des Forschungsprogramms sehr beschränkt und müssen daher fokussiert eingesetzt werden. Die Forschungsunterstützung konzentriert sich daher auf die Weiterentwicklung der «Zebra»-Batterie, die zwar eine Nischentechnologie darstellt, aber dafür – im Gegensatz zu den Li-Batterien – nicht im Fokus der meisten andern internationalen Forschungsförderungen steht. Zudem ist in der Schweiz eine entsprechende Fabrik angesiedelt.

Schwerpunkte der Forschung 2013–2016

Zellen

- Verbesserte und beständigere Elektrochemie durch verbessertes Verständnis der Transportphänomene;
- Absenkung der Akkumulatorentemperatur durch Verwendung von organischen Elektrolyten.

Akkumulatoren und Anwendungen

- Vereinfachter Aufbau des Akkumulators und dadurch reduzierte Akkukosten;
- Erhöhung der Lebensdauer des Akkumulators durch intelligentere Batteriemanagementsysteme;
- Anwendung der Akkumulatoren in der dezentralen Energieversorgung;
- Nutzung der Akkumulatoren in Smart Grids und in Elektrofahrzeugen.

Technische und ökonomische Ziele

Die spezifische Energie der Akkumulatoren soll bis 2016 auf 175 Wh/kg gesteigert und die Kosten für die Speicherkapazität auf 450 $/kWh abgesenkt werden. Dazu sollen die künftigen Akkumulatoren schadstoffarm, rezyklierbar und von einer hohen Sicherheit (Safety) sein.

In Tabelle 3 sind die Ziele der Akkumulatorenforschung für die Periode 2013–2016 aufgeführt.

Verwertung und Nutzung der Resultate

Die Zusammenarbeit mit der Industrie wird intensiv gepflegt und Industriepartner werden frühzeitig in Forschungsprojekte einbezogen. Nur damit kann eine nachgelagerte Umsetzung in marktgerechte Produkte ermöglicht werden. Zur Sicherstellung der flächendeckenden Umsetzung von gewonnenen Erkenntnissen wird ferner ein enger Kontakt mit dem Programm *EnergieSchweiz* gepflegt. Die internationale Vernetzung aller Projektarbeiten wird – wenn immer möglich und zweckmässig – aktiv mit engen Kooperationen gepflegt.

3.1.2 Brennstoffzellen

Die Brennstoffzellentechnologie befindet sich in einer Phase der verstärkten Industrialisierung und Markteinführung. Sowohl im stationären Bereich als auch in der Mobilität werden Brennstoffzellen als effiziente Energiewandler einen substanziellen Beitrag zur Reduktion des Energieverbrauchs und insbesondere der Entkarbonisierung des Verkehrs leisten. In der Schweiz befasst sich die Energieforschung seit mehreren Jahrzehnten mit dem Thema Brennstoffzellen. Es bestehen hier weltweit führende Kompetenzen in Forschung und Entwicklung sowohl an den eidgenössischen Hochschulen, den Universitäten und Fachhochschulen, als auch in kleineren und mittleren Unternehmen. Die in der Schweiz laufende Forschung ist dabei in einem hohen Mass in internationale Projekte eingebunden. Das Forschungsprogramm *Brennstoffzellen* versucht, nationale und internationale Aktivitäten zu koordinieren und die Zusammenarbeit zwischen Universitäten, Fachhochschulen und der Industrie zu fördern. Hierfür besteht künftig ein erhöhter Mittelbedarf insbesondere auch für Pilot- und Demonstrationsprojekte, um die Industrialisierung der Technologie in der Schweiz voranzutreiben. Die Schwerpunkte des Forschungsprogramms *Brennstoffzellen* liegen in der materialorientierten Grundlagenforschung, in der Systementwicklung, sowie in der Demonstration und Erprobung in Pilotprojekten. Technologische Schwerpunktthemen sind Polymer-Elektrolyt-Brennstoffzellen (PEFC) für mobile Anwendungen und Festkörper-Oxid-Brennstoffzellen (SOFC) in Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen (WKK-Anlagen) für stationäre Anwendungen.

Stand der Forschung

Schweizer Forschungsinstitute nehmen in verschiedenen Teilbereichen Spitzenpositionen ein. Am Paul Scherrer Institut werden bedeutende Grundlagenarbeiten geleistet, beispielsweise in der Untersuchung

	2011	2025	2050
Technische Ziele			
Lebensdauer [h]			
PEFC	2000	>5000	>7000
SOFC (µCHP), mobil	20'000	>40'000	>60'000
Wirkungsgrad η [%]			
FCV	50	>60	>60
$\eta_{elektrisch}$ SOFC (µCHP)	30–50	40–60	50–60
Ökonomische Ziele [€/kW]			
Systemkosten SOFC (µCHP)	>10'000	3000	1000
Stackkosten PEFC	500	30	20

Tabelle 4 Ausgewählte Ziele des Forschungsprogramms Brennstoffzellen

von PEFC-Brennstoffzellen bei in-Situ-Bedingungen unter Einsatz von Grossanlagen wie der Synchrotronlichtquelle, um das Degradationsverhalten von Brennstoffzellen zu verstehen. Es werden Erfolg versprechende Ansätze mit Wasserstoff-Sauerstoff-Brennstoffzellen verfolgt, die industriell umgesetzt werden sollen.

Im Bereich der Feststoffoxid-Brennstoffzellen (SOFC) steht die Erhöhung der Lebensdauer für die Anwendung in WKK-Anlagen im Vordergrund. Die EPFL und die EMPA sind hier sehr aktiv und arbeiten eng mit Schweizer Unternehmen in diesem Bereich zusammen. Die Fachhochschule Biel ist spezialisiert auf die Integration von PEFC-Brennstoffzellen-Systeme in verschiedenste Anwendungen, und arbeitet hier ebenfalls eng mit industriellen Partnern zusammen.

Wieso die öffentliche Hand diesen Bereich fördern soll

Im Bereich der Brennstoffzellen besteht einerseits Forschungsbedarf, um Degradationsphänomene zu identifizieren und hierfür Lösungen zu finden – was enge Zusammenarbeit mit Kompetenzträgerinnen und Kompetenzträger an Hochschulen und Universitäten voraussetzt – und andererseits muss die Technologie weiter industrialisiert werden, um die Kosten senken zu können. Dies beinhaltet ebenfalls die Suche nach neuen, kostengünstigeren Materialien.

Grundsätzlich benötigt die Weiterentwicklung der Brennstoffzellentechnologie grosses wissenschaftliches und technisches Wissen, welches nur an Kompetenzzentren erarbeitet werden kann, verbunden mit der Bereitstellung entsprechender Labor- und Geräteinfrastruktur. Hierfür brauch es eine kontinuierliche Förderung der öffentlichen Hand.

Beitrag zum Konzept der Energieforschung des Bundes

Die Brennstoffzellentechnologie leistet Beiträge zu verschiedenen Schwerpunkten des *Konzepts der Energieforschung des Bundes*. Die PEFC-Technologie spielt eine wichtige Rolle bei der Entkarbonisierung des Verkehrs und ist daher von zentraler Bedeutung im Schwerpunkt «Mobilität». Die Brennstoffzellensysteme für stationäre Anwendungen, welche dezentral Strom und Wärme bereitstellen können, finden sich im Schwerpunkt «Energiesysteme» wieder – beispielsweise bei der Thematik der Netzstabilisierung oder der Energiespeicherung im Zusammenspiel mit erneuerbaren Energiequellen. Teilweise sind solche Systeme als WKK-Anwendungen auch für den Schwerpunkt «Wohnen und Arbeiten» relevant.

Forschungsthemen 2013–2016

Zentrale Themen bilden die Lebenszeiterhöhung von Brennstoffzellen, die Reduktion der Kosten allgemein, einerseits durch eine verstärkte Industrialisierung bei der Produktion, andererseits durch den reduzierten Einsatz von Material und Energie, sowie die Integration von Brennstoffzellensystemen in Gesamtkonzepte.

Spezifische Forschungsziele

- Erhöhung von Lebensdauer und Zuverlässig5keit von Polymer-Elektrolyt-Brennstoffzellen: Untersuchung und Verständnis durch experimentelle Untersuchungen und theoretische Modellierung;
- Kostenreduktion und Lebendauererhöhung von Festkörper-Oxid-Brennstoffzellen;
- Entwicklung neuer, kostengünstigerer und zuverlässiger Materialen (Membrane, metallische Interkonnektoren usw.);
- Integration von Brennstoffzellen in Gesamtsysteme (z. B. Fahrzeuge) und Nischen-Anwendungen, welche im Markt bestehen können;
- Industrielle Fertigungsprozesse;
- Brennstoffzellensysteme in Kombination mit erneuerbarer Energie (z. B. Netzaspekte).

Die Ziele im Bereich der Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologie orientieren sich an internationalen Zielvereinbarungen wie beispielswiese der europäischen H_2-Mobility-Initiative, des *Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertakings*, der Roadmap der japanischen Energieagentur NEDO oder jener der Internationalen Energieagentur IEA (Tabelle 4).

Verwertung und Nutzung der Resultate

Die meisten Forschungprojekte im Bereich Brennstoffzellen finden in Zusammenarbeit mit der Industrie statt, welche sich in die-

sem Bereich in einer starken Aufbauphase befindet. Durch gezielte Umsetzung von Forschungsresultaten in die technologische Entwicklung kann dieser Prozess weiter beschleunigt werden. Schweizer Forschungsaktivitäten in diesem Bereich sind stark international verknüpft, so dass Entwicklungsfortschritte und Erkenntnisgewinne allgemein der Entwicklung der Brennstoffzellentechnologie dienen. Für die Anwendung der Technologie im Heimmarkt braucht es marktfördernde Massnahmen.

3.1.3 Elektrizitätstechnologien und -anwendungen

Der Technologiebereich schafft neue und innovative Grundlagen zur Elektrizitätsproduktion und / oder generiert Basiswissen und Technologien, damit der wachsende Anteil der erneuerbaren Energie optimal genutzt werden kann. Die Hochtemperatursupraleitung (HTSL) für den verlustfreien Stromtransport, die Druckluftspeicherung als neue Speichertechnologie sowie innovative Technologien für die Energiekonversion stehen dabei im Vordergrund. Mit der Thermoelektrik wird Wärme direkt in Elektrizität umgewandelt, was die Nutzung der bei vielen Prozessen anfallenden Niedertemperaturabwärme ermöglicht.

Im Anwendungsbereich steht die Stromeffizienz im Vordergrund. Motoren stellen dabei die grösste Verbraucherkategorie dar, weshalb gemeinsam mit der Industrie in diversen Anwendungsgebieten Optimierungen erforscht werden. Da Haushaltsgeräte ebenfalls einen beachtlichen Verbrauchsanteil ausmachen, werden in diesem Bereich neuartige Technologien zur Effizienzsteigerung untersucht. Die Vakuum-Isolation stellt dabei eine Erfolg versprechende Möglichkeit dar. Durch die rasant fortschreitende Technologieentwicklung im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnik werden Grundlagen bezüglich Rechenzentren, Smart Metering / Smart Home sowie effiziente IKT-Geräte bearbeitet. Schliesslich wird durch Fortführung der internationalen Aktivitäten im Rahmen des IEA Implementing Agreements *Energy Efficient End Use Equipment (4E)* neues Wissen zur Energieeffizienz aufbereitet.

Stand der Forschung

Im Technologiebereich stellen die bisherigen Arbeiten in der Thermoelektrik zur Abwärmenutzung beste Grundlagen dar, um in den kommenden Jahren erste Feldversuche durchzuführen. Die laufenden Arbeiten der isothermen Druckluftspeicherung werden eine konkrete Ausrichtung der nächsten Schritte ermöglichen. Anwendungen der Hochtemperatursupraleitung (HTSL) kommen nur langsam auf den Markt, da hohe Materialpreise für supraleitendes Material immer noch ein hohes Hemmnis darstellt.

Im Anwendungsbereich haben mehrere Forschungsprojekte aufgezeigt, dass neue und innovative Technologien wie z. B. die Vakuumisolation substanzielle Effizienzsteigerungen im Haushaltgerätebereich ermöglichen. Das Einsparpotenzial im Haushaltsbereich ist deshalb unverändert gross und es gilt, dieses zu nutzen. Im Bereich der Motoren sind neue Anwendungspotenziale zu erschliessen. Zudem wurden im Rahmen von 4E aufschlussreiche Erkenntnisse im Stand-by-Modus von elektrischen Geräten, die an einem IT-Netzwerk angeschlossen sind, gewonnen.

Wieso die öffentliche Hand diesen Bereich fördern soll

In diversen Schwerpunktsbereichen zeigt sich, dass das Innovationspotenzial der Industrie noch nicht ausgeschöpft ist. Die Thermoelektrik weist noch zu viele Unsicherheiten auf und trotz des grossen Potenzials der Abwärmennutzung erfolgen Investitionen nur mit Unterstützung des BFE.

Effizienzsteigerungen bei Haushaltskühlgeräten über A+++ hinaus geht der Markt aufgrund der hohen Investitionen und mangels regulativer Vorgaben nur zögerlich an. Das Forschungsprogramm kann deshalb in allen angepeilten Bereichen neue Technologien initiieren und mit finanzieller Unterstützung diese Innovationen und effizienten Anwendungen anschieben.

Zudem werden technische Grundlagen geschaffen, um eine marktgerechte und effektive Regulierung im Effizienzbereich zu ermöglichen.

Beitrag zum Konzept der Energieforschung des Bundes

Das Forschungsprogramm leistet zu allen vier durch das Energieforschungskonzept des Bund definierten Themen-Schwer-

	2016	2025	2050
Wirkungsgrad thermoelektrischer Generator [%]	4,5	6	10
Wirkungsgrad Druckluftspeicherung [%]	30	60	70
Stromeinsparungen im Eisenbahnbereich (gegenüber 2010) [%]	5	10	30
Effizienz Haushaltsgeräte im Vergleich zu Geräten mit A+++ [%]	–20	–40	–60

Tabelle 5 *Ausgewählte technische des Forschungsprogramms Elektrizitätstechnologien und -anwendungen*

punkten entsprechende Beiträge, da in allen Bereichen Elektrizitätstechnologien und -anwendungen entscheidende Elemente darstellen.

Forschungsthemen 2013–2016

Der Abwärmenutzung wird grosse Bedeutung beigemessen. Mehrere sich ergänzende Aktivitäten sollen die Thermoelektrik im Bereich der Materialien und in konkreten Anwendungen vorantreiben. Ferner dürfte der fertiggestellte Prototyp des isothermen Druckluftspeichers eine Einschätzung auf deren Umsetzungspotenzial ermöglichen.

Im Anwendungsbereich sollen neue Technologien für hoch effiziente Haushaltsgeräte – wie z. B. die innovative Vakuumisolation – weiter erforscht werden. Das gesamte Umfeld der elektrischen Antriebe ist ebenfalls ein Schwerpunkt, den es zu verfolgen gilt. Im Kommunikations- und Informationsbereich werden spezifische Forschungsaktivitäten wie Effizienz in Rechenzentren, Home Automation und Smart Metering als Schnittstelle zu Smart Grids zu bearbeitende Themenbereiche sein.

Im Lichtbereich wird die Erforschung von LED-Technologien punktuell unterstützt.

Spezifische Forschungsziele

Technologien

- Neue und effiziente thermoelektrische Materialen;
- Thermoelektrische Generatoren in verschiedenen Anwendungsgebieten;
- Erforschung der isothermen Druckluftspeicherung;
- Neuartige Speichertechnologien (z. B. elektro-thermische Speicher);
- HTSL-Anwendungen (z. B. Verteiltransformator, Strombegrenzer, Hochleistungsmotor).

Anwendungen

- Hoch effiziente Geräte durch innovative Technologien;
- Hoch effiziente IE4-Motoren / integrierter Permanentmagnetmotor;
- Technische / betriebliche Steigerung der Stromeffizienz im Eisenbahnbereich;
- Effizienz-Strategien im Bereich Rechenzentren, Home Automation, Smart Meter;
- Effizienzverbesserung von IKT-Geräten.

Ein erster, thermoelektrischer Generator erreichte im 2011 einen Gesamtwirkungsgrad von 2,4 %. Diesen gilt es gemäss Tabelle 5 substanziell zu erhöhen. Sollte die Machbarkeit der isothermen Druckluftspeicherung erfolgreich sein, ist der Gesamtwirkungsgrad zu erhöhen. Ökonomische Ziele können erst nach der Machbarkeit definiert werden, müssen sich aber in jedem Fall an vergleichbaren Speichereinheitspreisen orientieren.

Der schienengebundene öffentliche Verkehr ist der grösste individuelle Stromverbraucher. Mit diversen Massnahmen ist die Effizienz zu erhöhen. Haushaltsgeräte verursachen rund 14 % des Stromverbrauchs. Mit einer höheren Effizienz gemäss Tabelle 5 soll dieser Anteil substanziell reduziert werden.

Verwertung und Nutzung der Resultate

Die Zusammenarbeit mit der Industrie wird intensiv gepflegt und Industriepartner werden frühzeitig in Forschungsprojekte einbezogen. Nur damit kann eine nachgelagerte Umsetzung in marktgerechte Produkte ermöglicht werden. Zur Sicherstellung der flächendeckenden Umsetzung von gewonnenen Erkenntnissen wird ferner ein enger Kontakt mit dem Programm EnergieSchweiz gepflegt. Schliesslich werden Grundlagen geschaffen, damit marktgerechte und effektive Regulierungen national wie auch international umgesetzt werden können. Die internationale Vernetzung aller Projektarbeiten ist ebenso wichtig und wird, wenn immer möglich und zweckmässig, aktiv mit engen Kooperationen gepflegt.

3.1.4 Energie in Gebäuden

Das Forschungsprogramm *Energie in Gebäuden* strebt längerfristig die Erreichung eines energieeffizienten und nahezu emissionsfreien Gebäudeparks an. Die heutigen Zielsetzungen liegen deshalb in der Erforschung von Technologien und Konzepten, die den Energiebedarf, die -umwandlung und die -verwendung sowie die lokale Gewinnung erneuerbarer Energie in Gebäuden, Arealen, Siedlungen und Städten betreffen.

Stand der Forschung

Die Mehrzahl der Forschungsprojekte im Gebäudebereich ist an Fachhochschulen angesiedelt, wobei spezifische Fragestellungen bei den beiden technischen Hochschulen in Zürich und Lausanne und der EMPA behandelt werden. In der Regel ist die Industrie eingebunden und mit einem substanziellen Beitrag beteiligt. Ferner sind viele Forschungsarbeiten Teil internationaler Projekte.

Wieso die öffentliche Hand diesen Bereich fördern soll

Durch das Engagement der öffentlichen Hand ist es gelungen, im Bereich Energie in Gebäuden Akzente zu setzen und im ETH-Bereich und an den Fachhochschulen hohe Kompetenzen aufzubauen. Zudem dient die Förderung der Forschung nicht zuletzt auch der Ausbildung von Fachleuten. Die Erfolge im Technologietransfer belegen, dass die Forschungsförderung

durch die öffentliche Hand in enger Kooperation mit der Industrie erfolgt.

Beitrag zum Konzept der Energieforschung des Bundes

Das Forschungsprogramm nimmt im neuen Schwerpunkt «Wohnen und Arbeiten» des *Konzepts der Energieforschung des Bundes* eine zentrale Rolle ein.

In bestehenden Gebäuden sollen der Energieverbrauch stark reduziert werden und der Betrieb CO_2-frei erfolgen. Neue Gebäude sollen im Betrieb keine umweltbelastenden Emissionen generieren. Emissionen, die durch Erstellung und Entsorgung verursacht werden, sollen gegenüber heute um eine Grössenordnung reduziert werden. Die Gebäude selbst sollen eine wichtige Rolle bei der dezentralen Bereitstellung von Energie spielen und insgesamt etwa diejenige Menge Wärme und Strom erzeugen, die zum Wohnen und Arbeiten benötigt werden.

Forschungsthemen 2013–2016

Der Trend geht von der Einzelbetrachtung weg zur systemischen Gesamtsicht. Dies betrifft einerseits die Gebäudetechnologien, andererseits soll aber auch die Systemgrenze über das Gebäude hinaus ausgedehnt werden bis hin zur Betrachtung von Arealen, Siedlungen oder ganzen Städten.

Spezifische Forschungsziele

- *Bauerneuerung hat Priorität vor Neubau*: die Herausforderung der Zukunft liegt in der Erneuerung der bestehenden Bausubstanz. Dazu sollen neuartige Berechnungsmethoden, Planungsinstrumente und Technologien entwickelt werden.
- *Technologie optimal nutzen*: Gebäudetechnische Massnahmen und technische Vorkehrungen an der Gebäudehülle sollen vermehrt dazu beitragen, den Energiebedarf der Gebäude zu reduzieren. Gesucht sind entsprechende innovative Lösungen.
- *Vom Gebäude zum Areal*: die Systemgrenze soll über das Gebäude hinaus ausgedehnt werden bis hin zur Betrachtung von Arealen, Siedlungen oder ganzen Städten. Untersucht werden sollen neue Funktionen, die Gebäude und Areale im Kontext zunehmend vernetzter Infrastrukturen wahrnehmen werden.
- *Speicherkraftwerk Haus*: jedes Gebäude hat ein Potenzial, als Kraftwerk durch Nutzung von Energie aus dem Untergrund, der Umgebung oder vom Dach. Hier sollen wirtschaftlich optimierte und auf die Benutzerbedürfnisse abgestimmte Systeme für die Erzeugung und den Verbrauch von Energie erforscht werden.
- *Indirekter Energiebedarf*: graue Energie und Mobilität wie auch das Nutzerverhalten prägen den energetischen Fussabdruck von Gebäuden. Dazu sollen neuartige Konzepte, Technologien und Materialien entwickelt werden.

Gemäss SIA soll konsequent auf einen nachhaltigen Gebäudepark Schweiz hingearbeitet und mit der Ressource Energie intelligent umgegangen werden. Der *SIA-Effizienzpfad Energie* formuliert daher für 2050 die Energie- und Klimaziele mit quantifizierten Zielgrössen für die Primärenergie und die Treibhausgasemissionen.

Zukünftige Forschungsanstrengungen im Forschungsprogramm müssen deutlich darüber hinausgehen. Sie richten sich nach den übergeordneten energiepolitischen Zielen. In den Forschungsaktivitäten sollte deshalb eine Halbierung der SIA-Zielwerte angestrebt werden (Tabelle 6).

Verwertung und Nutzung der Resultate

Das erarbeitete Wissen wird durch gezielte Integration der Industrie in Produkte umgesetzt.

Die Forschung im Rahmen des Forschungsprogramms hat ausserdem zu einer Reihe von Gründungen von Firmen bzw. zur Übernahme von Software, welche im Rahmen des Forschungsprogramms entwickelt worden ist, geführt: ETH Spin-off KEOTO AG, EcoLogic AG, QC-Expert AG.

	2011	2025	2050
Wohnen			
Primärenergie nicht erneuerbar [MJ/m^2]	440	330	220
Treibhausgasemissionen Neubau [kg/m^2]	16.5	12.5	8.5
Treibhausgasemissionen Umbau [kg/m^2]	15.5	11.5	7.5
Büro			
Primärenergie nicht erneuerbar [MJ/m^2]	660	495	330
Treibhausgasemissionen Neubau [kg/m^2]	25.5	19.5	13.0
Treibhausgasemissionen Umbau [kg/m^2]	24.5	18.5	12.0

Tabelle 6 Ausgewählte Ziele des Forschungsprogramms Energie in Gebäuden

3.1.5 Kraftwerk 2020 / CCS

Durch den steigenden Strombedarf, das Auslaufen von Strom-Import-Verträgen und die Abschaltung bestehender Kernkraftwerke, zeichnet sich für den Zeitraum um das Jahr 2020 ein Engpass in der Stromversorgung der Schweiz ab. Eine Option für die Elektrizitätserzeugung in der Schweiz stellen dabei Kombi-Kraftwerke auf Erdgas-Basis dar, die aufgrund ihrer für thermische Kraftwerke hohen Effizienz und ihres niedrigen Schadstoffausstosses mittelfristig in der Stromerzeugung von Bedeutung sein werden.

Um auch die klimapolitischen Zielsetzungen der Schweiz zu erfüllen, sind bei einem zusätzlichen Einsatz von Erdgas für die Stromerzeugung flankierende Massnahmen zu ergreifen, die es erlauben, zu einer Netto-Reduktion der CO_2-Emissionen für das gesamte schweizerische Energiesystem zu kommen. Die Prozessführung des Kraftwerks ist z. B. so zu gestalten, dass alternative Brennstoffe eingesetzt werden können und CO_2 ganz oder teilweise abgeschieden werden kann.

Stand der Forschung

Effizienz des Kraftwerksprozesses: Seit Einführung des Forschungsprogramms *Kraftwerk 2020 / CCS* im Jahre 2006 konnte der elektrische Wirkungsgrad von kombinierten Gas- und Dampfkraftwerken (GuD--Kraftwerke) von 58,5 % auf über 60 % gesteigert werden. Mittlerweile (Stand: Mitte 2011) haben alle vier grossen Gasturbinenhersteller – General Electric, Siemens, Mitsubishi und Alstom – angekündigt, Anlagen mit über 60 % Umwandlungsgrad (Brennstoff zu elektrischem Strom) auf dem Markt anbieten zu können. Zwei Demonstrationsanlagen sind weltweit bereits in Betrieb (von General Electric in Wales und von Siemens in Deutschland).

CO_2-Emissionsminderung: Über die Einsparung von CO_2-Emissionen durch Steigerung des Kraftwerk-Wirkungsgrads hinaus besteht weiterhin die Notwendigkeit, durch den Einsatz CO_2-armer bzw. CO_2-neutraler Brennstoffe wie z. B. Biomasse und die weitestgehende Abscheidung von CO_2 im Kraftwerksprozess die CO_2-Emissionen drastisch (bis zu –80 %) zu reduzieren. Die Ergebnisse eines im Rahmen des Forschungsprogramms durchgeführten Projekts zeigen, dass ein Kombi-Betrieb mit 15 % Biomasse-Anteil (85 % Erdgas) technisch möglich und kurzfristig umsetzbar erscheint. Bei Einführung einer CO_2-Abscheidung im Kraftwerksprozess ist trotz technischer Weiterentwicklungen weiterhin mit einer Einbusse beim Wirkungsgrad von 5–10 % zu rechnen. Das Potenzial für eine geologische Speicherung von CO_2 in der Schweiz wurde in einer 2010 durchgeführten Studie auf 2,7 Mrd. t CO_2 abgeschätzt. Die Entwicklung von geeigneten Lagerstätten bedarf aber weiterer erdwissenschaftlicher Untersuchungen.

Netzstabilisierung (durch flexible Stromeinspeisung): Gasturbinen erlauben eine flexible Stromproduktion durch schnelle Zuschaltung und eine variable Last-Betriebsweise. Die Weiterentwicklung von GuD-Kraftwerken geht dahin, die Laständerungseigenschaften der schnell reagierenden Gasturbine voll ausschöpfen zu können, ohne den nachgeschalteten, trägen Dampfprozess zu überlasten. Moderne GuD-Kraftwerke bieten Zuschaltzeiten bzw. «spinning reserve»-Kapazitäten von mehreren 100 MW innerhalb von 15–30 Min. und Laständerungsgradienten im Bereich von 1 MW pro Sekunde. Durch Kombination mit intelligenten Leistungselektronikbauteilen und -schaltungen lassen sich kurzfristige Einbrüche in der Netzspannung schadlos überwinden.

Wieso die öffentliche Hand diesen Bereich fördern soll

Ein zentrales Ziel des Forschungsprogramms ist es, durch Bündelung der Aktivitäten und durch Koordination der Ausrichtung individueller Projekte zu einer Stärkung des Forschungs- und Industrie-Standortes Schweiz im Bereich fortschrittlicher Gaskraftwerke zu gelangen. Dadurch soll auch sichergestellt werden, dass stets die bestgeeigneten Technologien bzw. Systeme für die Stromerzeugung in der Schweiz zum Einsatz kommen können. Die internationale Position der schweizerischen Kraftwerks-Industrie einschliesslich der zahlreichen Zulieferfirmen im KMU-Bereich und dem unterstützenden akademischen Umfeld gilt es zu erhalten und zu stärken.

Beitrag zum Konzept der Energieforschung des Bundes

Das Forschungsprogramm ist ein wichtiger Baustein im Schwerpunkt «Energiesysteme». Um die Sicherheit der Stromversorgung der Schweiz auch ohne Kernkraftwerke und mit einem hohen Anteil an erneuerbarer Energie zu gewährleisten, sind GuD-Kraftwerke auf Erdgas-Basis eine mögliche Option. Die flexible Betriebsweise

	2011	2025	2050
Elektrischer Wirkungsgrad des Gesamtsystems [%]	60	62,5	65
Reduktion der CO_2-Emission [%]	–15	–30	–80
Netzstabilisierung	begrenzt möglich	weitestgehend möglich	unbegrenzt möglich
CO_2-Speicherstätte in der Schweiz	identifiziert	Pilotbetrieb	etabliert

Tabelle 7 Ausgewählte Ziele des Forschungsprogramms Kraftwerk 2020 / CCS

erlaubt eine Stabilisierung der elektrischen Netze und die Gewährleistung einer für Gesellschaft und Industrie notwendigen Versorgungsqualität. Innerhalb des Forschungsprogramms entwickelte CO_2-Abscheideverfahren können auch auf industrielle Prozesse übertragen werden und damit einen weiteren Beitrag zur Reduktion der gesamtschweizerischen CO_2-Emissionen beitragen. Die vom Forschungsprogramm unterstützte Entwicklung von geologischen CO_2-Lagerstätten ist dafür ebenfalls unabdingbar.

