



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI

Staatssekretariat für Bildung und Forschung SBF

Nationale Forschung

Stand und Perspektiven Energieforschung

Bericht der Arbeitsgruppe *Forschung*
(AG *Energieforschung*)
im Rahmen *IDA Energie*

29. April / 12 Mai 2011

Arbeitsgruppe Forschung (AG Energieforschung):

SBF, BFE, CORE, BBT, ETH-Bereich, KTI

(Leitung: SBF)

Als Beilage und somit Bestandteil des **Aussprachepapiers** der vom Bundesrat eingesetzten **Interdepartementalen Arbeitsgruppe (IDA) Energie** ist dieser Bericht ein Arbeitsdokument.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI
Staatssekretariat für Bildung und Forschung SBF
Nationale Forschung

Hallwylstrasse 4
CH-3003 Bern

Tel. +41 31 322 96 61
Fax +41 31 322 78 54
info@sbf.admin.ch
www.sbf.admin.ch

Download:

http://www.sbf.admin.ch/htm/dokumentation/publikationen/forschung/11.06.06.NFO.StandPerspektivenEnergieforschung_d.pdf

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG	1
RESUMÉ	7
Bericht	13
EINLEITUNG	15
Teil I Aktuelle Lage (Etat des lieux)	17
1. ÜBERSICHT ÜBER FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE	17
1.1 Die Förderschwerpunkte der Schweizer Energieforschung bis 2009	17
1.2 Entwicklung der letzten Jahre	18
1.3 Vergleich National - International	19
2. ÜBERSICHT ÜBER AKTEURE	20
2.1 Forschungsakteure (Kompetenzzentren im Hochschulbereich)	20
2.2 Förderagenturen (nationale Ebene)	23
2.3 Forschungsförderung auf internationaler Ebene mit Beteiligung CH	24
2.4 Ressortforschung des Bundes	26
2.5 Hauptakteure