Forschungsthemen 2013–2016

Zentrales technisches Ziel ist die Maximierung des elektrischen Wirkungsgrads eines kombinierten Gas- und Dampfturbinen-Prozesses. Ein Wert von deutlich über 60 % (Zielbereich: 62–63 %) auf Basis Erdgas soll erreicht werden. Dies wird erwartungsgemäss dem im Jahr 2020 weltweit besten Standard entsprechen.

Ein weiteres Ziel ist die Reduktion der CO_2-Emissionen durch eine Steigerung des Einsatzes von erneuerbaren, CO_2-neutralen Brennstoffen (insbesondere Biomasse-basierenden Vergasungsprodukten) auf 15 % (bezogen auf die thermische Gesamtleistung) im produktiven Betrieb von Kombikraftwerken. Ferner sollen mit dem Einbezug von prozesstechnischen Varianten für die erleichterte Abscheidung und Rückhaltung von Kohlendioxid (CO_2) deutlich darüber hinaus gehende CO_2-Emissionsminderungspotenziale (–80 %) ausgenützt werden.

Durch den zukünftig verstärkten Einsatz fluktuierender, erneuerbarer Stromerzeugungstechnologien wie Wind und Photovoltaik werden Stromversorgungsnetze stärkeren kurzfristigen Produktionsschwankungen unterworfen sein, die durch andere Stromerzeuger kompensiert werden müssen. Ein weiteres Ziel des Forschungsprogramms ist es deshalb, Gasturbinen-Kraftwerke noch besser zu befähigen, die Stabilisierung des Stromversorgungsnetzes zu übernehmen. Dazu müssen Techniken entwickelt werden, die höhere Lastgradienten (+/–3 % Last pro Sekunde) und eine von der Netzfrequenz unabhängige Betriebsweise erlauben.

Die Zielsetzungen des Forschungsprogramms sind in Tabelle 7 dargestellt.

Verwertung und Nutzung der Resultate

Die schweizerische Kraftwerksindustrie einschliesslich der Zulieferfirmen und dem unterstützenden, akademischen Umfeld, ist international konkurrenzfähig und hat einen signifikanten weltweiten Marktanteil. Durch die Programmaktivitäten wird die Stellung des Forschungs- und Industriestandortes Schweiz im Bereich fortschrittlicher Gaskraftwerke gestärkt und erhalten. Dadurch wird auch sichergestellt, dass die bestgeeigneten Technologien bzw. Systeme für die Stromerzeugung auch in der Schweiz bevorzugt zum Einsatz kommen können.

3.1.6 Netze

Sowohl ändernde gesetzliche Bestimmungen der Schweiz als auch der von der europäischen Union angestrebte europäische Energiebinnenmarkt beeinflussen die Rahmenbedingungen für Stromerzeugung, -übertragung und -verteilung nachhaltig und stellen neue Ansprüche insbesondere im Netzbereich. Komplementär stellen die drohende Verknappung fossiler Energieträger, die schnell wachsende Durchdringung erneuerbarer und – teilweise – fluktuierender Energiequellen sowie weitere technologische Entwicklungen komplexe Ansprüche an die Energienetze und -systeme. Um diesem dynamischen Umfeld Rechnung zu tragen, bedarf es kontinuierlicher, sowohl kurz- als auch langfristig ausgerichteter Forschungsaktivitäten.

Die Netzforschung beinhaltet primär die Analyse und den Entwurf von elektrischen und integrierten Energiesystemen einschliesslich deren Planung, Entwicklung und Betrieb.

Ein Hauptziel der Forschung ist es, Methoden für die Entwicklung, Regelung, Steuerung, und Analyse zu entwickeln. Diese basieren auf systemtheoretischen Werkzeugen aus den Gebieten Regelungstheorie und Optimierung. Sie sollen von der Industrie für die Lösung von konkreten Problemen verwendet werden können, oder Erkenntnisse für weitere Anwender wie die Regulierung und die Politik liefern. Wirtschaftliche Aspekte und interdisziplinäre Fragestellungen gewinnen dabei zunehmend an Bedeutung.

Stand der Forschung

Verschiedenste Technologien sind heute bereits verfügbar und werden laufend weiter entwickelt (z. B. Kommunikation, Messtechnik, Automatisierung, Fernsteuerung). Die eigentliche Herausforderung im Netzbereich besteht darin, die einzelnen Ansätze zu einem Gesamtsystem zu integrieren, das interoperabel, koordiniert, sicher und zuverlässig betrieben werden kann (z. B. Integration von dezentralen Erzeugungsanlagen, fluktuierenden erneuerbaren Energiequellen, Elektromobilität). Diese Komplexität führt dazu, dass nicht alle Grundlagen in ähnlicher Tiefe vorhanden sind, was deren Vereinigung zu einem funktionierenden Gesamtsystem erschwert. Dementsprechend fehlen derzeit auch grossflächige repräsentative Pilot- und Demonstrationsprojekte, um Kenntnislücken zu eruieren, sowie die technische und wirtschaftliche Machbarkeit zu erproben und im Betrieb zu demonstrieren.

Wieso die öffentliche Hand diesen Bereich fördern soll

Die Netzbetreiber stehen vor grossen Herausforderungen (z. B. Integration erneuerbarer Energie, Strommarktliberalisierung in der Schweiz und in Europa), die zum Teil auch durch regulatorische Vorgaben beschleunigt wurden. Bedingt durch fehlende gesetzliche und regulatorische Rahmenbedingungen zu deren Finanzierung, gehen die im natürlichen Monopol verbleibenden Netzbetreiber entsprechende, wichtige Forschungsthemen nur zögerlich an.

Zur Sicherstellung der Versorgungssicherheit und zur Erhöhung der Systemeffizienz ist es unerlässlich, dass entsprechende Lösungen innert nützlicher Frist entwickelt und in die breite Anwendung überführt werden.

Zudem müssen technische Grundlagen erarbeitet werden, um eine branchengerechte und effektive Regulierung im Netzbereich zu ermöglichen.

Beitrag zum Konzept der Energieforschung des Bundes

Das Forschungsprogramm *Netze* spielt innerhalb des Schwerpunkts «Energiesysteme» wegen des integrierenden Charakters eine zentrale Rolle.

Im Hinblick auf die Integration der Endkunden in das Energieversorgungssystem (Smart Grid) bestehen aber auch ausgeprägte Schnittstellen zu den anderen drei Schwerpunkten.

Forschungsthemen 2013–2016

Zur langfristigen Sicherstellung der Versorgungssicherheit sind verschiedenste Fragestellungen auf der gesamten Wertschöpfungskette von der Stromerzeugung, -übertragung und -verteilung bis hin zur Endkonsumentin oder zum Endkonsumenten prioritär zu behandeln. Da ein funktionierendes Energieversorgungssystem länderübergreifend eingebunden sein muss, sind die entsprechenden Forschungsschwerpunkte auch mit den europäischen Forschungszielen abgestimmt.

Spezifische Forschungsziele

- Übertragungs- und Verteilnetzarchitektur: Planungswerkzeuge, Netztechnologien, Grundlagen zur Verkabelungs/Freileitungsthematik;
- Übertragungsnetzbetrieb: länderübergreifende Netzüberwachung und Koordination, Sicherheitskriterien, Kapazitätsausnutzung und Systemdienstleistungen;
- Verteilnetzbetrieb: Monitoring und Steuerung von Niederspannungsnetzen, Automatisierung von Mittelspannungsnetzen, Kapazitätsausnutzung, Asset Management;
- Netzintegration erneuerbarer Energie: Integration in Niederspannungs- (Qualität, Schutz usw.) und Mittelspannungsnetze, Integration und Bewirtschaftung von Speichern, Integration von Elektromobilität;
- Endkundinnen und Endkunden: Lastverschiebung, insbesondere Demand Side Participation, Integration von Gebäuden;
- Marktdesign: Engpassmanagement, Marktintegration erneuerbarer Energie, Endkundinnen und Endkunden von Speichern;
- Informations- und Kommunikationstechnologien: Informationserfassung, -übertragung, -verarbeitung und -schutz, Schutz kritischer Infrastruktur.

Das Netz der Zukunft muss dafür gerüstet sein, Kraftwerke jeglicher Technologie, Grösse und Einspeisecharakteristik sicher und wirtschaftlich integrieren und die Bedürfnisse der Endkunden jederzeit decken zu können. Die entsprechenden Grundlagen müssen erarbeitet werden, insbesondere wie das Zusammenspiel zwischen Elektrizitätsproduktion und -bedarf aufeinander abgestimmt (z. B. Demand Side Participation, Integration von Speichern) und wie die Netze dem zunehmenden grenzüberschreitenden Energiehandel gerecht werden können.

In Abstimmung mit den Forschungsaktivitäten soll eine Roadmap entwickelt werden, die aufzeigt, zu welchem Zweck und wie die Netze in der Schweiz künftig funktionell ausgestaltet werden müssen, um nachhaltig betrieben werden zu können. Verschiedene Szenarien erlauben die Definition eines anzustrebenden Zielzustandes, woraus die notwendigen Schritte zur Umsetzung abgeleitet und die von der Gesellschaft zu tragenden Entwicklungs- und Investitionskosten abgeschätzt werden können. Die zentrale Frage nach Finanzierungsmodellen muss ebenfalls beantwortet werden.

Verwertung und Nutzung der Resultate

- Die Zusammenarbeit zwischen den Hochschulen, sowie den Energieversorgungsunternehmen und der Industrie muss intensiv gepflegt werden, um eine optimale Umsetzung der Forschungsresultate in konkreten Anwendungen erzielen zu können.
- Es werden Grundlagen geschaffen, damit situationsgerechte und effektive Regulierungen national wie auch international umgesetzt werden können. Die internationale Vernetzung aller Projektarbeiten ist dazu essentiell und wird, wenn immer möglich, aktiv in engen Kooperationen (IEA, EU, D-A-CH, etc.) gepflegt.

3.1.7 Verbrennung

Durch Verbrennung werden in der Schweiz 75 % der nutzbaren Energieformen Wärme und Kraft (Antrieb, Strom) erzeugt.

Die Verbrennung bleibt auch langfristig ein wichtiger Energieumwandlungsprozess und weist ein weiteres Verbesserungspotenzial auf. Nicht fossile Brennstoffe wie Biomasse sowie aus verschiedenen Stoffen synthetisch erzeugte Energieträger, werden an Bedeutung gewinnen.

Die Verbrennung ist eine Querschnittstechnologie, die als Energieumwandlungsverfahren in zahlreichen Anwendungsbereichen wie beispielsweise Kraftwerkstechnik, Wärme-Kraft-Kopplung, Gebäudebeheizung, Mobilität, industrielle Prozesse oder Biomasse eingesetzt wird. Das Forschungsprogramm befasst sich mit der Verbesserung der Forschungsmethoden und -instrumente sowie von Teilsystemen des Verbrennungsprozesses und der dazugehörenden Komponenten, aber auch von gesamten Systemen mit deren Interdependenzen.

Ziele sind die Erhöhung des exergetischen Wirkungsgrads, die Verminderung des Verbrauchs an fossilen Brennstoffen und damit der CO_2-Emissionen sowie die Reduktion von Schadstoffen wie Russ, Feinstaub, Stickoxid oder Kohlenwasserstoffe und die Optimierung von Verbrennungssystemen für erneuerbare Energieträger.

Das Forschungsprogramm befasst sich speziell auch mit der Anwendung der Verbrennung in Wärmekraftkopplungsanlagen (WKK). In der Schweiz hat die Stromversorgung via WKK-Systeme noch eine untergeordnete Bedeutung (Anteil 3 %). Kritisch sind die Kosten und die zusätzlichen CO_2-Emissionen. Im Hinblick auf die künftige Stromversorgung werden Systeme mit hoher Einsatzflexibilität und hohem exergetischem Wirkungsgrad favorisiert werden. Wichtig wird auch die Nutzung nicht fossiler Brennstoffe sein.

Stand der Forschung

Die Verbrennungsforschung zeichnet sich durch gute Kenntnisse über die komplexen chemischen und physikalischen Vorgänge in den stationären aber auch instationären (Hochdruck)Brennverfahren sowie deren numerische Simulation aus. Die Validierung erfolgt durch Hochgeschwindigkeitsaufnahmen mit hoher räumlicher Auflösung unter Zuhilfenahme von laseroptischen Messmethoden an speziellen Versuchsträgern, welche die realen Bedingungen möglichst gut abbilden. International beachtetes Beispiel ist die von der ETH Zürich und Wärtsilä Schweiz entwickelte Verbrennungskammer für grosse Dieselmotoren.

Um die Verbrennungssysteme entscheidend zu verbessern, müssen die Mechanismen des Verbrennungsprozesses jedoch genauer verstanden werden. Dazu gehören detaillierte Kenntnisse über die Interaktionen zwischen Chemie und Turbulenzen in der Brennkammer, um die Bildung und Zündung des Brennstoff-Luft-Gemisches bezüglich Energieumsetzung und Schadstoffbildung zu optimieren. Supercomputer werden in Zukunft helfen, die hochkomplexen Vorgänge besser zu simulieren. Simulationswerkzeuge werden die Entwicklung verbesserter Verbrennungssysteme beschleunigen und die Entwicklungskosten reduzieren.

Die Forschung untersucht vermehrt die Nutzung nicht fossiler Brennstoffe. Aus den Kenntnissen über den Verbrennungsprozess werden die Anforderungen an die Eigenschaften synthetischer Brennstoffe beschrieben, mit dem Ziel, entsprechende Herstellmethoden zu entwickeln.

Rückblickend konnte die Verbrennungsforschung die laufend gestiegenen Anforderungen erfüllen. So gelang es beispielsweise in den letzten 20 Jahren die Stickoxidemissionen von Nutzfahrzeugmotoren um etwa 90 % und diejenige von PKW-Motoren um über 95 % zu reduzieren und gleichzeitig den spezifischen CO_2-Ausstoss um fast 30 % zu senken.

Die Verbesserung der Verbrennungssysteme wirkt sich auch positiv auf WKK-Anlagen aus. Die Forschung behandelt zudem Massnahmen zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit der Systeme. Dazu gehören die Abwärmenutzung, die Anlage- und die Betriebskosten. Möglichst unterhaltsfreie Geräte sind anzustreben.

Wieso die öffentliche Hand diesen Bereich fördern soll

Die Bedeutung der Verbrennung für die Energienutzung in der Schweiz ist gross. Sie ist zudem eine Querschnittstechnologie, die zur Energieumwandlung in zahlreichen Anwendungsbereichen eingesetzt wird.

Um die knapper werdenden fossilen und die nur begrenzt verfügbaren biogenen Energieträger möglichst effizient und mit geringen Auswirkungen auf die Umwelt zu nutzen, sind weitere Verbesserungen beim Verbrennungsprozess notwendig. Die

Werte für Demonstrator	2011	2025	2050
Diesel LKW			
NO_x [g/kWh]	2	~ 0	~0
Russ [mg/kWh]	20	5	1
η Fahrzyklus [%]	42	> 47	> 50
Stationärer Gasmotor (WKK) [kW]	100 / 10	100 / 10	100 / 10
NO_x bei 5 % O_2 [mg Nm^3]	2 / 10	0,5 / 2	0,1 / 1
η_{el} [%]	40 / 30	45 / 38	50 / 42

Tabelle 8 Ausgewählte Ziele des Forschungsprogramms Verbrennung

Schweizer Verbrennungsforschung in der Industrie und an Hochschulen ist wettbewerbsfähig und international anerkannt. Um die für die Öffentlichkeit wichtigen Ziele wie Reduktion des Verbrauchs der Energieressourcen und geringe CO_2-Emissionen, zu erreichen, sind neben der wettbewerblichen Forschung zusätzliche Anstrengungen und Mittel erforderlich. Bis eine Teilelektrifizierung des Verkehrs erreicht ist, müssen die Verbrennungsmotoren weiter verbessert werden. Hinzu kommen die Herausforderungen der künftigen Stromproduktion, für die verbrennungsbasierte Systeme einen wichtigen Beitrag leisten können. WKK-Anlagen erlauben die eingesetzten Energieträger auch bezüglich der Wertigkeit optimal zu nutzen. Der arbeitsfähige Teil wird in Strom umgewandelt und die Abwärme für Bedürfnisse mit geringer Temperatur wie beispielsweise die Gebäudebeheizung genutzt. Dank schnellem Start können die Anlagen auch für Spitzenabdeckung und Regelenergie eingesetzt werden.

Durch die Fördermittel können in Forschungsvorhaben zusätzliche Schwerpunkte eingebracht werden. Dank der internationalen Absatzmärkte der in der Schweiz im Bereich Verbrennungssysteme aktiven Industrie werden die Ergebnisse weltweit umgesetzt und erzielen eine globale Wirkung.

Beitrag zum Konzept der Energieforschung des Bundes

Die Verbrennung ist Thema in allen vier Schwerpunkten. So dient sie der Optimierung von Wärme-Kraft-Kopplungs-Anwendungen in Gebäuden oder der Verbesserung der Antriebe der zukünftigen Mobilitätssysteme – und dies auch mit biogenen Brennstoffen. Ein Teil der Energiesysteme der Zukunft wird mit kohlewasserstoffbasierten Energieträgern betrieben werden. Diese werden vorwiegend thermochemisch durch Verbrennung in nutzbare Form umgewandelt werden. Eine besondere Herausforderung sind die prozessgebundenen Verbrennungssysteme, wie beispielsweise in der Zementindustrie oder der Abfallverwertung. Hinzu kommen Produktionsmaschinen, die mit Verbrennungsmotoren angetrieben werden, beispielsweise in der Bauindustrie oder der Landwirtschaft.

Forschungsthemen 2013–2016

Priorität hat die Erhöhung des exergetischen Wirkungsgrads von Verbrennungssystemen und damit die bessere Nutzung der Wertigkeit der eingesetzten Energieträger. Hinzu kommt die Forderung zur Reduktion der CO_2-Emissionen. Neben der Wirkungsgradverbesserung wird der Einsatz CO_2-reduzierter oder -neutraler Brennstoffe untersucht.

Die Verbesserung der Systeme für biogene und synthetische Brennstoffe soll deshalb fortgeführt und die numerischen Modelle und Datengrundlagen sollen entsprechend angepasst und erweitert werden. Besondere Anforderungen stellt der Einsatz verschiedener Brennstoffe im gleichen System. Neuartige Brennstoffe sollen an die Anforderungen der Verbrennung angepasst werden.

Die Reduktion der Schadstoffe wie Russ und Stickoxid soll verstärkt für grosse Dieselmotoren erforscht werden. Die Anforderungen an Fahrzeugmotoren ändern sich beispielsweise durch die Hybridisierung der Antriebe und den Einsatz kleinskaliger hoch aufgeladener Motoren. Besonders zu beachten sind die Eigenschaften im transienten und im Teillastbetrieb.

Technische und ökonomische Ziele

Die künftigen Anforderungen an den Wirkungsgrad von Verbrennungssystemen sind beispielhaft in Tabelle 8 aufgeführt. Die Werte sind übertragbar auf andere Systeme. Wichtige Ziele sind:

- Erhöhung des exergetischen Wirkungsgrads der Gesamtsysteme und damit Reduktion des Brennstoffverbrauchs und der CO_2-Emissionen;
- Reduktion der Schadstoffemissionen, insbesondere von Russpartikeln und Stickoxiden;
- Optimierung der Systeme für die Nutzung biogener Brennstoffe;
- Optimierung der Systeme für die flexible Nutzung unterschiedlicher Brennstoffe;
- Reduktion der Kosten von kleinskaligen Verbrennungssystemen trotz erhöhter Anforderung;
- Technische und ökonomische Optimierung der Einbindung von WKK-Systemen in Gebäudebeheizung und Stromnetz;
- Verbesserung der Kenntnisse und der Simulationsmodelle über die chemischen und physikalischen Vorgänge in der Verbrennung;
- Weiterentwicklung der Versuchsträger zur Validierung der Simulationsmodelle;
- Stärken der Kooperationen zwischen industrieller und Hochschulforschung sowie Pflege und Weiterentwicklung der Forschungskompetenzen.

Spezifische Forschungsziele

- Variable Brennstoffnutzung und Schadstoffreduktion in grossen Dieselmotoren;
- Erhöhung des exergetischen Wirkungsgrads und Reduktion der Kosten von kleinen und mittleren WKK-Systemen bei geringen Schadstoffemissionen;
- Optimierung von Verbrennungsmotoren für den Einsatz in hybriden Systemen;
- Emissionsminderung bei hoch aufgeladenen Gas- und grossen Dieselmotoren durch Verbesserung der Miller-Steuerung;
- Verbrennungsrelevante Kennzahlen für massgeschneiderte Brennstoffe aus Biomasse zur Erreichung optimaler Wirkungsgrade bei minimalen Schadstoffemissionen;

- Erweiterung der Grunddaten und der numerischen Modelle für die Nutzung neuartiger Brennstoffe;
- Optimierung des Gesamtsystems von der Gemischbildung bis zur Abgasnachbehandlung durch schnelle Mess- und Rechenverfahren mit dem Ziel der zyklus- und zylindergenauen Steuerung;
- Aufzeigen und Nutzen der Verbesserungspotenziale in Industriefeuerungen;
- Darstellung der Einbindung von kleinen WKK-Geräten in bestehende Gebäude und der stromnetzabhängigen Steuerung;
- Maximierung der Exergienutzung in WKK-Systemen inklusive Abgase.

Verwertung und Nutzung der Resultate

Durch eine gute Vernetzung der verschiedenen Akteurinnen und Akteure aus der Hochschul- und Industrieforschung sowie der Produktion und der Vermarktung werden die Forschungsresultate direkt in die Praxis eingebracht. Wichtig sind aber auch Pilot- und Demonstrationsprojekte, die zusammen mit anwendungsorientierten Forschungsprogrammen des BFE – wie beispielsweise dem Forschungsprogramm *Verkehr* – umgesetzt werden. Die Forschungszentren der Industrie sind in der Schweiz, aber die Produkte werden international abgesetzt. Dies bewirkt eine globale Umsetzung der Resultate und damit eine Vervielfachung des Beitrags zur nachhaltigen Energienutzung.

Unterstützende Aktivitäten sind Anlässe wie die «Tagung Verbrennungsforschung in der Schweiz», das Mitwirken in internationalen Forschungsgruppen wie der IEA oder in Forschungsprojekten der EU oder beispielsweise der Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen in Deutschland.

3.1.8 Verfahrenstechnische Prozesse

In der Schweiz werden, wie in anderen industrialisierten Ländern, Verfahrens- und Fertigungstechnik intensiv eingesetzt. Der Anteil an der Wertschöpfung, aber auch am Energieverbrauch und damit am CO_2-Ausstoss ist hoch: Prozesse sind in der Schweiz für etwa 15 % des Endenergieverbrauchs und für 43 % des auf Brenn- und Treibstoffen basierten CO_2-Ausstosses verantwortlich. Energetische Aspekte wurden bisher oft nur zweitrangig beachtet. Es wird geschätzt, dass mittels gezielter Optimierung des Ressourceneinsatzes ein Sparpotenzial von 30–50 % realisierbar ist.

Die Forschungsaktivitäten im Bereich der verfahrenstechnischen Prozesse umfassen die Verfahrenstechnik und mehr und mehr auch die Fertigungs- und Produktionstechniken. Aufgrund der grossen Breite der anwendbaren Technologien ist die Zusammenarbeit mit andern Forschungsprogrammen erforderlich.

Hauptziel ist die Unterstützung der Industrie bei der Entwicklung von Methoden für die Reduktion des Primärenergieverbrauchs und des CO_2-Ausstosses. Aktivitätsfelder sind die Erforschung von effizienten Substitutionstechnologien, die Integration und Verbesserung von Technologien zur Nutzung von Abwärme, erneuerbaren Quellen und Biomasse (Bioraffinerie) sowie die Entwicklung und Anwendung von Methoden und (Entscheidungs-)Tools.

Stand der Forschung

Die für die verfahrenstechnischen Prozesse eingesetzten Techniken sind reife Anwendungs- und Umsetzungsdisziplinen. Die Auslegung, Optimierung und der Betrieb der Anlagen werden vor allem durch ökonomische, Sicherheits- und Umweltaspekte geprägt, was zu einem guten Stand der konkreten Entwicklung von energetischen Verbesserungen geführt hat.

Energiefokussierte Fragestellungen spielen aber erst allmählich aufgrund von politischem Druck, aus versorgungstechnischen Gründen und wachsendem Nachhaltigkeitsbewusstsein eine Rolle. Obschon viele Technologien zwar technisch einsetzbar wären, bestehen wegen der sehr kurzen industriellen Amortisationszeiten (<1 Jahr), der verlangten maximalen Anlagenverfügbarkeit (Produktivität) und der geforderten Produktqualität grosse Umsetzungshürden. Auch die erforderliche gesamtheitliche und langfristige Sicht bei energetischen Aspekten ist noch ungenügend entwickelt.

In diesem Sinne besteht bei der energierelevanten Forschung und Entwicklung für verfahrenstechnische Prozesse noch ein grosses Aufbau- und Vernetzungspotenzial, um einen hohen Stand der Forschung und Lösungsentwicklung zu erreichen.

Wieso die öffentliche Hand diesen Bereich fördern soll

Für Schweizer Industriebetriebe ist es eine grosse Herausforderung, zu konkurrenzfähigen Preisen zu produzieren. Insbesondere da Umwelt- und Energieauflagen im Ausland oftmals einfacher einzuhalten sind. Zudem besteht eine grosse Unschärfe bezüglich künftiger Energie-Kostenveränderungen und potenziellem Energiemangel.

Die Anreize zur Ergreifung von energetischen Massnahmen (Forschung und Umsetzung) sind gering. Zusammen mit dem langfristigen und umfassenden Charakter der Erarbeitung potenzieller Marktvorteile durch innovative Energielösungen, erfordert dies auf jeden Fall die Förderung durch die öffentliche Hand.

Beitrag zum Konzept der Energieforschung des Bundes

Das Forschungsprogramm *Verfahrenstechnische Prozesse* deckt innerhalb des Schwerpunktes «Prozesse», welcher sich umfassend dem gesamten Lebenszyklus von Produkten einschliesslich Dienstleistungen annimmt, die Belange des Produktionsprozesses ab. Hier bestehen viele Schnittstellen zu den anderen Schwerpunkten, bzw. technologiebasierten Forschungsprogrammen.

Forschungsthemen 2013–2016

Langfristig ist es das Ziel, den Optimierungsparameter «Energie» systematisch und mit einer ganzheitlichen Sicht in die Entwicklung, Auslegung, den Betrieb und die Erneuerung von Produktionsanlagen zu integrieren.

Mittelfristig sollen Lösungen im Bereich neuer, effizienter (Niedertemperatur-)Verfahren, die eine Verbrauchssenkung zulassen, erarbeitet werden. Prioritär ist dabei die Abwärmeverwertung auf Lieferanten- und Empfängerseite sowie die Nutzung von erneuerbaren Wärmequellen (Solar- und Geothermie) in Produktionsanlagen.

Weiterhin unterstützt werden sollen auch die erfolgreichen Tool-Entwicklungen im Bereich Energie-Monitoring, Life Cycle Analysis (LCA) bzw. Decision-Aid-Tools, welche ein hohes Umsetzungspotenzial in der Schweiz haben. Neuartige und verbesserte Gewinnung und Verarbeitung von Biomasse (Bioraffinerie) sowie die Erarbeitung von Branchenlösungen runden die Forschungsschwerpunkte ab.

Prioritäre Themen sind ferner die nationale und internationale Vernetzung, zielgruppengerechte Information zur Sensibilisierung und Motivation für das Thema Energie.

Spezifische Forschungsziele

Anders als bei den Gebäuden und Fahrzeugen gibt es bisher bei Prozessen keine Verbrauchsgrenzwerte. Es muss jedoch Ziel sein, den Energieverbrauch von Prozessschritten quantifizieren zu können, den Produkten zuzuordnen (Energie-Label) und Verbesserungspotenziale zu eruieren. Hierbei kommt der Erfassungs- und Monitoring-Toolentwicklung eine bedeutende Rolle zu. Zwei bis drei relevante Tools sollten kommerzialisiert und das Labeling vorgeschlagen werden. Der Nachweis der optimalen Abwärmeverwertung und der Einbezug erneuerbarer Wärmequellen muss Standard beim Prozessdesign werden. Vorbereitend sollen in diesen Bereichen drei bis vier Demonstratoren und eine relevante Zahl Pilot- und Demonstrationsprojekten lanciert sein. Bei der Bioraffinerie soll ein und bei den effizienten Verfahren drei Forschungs- oder Entwicklungsprojekte laufen. Ferner soll eine Roadmap erstellt sein. Mindestens eine neue Branchenlösung soll in Umsetzung sein.

Zusammenfassend ergeben sich für die Periode 2013–2016 folgende Zielsetzungen:

Effiziente Verfahren

- zuverlässige Wärmeübertragungssysteme mit geringer Verschmutzung;
- CO_2-arme Prozesstechnologien zur Substitution thermischer Verfahren (mechanische Trocknung);
- Reduktion des Energieverbrauchs von Werkzeugmaschinen.

Abwärmeverwertung (inkl. Kenntnisse der Potenziale)

- Exergierückgewinnung in Rechenzentren und anderen Niedertemperaturprozessen;
- Planungs- und Berechnungsgrundlagen für ein effektives Engineering und für Kostentransparenz.

Nutzung von erneuerbaren Wärmequellen (inkl. E-Speicherung)

- Prozesswärmeerzeugung und Speicherung zwischen 150–400 °C;
- Vorwärmung von Produktionsanlagen.

Tool-Entwicklung

- Entwicklung, Evaluation und Kommerzialisierung von umfassenden Monitoring, LCA-Tools und Entscheidungswerkzeugen zum Auslegen von Produktions-Anlagen bis zu ganzen –Regionen.

Bioraffinerie (in Zusammenarbeit mit andern Programmen und Ämtern)

- Entwicklung von neuen Prozessen zur Gewinnung und Verwertung von Biomasse;
- Realisierung von neuen Reaktorkonzepten für innovative Biomassenwertschöpfungsketten.

Branchenlösungen

- Im Fokus stehen Nahrungsmittelindustrie, Metallbearbeitung, Zement-, Papier- und Kunststoffindustrie.

Verwertung und Nutzung der Resultate

Umsetzungsnähe bzw. starke Industriebeteiligung, inkl. Finanzierung und Resultatnutzung, ist in der Regel bei allen Projekten gegeben. Ergänzend soll eine verstärkte Beteiligung in internationalen Netzwerken und Programmen (v. a.: IEA, Forschungsrahmenprogramme der EU) zur Erhöhung von In- und Output, sowie der aktive Technologietransfer in der Schweiz unterstützt werden.

3.1.9 Verkehr

Der Verkehr macht mit 33,7 % den grössten Anteil am Endenergieverbrauch in der Schweiz aus. Der Energieverbrauch des Verkehrs ist zwischen 1990 und 2010 von 262,5 PJ auf 307,3 PJ angestiegen (Gesamtenergiestatistik 2010). 2009 gingen rund 66 % des Verbrauchs zulasten des Personenverkehrs auf der Strasse, während auf den Personenverkehr auf der Schiene nur 4 % entfielen.

Die mittleren Tagesdistanzen des motorisierten Individualverkehrs (MIV) sind zwischen 1989 und 2005 pro Person von 22,2 km auf 26,2 km (+18 %) angestiegen, während diejenigen des öffentlichen Verkehrs (ÖV) einen Zuwachs von 22 % (6,5 auf 7,9 km pro Person) verzeichneten. 68,8 % der Tagesdistanzen werden mit dem MIV bewältigt, gegenüber 20,1 %, die mit dem ÖV zurückgelegt werden (BFS 2007).

Das Hauptziel des Forschungsprogramms *Verkehr* ist es, den Energieverbrauch des Verkehrs – insbesondere des MIV – zu senken. Daneben wird auch eine Verlagerung zu erneuerbaren Energieträgern und damit eine Verbesserung der Versorgungssicherheit angestrebt. Wichtige Nebenziele sind die Reduktion der Schadstoffemissionen, die Senkung des Ressourcenbedarfs, die Stärkung des Wirtschafts- und Bildungsstandorts Schweiz und auch die Erhöhung der Sicherheit. Ansätze hierzu liegen einerseits in der Fahrzeugtechnik (hoch effiziente Antriebe und der Leichtbau) und neuartige, kleine Fahrzeuge (z. B. E-Bikes oder E-Scooters).

Forschungsprojekte im ÖV-Bereich sollen die Zutrittshürden zum ÖV senken und so zu einer Verlagerung vom MIV zum ÖV beitragen.

Stand der Forschung

Die Schweizer Personenwagen-Neuflotte wies 2010 einen durchschnittlichen Treibstoffverbrauch von 6,82 Liter/100km auf und liegt damit um einen Faktor 2,5 bis 4 höher als aktuelle Fahrzeuge auf dem Forschungsprüfstand.

Spitzenreiter bezüglich Energieeffizienz ist der – allerdings in dieser Form nicht umsetzbare – PAC-Car II der ETH Zürich, der pro 100 km noch 0,019 Liter Benzinäquivalent benötigt. Antriebsseitig stehen heute bereits verschiedenste Technologien zur Verfügung und werden laufend weiter entwickelt (z. B. Otto- und Dieselmotor, Elektromotor mit Batterien und / oder Brennstoffzellenenergiewandler und hybride Kombinationen). Bei den Treibstoffen sind – zumindest für einen mittleren Zeithorizont – die Erdölprodukte absolut dominant. Längerfristig können sie, zumindest teilweise, durch Erd- und Biogas, synthetische und Biotreibstoffe, Wasserstoff und Elektrizität ersetzt werden. Bezüglich Fahrzeugleichtbau sind zwei Ansätze einzeln und in Kombination möglich: Leichtbau durch Materialien mit geringer Dichte und Leichtbau durch intelligente Konstruktion, wobei Letzterem mehr Chancen zuzurechnen sind. Zwar «belohnt» die Automobilindustrie Lieferanten von Leichtbauteilen mit nur rund 1,5 € Mehrpreis pro eingespartem kg Bauteilmasse, aber der Komponentenhersteller intelligent konstruierter Bauteile kann selber Materialkosten einsparen.

Zusätzlich zu diesen Massnahmen können Informations- und Kommunikationstechnik dazu genutzt werden, den Verkehr zu lenken, zu verflüssigen, das System besser auszulasten oder Verkehr teilweise zu vermeiden und damit u. a. Energie einzusparen – mit positiven Nebeneffekten bezüglich Emissionen, Sicherheit und Kapazität. Erste Versuche, wie künftige Personenwagen zum Lastausgleich im Elektrizitätsnetz beitragen können, sind gegenwärtig in Arbeit (Smart Grid).

Wieso die öffentliche Hand diesen Bereich fördern soll

Durch die Globalisierung stehen die Schweizer Automobilzulieferer und Fahrzeughersteller für den ÖV-Bereich vor grossen Herausforderungen. Diese beiden Gruppen generieren ein volkswirtschaftlich relevantes Exportvolumen von jährlich rund 18 Mrd. CHF (Vergleich Uhrenindustrie: 14 Mrd. CHF). Ausserdem stammen viele Innovationen, die sich erfolgreich in der Mobilitätsindustrie etablieren konnten, aus der Schweiz. Es gilt, diese Spitzenstellungen von Schweizer Forschungsinstituten wie EMPA, ETH, PSI, und die Fachhochschulen in Bern und Luzern zu sichern und auszubauen.

	2011	2025	2050
Verbrauch PW-neu Flotte [l /100 km]	6,62	3,5	2,5
Fahrzeugmasse [kg]	1400	1200	700
Wirkungsgrad des Antriebsstrangs [%]	20	30	50
Anteil erneuerbare Energie [%]	5	20	75
Anteil rekuperierte Energie [%]	0	10	20

Tabelle 9 *Ausgewählte Ziele des Forschungsprogramms Verkehr. Diese Angaben beziehen sich auf die heutige Situation bei den Personenwagen. Die Erforschung und Entwicklung kleinerer, hoch effizienter (Nah-)Verkehrsmittel soll ebenfalls weiter vorangetrieben werden.*

Beitrag Konzept der Energieforschung des Bundes

Das Forschungsprogramm *Verkehr* spielt innerhalb des Konzepts der Energieforschung des Bundes im Schwerpunkt «Mobilität» naturgemäss die Hauptrolle, liefert zusätzlich aber auch Beiträge im Schwerpunkt «Energiesysteme», etwa im Bereich der Einbindung des Elektromobils ins Stromnetz (Smart Grid). Denkbar wären künftig aber auch die dezentrale Stromerzeugung und die Einspeisung via Verbrennungsmotor/-Generator bzw. Brennstoffzelle. Zu lösende Problemstellungen sind hier die Gesamtwirkungsgrade und die Systemlebensdauer der Energiewandler. Ein herkömmlicher Verbrennungsmotor im Automobil erreicht rund 8000 Betriebsstunden. Ungleich länger ist dagegen die Lebensdauer eines Energiewandlers in einem Kraftwerk.

Forschungsthemen 2013–2016

Mobilität ist ein Grundbedürfnis der Menschheit. Sie muss allerdings langfristig von ihren negativen Folgeeffekten – vor allem von den CO_2-Emissionen – befreit und entsprechend auf erneuerbare Energie umgestellt werden. Der Forschungsschwerpunkt des Forschungsprogramms *Verkehr* liegt daher beim Hauptverbraucher, dem motorisierten Individualverkehr. Daneben dürfen aber auch der Güterverkehr, der international stark wachsende Flugverkehr und der globale Schiffsverkehr – wo ein enormes Spar- und noch grösseres Emissionsminderungspotenzial vorhanden ist – nicht ausser Betracht gelassen werden.

Spezifische Forschungsziele

Das Forschungsprogramm Verkehr ist mit den Forschungsprogrammen Akkumulatoren, Biomasse und Holzenergie, Brennstoffzellen, Elektrizität, Netze und Verbrennung auch künftig bestrebt, energieeffiziente, nachhaltige Mobilitätslösungen zu generieren. Die langfristigen Ziele (Tabelle 9) lauten:

- Verbrauch der Personenwagen-Neuflotte unter 2,5 Liter/100 km;
- möglichst breite Substitution von Personenwagen im Nahverkehr durch den Langsamverkehr und den ÖV;
- Verlagerung des MIV in der Mittel- und Langstreckenmobilität auf den ÖV und die kombinierte Mobilität;
- Ersatz von fossiler Energie im Verkehr (Entkarbonisierung).

Verwertung und Nutzung der Resultate

Die Zusammenarbeit zwischen den Hochschulen, der Industrie und den Behörden wird intensiv gepflegt. So kann eine optimale Umsetzung der Forschungsresultate in konkrete Anwendungen und Produkte erzielt werden. Plattformen bzw. Foren in denen diese Umsetzung angestrebt wird sind u. a.:

- Intensive Zusammenarbeit mit dem BFE Marktbereich *Mobilität* und dessen Teilprodukten e'mobile, GasMobil, NewRide und VelDue;
- Autosalon Genf mit dem Stand Eco-Car, wo neue, effiziente Konzepte der Industrie und dem Publikum präsentiert werden;
- Vom Forschungsprogramm *Verkehr* alle zwei Jahre durchgeführte *Forschungstagung Verkehr*;
- Jährliche Forschungstagung «Automotiveday» der HTI Bern;
- Intensive Vortragstätigkeit.

3.2 Erneuerbare Energie

3.2.1 Biomasse und Holzenergie

Die Biomasse ist nach der Wasserkraft die zweitwichtigste einheimische erneuerbare Energiequelle, welche einen wichtigen Beitrag zur Versorgungssicherheit des Landes sowie zur Reduktion der CO_2-Emissionen leisten kann. Es gilt das vorhandene Biomassepotenzial unter den Schweizer Gegebenheiten optimal zu nutzen. Dementsprechend soll das Forschungsthema von öffentlichem Interesse sein, so dass eindeutige energetische, ökologische oder volkswirtschaftliche Vorteile erwartet werden. Das Forschungsprogramm fokussiert auf die drei Konversionstechnologien anaerobe Vergärung, Verbrennung und Vergasung und versucht, sowohl technische Hemmschwellen gegenüber neuen Technologien abzubauen, als auch bestehende Technologien weiterzuentwickeln und zu optimieren. Die hauptsächlichen technischen Hemmschwellen liegen sowohl bei den Kosten, als auch beim wirkungsvollsten (effektiven) Einsatz und bei der Effizienz. Eine Effizienzsteigerung wird neben dem Effekt der Kostenreduktion auch zu einer markanten Reduktion der Emissionen innerhalb des ganzen Systems führen. Des Weiteren wird dank höherer Effektivität und Effizienz der Beitrag zur Nutzenergie bei gleicher Menge Biomasse zunehmen.

Stand der Forschung

Für die Schweiz sind drei Konversionstechnologien von prioritärer Relevanz.

Anaerobe Vergärung: Bei der anaeroben Vergärung werden wichtige Erkenntnisse im Themenbereich Emissionen erarbeitet, welche in Minderungsmassnahmen resultieren sollen. Weiter werden Prozessoptimierungen vorgenommen, um zum einen den Energieverbrauch zu mini- und zum anderen den Gasertrag zu maximieren. Weitere wichtige Themen sind die Gärgutverarbeitung und -qualität.

Verbrennung: Bei der Verbrennung liegt das Hauptaugenmerk auf der Minderung von Schadstoffemissionen – sowohl durch Primär-, als auch durch Sekundärmassnahmen. Zudem sollen Verbrennungssysteme entwickelt werden, welche für verschiedene Brennstoffsortimente zum Einsatz kommen können und robustere Betriebseigenschaften (automatische Systeme, die vom Betreiber nicht beeinflussbar sind) aufweisen. Im Weiteren sind Techniken zur Stromerzeugung und WKK mit höheren Wirkungsgraden und tieferen Kosten zu entwickeln.

Vergasung: Bei der Vergasung stehen die Diagnostik und die Wirkungsgradsteigerung sowie die Gasaufbereitung im Vordergrund. Gleichzeitig wird die Entwicklung neuer Verfahren zur Vergasung von übriger [vii] Biomasse vorangetrieben. In den letzten Jahren wurden viele Grundlagen erarbeitet, so dass es nun gilt, diese an hochskalierten Anlagen zu verifizieren.

Neben der marktorientierten Weiterentwicklung in diesen drei technologiespezifischen Bereichen sind Ökobilanzen von verschiedenen Biomasseverwertungspfaden ein wichtiges Vergleichsinstrument, um einen effizienten und effektiven Einsatz der Biomasse zu gewährleisten. Dabei werden verschiedene Ko-Substrate, neue Kulturen und neue Konversionstechnologien berücksichtigt.

Wieso die öffentliche Hand diesen Bereich fördern soll

Die Biomasse ist die zweitwichtigste einheimische, erneuerbare Energiequelle. Der heutige Anteil der Biomasse am gesamten Energieverbrauch der Schweiz liegt bei knapp 5 %, der Anteil an der Stromproduktion beträgt knapp 2 %. Die verfügbare Menge an Biomasse in der Schweiz ist auf Grund der hohen Besiedlungsdichte, des geringen Anteils an produktiven Flächen und der schwierigen Topografie sowie der klimatischen Verhältnisse beschränkt. Gut 10 % des heutigen schweizerischen Endenergieverbrauchs könnten jedoch ökologisch vertretbar mit Biomasse gedeckt werden [viii]. Diese verfügbare Biomasse gilt es ressourceneffizient und energetisch sinnvoll zu nutzen und die Rückstände optimal wiederzuverwerten.

Die gekoppelte Strom- und Wärmeproduktion wird in Zukunft durch einen vermehrten Strombedarf an Bedeutung gewinnen. Biomasse kann als Regelenergielieferant fungieren, um die fluktuierende Stromproduktion anderer erneuerbarer Energie – z. B. Wind oder Photovoltaik – auszugleichen. Das Forschungsprogramm leistet einen wichtigen Beitrag zur Schonung nicht erneuerbarer Ressourcen, zur Versorgungssicherheit des Landes sowie zur Reduktion der CO_2-Emissionen.

	2011	2025	2050
Wärme	→	↘	↘
Strom	↗	↗	↗
Treibstoffe	↗	↗	↗

Tabelle 10 *Ausrichtung der Forschung im Forschungsprogramm Biomasse bezüglich der Produktion von Wärme, Strom und Treibstoff. Die Forschungsanstrengungen werden sich auf die Produktion von Strom und Treibstoff ausrichten.*

Beitrag zum Konzept der Energieforschung des Bundes

Das Forschungsprogramm trägt zu den Zielen aller vier Schwerpunkte des *Konzepts der Energieforschung des Bundes* bei: beim Schwerpunkt «Wohnen und Arbeiten» beispielsweise im Bereich Gebäudetechnologien zur Deckung des Energiebedarfs. Hier spielt die richtige Einbindung der Komponenten eine wichtige Rolle. Im Schwerpunkt «Prozesse» können bei der Produktion und Verarbeitung der Biomasse energetische und stoffliche Optimierungen umgesetzt werden. Zum Bereich «Mobilität» trägt das Forschungsprogramm mit der Substitution fossiler Treibstoffe (durch Strom aus Biomasse für Elektrofahrzeuge oder ggf. biogene Treibstoffe) bei. Eine zentrale Stellung nimmt das Forschungsprogramm im Schwerpunkt «Energiesysteme» ein: Biomasse ist gut geeignet zur Produktion von Strom, Wärme und Treibstoff. Mit dem Einsatz von Biomasse können fossile Energieträger substituiert werden.

Die Biomasse wird zukünftig alle vier Schwerpunkte miteinander verbinden, zumal mehr und mehr ein systemischer Ansatz in den Vordergrund rückt. Die Energiesysteme und Prozesse sind nicht losgelöst voneinander zu betrachten, sondern es resultieren Kombinationen, was die Anlagenintegration verstärkt in den Fokus rückt. Die Fragestellungen werden komplexer und umfassen das System als Ganzes und nicht nur einzelne Teilprozesse.

Forschungsthemen 2013–2016

Die Förderung von Pilot- und Demonstrationsanlagen von marktnahen Entwicklungen soll gezielt verfolgt werden. Für möglichst tiefe spezifische Kosten sind tiefe Investitionskosten und ein hoher Nutzungsgrad wichtige Voraussetzungen. Gleichzeitig gilt es auch bestehende Anlagen und Prozesse betreffend Betriebskosten zu optimieren und auch mit anderen Technologien – wo sinnvoll – zu kombinieren. Bei

der Erzeugung von Strom im Rahmen der Biomassenutzung fällt in erheblichem Masse Wärme an. Um die Energieausbeute bei der Nutzung von Biomasse zu optimieren, gilt es, diese Wärme zu nutzen (optimale Standorte, neue Konzepte, bessere Anlagenintegration). Um die Förderung der Verwendung von biogenen Abfällen, Hofdünger und Reststoffe, welche sich günstig auf die Nachhaltigkeit und Treibhausgasbilanz der ganzen Kette auswirken, zu stärken, sollen neue Technologien zur möglichst vollständigen Umsetzung der Abfallbiomasse und zur Wiederverwertung der Reststoffe entwickelt werden. Für die rasche Umsetzung ist eine Vernetzung von Industrie und Forschung nötig.

Spezifische Forschungsziele

- Entwicklung neuer Verfahren und Technologien;
- Hochskalierung oder Downsizing von marktnahen Verfahren;
- Systemoptimierung, -integration und -erweiterung;
- Qualitätssicherung.

Die technischen und ökonomischen Ziele leiten sich aus der Biomasse-Energiestrategie [ix] des BFE ab. Grundsätzlich soll das vorhandene Biomasse-Energiepotenzial möglichst vollständig, effizient und umweltschonend genutzt werden.

Die Biomasseforschung orientiert sich somit an folgenden Leitlinien:

- Max. Ausnutzung der Primärenergie;
- Reduktion von Treibhaus wirksamen Schadstoffemissionen;
- Bereitstellung von Nutzenergie mit hoher Wertigkeit (Exergie), wo immer möglich und sinnvoll;
- Förderung von marktnahen Technologien anhand Kosten-Nutzen Relationen;
- Vollständige nachhaltige Nutzung des inländischen Biomasse-Energiepotenzials;
- Systemischer Ansatz fördern: Sinnvolle Kombination von Biomassetechnologien mit anderen erneuerbaren Energiesystemen.

Die Prioritäten für die Produktion von Wärme, Strom und Treibstoff aus Biomasse sind in Tabelle 10 zusammengefasst.

Verwertung und Nutzung der Resultate

Das Spektrum der Biomassetechnologien reicht von ersten Laboranlagen bis zu bereits marktverfügbaren Verfahren. Entsprechend breit ist die Verwertung und Nutzung der Resultate ausgelegt. Bei marktverfügbaren Technologien geht es um Optimierungen und verbesserte Integrationen, wovon die Nutzenden und Herstellenden, z. B. auch im Rahmen von verbesserter Qualitätssicherung, profitieren. Verfahren im Labormassstab haben zum Ziel, Wissen zu generieren und vermehrt die Industrie mit einzubinden. Dies erfolgt untere anderem auch durch die Präsentation und die kritische Diskussion der Resultate innerhalb der Scientific Community. Alle zwei Jahre findet sowohl das Holzenergiesymposium, als auch die Forschungstagung zur «nicht-holzigen» Biomasse statt, welche vom Forschungsprogramm unterstützt bzw. durchgeführt werden. Auch der Einbezug von Verbänden, die Etablierung von projektbezogenen Begleitgruppen und die Mitwirkung von Forschenden in internationalen Gremien (IEA, EU) unterstützen die Projektentwicklung hin zum markttauglichen Produkt. Den rein technischen Resultaten stehen Ökobilanzen gegenüber, um Entscheidungsgrundlagen zu liefern und Perspektiven für Technologien und Prozesse aufzuzeigen. Nicht zu vergessen sind techno-ökonomische Betrachtungen, welche eine wichtige Rolle spielen, um eine Technologie auf dem Markt zu platzieren.

3.2.2 Geothermie

Der Begriff geothermische Energie umfasst drei Arten von Ressourcen, welche sich bezüglich Nutzung und Entwicklungsstand stark unterscheiden. Die Technik der Erdwärmesonden (EWS) zur Nutzung der **oberflächennahen Erdwärme** für die Beheizung von Gebäuden ist heute weitgehend ausgereift und die Systeme können sich erfolgreich am Markt behaupten. Dies zeigt, dass die von der öffentlichen Hand zu finanzierenden Forschungsbedürfnisse weitgehend abgedeckt sind. Diese Ressource ist praktisch flächendeckend verfügbar.

Die **hydrothermalen Ressourcen** (z. B. Heisswasser führende Aquifere) sind hingegen nur in speziellen Gebieten verfügbar. Je nach Temperatur des Wassers kann die Wärme direkt zu Heizzwecken genutzt werden, und bei sehr günstigen Verhältnissen ist auch eine Stromproduktion möglich. Wegen der geringen Zahl bisher realisierter Projekte besteht für Forschung und Entwicklung sowie Pilot- und Demonstrationsanlagen ein substanzieller Bedarf.

Für die Nutzung der **tiefen Geothermie** werden «Enhanced oder Engineered Geothermal Systems» (EGS) verwendet. Sie hat sowohl weltweit als auch in der Schweiz ein sehr grosses Potenzial, da solche Systeme in vielen Regionen grundsätzlich realisierbar sind. Die nachhaltige Gewinnung von Wärme aus einem in 5000 m Tiefe liegenden Felsvolumen ist eine enorme Herausforderung und erfordert Kenntnisse aus den verschiedensten Disziplinen. Die Forschung in diesem Bereich wird deshalb mit hoher Priorität sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene vorangetrieben.

Stand der Forschung

Bei der Niedertemperatur- oder untiefen Geothermie besteht noch ein begrenzter Forschungsbedarf für grosse und komplexe Anlagen, insbesondere für kombiniertes Heizen und Kühlen, im Bereich der tiefen EWS (> 300 m) sowie für Verbesserungen bezüglich Qualität, Effizienz und Wirtschaftlichkeit.

Bei der tiefen Geothermie – sowohl bei den hydrothermalen Ressourcen als auch bei den EGS – sind hingegen noch viele grundlegende Fragen offen, insbesondere in den Bereichen Prospektionsmethoden, Reservoir-Erschliessung, induzierte Seismizität sowie neue Tiefbohrverfahren. Diese Fragen werden weltweit sowohl in nationalen Programmen als auch in internationalen Arbeitsgruppen bearbeitet.

Wieso die öffentliche Hand diesen Bereich fördern soll

Die tiefe Geothermie hat einerseits ein grosses Potenzial für die inländische Erzeugung von Elektrizität und Wärme in der Form von Bandenergie, und andererseits ist die Entwicklung – insbesondere im Bereich der EGS – noch in einem frühen Stadium, sodass konkrete Ergebnisse erst mittel- und langfristig erwartet werden können. Für viele Fragen sind noch umfangreiche Forschungsarbeiten erforderlich. Aus diesen Gründen ist die Privatwirtschaft mit Investitionen noch zurückhaltend. Intensive Anstrengungen werden in internationalen Gremien unternommen (IEA, International Partnership for Geothermal Technology, Geothermal ERA-NET der EU), bei denen die Schweiz formell Mitglied ist.

Beitrag zum Konzept der Energieforschung des Bundes

Das Forschungsprogramm *Geothermie* leistet zu allen Schwerpunkten ausser «Mobilität» wichtige Beiträge. Die untiefe Geothermie ist mit der Bereitstellung von Niedertemperaturwärme vor allem für «Wohnen und Arbeiten» von Bedeutung, die Tiefengeothermie dagegen primär für die Bereiche «Energiesysteme» und «Prozesse». Neben der Biomasse wird die Geothermie in erster Linie als zukünftige Bereitstellerin von Grundlaststrom betrachtet.

Forschungsthemen 2013–2016

Bei der oberflächennahen Geothermie für den Bereich Wohnen und Arbeiten – insbesondere den Erdwärmesonden – kann in den letzten Jahren ein starkes Marktwachstum festgestellt werden. Der Forschungsbedarf in diesem Bereich konzentriert sich daher auf komplexe Systeme und spezielle Untersuchungen, beispielsweise an kombinierten Systemen zur Heizung und Kühlung. Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht auch bei der Bohrtechnik, wo Verfahren zur kostengünstigen und raschen Erstellung von Bohrlöchern beschränkter Tiefe die Wirtschaftlichkeit der Anlagen verbessern können.

Bei den hydrothermalen Quellen sind die möglichen Standortgebiete gegenüber den Erdwärmesonden wesentlich eingeschränkter. Hier besteht einerseits ein Bedürfnis nach vertieften Untersuchungen in Gebieten mit bekannten oder vermuteten Aquiferen und andererseits ein grosses Interesse an der Realisierung von Pilotanlagen mit begleitenden Forschungsarbeiten. Die Nutzung relativ tiefer Aquifere mit Wassertemperaturen von 100–130 °C stellt mittelfristig die einzige Möglichkeit dar, Elektrizität aus geothermischen Ressourcen in der Schweiz zu gewinnen. Besonderer Forschungsbedarf besteht bei den geophysikalischen Methoden der Prospektion, mit dem Ziel, durch eine Reduktion des Fündigkeitsrisikos die wirtschaftliche Machbarkeit von Projekten zu verbessern. Dazu gehört auch die verbesserte Auswertung vorhandener Daten aus alten Bohrungen und früheren seismischen Untersuchungen.

Langfristig liegt das grösste Potenzial zur Stromerzeugung in der Schweiz bei der tiefen Geothermie, also den Enhanced bzw. Engineered Geothermal Systems (EGS). Sowohl die Erfahrungen mit dem gestoppten Pilotprojekt Deep Heat Mining in Basel, aber auch die Erfolge in den Australien, Deutschland, Island und den USA zeigen, dass bei diesem Verfahren auch längerfristig noch ein grosser Forschungsbedarf besteht, welcher sowohl anwendungsorientierte als auch Grundlagenforschung umfasst und insbesondere Pilotprojekte, um die EGS-Technologie zu erproben. Das Verständnis der bei der Herstellung eines mehrere 1000 m tief liegenden Reservoirs ablaufenden Prozesse sind ein wichtiger Prüfstein für die Pilotanlagen, um planbare, reproduzierbare und kontrollierbare ingenieurwissenschaftliche Methoden zu entwi-

	2011	2025	2050
Kosten Tiefbohrungen bis 6000 m [%] (relativ)	100	80	65
Installierte Leistung für Stromproduktion [MW_{elek}]	0	55	550
Status EGS-Technologie	P+D[1)]-Anlagen	Marktein-führung	Grossan-lagen
Stromproduktion aus EGS und hydrothermal [GWh/a]	0	440	4400
Stromgestehungskosten [Rp./kWh]	40	25	12

Tabelle 11 Ausgewählte Ziele des Forschungsprogramms Geothermie
[1)]P+D: Pilot- und Demonstrationsprojekte

ckeln. Ein für die dicht besiedelte Schweiz besonders wichtiger Aspekt ist die durch die Reservoirstimulation induzierte Seismizität. Im Gebiet der tiefen Geothermie ist – wegen des grossen Aufwands – die internationale Zusammenarbeit besonders wichtig und sinnvoll.

Spezifische Forschungsziele

Ausgewählte Ziele des Forschungsprogramms sind in Tabelle 11 zusammengefasst.

Markterfolg und Kostendruck bei den EWS bedingen Instrumente zur Qualitätssicherung. Bei komplexen EWS-Anlagen zum Heizen und Kühlen sind Verbesserungen der Effizienz und der Wirtschaftlichkeit ein wichtiges Ziel.

Bei hydrothermalen Quellen soll eine Verbesserung der Datengrundlage zu einer Reduktion des Fündigkeitsrisikos führen. Neue Nutzungsprojekte sollen die Erfahrungen erweitern. Bei der Stromproduktion aus geothermischer Niedertemperaturwärme birgt die Umwandlungstechnologie ein grosses Optimierungspotenzial bezüglich Effizienz und Wirtschaftlichkeit.

Unter den vielen Herausforderungen der EGS-Technologie ist das Reservoir-Engineering zentral. Dazu gehören Modellierung, Stimulation und Analyse der Mikroseismik. Dieses Know-how soll international koordiniert erarbeitet werden.

Eine Reduktion der Bohrkosten ist ebenfalls zwingend für den langfristigen, wirtschaftlichen Erfolg der tiefen Geothermie.

Verwertung und Nutzung der Resultate

Bei den vom BFE geförderten Projekten sind Industriepartnerinnen und Industriepartner und/oder Anwendende involviert, was die Umsetzung der Resultate erleichtert. Zusätzlich organisiert die Programmleitung Anlässe für den Informations- und Erfahrungsaustausch («Round tables») oder unterstützt Dritte bei solchen Anlässen. Auf internationaler Ebene werden die Kanäle der EU, der IEA, der IPGT und andere genutzt und den Schweizer Akteurinnen und Akteuren zugänglich gemacht.

3.2.3 Industrielle Solarenergienutzung

Das Forschungsprogramm umfasst drei Hauptachsen: solare Thermochemie, Solarwärme in industriellen Prozessen sowie CSP-Kraftwerke (concentrating solar power, CSP).

Im Bereich der solaren Thermochemie (Temperaturen zwischen 1500 und 2000 °C) stehen Entwicklung und Optimierung von Verfahren für die Produktion von Wasserstoff und Synthesegas (Syngas) im Vordergrund. Die Wärmeproduktion für industrielle Prozesse mithilfe von Mittel- und Hochtemperatur-Solarsystemen (150 bis 250 °C) entwickelt sich laufend weiter und bietet eine interessante Alternative zu fossilen Energieträgern. CSP-Anlagen (Temperaturen zwischen 400 und 800 °C) befinden sich in der Vermarktungsphase und sind bereits teilweise wirtschaftlich einsetzbar. Unter dem günstigsten Szenario könnten CSP-Anlagen bis 2025 gesamthaft eine installierte Leistung von 100 GW erreichen. Ende 2010 lag die Leistung der bis dahin in Betrieb genommenen Anlagen bei 820 MW; diejenige der im Bau befindlichen und der geplanten Anlagen betrug 1,8 beziehungsweise 14,5 GW.

Stand der Forschung

Im Mittelpunkt der thermochemischen Forschung steht namentlich die Herstellung von Energieträgern durch die Umwandlung gewisser Materialien mithilfe von Sonnenenergie in speicher- und transportfähige Brennstoffe (Wasserstoff und Syngas). Gegenstand der Projekte im Bereich Solarwärmeproduktion für industrielle Prozesse sind die Optimierung von Systemen und Komponenten, Pilot- und Demonstrationsanlagen sowie Anlagen von industrieller Grösse. Bei der CSP-Forschung stehen die Leistungssteigerung der Komponenten (namentlich optischer Bauteile und Komponenten zur Wärmeübertragung) im Vordergrund mit dem Ziel, den Wirkungsgrad der Anlagen zu erhöhen und die Energiegestehungskosten zu senken.

Wieso die öffentliche Hand diesen Bereich fördern soll

In der solaren Thermochemie nimmt die Schweiz – namentlich dank den Aktivitäten der ETH Zürich und des PSI – eine weltweit führende Stellung ein. Ausserdem sind das SPF sowie Airlight und auch andere Privatunternehmen auf dem Gebiet der industriellen Prozesse und der CSP-Anlagen bestens positioniert. Die politische und finanzielle Unterstützung des Bundes ist ei-

	2011	2025	2050
Wirkungsgrad bei der Umwandlung von Solarenergie in chemische Energie			
Solarenergie → Zn [%]	15	30	35–40
Solarenergie → H_2 [%]	10	15	17–20

Tabelle 12 Ausgewählte Ziele des Forschungsprogramms Industrielle Solarenergienutzung

ne grundlegende Voraussetzung für die Bewahrung dieser Sichtbarkeit.

Sowohl in der Schweiz als auch weltweit bergen die drei oben genannten Bereiche ein grosses Potenzial, auch wenn die ökonomische Rentabilität erst kurz- bis mittelfristig (CSP), mittelfristig (Industriewärme) beziehungsweise mittel- bis langfristig (Thermochemie) erreicht werden dürfte. Während dieser Übergangszeit sind Finanzhilfen des Bundes unverzichtbar.

Beitrag zum Konzept der Energieforschung des Bundes

Die Forschungsbereiche dieses Programms lassen sich im Wesentlichen zwei der vier Hauptstossrichtungen der schweizerischen Energieforschung zuordnen:

- «Prozesse»: solare Thermochemie für die Herstellung von Materialien und für die Energiespeicherung sowie solare Prozesse zur Gewinnung von Hochtemperaturwärme für industrielle Prozesse;
- «Energiesysteme»: solare Thermochemie für die Produktion von Wasserstoff und Syngas (H_2/CO) im Hinblick auf die Herstellung von Flüssigtreibstoffen, CSP-Anlagen für die Stromproduktion sowie Energiespeicherung.

Forschungsthemen 2013–2016

In der Schweiz ist die solare Thermochemie hauptsächlich auf die Produktion von Zink mittels des thermochemischen ZnO/Zn-Zyklus ausgerichtet. Der zweite Bereich (industrielle Prozesse) zielt auf die Bereitstellung von Systemen ab, welche die Integration von Solarenergie in herkömmliche industrielle Produktionsprozesse ermöglichen. Auf dem Gebiet der CSP-Anlagen lautet das Ziel, in Nischenmärkten Fuss zu fassen und technologiespezifische Heliostaten / Konzentratoren, Absorber, Turbinen, Wärmetauscher und Software sowie Pilotanlagen und Ähnliches zu entwickeln.

Spezifische Forschungsziele

Solare Thermochemie (Tabelle 12)

- Abschluss der Forschungsarbeiten zum ZnO/Zn-Zyklus;
- Weiterentwicklung des Solarreaktors zur Thermo-Dissoziation;
- Optimierung des Prototypen für einen 100-kW-Solarreaktor und Konzipierung eines Reaktors von industrieller Grösse;
- Optimierung des Reaktors zur zur thermochemischen Brennstoff- und Syngas-Produktion im Hinblick auf die Herstellung von Flüssigbrennstoffen.

Hochtemperaturwärme für industrielle Prozesse

- Entwicklung leistungsfähigerer Systeme und Komponenten (z. B. Absorber), damit diese wettbewerbsfähig werden können;
- Mitwirkung der Schweiz bei der Erarbeitung einer europäischen und internationalen Norm für Absorberrohre in Parabolic trough-Systemen;
- Schaffung eines schweizerischen Kompetenz- und Forschungszentrums im Bereich konzentrierte Solarwärme;
- Realisierung mehrerer Projekte von industrieller Grösse in der Schweiz.

CSP-Anlagen

- Auf der Grundlage bestehender oder innovativer Technologien: Entwicklung von Anlagen (Turm-, Parabolrinnen-, Paraboloid- und andere Anlagen) und Komponenten (Konzentratoren, Absorber, Speichersysteme usw.), die hauptsächlich für den Export bestimmt sind;
- Verbesserung des Wirkungsgrads sowie Senkung der Kosten und der grauen Energie der Anlagen;
- Die Kosten für die Energiespeicherung mit neusten Speichertechnologien sollen von heute 2–3 €/kWh («Pebble bed storage») bis 2025 auf 1,5–2 €/kWh gesenkt werden. Das heute am meisten gebrauchte System für Energiespeicherung im Rahmen von CSP ist Flüssigsalz mit Kosten von 50 €/kWh.
- Die Kosten für die Energieerzeugung von sollen heute rund 0,14 €/kWh bis 2016 auf 0,1 €/kWh gesenkt werden (entspricht Grid parity);
- Vereinfachung von Bauweise und Unterhalt der Anlagen;
- Entwicklung eines umweltverträglichen und wirtschaftlichen Systems zur Energiespeicherung;
- Realisierung mehrerer Projekte von industrieller Grösse in der Schweiz.

Verwertung und Nutzung der Resultate

Die Ergebnisse der Forschungsarbeiten unter dem Programm werden über Symposien, Konferenzen und Seminare zum Thema Hochtemperatur-Solarwärme für industrielle Zwecke sowie im Rahmen der Arbeiten zum IEA-Programm SolarPACES sowohl in der Schweiz als auch im Ausland verbreitet.

Im Bereich der solaren Thermochemie sind aus den Forschungsergebnissen hervorgehende Anwendungen im grossen Massstab mittel- bis langfristig zu erwarten. Auf den Gebieten industrielle Prozesse und CSP-Anlagen hat die Anwendungsphase bereits begonnen.

3.2.4 Photovoltaik

Die Photovoltaik befindet sich in einer dynamischen Phase zwischen Technologieentwicklung, globaler Industrialisierung und grossmassstäblicher Umsetzung. Sie besitzt mittel- und langfristig das grösste Potenzial der erneuerbaren Stromversorgung.

Auf der Basis eines Systemansatzes hat sich in den letzten 25 Jahren eine starke Schweizer Position in verschiedenen Gebieten der Photovoltaikforschung herausgebildet: Im Vordergrund stehen die Entwicklungen von mehreren Dünnschicht-Technologien, welche seit je den Schwerpunkt der Schweizer Photovoltaikforschung bilden.

Ausgehend von Arbeiten an neuen Solarzellen-Konzepten wurden diese sukzessiv in die industrielle Umsetzung übergeführt. Arbeiten zur elektrischen Systemtechnik, zur Gebäude- und zur Netzintegration runden das Forschungsprogramm ab.

Heute findet nebst der Forschung an Instituten und Hochschulen auch seitens der Industrie eine intensive Technologieentwicklung statt, welche mittlerweile zu einer bedeutenden Photovoltaik-Industrie entlang der ganzen Wertschöpfungskette mit rund 2 Mrd. CHF Jahresumsatz geführt hat. Der Mittelbedarf für ein weiterhin schlagkräftiges Photovoltaik-Forschungsprogramm beträgt mindestens 30 Mio. CHF/Jahr, davon 15–20 % durch das BFE.

Stand der Forschung

Die Schweiz hält in verschiedenen Bereichen der Photovoltaik-Forschung eine internationale Spitzenposition inne. Das PV-Lab der EPFL hat bei den amorphen und mikromorphen Silizium-Dünnschichtsolarzellen grossen Einfluss auf die industrielle Umsetzung und forscht intensiv an der weiteren Erhöhung der Zellenwirkungsgrade und der Reduktion der Kosten.

In letzter Zeit ist das PV-Lab ebenfalls bei der Forschung und Entwicklung von HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin layer)-Solarzellen aktiv. Die EMPA erzielt für CIGS-Solarzellen regelmässig Rekordwirkungsgrade und treibt die pilotmässige Umsetzung einer neuartigen Beschichtungsanlage für CIGS-Solarzellen intensiv voran. In der Grundlagenforschung von organischen Solarzellen und neuen Konzepten ist die EMPA ebenfalls aktiv. Seit rund 20 Jahren entwickelt und forscht die EPFL im Bereich der Farbstoff-Solarzellen.

Die Entwicklung von kompletten Integrationssystemen mit neu entwickelten Photovoltaik-Gebäudeelementen oder von Integrationssystemen für Standardmodule verläuft in der Schweiz im internationalen Vergleich sehr erfolgreich.

Das Photovoltaiklabor der BFH-TI Burgdorf und das ISAAC-Institut der SUPSI konnten sich während der letzten zwei Jahrzehnte in den Bereichen Wechselrichter- und Systemtechnik sowie Photovoltaikmodule und Gebäudeintegration als Kompetenzzentren von internationaler Ausstrahlung etablieren.

Wieso die öffentliche Hand diesen Bereich fördern soll

Um das Potenzial der Photovoltaik voll zu entfalten, ist eine weitere Reduktion der Stromgestehungskosten dieser Technologie notwendig. Dazu sind die bestehenden Solarzellen-Technologien weiter zu entwickeln, sowohl in Bezug auf ihren Wirkungsgrad, ihre elektrischen und optischen Eigenschaften, ihre industrielle Umsetzung als auch auf ihre Kosten.

Neue Materialkombinationen und Konzepte für künftige Solarzellen-Technologien müssen erforscht und die industriellen Verfahren entwickelt werden. Auf der Systemebene braucht es Lösungen für eine erfolgreiche Integration im Gebäude und hohe Solarstrom-Anteile im elektrischen Netz. Die notwendige Entwicklung der Photovoltaik stellt hohe Ansprüche an die wissenschaftlich-technischen Kompetenzen und die erforderliche Laborinfrastruktur und bedingt damit einen grossen und kontinuierlichen Einsatz der öffentlichen Forschungsinstitutionen auf allen Ebenen. Dies ist ohne Förderung durch die öffentliche Hand nicht möglich.

Beitrag zum Konzept der Energieforschung des Bundes

Die Photovoltaik tangiert verschiedene Schwerpunkte des *Konzeptes der Energieforschung des Bundes*. Der Hauptbeitrag liegt beim Schwerpunkt «Energiesysteme» und betrifft Lösungen für die künftige Stromversorgung. Darüber hinaus artikuliert sich die Umsetzung der Photovoltaik zu einem gewichtigen Teil im Gebäudebereich und trägt damit auch massgebend zum Schwerpunkt «Wohnen und Arbeiten» bei. Punktuell finden zudem Beiträge zum Schwerpunkt «Mobilität» statt.

	2011	2025	2050
Technische Ziele			
η Modul in der Produktion [%]			
kristalline Zellen	14–20	> 21	> 25
Dünnschichtzellen	7–12	12–17	20
organische Zellen	5	10	15
Ökonomische Ziele			
Systempreis [CHF/W]	4	1,5	0,8
Stromgestehungskosten [CHF/kWh]	0,35	0,15	0,09

Tabelle 13 Ausgewählte Ziele des Forschungsprogramms Photovoltaik

Forschungsthemen 2013–2016

Die Ziele der Schweizer Photovoltaik-Forschung können zusammengefasst werden mit Kostenreduktion durch neue Technologieansätze, Wirkungsgraderhöhung der einzelnen Komponenten und des Systems, insbesondere von Solarzellen und Solarmodulen, Reduktion von Material- und Energieeinsatz, Umsetzung in industrielle Verfahren und Produkte, Zuverlässigkeit und Qualitätssicherung, langfristige Optionen für künftige Solarzellenkonzepte sowie Integration in Gebäude und das elektrische Netz.

Spezifische Forschungsziele

- Weiterentwicklung von Dünnschicht-Solarzellen (Effizienzsteigerungen und Kostenreduktion);
- Entwicklung von Hocheffizienzzellen (z. B. HIT-Zellen, Photonenmanagement);
- Materialoptionen für neue Solarzellenkonzepte (z. B. organische Solarzellen);
- Industrielle Fertigungsprozesse für verschiedene Dünnschichtsolarzellen (z. B. Silizium, CIGS);
- Neue multifunktionale Produkte für die Gebäudeintegration;
- Optimierung der Einbindung von Solardächern und -fassaden in die Gebäudetechnik;
- Netzintegration von hohen Anteilen von Photovoltaikstrom;
- Übergreifendende Zusammenarbeit zur Optimierung der Energieerzeugung in Kombination mit andern Erneuerbaren, insbesondere bezüglich Speicheroptionen und Verbrauchssteuerung.

Die Photovoltaik bewegt sich in einem globalisierten Marktumfeld. Die technischen und ökonomischen Ziele orientieren sich damit an international anerkannten «Benchmarks», z. B. der EU Photovoltaic Technology Platform oder der IEA. Dies gilt insbesondere für die in der Schweiz mittlerweile stark ausgeprägte Zulieferindustrie und den Maschinenbau. Ausgewählte technische und ökonomische Ziele des Forschungsprogramms sind in Tabelle 13 zusammengefasst.

Verwertung und Nutzung der Resultate

Die Schweizer Photovoltaik deckt einen Grossteil der Wertschöpfungskette mit industriellen Prozessen, Produkten und Dienstleistungen ab. Damit ist auch in Zukunft die Grundlage für eine Verwertung und Nutzung der Forschungsresultate gegeben. Zur Beschleunigung der Umsetzung soll der Transfer von der Forschung in die Industrie institutionell gestärkt werden, indem entsprechende Strukturen geschaffen werden. Die gut etablierte Zusammenarbeit mit der Industrie und der Elektrizitätswirtschaft kann dadurch gestärkt werden. Der Austausch im nationalen Rahmen und mit den relevanten Verbänden soll weiterhin regelmässig stattfinden. Ausserdem ist die Schweiz aktiv in die relevanten internationalen Netzwerke und Programme, insbesondere der EU und der IEA, eingebunden und partizipiert regelmässig an deren Projekten. Diese internationale Zusammenarbeit ist für die Schweizer Photovoltaik von zentraler Bedeutung und erfolgt breit abgestützt. Damit soll der Anschluss an die rasche internationale Entwicklung sichergestellt werden.

3.2.5 Solarwärme und Wärmespeicherung

Gegenstand des Forschungsprogramms ist die Solarwärme zwischen 0 und 150 °C. Im Vordergrund stehen die Deckung des Wärmebedarfs im Gebäudebereich durch aktive Solarsysteme sowie kompakte Solarwärmespeicher. Ein bedeutender Anteil des schweizerischen Energiebedarfs – insbesondere im Temperaturbereich zwischen 10 und 60 °C – kann durch Solarwärme gedeckt werden.

Stand der Forschung

Der Forschungsstand auf den Gebieten Solarwärme und Wärmespeicherung lässt sich wie folgt zusammenfassen:

1. **Kollektoren:** Die Suche nach geeigneten Polymeren für solarthermische Anwendungen ist von vorrangiger Bedeutung. Auf dem Markt findet gegenwärtig eine Diversifizierung hin zu Aluminiumabsorbern statt. Die Qualität von Solarglas kann weiter verbessert werden. In der Regel ist das Glas jedoch qualitativ gut, sofern es von den Kollektorherstellern sorgfältig ausgewählt wurde. Untersuchungen zur Problematik der Überhitzung sind nötig.

2. **Neue Eigenschaften:** Die Dünnschichttechnologie kann dem Glas oder dem Absorber besondere Eigenschaften verleihen.

3. **Heizungssysteme:** Da eine rein solare Heizung gegenwärtig kaum realisierbar ist, steht die optimale Kombination verschiedener Systeme im Vordergrund.

4. **Tages- und saisonale Speicherung:** Dieser Aspekt ist auf lange Sicht entscheidend. Bis heute fehlt ein Material von hoher Dichte, das minimalste thermische Speicherverluste aufweist.

5. **Produktionsabschätzung:** Die Optimierungsfunktion bestehender Simulationstools ist zu verbessern.

6. **Architektonische Integration:** Im Vordergrund stehen hier Farbe und Dimension der Sonnenkollektoren.

7. Schwerpunkte auf **internationaler Ebene** sind: Grosse Solarsysteme, solare Kühlung, Lebensdauer von Vakuumröhren, Hybrid- und Luftkollektoren, Kombination von Solarenergie und Wärmepumpen sowie Solarenergie für Industrieprozesse.

Wieso die öffentliche Hand diesen Bereich fördern soll

In der Schweiz ist der Markt für diesen Bereich noch nicht ausreichend entwickelt. Die Unternehmen des Sektors (KMU mit 10 bis 100 Mitarbeitenden) stehen unter dem Druck der Importeure. Das Potenzial für Einsparungen bei den Energieimporten in Form von Heizöl, Gas und sogar von Strom durch Solarthermie ist sehr gross. In einem ersten Schritt muss die öffentliche Hand die Entwicklung qualitativ hoch stehender Technologien und deren Etablierung auf dem inländischen Markt unterstützen.

Beitrag zum Konzept der Energieforschung des Bundes

Das Forschungsprogramm *Solarwärme und Wärmespeicherung* trägt dazu bei, den Bedarf an Warmwasser und Heizwärme im Gebäudesektor sowie an Solarkühlung zu decken und die Ziele des Schwerpunkts «Wohnen und Arbeiten der Zukunft» zu erreichen.

Forschungsthemen 2013–2016

Die prioritären Themen lauten:

- Verbesserte Kollektoren zur Erhöhung des Solarertrags;
- Verbesserte Speicher und Langzeitspeicherung;
- Optimierte kombinierte Heizsysteme mit Solarthermie-Komponenten;
- Planungswerkzeuge mit erweiterter Funktionalität.

Spezifische Forschungsziele

Solarthermische Kollektoren

- Entwicklung von Beschichtungen, um spezifische Eigenschaften wie beispielsweise die Thermochromie zu verbessern;
- Verbesserung der Dauerhaftigkeit des Solarkreislaufs einschliesslich der Begrenzung der Auswirkungen der Stagnation;
- Untersuchung neuartiger Kollektoren (Glas, Polymere, ...).

Wärmespeicherung

- Verbesserung von Wasserspeichern mit dem Ziel, die Wirkung der Schichtung zu erhöhen oder die Exergie-Verluste zu verringern;
- Erforschen von Kombinationen von Speichern mit PCM um die Speicherdauer und / oder die Produktivität der Kollektoren zu erhöhen;
- Untersuchen von Speicherlösungen mit Sorptionsverfahren (Zeolith, NaOH) und Kombinationen von Materialien;
- Charakterisieren von Materialien zur thermochemischen Speicherung und zum Aufbau eines neuen Forschungsschwerpunkts in diesem Bereich, um langfristig Speicherlösungen mit hoher Energiedichte zu erwirken.

Systeme

- Optimierung der Kombinationen «Solar und Wärmepumpe»;
- Untersuchung der Umweltauswirkungen von Solarkollektoranlagen und Aufzeigen, wie diese reduziert werden können;
- Studie zur Rolle der kurz- und langzeitigen Wärmespeicherung in Anergienetzen (Smart Networks), mit zentralen als auch dezentralen Anordnungen.

Planungshilfsmittel und Software-Projekte

- Erweiterung der Funktionalität von Simulationswerkzeugen in Richtung kombinierter Solarsysteme und Systemoptimierung;
- Einbindung der Strahlungsprognose basierend auf Satellitendaten in ein Planungshilfsmittel wie Meteonorm.

Die technischen und ökonomischen Ziele lauten (Tabelle 14):

- Kontinuierliche Verbesserung der Leistung (durchschnittlicher Wirkungsgrad

	2011	2025	2050
Mittlere Koeffizienten A0/A1 [W/m^2 K]			
unverglast	0,90/14,0	0,95/10,0	0,97/5,0
verglast	0,85/3,9	0,88/3,0	0,90/2,5
Vakuumröhren	0,75/1,9	0,80/1,5	0,88/1,0
mit Konzentration C100	0,67/1,0	0,70/0,90	0,85/0,50
Kosten für Solarwärme [Rp./kWh]			
Schwimmbad	5–15	5–10	5–10
Warmwasser, 70 % solar	20–30	15–20	10–15
Heizung, 40 % solar 10 kW	25–40	20–30	15–20
Heizung 100 % solar 10 kW	40–100	25–35	15–20

Tabelle 14 *Ausgewählte Ziele des Forschungsprogramms Solarwärme und Wärmespeicherung*

von 50 %) und der Lebensdauer von Kollektoren (mindestens 20 Jahre ohne Korrosion);
- Verständnis der Funktionsweise sämtlicher Kollektortypen als Wärmepumpenquelle;
- Standardisierung schlüsselfertiger Systeme zur Verringerung der Kosten und des Risikos fehlerhafter Installationen;
- Verfügbarkeit optimierter Standardlösungen für Wärmepumpen-Solar-Kombinationen mit konkurrenzfähigen Jahreskosten im Vergleich zu einer Wärmepumpe allein, aber mit einem höheren Anteil an erneuerbarer Energie (Jahresarbeitszahl > 5);
- Gewinnung von Solarwärme für Gebäude zu wettbewerbsfähigen Kosten;
- Aufzeigen einer technologischen Lösung für die langfristige Speicherung in einem dichten Material für Einfamilienhäuser (vorerst ohne ökonomische Zielvorgabe);
- Realisierung einer Solar-Grossanlage mit unterirdischem Saisonspeicher und Potenzialabschätzung für diesen Anlagetyp;
- Beteiligung an der Entwicklung der solaren Kühlung mit allfälliger Kopplung an Solar-Kombisysteme zur Nutzung von Wärmeüberschüssen im Sommer.

Verwertung und Nutzung der Resultate

Die Ergebnisse der Forschungsarbeiten – namentlich jener des SPF und der HEIG Yverdon – können von den an den Projekten beteiligten Herstellern unmittelbar genutzt werden.

Planungsbüros, die Anlagen konzipieren, können sich über Hilfsmittel wie Polysun oder im Rahmen internationaler und nationaler Konferenzen und Tagungen (EuroSun, OTTI, ISES-SWC, CISBAT, SPF-Industrietag, BFE-WP-Tagung Burgdorf) weiterbilden.

Gemeinsam mit Startups können Projekte mit Modellcharakter realisiert werden, die in der Regel von den betreffenden Hochschulen (EPFL, HEIG Yverdon, HSR Rapperswil) aufgegleist werden. So kann auf der Grundlage der Forschungsarbeiten und Patente, die aus dem Forschungsprogramm hervorgehen, die Gründung von Unternehmen im Bereich Solarthermie gefördert werden.

3.2.6 Talsperren

Die Sicherheit der Stauanlagen ist in erster Linie eine Frage der Standsicherheit der Bauwerke. Die Hauptbauwerke Dämme, Mauern oder Flusswehre (Talsperren) stehen zwar immer im Vordergrund, aber ebenso wichtig und meist schwieriger zu beurteilen sind der Untergrund und das Widerlager der Talsperre sowie häufig die eingestauten Hänge des Stauraumes. Im Fokus des Forschungsprogramms liegen aber auch die Nebenanlagen für Hochwasserentlastung sowie Mittel- und Grundablass. Das Forschungsprogramm untersucht dabei nicht in erster Linie energetische Fragestellungen, sondern sicherheitsrelevante Aspekte im Zusammenhang mit Talsperren.

Stand der Forschung

Nachdem in den 80er-Jahren in den Bereichen Erdbebenverhalten von Talsperren, Sicherheit bei Hochwassern, Bruchmechanik und Verhalten von felsigen Widerlagern geforscht wurde – und auch entsprechende Resultate erzielt wurden –, ist die Talsperrenforschung in der Schweiz ab Mitte der 90er-Jahren stark zurückgegangen. Lag der Fokus zu Beginn noch auf der Bestimmung des kontinuierlichen Soll-ist-Vergleichs (Sollverhaltens) von Talsperren, steht seit 10 Jahren die Forschung zu Quellreaktionen in Betonmauern im Zentrum. Hierzu besteht allerdings – wie im Bereich Talsperren generell – keine internationale Forschung. Die einzige Ausnahme ist «The Dam Safety Interest Group (DSIG)», welche sich primär aus Talsperrenbesitzern zusammensetzt. Die Schweiz ist dabei nicht vertreten. Das EU-Projekt NW-IALAD (Network Integrity Assessment of Large Concrete Dams), 2002–2005, an welchem die Schweiz hingegen beteiligt war, sollte Forschende und Fachspezialisten vernetzen und Forschungsbedürfnisse identifizieren, um dann in einer zweiten Phase eine koordinierte Forschung auf europäischer Ebene voranzutreiben. Aufgrund fehlender Bereitschaft der Beteiligten, eine Koordinatorin oder einen Koordinator zu stellen, konnte das Projekt nach der erfolgreichen ersten Phase nicht fortgesetzt werden.

Wieso die öffentliche Hand diesen Bereich fördern soll

Das BFE beaufsichtigt den Vollzug der Verordnung über die Sicherheit der Stauanlagen und vollzieht die dem Bund direkt übertragenen Aufgaben.

Durch die Alterung der Bauwerke können neue, früher nicht bekannte Phänomene auftreten. Auch Veränderungen in der Umwelt können neue Fragestellungen aufwerfen.

Es ist unabdingbar, dass in der Schweiz das notwendige Wissen vorhanden ist, in diesem Zusammenhang auftauchende Fragestellungen zuverlässig bearbeiten zu können. Es müssen genügend qualifizierte Fachpersonen bei Betreibern, Planern, aber auch bei den Aufsichtsbehörden vorhanden sein, um dieser Aufgabe gewachsen zu sein.

Es geht also einerseits darum, das technische Wissen betreffend Stau- und ihrer Nebenanlagen zu mehren, aber auch um die Ausbildung jüngerer Ingenieurinnen und Ingenieure. Darüber hinaus sind Tal-

sperren Bestandteil der Infrastrukturen, die die Stromversorgung sicherstellen. Die Gewährleistung dieser Versorgungssicherheit ist eine zentrale Aufgabe des BFE. Daher muss sichergestellt werden, dass das BFE auch in Zukunft das notwendige Wissen besitzt, um die ihm zugewiesenen Aufgaben erfüllen zu können.

Durch Forschungs- oder Entwicklungsaufträge kann das BFE zudem zu Wissensvermehrung und Weiterbildung wesentlich beitragen. Insbesondere muss es Untersuchungen anstossen, die aus seiner Sicht notwendig sind, von der Privatwirtschaft aber nicht angegangen werden.

Beitrag zum Konzept der Energieforschung des Bundes

Da das Forschungsprogramm in erster Linie sicherheitsrelevante Fragen behandelt, liefert es nicht direkt Beiträge zu den im *Konzept der Energieforschung des Bundes* dargelegten energetischen Zielsetzungen. Da es aber einerseits zur Sicherheit wichtiger Infrastruktur beiträgt und andererseits Fragen behandelt, die für den Ausbau von Speicherseen wesentlich sind, ist der indirekte Beitrag zum *Konzept der Energieforschung des Bundes* gegeben.

Forschungsthemen 2013–2016

Die Erneuerung bestehender Stauanlagen oder auch deren Rückbau einschliesslich der Behandlung der Sedimente sind Themen, die in Zukunft angegangen werden müssen.

Wichtige Impulse gehen aber auch von der Gesellschaft aus. Sie erwartet heute eine weitgehende Sicherheit. Themen, die in diesem Zusammenhang auftauchen sind die seismische Belastung oder der Einsatz von grossen Stauanlagen für den Hochwasserschutz.

Die Sicherstellung der Energieversorgung wirft Fragen auf, die mit einer Leistungserhöhung und veränderter Bewirtschaftung bestehender Anlagen zu tun haben oder mit Stauraumvergrösserungen bzw. –entlandungen. Auch dieser Komplex beinhaltet eine Reihe offener Fragen.

Spezifische Forschungsziele

Spezifische Talsperrenforschung in der Schweiz findet in zwei Aufgabenbereichen statt, welche beide massgeblich durch das BFE unterstützt werden.

- *Quellen von Beton*: Zurzeit läuft eine auf vier Jahre angelegte Forschungsarbeit an der EPFL, die gemeinsam vom BFE und Swisselectric Research finanziert wird. Es geht dabei darum, die Verformungen bei Alkali-Silikat und Alkali-Silizium-Reaktionen auch unter Last in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern zu bestimmen. Dies ist eine Weiterführung von seit acht Jahren an der EPFL laufenden Forschungsvorhaben, die vom BFE finanziert werden.
- *Dammbruch bei Anlagen mit kleinem Stauvolumen*: Dieses, ebenfalls auf vier Jahre ausgelegte Forschungsprojekt wird ebenfalls an der EPFL durchgeführt, wobei das letzte Jahr für den Transfer der Ergebnisse in die Praxis reserviert ist.

Weitere unmittelbare Bedürfnisse für das BFE liegen in der Verstärkung bzw. Initialisierung von Forschungsprojekten in den folgenden Bereichen:

- Alterung von Staumauerbeton, insbesondere Alkali-Aggregat und ähnliche Reaktionen. Die bestehende Begleitgruppe soll konsolidiert und das Forschungsprogramm erweitert werden;
- Abschätzung von extremen Hochwasserereignissen. Eine Begleitgruppe soll gebildet und ein Pflichtenheft erarbeitet werden;
- Grossräumige Geländeüberwachung: Auch hier soll eine Begleitgruppe gebildet und ein Pflichtenheft erarbeitet werden;
- Soll-Ist-Vergleich bei statistischen Vorhersagemodellen;
- Dynamische Lastannahmen (Seismizität);
- Starkbebenmessnetz Staumauer: Hier geht es um die Erneuerung des bestehenden Netzes mit Fokus auf Betonmauern.

Verwertung und Nutzung der Resultate

Bei einigen im Rahmen des Forschungsprogramms behandelten Themen ist das Wissen zwar grundsätzlich vorhanden, ist aber entweder bei den Anwendenden noch nicht bekannt, oder muss sogar für eine Anwendung noch aufbereitet werden. Dieser Transfer des Wissens, das mit den Forschungsprojekten erzielt wurde, hin zu den Anwendenden durch zusätzliche technische Berichte und Einführungsveranstaltungen stellt ein wesentliches Element des Forschungskonzepts für Talsperren dar.

Über die Forschungsresultate wird durch die forschenden Institutionen berichtet, und zwar durch Fachpublikationen, öffentliche Vorträge, Beiträge an internationale Konferenzen sowie im Rahmen von Fachveranstaltungen und Workshops.

3.2.7 Wasserkraft

Wasserkraft trägt in der Schweiz rund 55 % zur Stromproduktion bei – mehr als die Hälfte davon ist Energie aus Speicherkraftwerken. Dies ist die wertvollste überhaupt, weil sie innerhalb von Minuten in grossen Kapazitäten bereitgestellt werden kann. Die grossen Potenziale sind weitestgehend erschlossen. Allerdings führen Klimaänderungen und Gewässerschutzauflagen zu einer Reduktion der Erzeugung. Diese gilt es durch weiteren Ausbau und Erweiterungen mehr als zu kompensieren. Zusätzlich gibt es noch ungenutzte Potenziale im Bereich kleiner Wasserkraftanlagen.

Das Ziel des Forschungsprogramms ist die Förderung der weitestgehenden Nutzung des schweizerischen Wasserkraftpotenzials unter einer ganzheitlichen Betrachtungsweise.

Stand der Forschung

Forschung im Bereich Grosswasserkraft wird sowohl von der ETH, als auch von Universitäten und Fachhochschulen betrieben. In vielen Projekten bestehen Partnerschaften mit der Wasserkraftindustrie – einerseits mit den Betreibern der grossen Wasserkraftwerke, und andererseits mit den Herstellern von Turbinen und anderen Ausrüstungskomponenten.

Im Bereich Kleinwasserkraftwerke sind dagegen kaum Betreiber beteiligt. Hier sind dafür eine Reihe von Ingenieurbüros und kleineren Herstellern von einzelnen Komponenten an den Forschungsarbeiten beteiligt.

Wieso die öffentliche Hand diesen Bereich fördern soll

Die Wasserkraft in der Schweiz hat eine enorme volkswirtschaftliche Bedeutung und ist eng verknüpft mit der Sicherung der langfristigen Energieversorgung. Wasserkraft und insbesondere Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke gewinnen auch zunehmend an Bedeutung im europäischen Strommarkt, wo enorme Mengen an Elektrizität aus nicht regulierbarer erneuerbarer Energie gespeichert werden müssen.

Aufgrund der komplexen Einbindung in viele Bereiche und auch aufgrund der Tatsache, dass Wasserkraft Naturräume und Landschaften beeinflusst, muss die Öffentlichkeit einen Einfluss auf diese Forschungstätigkeiten wahrnehmen.

Beitrag zum Konzept der Energieforschung des Bundes

Im Rahmen des *Konzepts der Energieforschung des Bundes* ist die Wasserkraftforschung ein wesentlicher Bestandteil im Bereich «Energiesysteme der Zukunft». Zusätzlich trägt die Wasserkraft die Hauptlast in den Bereichen der elektrischen Systemdienstleistungen, der Bereitstellung von Spitzenenergie und der Energiespeicherung. Das Leitungsnetz, insbesondere der weitere Ausbau und der Betrieb müssen mit der Entwicklung der Wasserkraftnutzung und der grossen Speicherkraftwerke abgestimmt sein.

Forschungsthemen 2013–2016

Die Stromerzeugung aus Wasserkraft in der Schweiz wird durch Klimaänderung (Abschmelzen der Gletscher, Speicherverlandung) und Gewässerschutzmassnahmen (Restwasser, Schwall- / Sunk-Auswirkungen) zunehmend beeinträchtigt. Um die Erzeugung auf dem heutigen Niveau zu halten bzw. in der Summe noch weiter zu steigern, müssen bauliche und betriebliche Ausgleichs- und Gegenmassnahmen erforscht und in der Praxis umgesetzt werden. Auch bei Fragestellungen rund um die Thematik Gewässer- und Landschaftsschutz und Entwicklung der Wasserkraft besteht Forschungsbedarf. Der stark steigende Bedarf an Speicherkapazität und mehr betrieblicher Flexibilität beim Einsatz der Speicher – d. h. der Pumpen und der Turbinen – erfordert eine neue Auslegung der hydraulischen und maschinellen Komponenten auf Teillastbetriebszustände und wesentlich häufigere Lastwechsel als dies in der Vergangenheit der Fall war. Im Zug der anstehenden Modernisierung, Teilerneuerung und Erweiterung vieler Speicherkraftwerke bestehen viele offene Fragen, deren Erforschung wesentlich zur Verbesserung der Qualität der anstehenden Massnahmen und zu einer deutlichen Leistungs- und Produktionssteigerung beitragen werden.

Im Bereich der kleinen Wasserkraft sind die theoretischen Potenziale zwar inzwischen bekannt, die tatsächlich realisierbare Nutzung muss aber noch besser eingegrenzt werden. Für einzelne technische Komponenten gibt es noch Verbesserungspotenziale.

Spezifische Forschungsziele

Anders als andere Technologien ist die Wasserkraftnutzung weitestgehend ausgereift und es geht weniger um die Lösung grundsätzlicher Probleme als um die Anpassung der Systeme an die sich über längere Zeiträume verändernden Rahmenbedingungen. Dazu sind Anlagen so zu konzipieren, dass sie über ihre sehr lange Lebensdauer von 40 und mehr Jahren wirtschaftlich, technisch zuverlässig und ökologisch verträglich betrieben werden können. Technisch gesehen müssen die Hochdruckwasserkraftanlagen – also Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke – an die stark schwankenden Betriebsbedingungen und an die Einflüsse aus Klimaänderung und Gewässerschutzauflagen angepasst werden.

Konkret muss z. B. erforscht werden, wie die Speicherverlandung auf ein langfristig akzeptables Mass begrenzt werden kann oder welche Sanierungsmöglichkeiten für Schwall- / Sunk-Strecken trotz steigender Nachfrage nach Speicherkapazität und Spitzenstrom aus gewässerökologischer,

wirtschaftlicher und betrieblicher Sicht akzeptable Lösungen ermöglichen.

Im Bereich der kleinen Kraftwerke müssen kostengünstigere technische Standardlösungen entwickelt werden. Ökonomisch gesehen ist es wichtig, dass die finanziellen Risiken über die sehr langen Abschreibungszeiträume besser eingeschätzt werden und Wasserkraftanlagen auf sich ändernde Rahmenbedingungen flexibel reagieren können. Dazu ist die Miteinbeziehung von Unsicherheiten und Risiken z. B. bei Hydrologie oder Strompreisen in die Planungsmethoden zu verbessern.

Verwertung und Nutzung der Resultate

Die unmittelbare Verwertung der Resultate der Wasserkraftforschung ist sichergestellt, weil im Bereich der Grosswasserkraft Betreibergesellschaften an den Forschungsarbeiten beteiligt sind bzw. diese aufgrund akuter Fragestellungen mitinitiieren. Die Ergebnisse der Dissertationen werden im Rahmen von wissenschaftlichen Publikationen und nationalen / internationalen Tagungen und Workshops vorgestellt.

Im Bereich der Kleinwasserkraftwerke haben die Einführung der kostendeckenden Einspeisevergütung und die Pläne zum Ausstieg aus der Kernenergie zu einer Dynamisierung der gesamten Szene beigetragen. Die Ergebnisse der diesbezüglichen Forschungsarbeiten werden z. B. in «Wasser Energie Luft» publiziert und an den regelmässig stattfindenden Wasserkrafttagungen (z. B. Otti-Tagung) für den Alpenraum vorgestellt.

Die Nachfrage nach den Forschungsresultaten ist daher sehr rege und es wird davon ausgegangen, dass die Resultate umgehend genutzt werden.

3.2.8 Wasserstoff

Als chemischer Energieträger birgt Wasserstoff langfristig das Potenzial, einen grossen Beitrag zur Reduktion der Abhängigkeit von fossilen Energieträgern beizusteuern. In der Schweiz befasst sich die Energieforschung seit mehreren Jahrzehnten mit dem Thema Wasserstoff. Es bestehen in der Schweiz weltweit führende Kompetenzen in Forschung und Entwicklung sowohl an den eidgenössischen technischen Hochschulen, Universitäten und Fachhochschulen als auch in kleineren und mittleren Unternehmen. Die laufende Forschung ist dabei stark in internationale Projekte eingebunden. Das Forschungsprogramm *Wasserstoff* versucht, nationale und internationale Aktivitäten zu koordinieren und die Zusammenarbeit zwischen Universitäten, Fachhochschulen und der Industrie zu fördern. Die hierzu zur Verfügung stehenden Gelder werden subsidiär eingesetzt zusätzlich zu den übrigen Mitteln der öffentlichen Hand und der Industrie. Künftig besteht hier ein erhöhter Mittelbedarf von mindestens 2 Mio. CHF pro Jahr, insbesondere auch für Pilot- und Demonstrationsprojekte, um die Industrialisierung der Technologie hierzulande voranzutreiben.

Die Schwerpunkte des Forschungsprogramms liegen in der materialorientierten Grundlagenforschung, in der Systementwicklung, sowie in der Demonstration und Erprobung in Pilotprojekten. Technologische Schwerpunktthemen sind Produktionsmethoden auf Basis regenerativer Energiequellen (Photoelektrolyse, Solarthermische Wasserstoffproduktion, Hochdruck- und Hochtemperatur-Feststoff-Elektrolyse) sowie die Speicherung von Wasserstoff in Feststoffen und synthetischen Kohlenwasserstoffen für Mobilitätsanwendungen.

	2011	2025	2050
Technische Ziele			
PEC: Wirkungsgrad Solar-to-H_2 [%]	7	>15	>18
PEC: Gerätelebensdauer [1000 h]	>1	>60	>100
Well-to-Tank-Emissionen [kg CO_2/kg H_2]	12	5	0
Ökonomische Ziele (Kosten)			
Wasserstoffproduktion für PEC [€/kg]	–	<3	<3
Wasserstoff aus Erneuerbaren[1)] [€/kg]	<13	<6	<4

Tabelle 15 Ausgewählte Ziele des Forschungsprogramms Wasserstoff
[1)] Produktion und Distribution

Stand der Forschung

Schweizer Forschungsinstitute nehmen in verschiedenen Teilbereichen Spitzenpositionen ein. An der EPFL werden in Zusammenarbeit mit der EMPA und der Universität Basel neue kostengünstige Materialien erforscht, welche für die photoelektrochemische (PEC) Produktion von Wasserstoff in Frage kommen. Dabei wird insbesondere die Weiterentwicklung von nanostrukturierten Photoanoden auf der Basis von Eisenoxid (Hämatit) vorangetrieben. Die Entwicklung effizienter alkalischer Hochdruckelektrolyseure im hohen Leistungsbereich hat in der Schweiz eine lange Tradition. Die Forschungsaktivitäten konzentrieren sich auf die Kombination solcher Anlagen mit erneuerbaren Quellen wie beispielsweise Wind, sowie auf die Entwicklung neuer Membranmaterialien. Weiter werden hier auch gänzlich neue Ansätze für die Elektrolyse bei sehr hohen Drücken erforscht.

Komplexe Metallhydride, welche als Festkörper Wasserstoff in ihrem Kristallgefüge speichern können, werden an der EMPA weiterentwickelt. Zusätzlich wird die Speicherung von Wasserstoff in Form von Kohlenwasserstoff-Verbindungen wie Formalinsäure studiert.

Wieso die öffentliche Hand diesen Bereich fördern soll

Forschungsbedarf besteht bei der Weiterentwicklung kostengünstiger und CO_2-freier Produktionsmethoden von Wasserstoff für Anwendungen im Mobilitätsbereich sowie der effizienten Speicherung und Verteilung von Wasserstoff. Wasserstoff als Energieträger spielt eine bedeutende Rolle bei der Entkarbonisierung des Verkehrs. Die Hierfür notwendige Weiterentwicklung der Technologie, insbesondere auch die Industrialisierung, kann nur in enger Zusammenarbeit zwischen Kompetenzträgerinnen und Kompetenzträgern an Hochschulen, Universitäten und der Industrie erfolgen. Hierfür braucht es die Bereitstellung kontinuierlicher Ressourcen für Labor- und Geräteinfrastruktur, welche von der öffentlichen Hand unterstützt werden muss.

Beitrag zum Konzept der Energieforschung des Bundes

Die Wasserstofftechnologie leistet Beiträge zu verschiedenen Schwerpunkten des *Konzept der Energieforschung des Bundes*. Als Energieträger für den Einsatz in Brennstoffzellen leistet Wasserstoff einen wichtigen Beitrag bei der Verringerung des CO_2-Ausstosses im Verkehr und ist daher von zentraler Bedeutung im Schwerpunkt «Mobilität». Als chemischer Langzeitspeicher kommt Wasserstoff insbesondere eine Bedeutung beim Ausgleich stochastischer Stromproduktion zu und bildet Teil des Schwerpunkt «Energiesysteme», beispielsweise bei der Thematik der Netzstabilisierung oder Energiespeicherung im Zusammenspiel mit erneuerbaren Energiequellen.

Forschungsthemen 2013–2016

Zentrale Themen bilden die Weiterentwicklung der photokatalytischen Wasserstoffproduktion, der effizienten Hochdruckelektrolyse sowie effizienter Speichertechnologien. Weiter soll die Anwendung der Technologie in Pilot- und Demonstrationsprojekten verstärkt werden.

- Erhöhung von Effizienz und Lebensdauer von PEC-Zellen zur photokatalytischen Wasserstoffproduktion; Aufskalierung der Technologie;
- Weiterentwicklung effizienter Speichermaterialien;
- Alkalische Hochdruckelektrolyse;
- Integration von Wasserstoff in Pilot- und Demonstrationsanwendungen im Bereich Mobilität;
- Kombination von Wasserstoff mit erneuerbaren Energietechnologien (Speicherung, Netzaspekte).

Die technischen und ökonomischen Ziele im Bereich der Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologie orientieren sich an internationalen Zielvereinbarungen wie beispielsweise der europäischen H2-Mobility-Initiative, des Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertakings, der Roadmap der japanischen Energieagentur NEDO oder der Internationalen Energie Agentur (Tabelle 15).

Verwertung und Nutzung der Resultate

Die Forschungsresultate im Bereich Wasserstoff werden einerseits für die Integration dieser Technologie in die bestehende Energiewirtschaft genutzt. Andererseits leisten neu zu entwickelnde Produktions-, Verteil- und Speichermethoden einen Gesamtbeitrag in der globalen Entwicklung dieser Technologie, in enger Zusammenarbeit mit der Schweizer Industrie in diesem Bereich.

3.2.9 Wärmepumpen und Kältetechnik

Seit 2012 hat das Forschungsprogramm einen neuen Namen: Wärmepumpen und Kältetechnik. Die Wärme-Kraft-Kopplung (WKK) wurde auf Grund der thematischen Nähe neu mit der Verbrennung zusammengefasst.

Das Forschungsprogramm *Wärmepumpen und Kältetechnik* unterstützt die Entwicklung von modernen Heiz- und Kühlsystemen. Eine kurzfristige Reduktion des CO_2-Ausstosses um 50 % im Bereich Gebäudeheizung ist möglich, indem der von Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen produzierte Strom in Wärmepumpen eingesetzt wird, um Niedertemperatur-Nutzwärme zu erzeugen. Mittelfristig soll keine fossile Energie mehr für Heizzwecke eingesetzt werden. In der Kälteerzeugung sind gemäss Aussagen von Branchenvertretern Energiereduktionen von 25 % möglich.

Der Weg zur Erreichung dieser Ziele führt über verbesserte Effizienz der Komponenten und eine optimierte Systemintegration. Kostenreduktionen der Komponenten und Anlagen und / oder erhöhte Energiepreise für Primärenergie sind Voraussetzung für eine rasche Marktpenetration.

Stand der Forschung

Wärmepumpen sind heute als Heizsysteme generell anerkannt. Sie sind technisch aus mehreren Komponenten wie Wärmetauscher und Kompressor aufgebaut. Die Transformation von Wärme von tieferer Temperatur auf eine höhere Nutztemperatur ist ein thermodynamischer Kreisprozess, dessen Effizienz von den Temperaturen der Wärmequelle und der Heiztemperatur abhängt. Die heute im Markt angebotenen Wärmepumpen erreichen die theoretisch möglichen Wirkungsgrade erst zu etwa 50 %, wobei höhere Wirkungsgrade mit höheren Kosten verbunden sind. Anzustreben sind Werte von 65 % bis 70 % des theoretischen Wirkungsgrades (Gütegrad).

Da die Wirkungsgrade zentral von den Temperaturen abhängen, ist eine Optimierung der Integration der Wärmepumpen in Gebäude äusserst wichtig. Die Quellentemperatur der Wärme soll möglichst hoch sein und die Abgabetemperatur der Nutzwärme an das Gebäude möglichst tief. Verbesserungen können auch mit verbesserten Komponenten erreicht werden.

Die Quellentemperaturen von Erdreich, Grund- oder Seewasser und von Aussenluft schwanken saisonal und sind von der Natur als Einflussfaktor vorgegeben. Sie könnten durch kurz- und mittelfristige Wärmespeicher-Konzepte und Integration von Solarenergienutzung erhöht werden, wodurch der Wirkungsgrad der Wärmepumpen markant verbessert wird.

Kälteanlagen haben technisch einen guten Stand: sie sind sehr zuverlässig. Auch hier sind noch Verbesserungen denkbar, wobei die Wirtschaftlichkeit und die Anlageverfügbarkeit zu beachten sind.

Wieso die öffentliche Hand diesen Bereich fördern soll

Die Förderung der Weiterentwicklung des Bereiches Wärmepumpen und Kältetechnik durch die öffentliche Hand erlaubt eine politische Gewichtung der Optimierungsrichtung. Technische Verbesserungen sind allerdings nicht immer mit den politischen Rahmenbedingungen kompatibel. Als Beispiel sei die Verwendung von Arbeitsmedien in Kälteanlagen und Wärmepumpen und die Auswirkung auf die Treibhausproblematik erwähnt. Durch die öffentlichen Forschungsgelder werden Projekte unter Einhaltung der politischen Randbedingungen gefördert und damit die technische Realisierbarkeit bewiesen.

Beitrag zum Konzept der Energieforschung des Bundes

Die Kombination von Wärmepumpen und WKK-Anlagen hat ein grosses Reduktionspotenzial der CO_2-Emission im Bereich «Wohnen und Arbeiten der Zukunft». Wärmepumpen und Kälteanlagen haben eine grosse Bedeutung für den Schwerpunkt «Prozesse der Zukunft».

	2011	2025	2050
Gütegrad bei Wärmepumpen [%]	45	55	65
Jahresarbeitszahl bei Neubauten [–]			
Luft/Wasser-Wärmepumpen	3,3	5,0	7,0
Sole/Wasser-Wärmepumpen	4,5	6,0	8,0

Tabelle 16 Ausgewählte Ziele des Forschungsprogramms Wärmepumpen und Kältetechnik

Forschungsthemen 2013–2016

Im Bereich «Wärmepumpen und Kältetechnik» liegen die Verbesserungspotenziale vor allem in Effizienzsteigerungen der Komponenten und Systeme (Tabelle 16). Grundsätzlich neue Prinzipien sind unwahrscheinlich. Physikalisch gesehen müssen Reibungseffekte und treibende Temperaturdifferenzen bei Wärmeübertragungsvorgängen minimiert werden.

Damit sind bei Wärmepumpen auch Fragen der Integration in die Gebäude zu bearbeiten.

Auch Klimaeffekte sind zu untersuchen: Wärmepumpen und Kältemaschinen sollen umweltfreundliche Arbeitsmedien verwenden.

Spezifische Forschungsziele

- Verbesserung von Komponenten und der thermodynamischen Kreisprozesse bei Wärmepumpen für Heizung und Warmwasserbereitung und bei Kälteanlagen;
- Effizienzverbesserungen unter Einhaltung der Verfügbarkeit bei Kälteanlagen;
- Optimierung der Regelstrategien unter Berücksichtigung von kurz- und mittelfristigen Speicherkonzepten und Einbezug der Solarenergienutzung;
- Ganzheitliche Systemoptimierung von Wärmepumpensystemen–WKK–Solarwärme–Kälte–Speicherung;
- Bewertungsmethoden und Berechnungsmethoden für Jahresarbeitszahlen bei Konzepten mit kurz- und mittelfristigen Wärme- und Kältespeichern;
- Kostenreduktionen bei Wärmepumpen und Kälteanlagen; Förderung des Einsatzes von umweltverträglichen Arbeitsmedien für Wärmepumpen und Kälteanlagen.

Die Komponenten der Wärmepumpen sind zu verbessern: Bessere Kompressoren und bessere Wärmeaustauscher erhöhen die Effizienz des Gesamtsystems. Es müssen unterschiedliche Lösun-

gen für Warmwasser-Produktion und für Gebäudeheizung angestrebt werden. Für Gebäudeheizung sind Kompressoren mit kleinem Verdichtungsverhältnis zu entwickeln, die möglichst keine Heissgasüberhitzung produzieren. Die Heizungswärme besteht aus der Kondensation des Arbeitsmediums. Bei Warmwasser-Wärmepumpen soll die Wärme aus der Abkühlung des überkritisch komprimierten Arbeitsmediums entnommen werden. Alle Wärmeübertragungsvorgänge sollen bei minimaler Temperaturdifferenz erfolgen. Eine Verwertung des Expansionsschrittes ist anzustreben, v. a. bei Trinkwasser-Wärmepumpen.

Die Arbeitsmedien sollen umweltfreundlich sein: für Heizwärme soll ein *Global warming potential* (GWP) < 6 erreicht werden, für Trinkwasser-Erwärmung ist CO_2 mit GWP = 1 optimal.

Bei Kälteanlagen muss unter Wahrung der Zuverlässigkeit die Effizienz der Komponenten, die Kälteverteilung, die Regelstrategie und das Arbeitsmedium optimiert werden. Bei CO_2-Anlagen ist die Entspannungsenergie zu nutzen. Der Einsatz von Tag / Nacht-Wärmespeichern ist zu prüfen.

Verwertung und Nutzung der Resultate

Die Resultate der Forschungsprojekte werden in öffentlich zugänglichen Zwischen-, Jahres- und Schlussberichten publiziert. Das Forschungsprogramm organisiert auch die jährliche BFE-Wärmepumpentagung, wo über die vom BFE unterstützten Projekte berichtet wird. Das Forschungsprogramm ist ein aktives Mitglied im Heat Pump Programme der Internationalen Energieagentur (IEA-HPP).

Da in den Projekten v. a. die Fachhochschulen engagiert sind, fördert das Forschungsprogramm auch den akademischen und technischen Nachwuchs.

Pilot- und Demonstrationsprojekte ergänzen die Forschungsprojekte und erleichtern die Markteinführung der Resultate und Erkenntnisse aus der Forschung.

3.2.10 Windenergie

Die Windenergieforschung des BFE zahlt bisher jährlich 0,5 Mio. CHF an unterstützungswürdige Projekte aus der Forschung von Hochschulen und Industrie. Das Forschungsprogramm verfolgt im Wesentlichen zwei Ziele:

1. Es sollen für die speziellen Herausforderungen, welche sich durch die Nutzung der Windenergie in der Schweiz ergeben, neue Lösungen entwickelt werden. Hierbei handelt es sich sowohl um technische Herausforderungen (Klima, Turbulenzen, Transport für Gebirgsstandorte) als auch um Fragen der sozialen Akzeptanz.

2. Die Schweizer Zulieferindustrie soll bei Entwicklung innovativer Technologien unterstützt werden, damit die Chancen im internationalen boomenden Windenergiemarkt verstärkt genutzt werden können. Als exportorientiertes Land im Bereich der Maschinen- und Elektrobranche bieten sich für die Schweiz grosse Chancen, in der Umsetzung dieser Technologie vermehrt Fuss zu fassen.

Durch die aktive Mitarbeit an Projekten der IEA beteiligt sich das Forschungsprogramm am internationalen Erfahrungsaustausch.

Stand der Forschung

Die Schweizer Forschung hat mit der Entwicklung einer «Antifreeze-Beschichtung» gegen die Vereisung der Rotorblätter sowie dem europaweit höchstgelegenen Windpark auf dem Gütsch internationale Anerkennung gewonnen

Dank aktiver Beteiligung am IEA Implementing Agreement on Wind Energy Research and Development, konnten im Rahmen des Tasks *Wind Energy in Cold Climates* und *Social Acceptance* neue Erkenntnisse gewonnen und Lösungen entwickelt werden.

Wieso die öffentliche Hand diesen Bereich fördern soll

Mit der neuen Energiestrategie des Bundesrates erhält die erneuerbare Energie eine entscheidende Bedeutung zur Erhaltung der Versorgungssicherheit.

Als bereits ausgereifte Technologie, deren Potenzial in der Schweiz heute noch weitgehend ungenutzt ist, nimmt die Windenergie eine besondere Stellung ein. Da mittlerweile Anlagen verfügbar sind, welche speziell für Binnenlandstandorte ausgelegt sind, kann die Windenergie heute auch in der Schweiz effizient und relativ kostengünstig genutzt werden.

Die Studie «Wettbewerbsfaktor Energie. Chancen für die Schweizer Wirtschaft» von McKinsey aus dem Jahre 2009 beziffert den weltweiten Umsatz von Schweizer Firmen im Bereich der Windenergie auf 2,1 Mrd. CHF und geht davon aus, dass sich dieser Betrag bis 2020 auf 11,2 Mrd. CHF vervielfachen könnte. Der Marktanteil der Schweizer Unternehmen in den Zulieferindustrien dürfte gegen 10 % betragen, die Wachstumschancen sind bei einem geschätzten Marktvolumen der Windindustrie im Jahre 2020 von 250 Mrd. CHF intakt.

	2011	2025	2050
Planungszeit / Akzeptanz			
Projektierung [Jahre]	5–10	2–4	2
Verfügbarkeit / Energieertrag			
Verfügbarkeit	96 %	98 %	>98 %
Volllaststunden [h/a]	1500	2000	2000
Gestehungskosten			
Gestehungskosten CH [Rp./kWh]	15–25	12–18	10–15
Gestehungskosten EU [Rp./kWh]	6–12	4–10	3–9

Tabelle 17 Ausgewählte Ziele des Forschungsprogramms Windenergie

Beitrag zum Konzept der Energieforschung des Bundes

Die Windenergie deckt in Europa bereits 5 % des Verbrauchs bei stark steigender Tendenz. Unabhängig davon, ob die Windenergie in der Schweiz oder in der Nordsee genutzt wird, ergeben sich daraus für die Schweiz enorme Chancen, aber durch die stochastische Stromerzeugung auch neue Herausforderungen für unser Elektrizitätsversorgungssystem. Diese Herausforderungen können zum Teil durch die Windenergie selbst – z. B. durch verbesserte Prognosen – gelöst werden, sind teilweise aber im Gesamtsystem der Elektrizitätsversorgung zu lösen.

Durch ihre imposante Erscheinung führt die Windenergie vor allem bei raschem Wachstum zu kontroversen Diskussionen. Für die On-shore-Windenergie wird die soziale Akzeptanz in vielen Ländern als determinierender Faktor für das erschliessbare Potenzial betrachtet. Das Forschungsprogramm *Windenergie* wird diesbezüglich Erkenntnisse liefern, welche sowohl für andere Technologien sowie aufgrund der speziellen Rahmenbedingungen in der Schweiz (Föderalismus, direkte Demokratie) auch für andere Länder von besonderem Interesse sind.

Forschungsthemen 2013–2016

Für die Periode 2013–2016 sollen im Rahmen des Forschungsprogramms die folgenden vier Themenbereiche bearbeitet werden.

Entwickeln von Anlagekomponenten für die Nutzung von Windenergie unter spezifisch schweizerischen Verhältnissen durch die einheimische Industrie, wie z. B. Reduktion der Lasten mit neuen Werkstoffen, Erhöhung des Energieertrags bei tiefen Windgeschwindigkeiten und Einsatz der Nanotechnologie gegen Verschmutzung und Vereisung.

Erhöhung der Verfügbarkeit und des Energieertrages von Windkraftanlagen an extremen Standorten durch Erarbeiten von Planungs-Know-how für komplexe Terrains, Tests an extremen Standorten durch Auswertung von Betriebserfahrungen und durch Erarbeiten von Empfehlungen.

Erhöhung des «Wertes» der Windenergie, Optimierung der Integration von Windkraftanlagen in die Stromversorgung durch Fore- und Nowcasting, durch Netzregulierung mit hohem Anteil an Windenergie und durch Optimierung der Bedingungen für intermittierende Produktionsanlagen im Netz.

Erhöhung der Akzeptanz für Windenergie unter Einbezug sozial- und umweltwissenschaftlicher Kompetenz, z. B. mit Ermitteln von Erfolgsfaktoren und -strategien.

Spezifische Forschungsziele

Drei technische und ökonomische Ziele (Tabelle 17) stehen für die Periode 2013–2016 im Vordergrund.

1. *Verringerung der Planungszeit*: Diese steht in direktem Zusammenhang mit Akzeptanzfragen. Darum soll ein breites Know-how in der Schweiz geschaffen werden, wobei technische mit sozialwissen**schaftlicher Kompetenz zu verknüpfen ist.**

2. *Verbesserung des Ertrags*: Die Verfügbarkeit und der Energieertrag sind heute schon recht gut, können aber durch spezifische Nischenprodukte für den Einsatz von Windenergieanlagen im «kalten Klima» und an turbulenten Standorten noch verbessert werden.

3. *Reduktion der Gestehungskosten*: Die Gestehungskosten für die Windenergienutzung in der Schweiz sind weiter zu senken. Speziell für die Schweiz sind dabei neue Transport- und Montageverfahren von Bedeutung.

Verwertung und Nutzung der Resultate

Die Resultate aus der Windenergieforschung können unmittelbar verwertet und genutzt werden. Einerseits können neue Erkenntnsse über den Firmenbeirat von Suisse Eole der gesamten Schweizer Branche präsentiert werden, andererseits findet eine direkte Zusammenarbeit mit der Industrie zur Förderung des Exports statt.

3.3 Kernenergie

Die Kernenergie nimmt in dem vorliegenden Energieforschungskonzept insofern eine besondere Rolle ein, als das BFE für die drei Forschungsprogramme *Kernfusion*, *Kernspaltung und nukleare Sicherheit* sowie *Regulatorische Sicherheitsforschung* lediglich die Funktion einer Auskunftsstelle übernimmt. Die Festlegung der Zielsetzungen sowie die Zuteilung der finanziellen Mittel liegen in der Kompetenz des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI und des ETH-Bereichs. Lediglich für das Forschungsprogramm *Radioaktive Abfälle* liegt die Kompetenz beim BFE.

3.3.1 Kernfusion

Aufgrund der demographischen und wirtschaftlichen Entwicklung wird weltweit immer mehr Energie – insbesondere Elektrizität – benötigt. Die Deckung des steigenden Bedarfs muss aber sowohl der Gesellschaft (z. B. hohe Betriebssicherheit, keine langlebigen radioaktiven Abfälle) als auch der Umwelt (z. B. geringer CO_2-Ausstoss) Rechnung tragen. Die Fusion von Wasserstoffkernen (Deuterium und Tritium) stellt einen Prozess dar, der in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts unter diesen Kriterien die benötigte Energie liefern könnte, wobei der benötigte Brennstoff fast unbeschränkt verfügbar ist.

Weiter gehende Informationen finden sich auf der Website des Centre de Recherches en Physique et Plasma (CRPP): http://crppwww.epfl.ch.

3.3.2 Kerntechnik und nukleare Sicherheit

In der Folge des schweren Reaktorunfalls in Fukushima orientieren sich Politik und Branche in der Schweiz neu. Dieser Prozess ist noch im Gange und wird noch einige Zeit in Anspruch nehmen. Auch die Kernenergieforschung in der Schweiz ist von den Ereignissen in Japan und vom Wandel der Politik betroffen und muss ihre Strategie laufend an die neuen Gegebenheiten anpassen.

Eine ausführliche Darstellung der Aktivitäten und Forschungsprojekte am PSI-Departement für Kernenergie und Nukleare Sicherheit findet sich auf der Webseite http://nes.web.psi.ch. .

3.3.3 Radioaktive Abfälle

Das Forschungsprogramm *Radioaktive Abfälle* ist politisch gewollt und stellt die unabhängige Forschung im Bereich der Entsorgung radioaktiver Abfälle sicher. Der Inhalt und die einzelnen Projekte des Forschungsprogramms werden von der Arbeitsgruppe des Bundes für die nukleare Entsorgung (Agneb) festgelegt. Das Forschungsprogramm liefert Grundlagen für den politischen Prozess des Standortauswahlverfahrens für geologische Tiefenlager, stellt die Erfüllung gesetzlicher Vorgaben sicher und füllt die vorhandene Lücke bei der sozialwissenschaftlichen Forschung der Entsorgung radioaktiver Abfälle. Es beinhaltet sozial- und geisteswissenschaftliche sowie technische und naturwissenschaftliche Projekte. Die sozial- und geisteswissenschaftlichen Projekte werden vom BFE finanziert und durchgeführt, das ENSI (siehe Forschungsprogramm *Regulatorische Sicherheitsforschung* im folgenden Kapitel) führt die technisch-naturwissenschaftlichen Projekte durch.

Stand der Forschung

Im geistes- und sozialwissenschaftlichen Bereich der Entsorgung radioaktiver Abfälle steckt die Forschung noch in den Kinderschuhen. Sowohl im Inland als auch im Ausland beschäftigen sich nur kleine Gruppen mit dem Thema. Viele Forschungsprojekte befassten sich bis jetzt mit der Risikowahrnehmung und mit Akzeptanzfragen. Ethische und politologische Fragestellungen sowie Kommunikationsfragen und die Wahrnehmung von langen Zeiträumen wurde bisher wenig erforscht. In technischer Hinsicht besteht Klärungsbedarf in Bezug auf Einzelfragen, insbesondere zur Abfallbewirtschaftung sowie zur Lagerauslegung und zum Monitoring eines geologischen Tiefenlagers.

Wieso die öffentliche Hand diesen Bereich fördern soll

Viele technische Fragen rund um die Entsorgung radioaktiver Abfälle sind gelöst. Wo grosser Nachholbedarf besteht, ist bei der gesellschaftlichen Diskussion zur Entsorgung radioaktiver Abfälle. Bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle handelt es sich um einen politisch hochsensiblen Bereich. Das Forschungsprogramm liefert für die Bundesbehörden anwendungsorientierte Grundlagen für den politischen Pro-

zess des laufenden Standortauswahlverfahrens, stellt die Erfüllung gesetzlicher Vorgaben sicher und füllt die vorhandene Lücke bei der sozialwissenschaftlichen Forschung der Entsorgung radioaktiver Abfälle. Die Finanzierung der Forschung durch die öffentliche Hand stellt sicher, dass die Ergebnisse unabhängig erarbeitet werden.

Beitrag zum Konzept der Energieforschung des Bundes

Das Forschungsprogramm ist im Schwerpunkt «Energiesysteme» des *Konzepts der Energieforschung des Bundes* angesiedelt. Im Bereich der Kernenergie steht die Sicherheit im Vordergrund. Dazu gehört auch die Sicherheit im Bereich der Entsorgung radioaktiver Abfälle. Sicherheit wird umfassend verstanden, so dass neben technisch-naturwissenschaftlichen Fragen auch geistes- und sozialwissenschaftliche Aspekte untersucht werden. Beide Aspekte sind in Bezug auf das Sachplanverfahren geologische Tiefenlager und die Realisierung von Lagern wesentlich.

Forschungsthemen 2013–2016

Das Forschungsprogramm umfasst die folgenden fünf Schwerpunkte:

- Langzeitaspekte: Beobachtungsphase, Wissenserhalt, Markierungskonzepte;
- Sachplanverfahren geologische Tiefenlager: Kommunikation mit der Gesellschaft;
- Wahrnehmung, Meinungsbildung und Akzeptanz: Werthaltungen und Meinungen;
- Lagerkonzepte: Abfallbewirtschaftung im Vergleich, Schutz der Umwelt, Pilotlager, Monitoring-Konzepte, Schnell/-Selbstverschluss, erleichterte Rückholbarkeit, materialwissenschaftliche Fragen, Sicherheitskriterien für lange Zeiträume, Folgen aus Ungewissheiten über Parameter;
- Ethik/Recht: Umweltpolitische Fragen, Schutzziele, Gesellschaftliche Veränderung und Entsorgung.

Das Forschungsprogramm befasst sich mit geistes- und sozialwissenschaftlichen Fragestellungen sowie technischen und naturwissenschaftlichen Problemstellungen. Bis voraussichtlich ins Jahr 2020 läuft das Standortauswahlverfahren für geologische Tiefenlager.

Das Forschungsprogramm hat einerseits zum Ziel, die erfolgreiche Durchführung dieses Verfahrens zu unterstützen (Forschungsfragen zur Kommunikation und Meinungsbildung) und andererseits Ressortforschung zur Umsetzung gesetzlicher Erfordernisse zu leisten (z. B. Markierung von geologischen Tiefenlagern).

Verwertung und Nutzung der Resultate

Die Forschungsresultate aus dem geistes- und sozialwissenschaftlichen Bereich werden direkt im laufenden Standortauswahlverfahren für geologische Tiefenlager angewendet. Die gewonnenen Erfahrungen des naturwissenschaftlichen Teils dienen unmittelbar der damit verbundenen Aufsichtstätigkeit des ENSI. Die Resultate fliessen in vom ENSI zu erstellende Richtlinien ein. Ferner zieht das ENSI für konkrete Einzelentscheide die Ergebnisse von Forschungsprojekten als Grundlage heran.

Für den erfolgreichen Transfer der Forschungsresultate in die Praxis werden bei grösseren Forschungsprojekten Tagungen für das interessierte Publikum durchgeführt. Zudem werden die Ergebnisse der Forschungsprojekte (z. B. Kommunikation mit der Gesellschaft) in allgemein verständlicher Foren und ansprechend gestaltet aufbereitet (Broschüre) und aktiv den im Standortauswahlverfahren Involvierten zugestellt. Das ENSI veröffentlicht die Ergebnisse der von ihm geleiteten Projekte in seinem jährlichen Erfahrungs- und Forschungsbericht.

3.3.4 Regulatorische Sicherheitsforschung

Bei der Wahrnehmung seiner Aufsichtstätigkeit über die Kernanlagen ist es für das Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI unerlässlich, auf dem Stand von Wissenschaft und Technik zu sein. Deshalb unterstützt und koordiniert das ENSI Projekte im Rahmen der regulatorischen Sicherheitsforschung. Diese tragen zur Erhaltung und zum Ausbau der hohen Sicherheit der Schweizer Kernanlagen bei. Sie ermöglichen es, potenzielle Problembereiche zu erkennen, mögliche Verbesserungen zu erarbeiten, Unsicherheiten zu verringern und Verfahren zu verbessern. Jedes Forschungsprojekt wird durch eine Expertin oder einen Experten aus den ENSI-Fachsektionen begleitet. So fliessen die gewonnenen Erfahrungen in die Aufsichtstätigkeit ein und dienen unmittelbar der nuklearen Sicherheit.

Weiter gehende Informationen finden sich auf der Website des ENSI (www.ensi.ch).

3.4 Querschnittsprogramme

3.4.1 Energie–Wirtschaft–Gesellschaft

Die Aufgabe des Forschungsprogramms *Energie–Wirtschaft–Gesellschaft* (EWG) ist die angewandte energiepolitische Forschung. Das Forschungsprogramm ist stark interdisziplinär ausgerichtet und bedient sich zahlreicher theoretischer und empirischer Methoden von der Mikro- und Makroökonomie über die Politologie bis zur Soziologie und Sozial-Psychologie. EWG ist in die zwei Bereiche angewandte Forschung und politiknahe Forschung eingeteilt, mit einem Gesamtbudget von rund 1,5 Mio. CHF. In der angewandten Forschung werden zusammen mit den Hochschulen neue energiewirtschaftliche Methoden entwickelt oder für neue Fragestellungen angepasst und verwendet, während die politiknahe Forschung im Wesentlichen die Grundlagen für neue energiepolitische Instrumente analysiert.

Stand der Forschung

Die sozio-ökonomische Energieforschung ist aktiv, innovativ und international gut etabliert. Kompetenzen über alle Themenbereiche sind vorhanden, eine grosse Anzahl an Hochschulen und anderen Forschungseinheiten sind involviert und die Nachwuchsförderung ist erfolgreich. Im Rahmen der neuen Energiepolitik sind aber noch viele Fragen offen, die in den nächsten Jahren erforscht werden sollen.

Wieso die öffentliche Hand diesen Bereich fördern soll

Das Forschungsprogramm befasst sich mit den wirtschaftlichen, sozialen und umweltrelevanten Fragen der Gewinnung, Verteilung und Nutzung von Energie. Ziel ist es, gleichzeitig so verschiedene Ziele wie Versorgungssicherheit, Preiswürdigkeit und Umweltverträglichkeit zu erfüllen. Energiemärkte weisen aber verschiedene Unvollkommenheiten auf, was dazu führen kann, dass nur durch Intervention des Staates volkswirtschaftlich effiziente Resultate möglich sind. Die sozio-ökonomische Forschung, welche die Grundlagen für die Energiepolitik bereitstellt, ist deshalb essentiell.

Beitrag zum Konzept der Energieforschung des Bundes

Die sozio-ökonomische Forschung hat im Energieforschungskonzept folgende drei wichtige Aufgaben. Erstens soll sie innerhalb jedes Schwerpunkts des *Konzepts der Energieforschung des Bundes* («Wohnen und Arbeiten», «Mobilität», «Prozesse» und «Energiesysteme») das menschliche Verhalten und das Funktionieren der Märkte untersuchen. Dies dient dazu, besser zu verstehen, welches die Beweggründe der jeweiligen Akteurinnen und Akteure sind und wie spezifische energiepolitische Instrumente wirken. Zweitens soll die sozialwissenschaftliche Forschung den Zusammenhang zwischen den verschiedenen Forschungsschwerpunkten herstellen und die relativen Potenziale und Kosten aufzeigen. Sowohl wirtschaftlich wie auch gesellschaftlich sind die einzelnen Schwerpunkte eng ineinander verzahnt. Langfristig effiziente Lösungen müssen deshalb schwerpunktübergreifend angesetzt werden. Drittens hat die sozio-ökonomische Forschung die Aufgabe, unabhängig von den Forschungsschwerpunkten die politischen, ökonomischen und sozialen Rahmenbedingungen und deren Effekte zu analysieren. Forschung, die dazu dient, das Verhalten der Marktakteure und das Zusammenspiel von verschiedenen Märkten besser zu verstehen, ist unabdingbar. So sind zum Beispiel gesamtwirtschaftliche Modelle ein wichtiges Arbeitsinstrument, um die ökonomischen Effekte von möglichen Energieszenarien abzuschätzen. Die sozio-ökonomische Forschung kann mit jeder der drei Aufgaben einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der Energievision leisten. Anhand konkreter Fragestellungen soll das Verständnis erhöht werden, indem die Modelle, das Design von Experimenten, die Schätzmethoden sowie auch die Datengrundlagen verbessert werden.

Forschungsthemen 2013–2016

Die anstehenden Änderungen des Energiesystems und somit der Gesellschaft und der Wirtschaft werden zu Strukturänderungen, und damit zu gesellschaftlichem Nutzen, aber auch volkswirtschaftlichen Kosten, führen. Die Identifikation von optimalen Instrumenten, welche die gewollten Anreize geben, zur Zielerreichung führen und gleichzeitig die Kosten für die Schweizer Volkswirtschaft so niedrig wie möglich halten, ist daher unerlässlich. Das Forschungsprogramm wird sich deshalb in den Jahren 2013–2016 folgenden vier Schwerpunkten widmen: (i) Weiterentwicklung von gesamtwirtschaftlichen Modellen mit dem Fokus auf eine bessere Abbildung des Energiesektors und des Auslandes, (ii) Erarbeitung der Grundlagen für die Einführung von intelligenten Netzen auch unter Einbezug des zweiten Schrittes der Strommarktliberalisierung, (iii) Erarbeitung der Grundlagen für die optimale Einbindung von vermehrter Produktion aus erneuerbarer Energie in den Energiemix der Schweiz, (iv) besseres Verständnis energierelevanter Entscheidungen der Konsumentinnen und Konsumenten und Investoren.

Das Ziel des Forschungsprogramms ist es, die wissenschaftlichen Grundlagen für die verschiedenen anstehenden energiepolitischen Entscheide zu erarbeiten. Vorteile

und Nachteile verschiedener Optionen sollen miteinander verglichen werden können.

Verwertung und Nutzung der Resultate

Das Forschungsprogramm setzt sich dafür ein, dass Forschende sich untereinander vermehrt austauschen und Komplementaritäten und Synergien ausnutzen können. Energiespezifisches Wissen wird ebenfalls beim forschenden Nachwuchs aufgebaut.

Ein besseres Verständnis von ökonomischen, sozialen, psychologischen und politischen Aspekten, welche das individuelle Verhalten und somit die Märkte beeinflussen ist die Basis für effiziente Massnahmen. Die Forschungsresultate kommen also nebst der Wissenschaft, der Politik, den Kantonen, der Energiewirtschaft sowie verschiedenen Verbänden und Organisationen zugute.

3.4.2 Pilot- und Demonstrationsprojekte

Da Pilot- und Demonstrationsprojekte stellen weder Anschaffungen des BFE, noch Projekte der Forschungs- und Innovationsförderung im Sinne des Forschungsförderung- und Innovationsgesetzes (FIFG) dar, unterliegen sie keiner Ausschreibungspflicht im Sinne des Bundesgesetzes über das öffentliche Beschaffungswesen oder des FIFG. Zu berücksichtigen sind jedoch die Bestimmungen des Subventionsgesetzes.

Pilotprojekte dienen der technischen Systemerprobung. Sie werden in einem Massstab realisiert, der die Bestimmung wissenschaftlicher, technischer, wirtschaftlicher oder gesellschaftlicher Daten erlaubt, die im Laborversuch nicht gewonnen werden können. Demgegenüber dienen **Demonstrationsprojekte** der Markterprobung. Sie werden im Massstab 1:1 realisiert und ermöglichen so eine umfassende technische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Beurteilung im Hinblick auf die kommerzielle oder reale Einführung. Sie geben Antworten auf Fragen von Wartungs- und Unterhaltsaufwand. Sie sollen potenzielle Anwender auf die neue Technologie, das neue Produkt, die neue Organisationsform oder das neue Instrument aufmerksam machen.

Aufgrund der rechtlichen Grundlagen steht das Einreichen von Gesuchen um Unterstützung von Pilot- und Demonstrationsprojekten allen Personen offen (bottom-up), und es dürfen keine eng einschränkenden thematischen Vorgaben gemacht werden. Allerdings müssen sich die Projekte an der forschungsnahen Entwicklung neuer Energietechnologien ausrichten, insbesondere im Bereich der sparsamen und rationellen Energienutzung sowie der Nutzung erneuerbarer Energie.

Bei der Begutachtung der eingereichten Gesuche werden die folgenden Kriterien bewertet:

- die Technologiereife;
- die politische Bedeutung, insbesondere im Kontext der Energiestrategie 2050 sowie des Aktionsplans Koordinierte Energieforschung Schweiz (Kapitel 4);
- das in der Schweiz vorhandene energetische Potenzial;
- das Vorhandensein entsprechender Industrie, die die neuen Technologien und Lösungen in den Markt überführen kann;
- die Wirtschaftlichkeit, d.h. das Preis/-Leistungsverhältnis, bzw. die erzeugte oder eingesparte kWh pro investiertem Franken;
- die inländische Wertschöpfung (Einschätzung des Potenzials);
- die Realisierbarkeit bzw. die Erfolgschance, dass das energetische Potenzial bis 2050 realisiert werden kann;
- die Ausstrahlung, bzw. die Kommunizierbarkeit und die Attraktivität für eine spezifische oder die breite Öffentlichkeit.

Wieso die öffentliche Hand diesen Bereich fördern soll

Pilot- und Demonstrationsprojekte stellen ein unabdingbares Bindeglied zwischen Labor und Markt dar. Sie dienen der Prüfung und Demonstration der erforschten Technologien und Lösungen in einem Massstab, der Aufschluss über ihre Wirtschaftlichkeit, Anwendbarkeit, Effizienz undtechnische Machbarkeit erlaubt. Im Energiebereich erfolgen private Investitionen in diesem Segment der Wertschöpfungskette infolge strenger Renditekriterien nur in sehr beschränktem Mass. Die Unterstützung der öffentlichen Hand präzis in diesem sensiblen Entwicklungssegment dient dazu, das Investitionsrisiko zwischen öffentlicher Hand und Privatwirtschaft aufzuteilen und somit private Investitionsentscheide zu erleichtern.

Verwertung und Nutzung der Resultate

Ein wichtiger Bestandteil von Pilot- und Demonstrationsprojekten ist die Veröffentlichung der erreichten Resultate. Jeder Auftragnehmer eines Pilot- und Demonstrationsprojekts ist daher verpflichtet, die Öffentlichkeit – unter Berücksichtigung allfälliger vertraulicher Daten – über die in den Projekten erzielten Resultate in geeigneter Form zu unterrichten. Mit Unterstützung von Swisstopo publiziert das BFE die wichtigsten Kenndaten der Pilot- und Demonstrationsprojekte.

4 Energieforschung des BFE im Rahmen der Energiestrategie 2050

Aufgrund der Ereignisse in Fukushima haben Bundesrat und Parlament 2011 beschlossen, aus der Kernenergie auszusteigen. Im Rahmen der neuen Energiestrategie 2050 wurde ein *Aktionsplan Koordinierte Energieforschung Schweiz* (nachfolgend: Aktionsplan) erarbeitet, mit dem die Energieforschung in ausgewählten Technologiebereichen gestärkt werden soll. Der Aktionsplan wird im Frühjahr/Sommer 2013 im Parlament behandelt.

4.1 Der Aktionsplan Koordinierte Energieforschung Schweiz

Im Aktionsplan Koordinierte Energieforschung Schweiz werden fünf Aktionsfelder definiert, in welchen ein Bedarf nach verstärkter Energieforschung durch die öffentliche Hand festgestellt wurde.

Aktionsfeld 1: Energieeffizienz

Bereiche, in denen verstärkte Forschungsanstrengungen nötig sind, sind beispielsweise Nanomaterialien für die Energietechnik, neue «Low-CO_2»-Konzepte in der Gebäudetechnik und die Integration erneuerbarer Energie, energieeffiziente industrielle Prozesse und effiziente Informations- und Kommunikationstechnik sowie effizienter Privatverkehr und Leichtbauwerkstoffe.

Aktionsfeld 2: Netze, Elektrizitätsübertragung

Hier stehen komplexe Energiesysteme (Modelle, Szenarien und Management) und neue urbane Konzepte sowie Hochleistungselektronik für intelligente Netze und die Integration fluktuierender Einspeisungen im Fokus.

Aktionsfeld 3: Energiespeicherung

Dieses Aktionsfeld umfasst sowohl die thermische als auch die elektrische Energiespeicherung, im Speziellen Batterien, Elektrolyse und Elektrochemie, aber auch dynamische Pumpspeicherwerke. Längerfristig werden die solare Thermochemie sowie die Nutzung und Speicherung von Abwärme – beispielsweise durch Thermoelektrizität Forschungsthemen darstellen.

Aktionsfeld 4: Bereitstellung von Elektrizität

Hier setzt der Aktionsplan den Akzent auf die Geothermie, die Solarenergie (beispielsweise Fertigungstechnologien für Dünnschichtzellen oder solare Brennstoffe), die Kleinstwasserkraft und die Biomasse (biogene Brennstoffe und flüssige Energieträger sowie dezentrale Strom-, Wärme- und Kälteerzeugung).

Aktionsfeld 5: Sozio-ökonomische und rechtliche Aspekte

Dieses Aktionsfeld soll Themenbereiche wie Energieökonomie und Energiepolitik, Ressourcenmanagement und -ökonomie, Gesellschaft und «public policy» adressieren.

Aus dem Aktionsplan abgeleitet Massnahmen

Der Aktionsplan schlägt die nachfolgend aufgeführten Massnahmen zur Unterstützung der Energiestrategie 2050 des Bundes vor, wobei ein zusätzliches Budget von 202 Mio. CHF für die Periode 2013–2016 beantragt wird:

- Ausbau der Kapazitäten für prioritäre Forschungsbereiche (Aufbau von 30 Forscherteams und 40 Förderprofessuren);
- Optimierung der Strukturen der Energieforschung (Aufbau von 7 Kompetenzzentren);
- Bereitstellung von kompetitiven Projektmitteln.

Bereits beschlossen hat der Bundesrat eine Serie Nationale Forschungsprogramme zum Thema Energie sowie die Plafond erhöhende Aufstockung der Mittel für Pilot- und Demonstrationsprojekte um 5 Mio. CHF.

4.2 Auswirkungen auf die Energieforschung des BFE

Die Energieforschung des BFE soll diese Ausrichtung unterstützen, ohne allerdings die bestehenden Aufgaben des BFE zu beeinträchtigen. Zu diesen gehören im Speziellen die strategische Aufstellung des BFE in der gesamten Breite der Energieforschung, die enge Verknüpfung des BFE mit allen wesentlichen Akteuren der nationalen Energieforschung und die Sicherstellung der internationalen Anbindung der Schweizer Energieforschung an die Programme der Internationale Energieagentur (IEA) und der EU (Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan) und die Forschungsrahmenprogramme).

Forschungsprogramme unterstützen Aktionsplan

Die meisten der vom BFE geführten Forschungsprogramme unterstützen die Aktionsfelder des Aktionsplans bereits direkt oder indirekt. Eine Ausnahme bildet die Kernenergie, bei welcher allerdings nur das Forschungsprogramm Radioaktive Abfälle über (geringe) finanzielle Mittel des BFE verfügt. Da dieses Forschungsprogramm aber Grundlagen für den politischen Prozess des Standortauswahlverfahrens für geologische Tiefenlager liefert, ist es von der Ausrichtung der Ressortforschung des BFE auf den Aktionsplan nicht betroffen.

Die Forschung in den Bereichen Kernfusion, Fission und regulatorische Sicherheitsforschung werden wie bisher durch den ETH-Bereich bzw. durch das ENSI gefördert.

Bewährte Strukturen bleiben bestehen

Die über Jahrzehnte vom BFE aufgebaute Struktur mit einer internen oder externen Programmleitung für jedes der Forschungsprogramme hat sich bewährt und garantiert eine optimale Vernetzung der Forschungsprogramme des BFE mit der Industrie und der nationalen und internationalen Forschergemeinde, sowie mit anderen Förderstellen. Dadurch lassen sich auf einfache Art und Weise Kräfte bündeln und Parallelentwicklungen vermeiden.

Mit dem Aktionsplan wird diese Organisationsstruktur noch an Bedeutung gewinnen, da zusätzliche Forscherteams und Kompetenzzentren aufgebaut werden sollen (Kapitel 4.1) und damit der Koordinationsbedarf noch ansteigen wird. An dieser Struktur soll daher weiterhin festgehalten werden, zumal sie dem BFE auch einen unmittelbaren Zugriff auf einen grossen Pool ausgewiesener Fachpersonen ermöglicht.

Internationale Anbindung bleibt sichergestellt

Ein wesentlicher Aufgabenbereich des BFE ist die Sicherstellung der Teilnahme von Schweizer Forschenden an den Forschungsprogrammen der IEA und der EU. Vor allem bei den Aktivitäten der IEA (Implementing Agreements, Kapitel 6.5.1) sind die Forschenden häufig auf Drittmittel angewiesen. Die Forschungsprogramme des BFE können hier wesentliche Beiträge leisten. Zudem werden die Grundbeiträge für die Beteiligung der Schweiz an den Implementing Agreements über die jeweiligen Forschungsprogramme des BFE abgedeckt.

Pilot- und Demonstrationsprojekten werden auf den Aktionsplan ausgerichtet

Für 2013 sind vom Bundesrat zusätzlich 5 Mio. CHF Plafond erhöhend für Pilot- und Demonstrationsprojekte gesprochen worden. Diese Gelder werden auf den Aktionsplan ausgerichtet. Die bisher verfügbaren Mittel (rund 4,8 Mio. CHF) werden hingegen weiterhin für «Bottom-up»-Anträge reserviert bleiben. Damit wird sichergestellt, dass auch in Zukunft Projekte aus einem grossen Forschungsspektrum unterstützt werden können. Zudem verlangen die rechtlichen Grundlagen, dass Projektanträge nicht aufgrund thematischer Einschränkungen abgewiesen werden können.

Das BFE hat die Pilot- und Demonstrationsprojekte neu in ein eigenes Programm zusammengelegt und ein entsprechendes Konzept erarbeitet. Für die zusätzlichen Gelder wurden die nachfolgenden 6 Cluster identifiziert, die sich einerseits für Pilot- und Demonstrationsprojekte eignen und die andererseits die durch den Aktionsplan definierten Schwerpunkte abdecken:

- Smart Energy Supply;
- Smart Energy Networks;
- Smart Equipment;
- Smart Processes;
- Smart Cities and Regions;
- Smart Energy Policies and Regulation.

5 Finanzierung 2013–2016

Bei der Budgetplanung für die Jahre 2013–2016 geht das BFE von einer mehr oder weniger unveränderten Situation gegenüber 2012 aus. Bereits eingeplant ist aber die vom Bundesrat im April 2012 beschlossene Erhöhung der Mittel für Pilot- und Demonstrationsprojekte um 5 Mio. CHF ab 2013.

Geplante Mittel für 2013–2016

Tabelle 18 zeigt die für die Periode 2013–2016 vorgesehenen Forschungsmittel des BFE. Die Angaben sind Schätzungen und keine eingestellten Finanzmittel. Für die Jahre 2014 bis 2016 muss das Budget jeweils von den Räten bewilligt werden.

Innerhalb der Gruppen *Energieeffizienz* und *erneuerbare Energie* erfolgt die Aufteilung entsprechend der Budgetzuteilung 2011/2012 mit dem Ziel, die Budgets der einzelnen Forschungsprogramme über die kommenden Jahre möglichst konstant zu halten.

	2013	*2014*	*2015*	*2016*
Pilot- und Demonstrationsprojekte	9 756 800	*9 934 700*	*10 008 700*	*10 083 800*
Forschungsprojekte				
Energieeffizienz	8 680 000	*8 750 000*	*8 750 000*	*9 000 000*
Erneuerbare Energie	7 680 000	*7 750 000*	*7 750 000*	*8 000 000*
Kernenergie	375 000	*395 000*	*395 000*	*100 000*[1]
Energie–Wirtschaft–Gesellschaft	1 500 000	*1 520 000*	*1 530 000*	*1 600 000*
Koordination Energieforschung	605 300	*675 300*	*670 300*	*688 900*
Beitrag an ENSI	2 163 500	*1 994 500*	*1 994 500*	*2 027 000*
Wissens- und Technologietransfer[2]	400 000	*400 000*	*400 000*	*400 000*
Total	**31 160 600**	***31 419 500***	***31 498 500***	***31 899 700***

Tabelle 18 *Vom BFE eingeplante Budgets für die Periode 2013–2016. Basis bildet die Weisung des Bundesrats zum Voranschlag 2013 und dem Finanzplan 2014–2016. Für die Jahre 2014 bis 2016 muss das Gesamtbudget jeweils von den Räten bewilligt werden.*
[1]Ab 2016 werden die Forschungsprojekte zum Thema Fusion durch das SBFI finanziert.
[2]Aufgrund einer Reorganisation innerhalb des BFE wird der Wissens- und Technologietransfer seit 2012 nicht mehr bei der Sektion Energieforschung, sondern bei der Kontaktstelle Cleantech geführt. Der Vollständigkeit halber wird das Budget aber unter «Energieforschung» weitergeführt.

6 Akteurinnen / Akteure und Schnittstellen

6.1 Beschreibung der wichtigsten Akteurinnen und Akteure

Das BFE hat 2010 eine Zusammenstellung der Forschungskompetenzen an den Schweizer Hochschulen, Universitäten und Fachhochschulen erstellt. Sie zeigt, dass an diesen Institutionen rund 200 Forschergruppen im Bereich der Energieforschung aktiv sind.

Die Wichtigkeit der einzelnen Forschungsgruppen bzw. -institutionen für das BFE lässt sich an den Aufwendungen des BFE ablesen (Abbildung 5). Bei den universitären Forschungsstellen liegt das PSI mit rund 5,5 Mio. CHF (2009) mit Abstand vor den anderen Forschungsinstitutionen. Die Fachhochschulen zusammen bringen es auf knapp 4,9 Mio. CHF und die drittplazierte ETH Zürich auf nicht ganz 3 Mio. CHF. Aufgrund der deutlich auf angewandte Forschung fokussierte Unterstützung durch das BFE erhalten die Universitäten – abgesehen von kantonalen Stellen – gesamthaft nur etwa gleich viel wie die EMPA (1,7 Mio. CHF). Etwa ein Drittel der vom BFE gesprochenen Fördermittel [iv] fliesst in die Privatwirtschaft, – davon rund die Hälfte für Pilot- und Demonstrationsprojekte.

Über die Programmleitungen der einzelnen Energieforschungsprogramme ist das BFE einerseits mit allen wesentlichen Akteurinnen und Akteuren aus dem Hochschulbereich, aber auch mit den wichtigsten privaten und öffentlichen Akteurinnen und Akteuren eng vernetzt.

Kontakte zu den Hochschulen

Die Kontakte zwischen den Forschungsprogrammen des BFE und den Instituten der Hochschulen sind im Wesentlichen etabliert und erfolgen in der Regel direkt zwischen der Programm- und Bereichsleitung und den Forschenden selber.

Daneben ist die Energieforschung des BFE aber auch durch Einsitz als Gast in verschiedene Leitungsgremien wie etwa dem Energy Science Center der ETH Zürich, oder der Forschungskommission ENE und dem Competence Center Energy and Mobility CCEM (beide PSI) direkt mit den Hochschulen in Kontakt.

Zudem haben Vertreter der Energieforschung des BFE gemeinsam mit verschiedenen Professoren der Schweizer Hochschulen Einsitz in diversen Gremien wie etwa der CORE, der KTI oder auch privaten Gremien.

Kontakte zu den privaten Akteurinnen und Akteuren

Bei den privaten Organisationen decken die Kontakte sowohl grosse Firmen mit ausgeprägten eigenen Forschungsaktivitäten wie beispielsweise ABB, Alstom, Wärtsilä oder IBM ab, als auch eine Vielzahl innovativer KMU wie die Meyer Burger Gruppe, Oerlikon Solar, Awtec bis hin zu Start-ups und Ingenieurbüros. Daneben bestehen Kooperationen mit Partnerinnen und Partnern, welches ein grosses Multiplikationspotenzial aufweisen, wie etwa die Post, die SBB, Elektrizitätsversorgungsunternehmen wie Axpo, BKW oder Stadtwerke. Geografisch sind die Forschungsprogramme des BFE in der gesamten Schweiz verankert.

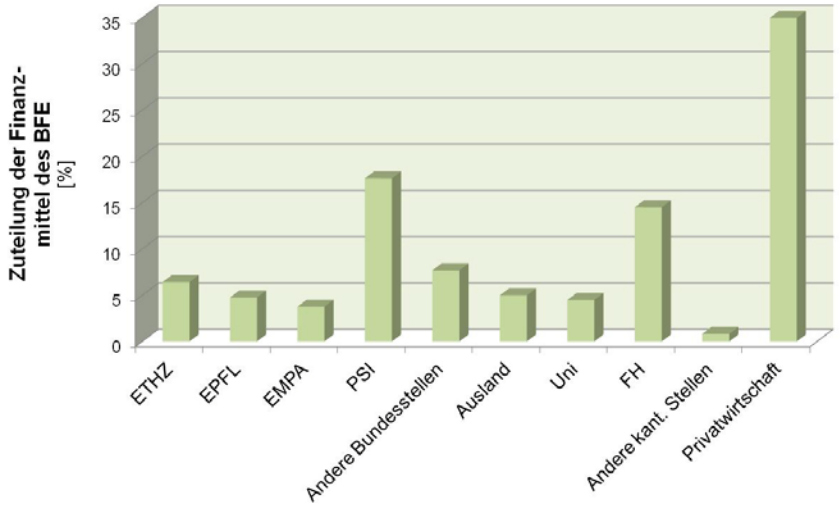

Abbildung 5 Zuteilung der vom BFE aufgewendeten Finanzmittel (Mittelwert über die Jahre 2007 bis 2009)

6.2 Schnittstellen zum Schweizerischen Nationalfonds (SNF)

Im Rahmen der Ausschreibungen für Nationale Forschungsprogramme (NFP) bzw. Nationale Forschungsschwerpunkte (NFS) ist das Thema Energie untervertreten.

In der Folge der Ereignisse 2011 in Japan (Fukushima) hat der Bundesrat im Juni 2011 beschlossen, für die NFP-Prüfrunde 2011/12 nur das Thema Energie zuzulassen. Der SNF wurde beauftragt, ein NFP zum Thema «Energiewende» (37 Mio. CHF) und eines zum Thema «Steuerung der Energiewende» (8 Mio. CHF) auszuschreiben.

6.2.1 Abgeschlossene und laufende Nationale Forschungsprogramme (NFP)

Das Instrument «NFP» wurde im Jahr 1975 vom Bundesrat beschlossen. Seitdem sind eine Vielzahl von NFP lanciert und abgeschlossen worden. Die einzelnen NFP sind auf der Website des Schweizerischen Nationalfonds (SNF) aufgeführt: www.snf.ch.

Abgeschlossene NFP

Von den 53 heute bereits abgeschlossenen NFP haben einige einen (teilweisen) Bezug zur Energie:

- NFP 4 «Forschung und Entwicklung im Bereich der Energie» (Abschluss 1984, 9,5 Mio. CHF);
- NFP 4+ «Energie: Sozio-ökonomische Forschungen im Konsumbereich» (Abschluss 1986, 5 Mio. CHF);
- NFP 7 «Rohstoff- und Materialprobleme» (Abschluss 1986, 14,5 Mio. CHF);
- NFP 12 «Holz, erneuerbare Rohstoff- und Energiequelle» (Abschluss 1991, 11 Mio. CHF);
- NFP 20 «Geologische Tiefenstruktur der Schweiz» (Abschluss 1993, 14,5 Mio. CHF);
- NFP 30 «Hochtemperatur-Supraleitung» (Abschluss 1995, 15 Mio. CHF).

Laufende NFP

Von den 14 zurzeit laufenden NFP haben drei einen Bezug zur Energie, nämlich:

- NFP 54 «Nachhaltige Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung» (13 Mio. CHF; Modul Materialien und Energie);
- NFP 62 «Intelligente Materialien» (11 Mio. CHF);
- NFP 66 «Ressource Holz» (18 Mio. CHF, ein Modul zum Thema Energie).

6.2.2 Abgeschlossene und laufende Nationale Forschungsschwerpunkte (NFS)

Das seit 2001 bestehende Instrument umfasst zurzeit 27 NFS. Davon weist einzig das NFS «MaNEP – Materialien mit neuartigen elektronischen Eigenschaften» einen Bezug zur Energie auf (Laufzeit 2001–2013, Beitrag SNF: 50 Mio. CHF). In ihm werden Materialien mit herausragenden Eigenschaften erforscht (magnetischen, ferroelektrischen und supraleitenden Verbindungen), die über ein Anwendungspotenzial etwa bei der Energieproduktion und in der Energieverteilung verfügen. Weiter werden Erkenntnisse aus dem NFS «Klima» im Bereich erneuerbare Energie genutzt.

6.3 Schnittstellen zur Kommission für Technologie und Innovation (KTI)

Die KTI unterstützt innovative Projekte aus allen wissenschaftlichen Disziplinen. Die Projektförderung geschieht dabei nach dem Bottom-up-Prinzip, das heisst, es gibt keine vorgegebene Forschungsthemen oder -schwerpunkte, sondern es sind prinzipiell alle Forschungsthemen möglich, sofern die Förderkriterien der KTI eingehalten werden. Die einzelnen eingereichten Projekte werden den vier Förderbereichen Life Sciences, Mikro- und Nanotechnologien, Enabling Sciences und Ingenieurwissenschaften zugeteilt. Energierelevante Projekte werden im Förderbereich Ingenieurwissenschaften behandelt, in welchem das BFE und das BAFU von Amtes wegen Einsitz haben. Auf diese Weise kann die Koordination zwischen Projekten der KTI, des BAFU und des BFE optimal sichergestellt werden. Sämtliche energierelevanten Projekte werden von den Bereichsleitungen des BFE vor den Sitzungen des Förderbereichs Ingenieurwissenschaften begutachtet und kommentiert.

Für 2011 zeigt die Auswertung der KTI, dass im Energiebereich 33 Projekte bewilligt wurden mit einem Beitragsvolumen seitens der KTI von 9.9 Mio. CHF.

6.4 Schnittstellen zu Bundesämtern und weiteren Bundesstellen

Wie die nachfolgende Zusammenstellung zeigt, ist das BAFU am meisten mit Forschungsprogrammen des BFE vernetzt. Aufgeführt sind jeweils für jedes Amt bzw. jede Bundesstelle die Forschungsprogramme des BFE (fett) einschliesslich des Wissens- und Technologietransfers (WTT) mit den entsprechenden Themenbereichen. Generell sind die einzelnen Forschungsprogramme des BFE mit den übrigen Bundesstellen relativ gut vernetzt (Tabelle 19). Nachfolgend sind die Schnittstellen zwischen den Forschungsprogrammen des BFE und den übrigen Ämtern im Detail beschrieben.

Schnittstelle zum ARE

- Biomasse und Holzenergie: Interdepartementale Arbeitsgruppe Biomasse;
- Energie–Wirtschaft–Gesellschaft: Verkehr;
- Geothermie: Untergrund und Raumentwicklung;
- Kraftwerk 2020 / CCS: Untergrund und Raumentwicklung;
- Nutzungskonflikte im Untergrund;
- Verkehr: Nachhaltiger Verkehr; Verkehrsvermeidung;
- Windenergie: Empfehlung zur Planung von Windenergieanlagen.

Schnittstelle zum ASTRA

- Akkumulatoren: Einsitz des BFE in die Forschungsprojekte Güterverkehr und Elektromobilität mit finanzieller Unterstützung des Projekts Güterverkehr durch das BFE;
- Elektrizitätstechnologien und -anwendungen: Tunnelbeleuchtung;
- Energie–Wirtschaft–Gesellschaft: Verkehr;
- Netze: Einsitz des BFE in Begleitgruppe für satellitengestützte Navigationssysteme des ASTRA;
- Verkehr: Güterverkehr; Elektromobilität.

Schnittstelle zum BAFU

- Akkumulatoren: Umweltverträglichkeit; Recycling von Akkus;
- Biomasse und Holzenergie: Kompost und Gärgut; Stückholzkessel, Pelletfeuerungen zur Emissionsreduktion; Ökobilanzen; Einsitz in Begleit- und Koordinationsgruppen;
- Brennstoffzellen: Rückgewinnung von Phosphat aus Klärschlamm;
- Energie–Wirtschaft–Gesellschaft: CO_2-Emissionen von Gebäuden und Verkehr;
- Gebäude: Swisswoodhouse – Konzept eines nachhaltigen Gebäudes mit dem Werkstoff Holz;
- Geothermie: Abgrenzung der Interessen von Energie und Umwelt;
- Industrielle Solarenergienutzung: Emissionen, Kompensation und Reduktion bei Unternehmen im Zusammenhang mit Hochtemperatursolarwärme;
- Kraftwerk 2020 / CCS: CO_2-Speicherpotenzial der Schweiz; CO_2-Speicherung; CCS-Regulierung;
- Photovoltaik: REPIC-Plattform;
- Radioaktive Abfälle: Vergleich der Bewirtschaftung radioaktiver und nicht-radioaktiver Abfälle;
- Regulatorische Sicherheitsforschung: Vergleich der Bewirtschaftung radioaktiver und nicht-radioaktiver Abfälle;
- Verbrennung: Einfluss von Biokomponenten auf die Abgasnachbehandlungssysteme (Partikelfilter, Katalysator) von schweren Dieselmotoren; Nanopartikelemissionen; Verbrennungsforschung;

Politikbereich		Zusammenarbeit 2008–2011	Einsitz in Begleit- und Arbeitsgruppen
1	Gesundheit (BAG)	×	×
2	Soziale Sicherheit (BSV)		
3	Umwelt (BAFU)	×	×
4	Landwirtschaft (BLW)	×	×
5	Energie (BFE)	–	–
6	Nachhaltige Raumentwicklung und Mobilität (ARE)	×	×
7	Entwicklungszusammenarbeit (DEZA)	×	×
8	Sicherheits- und Friedenspolitik (VBS)	x	x
9	Berufsbildung (SBFI)	×	
10	Sport und Bewegung (BASPO)		
11	Nachhaltiger Verkehr (ASTRA)	×	×

Tabelle 19 Koordination zwischen dem BFE und den einzelnen Politikbereichen

- Verfahrenstechnische Prozesse: Materialflüsse; Abfällen in industriellen Prozessen;
- Verkehr: Mobilität allgemein; Lärm; Partikelproblematik;
- Wasserkraft: Kleinwasserkraft;
- Windenergie: Vogelzug, Fledermäuse, Landschaft; Wirkungen von Windkraftanlagen auf Anwohner (Lärm);
- Wissens- und Technologietransfer: eco-net; REPIC-Plattform.

Schnittstelle zum BAG

- Elektrizitätstechnologien und -anwendungen: Elektrosmog von Energiesparlampen;
- Radioaktive Abfälle: Vergleich der Bewirtschaftung radioaktiver und nicht-radioaktiver Abfälle;
- Regulatorische Sicherheitsforschung: Vergleich der Bewirtschaftung radioaktiver und nicht-radioaktiver Abfälle.

Schnittstelle zum BAKOM

- Netze: Smart Metering, Informations- und Kommunikationstechnik und nachhaltige Entwicklung.

Schnittstelle zum BAV

- Brennstoffzellen, Wasserstoff: Einsatz von Brennstoffzellen in der Mobilität;
- Energie–Wirtschaft–Gesellschaft: Verkehr allgemein;
- Verkehr: öffentlicher Verkehr.

Schnittstelle zum BAZL

- Windenergie: Flugradarsicherheit.

Schnittstelle zum BFS

- Energie–Wirtschaft–Gesellschaft: Projektweise Zusammenarbeit.

Schnittstelle zum BLW

- Biomasse und Holzenergie: Koordinationsgruppe Ökobilanzen; Trocknung von Gras und Mais; Interdepartementale Arbeitsgruppe Biomasse; Einsitz in Projekt-Begleitungen.

Schnittstelle zur DEZA

- Photovoltaik: REPIC-Plattform;
- Verbrennung: Nanopartikelemissionen aus Verbrennungssystemen;
- Wissens- und Technologietransfer: REPIC-Plattform.

Schnittstelle zum EAV

- Biomasse und Holzenergie: Interdepartementale Arbeitsgruppe Biomasse.

Schnittstelle zum ENSI

- Radioaktive Abfälle: Einsitz in Begleitgruppe des Forschungsprogramms Radioaktive Abfälle; AGNEB; Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle.

Schnittstelle zum EZV

- Biomasse und Holzenergie: Interdepartementale Arbeitsgruppe Biomasse.

Schnittstelle zur KNE

- Radioaktive Abfälle: Einsitz in Begleitgruppe des Forschungsprogramms Radioaktive Abfälle; AGNEB.

Schnittstelle zur KNS

- Radioaktive Abfälle: Vergleich der Bewirtschaftung radioaktiver und nicht-radioaktiver Abfälle.
- Regulatorische Sicherheitsforschung: Vergleich der Bewirtschaftung radioaktiver und nicht-radioaktiver Abfälle.

Schnittstelle zu METAS

- Elektrizitätstechnologien und -anwendungen: Qualität von Lampenadaptern; regelmässiger Austausch zwischen METAS und Forschungsprogramm Elektrizitätstechnologien und -anwendungen über Forschungsaktivitäten;
- Netze: Einsitz von METAS in Begleitgruppe des Forschungsprogramms Netze des BFE; Metrologieforschung im Elektrizitätsbereich; Smart Grids; regelmässiger Austausch zwischen METAS und Forschungsprogramm Netze über Forschungsaktivitäten;
- Regulatorische Sicherheitsforschung: Strahlenschutz; Kalibrierung und Eichung Strahlenmessgeräte;
- Verbrennung: Nanopartikelemissionen aus Verbrennungssystemen.

Schnittstelle zu Meteo-Schweiz

- Gebäude: Opticontrol – Use of Weather and Occupancy Forecasts for Optimal Building Climate Control (Nutzen der Wetterverhersage für Gebäuderegelung);
- Solarwärme: Management solarer Strahlungsdaten (Arbeiten im Rahmen der IEA (SHC Task 36));
- Windenergie: Klima- und Wetterdaten und -prognosen.

Schnittstelle zu SAS

- Regulatorische Sicherheitsforschung: Strahlenschutz; Kalibrierung und Eichung von Strahlenmessgeräten.

Schnittstelle zum SBFI

- Kernfusion: Arbeiten im Rahmen Euratom;
- Koordination: Forschungsrahmenprogramme der EU;
- Energie–Wirtschaft–Gesellschaft: Cleantech.

Schnittstelle zum Seco

- Biomasse und Holzenergie: Interdepartementale Arbeitsgruppe Biomasse; Koordinationsgruppe Ökobilanzen;
- Energie–Wirtschaft–Gesellschaft: Informeller Austausch;
- Photovoltaik: REPIC-Plattform;
- Wissens- und Technologietransfer: REPIC-Plattform.

Schnittstelle zum SED

- Geothermie: Risikoaspekte bei der tiefen Geothermie.

Schnittstelle zu Swisstopo

- Geothermie: Daten aus dem unterirdischen Bereich;
- Kraftwerk 2020 / CCS: Zusammenarbeit im Rahmen der IDA Geologie; Erfassung von Daten des Untergrundes im Hinblick auf CO_2-Speicherung;
- Radioaktive Abfälle: Einsitz in Begleitgruppe des Forschungsprogramms Radioaktive Abfälle des BFE; AGNEB; Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle (Mont Terri);
- Regulatorische Sicherheitsforschung: Einsitz in Begleitgruppe des Forschungsprogramms Radioaktive Abfälle des BFE; AGNEB; Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle (Mont Terri).

6.5 Internationale Zusammenarbeit

Das BFE hat in allen für die Energieforschung relevanten Gremien der EU und der IEA Einsitz. Während bei der EU die wesentlichen Aktivitäten über die Forschungsrahmenprogramme und über die europäischen Industrieinitiativen im Rahmen des SET-Plans ausgeschrieben werden und das BFE hier einzig bei der Definition der auszuschreibenden Themen aktiv mitwirken kann, geschieht die Festlegung der Forschungsprojekte bei der IEA im Rahmen von Implementing Agreements (Kapitel 6.5.1), in denen die Schweizer Vertreterinnen und Vertretern direkt Einfluss auf die Themenwahl und auf die Projektnehmenden nehmen können.

Nachfolgend sind einige weiter für die Energieforschung des BFE wichtige internationale Gremien aufgeführt.

6.5.1 Internationale Energieagentur (IEA)

Bei der Internationale Energieagentur (IEA) ist das BFE in allen für die Energieforschung wichtigen Führungsgremien vertreten, angefangen beim Governing Board über das Committee on Energy Research and Technology (CERT) und den Working Parties *Working Party on Fossil Fuels* (WPFF), *Renewable Energy Technologies Working Party* (REWP), *End-Use Technologies Working Party* (EUWP) und dem *Fusion Power Co-ordinating Committee* (FPCC). Daneben ist das BFE auch in den Expertengremien *Expert Group on R&D Priority Setting and Evaluation* (EGR&DPS&E) und *Expert Group on Science for Energy* (EGSE) vertreten.

Die eigentlichen Forschungsprojekte werden in den sogenannten Implementing Agreements der IEA ausgeführt. Das BFE nimmt an den nachfolgend aufgeführten 20 (von total 42) Implementing Agreements teil:

- Advanced Fuel Cells (AFC);
- Advanced Motor Fuels (AMF);
- Bioenergy (BIO);
- Demand Side Management (DSM);
- Efficient Electrical End-Use Equipment (4E);
- Energy Conservation & Emissions Reduction in Combustion (EC&ERC);
- Energy Conservation in Buildings & Community Systems (ECBCS; Chair);
- Energy Technology Systems Analysis Programme (ETSAP);
- Fusion Materials;
- Geothermal Energy Research & Technology (GEOR&T);
- Greenhouse Gases Derived from Fossil Fuel Use (GGFFU);
- Heat Pumping Technologies (HPP);
- High-Temperature Super Conductivity on the Electric Power Sector (HTSC; Vice-chair);
- Hybrid & Electric Vehicles Technologies (HEV; Chair);
- International Smart Grid Action Network (ISGAN);
- Photovoltaic Power Systems (PVPS; Chair);
- Production and Utilisation of Hydrogen (H2);
- Solar Heating & Cooling Systems (SHC);
- Solar-PACES;
- Wind Energy Systems (WES).

Bei vier der Implementing Agreements finanziert das BFE den Chair bzw. den Vicechair (Schweizer Vertreter).

6.5.2 OECD: Nuclear Energy Agency (NEA)

Bei der regulatorischen Sicherheitsforschung ist die Kernenergieagentur NEA (Nuclear Energy Agency) der OECD der wichtigste internationale Partner des ENSI. Die Mitglieder der NEA verfügen zusammen über mehr als 80 % der weltweiten nuklearen Stromerzeugungskapazität. Die NEA mit Sitz in Paris unterstützt ihre Mitgliedsländer bei der Weiterentwicklung der technischen, wissenschaftlichen und rechtlichen Grundlagen. Das ENSI ist in insgesamt rund 40 Gremien der NEA vertreten, darunter allen wichtigen Gremien zur Sicherheitsforschung.

6.5.3 EU: Beratende Gremien

Bezüglich der Zusammenarbeit mit der EU sind für das BFE das Energy Programme Committee (Forschungsrahmenprogramme) und die Steering Group for Strategic Energy Technologies des Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan) die wichtigsten Gremien.

Während sich das BFE beim Energy Programme Committee den Einsitz mit dem SBFI teilt, wird es beim SET-Plan von der Schweizer Mission in Brüssel unterstützt. Im Rahmen des SET-Plans wurden bereits sieben sogenannte European Industrial Initiatives (Industrieinitiativen) lanciert, in deren Leitungsgremien das BFE – oder im Falle der Nukleartechnik das SBFI – ebenfalls vertreten ist.

6.5.4 EU: ERA-NETs, Technology Platforms

European Research Area Networks (ERA-NETs)

Ziel des ERA-NET-System ist, die nationalen und regionalen Forschungsprogramme zu koordinieren und den europäischen Forschungsraum sowie bestimmte europäische Industriezweige zu stärken. ERA-NETs lancieren gemeinsame Ausschreibungen. Die Projektpartner werden aufgrund der nationalen Förderkriterien der jeweiligen Mitgliedsländer und -regionen finanziert. Die EU-Kommission beteiligt sich an den Kosten für die Führung der ERA-NETs. Das BFE ist an folgenden ERA-NETs beteiligt:

- PV-ERA-NET;
- ERA-NET ROAD;
- ERA-NET TRANSPORT (Vertretung Schweiz: ASTRA);
- Smart Grids ERA-NET;
- ERA-NET for Construction and Operation of Buildings (Eracobuild);
- Geothermal ERA-NET.

European Technology Platform (ETP)

ETP sollen bei der Mobilisierung der Europäischen Ressourcen im Bereich Forschung, technologische Entwicklung und Innovation helfen und die wichtigsten Akteure in einem Forschungsbereich (Industrie / KMU, Verwaltung, Wissenschaft und Endverbraucher) zusammenbringen. Die Initiative geht hierbei von der Industrie aus. Die Hauptziele sind Definition und Darstellung einer *Strategic Research Agenda* (SRA) für die mittel- und langfristige Abschätzung der technologischen Entwicklung und die Etablierung von Public Private Partnership (PPP) für deren Umsetzung. Das BFE ist an folgenden ETP beteiligt:

- Zero Emission Fossil Fuel Power Plants (ZEP);
- Biofuels;
- Photovoltaic (EUPV).

Ferner ist das BFE auch in anderen internationalen Gremien wie beispielsweise dem Joint Undertaking Fuel Cells and Hydrogen (FCH) oder im European Rail Research Advisory Council (ERRAC) vertreten.

6.5.5 REPIC

REPIC steht für Renewable Energy & Energy Efficiency Promotion in International Cooperation und ist ein Gemeinschaftsprojekt der vier Bundesstellen SECO, DEZA, BAFU und BFE. Die REPIC-Plattform soll einen wichtigen Beitrag zur Schaffung einer kohärenten Politik und Strategie der Schweiz zur Förderung der erneuerbaren Energie und der Energieeffizienz in der internationalen Zusammenarbeit leisten. Sie trägt zur Umsetzung der globalen Klimaschutzvereinbarungen und zur Förderung einer nachhaltigen Energieversorgung in Entwicklungs- und Transitionsländern ebenso wie in der

Schweiz bei und ist damit ein wichtiger Bestandteil der Umsetzung der schweizerischen Politik der nachhaltigen Entwicklung auf internationaler Ebene.

Die Plattform wird durch eine Steuergruppe der vier Bundesstellen begleitet. Diese Steuergruppe formuliert Empfehlungen zuhanden der einzelnen Bundesstellen und sichert damit die operative Leitung der Plattform. Da die Geschäftsstelle von RE-PIC durch die Programmleitung des BFE-Forschungsprogramms Photovoltaik geführt wird, besteht für das BFE eine enge Vernetzung.

6.5.6 D-A-CH Smart-Grids

Zur Ergänzung der bestehenden internationalen Aktivitäten der Schweiz im Bereich «Smart Grids», wurde am 27. November 2009 in Berlin von Vertretern der drei Länder Deutschland, Österreich und der Schweiz das «Memorandum of Understanding (MoU) zur Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Erforschung und Entwicklung von IKT-basierten Energiesystemen der Zukunft in Deutschland, Österreich und der Schweiz» unterzeichnet.

Durch das MoU soll bei der Förderung der Forschung und Entwicklung im Bereich von IKT-basierten Energiesystemen (IKT: Informations- und Kommunikationstechnik) der Zukunft enger zusammengearbeitet werden, um IKT-Produkte, -Verfahren und -Dienstleistungen zu entwickeln, mit denen die Elektrizitätsversorgung nachhaltig und langfristig sichergestellt werden kann.

Der Gegenstand der Zusammenarbeit umfasst den Informations- und Wissensaustausch und die Abstimmung der förderpolitischen Massnahmen.

Die D-A-CH-Kooperation bietet die Möglichkeit, konkrete gemeinsame Projekte zu initiieren, zu finanzieren und durchzuführen. Ein entsprechendes Forschungsprojekt zwischen Österreich und der Schweiz wurde bereits gestartet. In Zusammenhang mit den europäischen Industrieinitiativen des SET-Plans, namentlich im Bereich «Netze» und «Smart Cities», kommt der D-A-CH-Kooperation derzeit wachsende Bedeutung zu.

6.5.7 International Partnership for Geothermal Technology (IPGT)

Die Schweiz ist 2010 der von den USA, Island und Australien 2008 gegründeten International Partnership for Geothermal Technology (IPGT) beigetreten. Seit Ende 2011 ist auch Neuseeland Mitglied der IPGT. Die IPGT setzt den Fokus auf die Entwicklung von Enhanced / Engineered Geothermal Systems (EGS), welche im Gegensatz zu anderen Formen erneuerbarer Energie die Möglichkeit besitzen, zur Produktion von Bandenergie beizutragen. Die IPGT ist ein Forum von Regierungs- und Industrievertretern und beabsichtigt die Aktivitäten in der EGS-Entwicklung zu koordinieren und eine Zusammenarbeit zu ermöglichen.

Die IPGT soll unter anderem Haupthindernisse für die EGS-Technologie identifizieren und Empfehlung für multilaterale Zusammenarbeiten in bestimmten Bereichen der geothermischen Technologieentwicklung ausarbeiten. Daneben ist aber auch die Förderung und Unterstützung gemeinsamer Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprojekte ein zentrales Anliegen der IPGT.

Die IPGT bietet der Schweiz Gelegenheit, ihre öffentlichen Mittel mit einem überdurchschnittlichen Leverage-Faktor auszustatten. Die IPGT kann dabei einen wesentlichen Beitrag zur intensiveren Zusammenarbeit zwischen schweizerischen und ausländischen Forschenden leisten und so einen Know-how-Transfer aus gross angelegten Forschungsprojekten initiieren.

7 Organisation und Qualitätssicherung

Das BFE deckt praktisch das gesamte Spektrum der Energieforschung ab. Dabei beschränkt es sich nicht auf die Vergabe von Fördermitteln, sondern vertritt die einzelnen Forschungsprogramme aktiv in nationalen und internationalen Gremien. Wichtige Forschungsprojekte zudem werden durch Vertreter des BFE aktiv begleitet. Die dazu nötigen Fachkenntnisse sind entweder innerhalb des BFE vorhanden oder werden durch externe Personen sichergestellt (Kapitel 7.1).

7.1 Interne Organisation

Die Aufgaben bezüglich der Energieforschung des BFE werden durch die Sektion Energieforschung wahrgenommen. Sie ist für die direkte Betreuung der meisten Forschungsprogramme des BFE zuständig. Einzelne Forschungsprogramme laufen in anderen Sektionen des BFE oder sind ausserhalb des BFE angesiedelt. So übernimmt das BFE im Bereich der Kernenergie (*Kerntechnik und Nukleare Sicherheit*, *Regulatorische Sicherheitsforschung* und *Kernfusion*) ausschliesslich die Aufgabe der Kontaktstelle. Sowohl die Zielsetzungen als auch die Verwaltung der Budgets dieser Forschungsprogramme liegen in der Kompetenz der entsprechenden zuständigen Stellen. Beim Forschungsprogramme *Kerntechnik und Nukleare Sicherheit* ist dies das PSI, bei der *Regulatorischen Sicherheitsforschung* das ENSI und bei der *Kernfusion* die EPFL.

Für alle andern Forschungsprogramme wird das Budget für Forschungsprojekte von der Sektion Energieforschung verwaltet. Das Budget für Pilot- und Demonstrationsprojekte wird von der Sektion Clean Tech des BFE verwaltet.

Folgende Forschungsprogramme werden durch andere Sektionen innerhalb des BFE betreut:

- das Forschungsprogramm *Energie–Wirtschaft–Gesellschaft* durch die Sektion Marktregulierung der Abteilung Energiewirtschaft;
- das Forschungsprogramm *Talsperren* durch die Sektion Talsperren der Abteilung Recht und Sicherheit;
- das Forschungsprogramm *Radioaktive Abfälle* durch die Sektion Entsorgung radioaktive Abfälle der Abteilung Recht und Sicherheit.

7.1.1 Organisation der Forschungsprogramme

Jedes der Forschungsprogramme wird von einer Fachperson aus der Sektion Energieforschung betreut (Bereichsleiter bzw. Bereichsleiterin), die für sämtliche, das jeweilige Forschungsprogramm betreffenden administrativen und koordinativen Belange zuständig ist. Dieser Person steht ein Programmleiter bzw. eine Programmleiterin zur Seite, wobei diese Funktion je nach Forschungsprogramm in Personalunion mit der Bereichsleitung oder durch eine externe Person wahrgenommen wird. Um die Koordination mit den marktorientierten Umsetzungs- und Förderprogrammen des BFE (z. B. EnergieSchweiz) sicherzustellen, verfügen die in der Regel Forschungsprogramme über eine Ansprechperson im Marktbereich (Bereichsleiter bzw. Bereichsleiterin Markt), die auch in der Begleitgruppe des entsprechenden Forschungsprogramms Einsitz hat.

Um die Koordination zwischen den Bereichsleitern bzw. Bereichsleiterinnen aus Forschung und Markt, sowie den Programmleitungen und anderen wichtigen Schweizer Akteuren im Bereich der Energieforschung (z. B. ETH-Bereich, Euresearch, SBFI, KTI, Swisselectric Research) sicherzustellen, organisiert die Sektion Energieforschung zweimal jährliche eine Programmleitertagung, wobei jene im Winterhalbjahr zusammen mit der CORE durchgeführt wird.

7.1.2 Pilot- und Demonstrationsprojekte

Pilot- und Demonstrationsprojekte bilden den Link zwischen den Ergebnissen der Energieforschung und dem Markt. Um diesen Anforderungen bei der Wahl der Projekte gerecht zu werden, hat das BFE speziell für Pilot- und Demonstrationsprojekte einen abteilungsübergreifenden Expertenausschuss eingesetzt, in welchem Vertreter der Energieforschung, des Marktbereichs und der Kommunikation Einsitz haben. Die administrativen Arbeiten und die Koordination des Expertenausschuss wer-

den durch die Sektion Energieforschung wahrgenommen.

Auf den Antragsformularen müssen die nicht amortisierbaren Mehrkosten ausgewiesen werden, um die maximale Beitragshöhe ermitteln zu können. Im Gebäudebereich muss zudem ausgewiesen werden, dass die geplante Anlage mindestens die Zielwerte für Umbauten gemäss SIA 380/1 (Gebäudesanierung) oder den Minergie-P-Standard (Neubau) erreicht. Dazu müssen dem Gesuch die Nachweisformulare des Vereins Minergie und das entsprechende ausgefüllte Formular der Energiefachstelle beigelegt werden.

7.1.3 Externe Beratung durch Begleitkommissionen

Die Energieforschung des BFE kann auf ein weites und umfassendes Beziehungsnetz sowohl innerhalb der Schweiz als auch im internationalen Umfeld zurückgreifen. Durch diese Vernetzung ist das BFE in der Lage, kurzfristig zu den meisten Fragestellungen aus allen Themenkreisen der Energieforschung Stellungnahmen einzuholen. Während zu themenspezifischen Fragestellungen bei den meisten der Forschungsprogramme des BFE Begleitgruppen beigezogen werden können, verfügt das BFE mit der Eidgenössischen Energieforschungskommission CORE über ein beratendes Gremium für strategische Fragen.

7.1.4 Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE)

1986 wurde die ausserparlamentarische Eidgenössische Energieforschungskommission CORE als beratendes Organ für die Energieforschung durch den Bundesrat eingesetzt. Unter anderem erarbeitet sie alle vier Jahre das *Konzept der Energieforschung des Bundes*[i], welches als Planungsinstrument für sämtliche Förderinstanzen des Bundes dienen soll. Daneben soll es den kantonalen und kommunalen Stellen als Orientierungshilfe dienen, die mit der Umsetzung der energiepolitischen Vorgaben betraut sind oder über eigene Förderinstrumente für die Energieforschung verfügen.

Ferner prüft die CORE regelmässig die schweizerische Energieforschung, äussert sich zur energiebezogenen Ressortforschung des Bundes und sorgt für eine angemessene Information über die Erkenntnisse und Entwicklungen der Energieforschung.

Jedes CORE-Mitglied übernimmt für mindestens eines der vom BFE geführten Forschungsprogramme die Patenschaft und vertritt damit die Interessen des Forschungsprogramms im Gremium. In der Funktion als Pate bzw. Patin nimmt das CORE-Mitglied auch Einsitz in die Begleitgruppe des entsprechenden Forschungsprogramms (Kapitel 7.1.5).

Der CORE gehören 15 vom Bundesrat gewählte Mitglieder an, welche die wichtigsten Akteure der Schweizer Energieforschung vertreten: Grossindustrie, Energiewirtschaft (Elektrizität, Wasser, Gas), kleine und mittlere Unternehmen (KMU), Ingenieurbüros, Start-ups, Investoren bzw. Venture Capital, ETH-Bereich, Fachhochschulen, Universitäten, Kantone. Neben dem BFE haben das BAFU, das SBFI und die KTI als Beobachter Einsitz. Gemäss dem Regierungs- und Verwaltungsorganisationsgesetz vom 21. März 1997 (RVOG; SR 172.010, Stand 1. Mai 2011) berücksichtigt die CORE bei der Wahl ihrer Mitglieder die Sprachregionen und die Geschlechter.

Die vollständige und nachgeführte Liste der Mitglieder der CORE kann auf dem Web unter www.energieforschung.ch eingesehen werden.

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

7.1.5 Begleitgruppen

Gemäss Pflichtenheft sind die Programmleitungen der Forschungsprogramme verpflichtet, Begleitgruppen einzusetzen, sie in den Entscheidungsprozess einzubinden und aktiv zu betreuen. Der CORE-Pate bzw. die CORE-Patin des jeweiligen Forschungsprogramms ist automatisch Mitglied der Begleitgruppe. Die meisten im Kapitel 3 aufgeführten Forschungsprogramme verfügen über eine solche Begleitgruppe. Einzelne Forschungsprogramme setzen aufgrund der sehr unterschiedlichen Aufgabenstellungen (z. B. das Forschungsprogramm *Energie–Wirtschaft–Gesellschaft*) keine feste Begleitgruppe ein, sondern organisieren diese projektspezifisch. Teilweise werden anstelle von Begleitgruppen jährliche Treffen mit den Projektnehmern (z. B. Forschungsprogramm *Industrielle Solarenergienutzung*) oder regelmässige nationale Tagungen durchgeführt, an welchen sich die Akteure und Projektnehmer mit den Förderinstitutionen treffen und austauschen (z. B. Photovoltaik-Tagung im Rahmen des Forschungsprogramms *Photovoltaik*).

7.1.6 Qualitätssicherung (Ziele neue Periode)

Das BFE richtet sich bei der Forschungsförderung nach den Richtlinien der Qualitätssicherung in der Ressortforschung des Bundes [x]. Gemäss dieser Richtlinie umfasst die Qualitätssicherung im Wesentlichen die drei Teilbereiche Forschungsmanagement, Berichterstattung und Wirksamkeitsüberprüfung (Evaluation). Das BFE ist daran, für die Sicherstellung bzw. die Verbesserung sowohl des Forschungsmanagements als auch der Qualitätssicherung für die Periode 2013–2016 die nachfolgend aufgeführten Massnahmen einzuleiten.

Forschungsmanagement

- Ausarbeiten und Einführen eines standardisierten Prozesses für die Projektauswahl. Im Speziellen sollen einheitliche und transparente Entscheidungskriterien mit entsprechender Dokumentation und geeigneten Arbeitshilfen ausgearbeitet werden;
- In den Jahren 2011 und 2012 haben die meisten in der Sektion Energieforschung arbeitenden Personen den von der Universität angebotenen CAS-Studiengang Forschungsmanagement (oder Module davon) absolviert (CAS: Certificate of Advanced Studies);
- Erarbeiten und Einführen eines kontinuierlichen Berichtsverfahrens (Monitoring) zu den einzelnen Projekten, das über das Projektende hinaus geht und es ermöglichen soll, die Weiterverwendung der im Rahmen der Projekte erzielten Resultate zu verfolgen;
- Ausarbeitung eines Projektmanagementtools, welches sowohl den im Bereich der Energieforschung tätigen Mitarbeitenden des BFE als auch den externen Programmleitungen zur Verfügung stehen soll. Damit sollen sämtliche Schritte von der Entscheidung über die Unterstützung eines Forschungsprojekts bis zu seinem Abschluss – und auch Jahre darüber hinaus – transparent und nachvollziehbar dargestellt werden.

Evaluation der Energieforschung

- Ausarbeitung einer Kriterienliste für die Evaluation (ex-ante / ex-post) der Forschungsprogramme und der Forschungsprojekte;
- Einführen von Benchmarks bzw. Milestones, mit denen sich der Projektverlauf und der Zielerreichungsgrad überprüfen lassen;
- Erarbeiten von Roadmaps, die es erlauben, die Energieforschungsprogramme des BFE mittel- und langfristig zu evaluieren.

Berichterstattung

- Erstellen einer zentralisierten Datenbank für die langfristige Projektdokumentation (z. B. Zusammenfassungen, Projektbeschreibungen, erzielte Resultate);
- Aufbau eines System für die Auswertung der durch die öffentliche Hand finanzierten Energieforschungsprojekte nach den im Konzept der Energieforschung des Bundes 2013–2016 vorgegebenen Schwerpunkten und den von der interdepartementale Arbeitsgruppe Energie vorgeschlagenen Aktionsfeldern;
- Erstellen einer automatischen Datenerfassung für öffentlich zugängliche Datenbanken wie beispielsweise ARAMIS.

.

7.2 Wissens- und Technologietransfer

Ein effizienter Wissens- und Technologietransfer sowie eine zielgerichtete Verbreitung der Forschungsresultate sind die Erfolgsschlüssel für Innovation, die aus Forschungsergebnissen resultiert.

Um den Erfolg zu stärken, ist es unumgänglich, den Wissens- und Technologietransfer möglichst früh zu berücksichtigen. Das BFE hat zu diesem Zweck 2011 eine Kontaktstelle Cleantech aufgebaut, die auch für den Wissens- und Technologietransfer zuständig ist. Sie wird die bis anhin von der Sektion Energieforschung wahrgenommenen Aufgaben übernehmen.

Die Sektion Energieforschung wird die Resultate der von ihr unterstützten Forschungsprojekte weiterhin über *Success Stories* und Fachbeiträge – vor allem in der Fachpresse – publik machen. Sie wird auch weiterhin die über das Internet öffentlich zugängliche Datenbank über die vom BFE unterstützten Pilot- und Demonstrationsprojekte pflegen und verwalten. Auch die ebenfalls über das Internet öffentlich zugängliche Datenbank über die Forschungskompetenzen der Schweizer Hochschulen und Universitäten wird weiterhin durch die Sektion Energieforschung geführt.

Wissens- und Technologietransfer über die Programmleitungen

Ein wesentlicher Faktor für die Verbreitung der Resultate aus den vom BFE unterstützten Forschungsprojekten ist die weit reichende Vernetzung der Bereichs- und Programmleitungen des BFE mit allen wichtigen Akteuren in der Schweiz und im internationalen Umfeld. Sowohl die aktive Teilnahme an Kongressen, Tagungen und Workshops, als auch die Mitarbeit in den verschiedensten Gremien ermöglichen einen zielgerichteten Informationsaustausch.

Anhänge

A. Ressortforschung

Die Forschung der Bundesverwaltung wird als Ressortforschung bezeichnet. Es handelt sich dabei um Forschung, deren Ergebnisse von der Bundesverwaltung bzw. der Bundespolitik für die Erfüllung ihrer Aufgaben benötigt werden, oder die sie initiiert, weil sie im öffentlichen Interesse liegt. Sie umfasst im Einzelnen:

- Forschung intramuros der Bundesverwaltung, bzw. den Betrieb von bundeseigenen Forschungsanstalten;
- die Durchführung eigener Forschungsprogramme, namentlich in Zusammenarbeit mit Hochschulen, Forschungsförderungsinstitutionen, der Kommission für Technologie und Innovation (KTI) oder weiteren Förderorganisationen;
- Beiträge an Hochschulforschungsstätten für die Durchführung von Forschungsprogrammen, soweit diese der Erfüllung der Aufgaben der Bundesverwaltung dienen sowie Aufträge der Bundesverwaltung an Dritte.

Nicht zur Ressortforschung gehören die Ausgaben der vom Bund finanzierten Hochschulen und deren Annexanstalten, Beiträge des Bundes an den Schweizerischen Nationalfonds (SNF), an die Kommission für Technologie und Innovation (KTI) und an wissenschaftliche Institutionen gemäss Forschungs- und Innovationsförderungsgesetz FIFG (SR 420.1) (Akademien, wissenschaftliche Hilfsdienste usw.) sowie Beiträge an internationale wissenschaftliche Institutionen und Organisationen.

B. Spezialgesetzliche Grundlagen

Neben der übergeordneten Verankerung im FIFG ist die Forschung der Bundesverwaltung auf rund 40 spezialgesetzliche Bestimmungen abgestützt. In diesen werden direkte Forschungsaufträge oder Finanzierungsverpflichtungen durch den Bund vorgegeben, bzw. direkte Evaluations-, Erhebungs-, oder Prüfungsaufträge formuliert, welche entsprechende wissenschaftliche Arbeiten voraussetzen.

Zudem werden Forschungsaufgaben in zahlreichen den Gesetzen zugehörigen und weiteren Verordnungen präzisiert. Darüber hinaus setzt selbst dort, wo kein expliziter gesetzlicher Auftrag zur Forschung besteht, die Anwendung und Umsetzung geltenden Rechts oft Fachwissen voraus, welches aktuell sein soll und daher mittels Forschung erarbeitet werden muss (z. B. beim Erlass von Richtlinien und Verordnungen).

Verpflichtungen aus internationalen Vereinbarungen und parlamentarischen Aufträgen

Neben den spezialgesetzlichen Bestimmungen enthalten oder implizieren auch rund 90 internationale Verträge, Konventionen oder Mitgliedschaften Verpflichtungen zur Forschung oder zu nationalen Forschungsanstrengungen in den jeweils relevanten Themenfeldern. Aber auch in Fällen, wo keine expliziten Forschungsverpflichtungen aus Verträgen existieren, ist die in Auftrag gegebene Forschung für einige Ämter zentral, um notwendige internationale Kontakte aufrecht erhalten zu können. Die Forschung der Bundesverwaltung ermöglicht so einen Austausch auf gleicher «Augenhöhe», dem die eigenen aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnisse zu Grunde liegen.

Vom Parlament selbst werden durch parlamentarische Initiativen, Motionen, Postulate, Interpellationen oder Anfragen Aufträge zur Erarbeitung von Entwürfen für Erlasse, zur Erarbeitung von Prüfungsberichten und Auskünften erteilt, deren Behandlung eine mehr oder weniger grosse Aktivität in der Forschung der Bundesverwaltung nach sich ziehen kann.

Eine Übersicht über die Spezialgesetze, die internationalen Verpflichtungen und parlamentarischen Aufträge ist im Bericht des Steuerungsausschusses-BFT *Ressortforschung: Finanzielle Gesamtlage 2004–2007 und spezialgesetzliche Voraussetzungen* (www.ressortforschung.admin) aus dem Jahr 2008 enthalten.

C. Koordination der Forschung der Bundesverwaltung

Steuerungsausschuss Bildung–Forschung–Technologie

Der Steuerungsausschuss (Steuerungsausschuss-BFT) wurde im Zuge der Reorganisation des Bereichs *Bildung, Forschung und Technologie* 1997 durch den Bundesrat eingesetzt. Er nimmt für den Bundesrat allgemeine Steuerungsaufgaben in Zusammenhang mit der Forschung der Bundesverwaltung wahr, namentlich bei der Koordination der Forschungskonzepte sowie bei Fragen der Qualitätssicherung [xi]. Er unterstützt die Bundesämter bei der Umsetzung der Qualitätssicherungsrichtlinien und kann Evaluationen initiieren.

Die Mitglieder des Steuerungsausschusses-BFT sind die Direktorinnen bzw. Direktoren der Bundesämter mit eigener Forschung, der Bundeskanzlei und der eidg. Finanzverwaltung sowie je ein Vertreter des Schweizerischen Nationalfonds (SNF), der Kommission für Technologie und Innovation (KTI) und des Rats der Eidgenössischen Technischen Hochschulen (ETH-Rat). Der Steuerungsausschuss-BFT stellt die strategische Koordination der Forschung der Bundesverwaltung sicher und unterstützt sein Präsidium in der Wahrnehmung der Verantwortung für das Gesamtsystem. Er verabschiedet Richtlinien auf Vorschlag des Präsidiums, nimmt Aufgaben wahr bei der Auswahl von Nationalen Forschungsprogrammen (NFP) und Nationalen Forschungsschwerpunkten (NFS) und erhebt jährlich den Forschungsaufwand und den Budgetrahmen der Forschungskredite der Bundesverwaltung für die Berichterstattung an den Bundesrat. Zudem informiert er den Bundesrat über laufende und geplante Massnahmen im Bereich der Forschung der Bundesverwaltung wie beispielsweise Evaluationen und Aktivitäten im Zusammenhang mit parlamentarischen Vorstössen.

Die ämter- und departementsübergreifende Steuerung der finanziellen Ressourcen der Forschung der Bundesverwaltung fällt allerdings nicht in den Aufgabenbereich des Steuerungsausschusses-BFT.

Letztmals wurde im Jahr 2006 eine entsprechende Empfehlung der Geschäftsprüfungskommission des Nationalrates zur Steuerung der Ressourcen in der Forschung der Bundesverwaltung durch den Bundesrat abgelehnt [xii]. Diese Steuerung muss in letzter Verantwortung durch das Parlament über die Genehmigung der jeweiligen spezifischen Forschungskredite der Ämter erfolgen und kann mit dem heutigen Verfahren vom Parlament im Rahmen der jährlichen Budgetentscheide effizient wahrgenommen werden.

D. Datenbank ARAMIS

Das Informationssystem ARAMIS (www.aramis.admin.ch) enthält Informationen über Forschungsprojekte und Evaluationen, die der Bund selber durchführt oder finanziert. Eingeführt wurde das System 1997 als Folge von mehreren parlamentarischen Vorstössen, die mehr Transparenz und eine Verbesserung der Kooperation in der Forschung der Bundesverwaltung verlangten. Die Ziele und Aufgaben des Systems werden in der Verordnung über das Informationssystem ARAMIS betreffend Forschungs- und Entwicklungsprojekte des Bundes (SR 420.31) beschrieben:

- Sichtbarmachen der Forschungstätigkeiten und der Evaluationen der Bundesverwaltung;
- Vermeidung von Doppelspurigkeiten;
- Werkzeug für die Bundesstellen zur einfachen Verwaltung von Forschungsprojekten.

Das Informationssystem funktioniert als eine einfache Datenbankanwendung, in welcher alle Forschungsvorhaben und Wirksamkeitsüberprüfungen / Evaluationen der Bundesverwaltung als einzelne oder miteinander verknüpfte Projekte abgebildet werden. ARAMIS dient daher als ein Pfeiler in der Qualitätssicherung bezüglich der Forschung der Bundesverwaltung und ist entsprechend in den Richtlinien des Steuerungsausschusses BFT über die Qualitätssicherung verankert. Für die Koordination der Forschung unter den Bundesstellen werden auf der Basis von ARAMIS jährlich detaillierte Informationen über die Art der Forschung (intramuros, Forschungsauf- und -beiträge), die Auftragsnehmer sowie die Aufwendungen der Ämter im Rahmen der Forschungskonzepte zuhanden des Steuerungsausschusses-BFT zusammengestellt. Damit wird sichergestellt, dass dieser jährlich über die Mittelentwicklung und -einsetzung bei den einzelnen Ämtern informiert ist, und dass er die Forschungsplanung und den effizienten Mitteleinsatz unterstützen kann.

E. Qualitätssicherung in der Forschung der Bundesverwaltung

Die Geschäftsprüfungskommission des Nationalrates (GPK-N) empfahl im Bericht *Steuerung der Ressortforschung des Bundes* vom 23. August 2006 [xiii], die Umsetzung der vom Steuerungsausschuss-BFT im Jahr 2005 erlassenen Qualitätssicherungsrichtlinien in der Forschung der Bundesverwaltung zu evaluieren. Der Steuerungsausschuss-BFT hat darauf die beiden Evaluationsobjekte *Umsetzung der Qualitätssicherungsrichtlinien der Forschung bei den Ämtern* und die *Nutzung der Forschungsergebnisse der Forschung der Bundesverwaltung in den jeweiligen Kontexten* festgelegt und entschieden, die Evaluation entsprechend den internationalen Standards in Form einer internen Selbstevaluation und einer externen Evaluation durchzuführen. In der Folge wurde der Schweizerische Wissenschafts- und Technologierat (SWTR) vom Steuerungsausschuss-BFT mit der Durchführung der externen Evaluation unter Einbezug internationaler Experten mandatiert.

Die Evaluationsergebnisse zeigen, dass die Qualitätssicherung in den Ämtern, welche zusammen mehr als 90 % der Forschungsinvestitionen des Bundes tätigen, nach Grundsätzen erfolgt, die in den Richtlinien des Steuerungsausschusses-BFT festgehalten sind [xiv].

Endnoten

i Konzept der Energieforschung des Bundes 2013–2016, www.energieforschung.ch

ii Bereichsleiterinnen bzw. Bereichsleiter sind ausschliesslich Mitarbeitende des BFE, während Programmleiter bzw. Programmleiterinnen sowohl Mitarbeitende des BFE als auch beauftragte Personen sein können. Die Aufgabenteilung ist über die Pflichtenhefte geregelt.

iii Bundesamt für Energie: Überblicksberichte der Programmleiter. www.energieforschung.ch

iv Bundesamt für Energie: Projektliste der Energieforschung des Bundes 2008/2009; www.energieforschung.ch

v COST: Coopération européenne dans le domaine de la recherche scientifique et technique. Hierbei handelt es sich um eine unabhängige, zwischenstaatliche Struktur der wissenschaftlichen Zusammenarbeit, die 34 europäische Staaten und Israel als kooperierenden Staat umfasst. Die Teilnahme an den Aktionen von COST ist für jedes Mitgliedsland freiwillig, und eine neue Aktion tritt dann in Kraft, wenn sich mindestens fünf Mitgliedsländer zur Mitarbeit verpflichten und ein entsprechendes Memorandum of Understanding unterzeichnen. Die Forschungskosten werden national von den einzelnen Mitgliedstaaten finanziert, die Kosten der Koordinationsaktivitäten aus dem Budget des Forschungsrahmenprogramms der EU. www.sbfi.admin.ch

vi Das ENSI erhält für Tätigkeiten im Rahmen seiner Aufsichtstätigkeit kein Geld vom Bund – die Tätigkeiten sind gebührenfinanziert (Art. 83 KEG). Gemäss Art. 86 des Kernenergiegesetzes kann der Bund die angewandte Forschung über die friedliche Nutzung der Kernenergie, insbesondere über die Sicherheit der Kernanlagen und die nukleare Entsorgung, fördern. Die vom Bund geförderte, d. h. bezahlte Forschung muss von Bundesrat und Parlament im Rahmen des Voranschlags und Finanzplans genehmigt werden. Das Budget des ENSI wird jedoch nicht vom Bundesrat oder vom Parlament genehmigt, sondern vom ENSI-Rat. Aus diesem Grunde wird der für die regulatorische Forschung vorgesehene Betrag im Budget des BFE eingestellt. Dadurch scheinen die für das ENSI reservierten Mittel zwar im Budget des BFE auf, stehen diesem selber aber nicht zur Verfügung sondern werden jeweils Anfang Jahr an das ENSI überwiesen.

vii Nicht oder wenig verholzte Biomasse

viii Bundesamt für Energie: Potenziale zur energetischen Nutzung von Biomasse in der Schweiz (2004)

ix Bundesamt für Energie: Strategie zur energetischen Nutzung von Biomasse in der Schweiz – Biomasse-Energiestrategie Schweiz (2010)

x Qualitätssicherung in der Ressortforschung des Bundes, 09. November 2005, Präsidium des Steuerungsausschusses für den Bereich Bildung, Forschung und Technologie; www.ressortforschung.admin.ch/html/dokumentation/publikationen_de.html

xi Grundsätze für die Erstellung der Konzepte 2013–2016 betreffend die Forschungsaktivitäten der Bundesverwaltung in den 11 Politikbereichen, Steuerungsausschuss BFT, Mai 2011

xii BBl **2007** 847 (www.admin.ch/ch/d/ff/2007/847.pdf)

xiii BBl **2007** 771 (www.admin.ch/ch/d/ff/2007/771.pdf)

xiv Abschlussbericht des Steuerungsausschusses-BFT *Evaluation der Umsetzung der Qualitätssicherungsrichtlinien und der Nutzung der Forschungsergebnisse in der Ressortforschung*, April 2010; www.ressortforschung.admin.ch/html/dokumentation/publikationen_de.html

Bundesamt für Energie
Mühlestrasse 4
CH-3603 Ittigen
Postadresse: CH-3003 Bern

Telefon: ++41 (0)31 322 56 11
Fax: ++41 (0)31 322 25 00

contact@bfe.admin.ch
www.energieforschung.ch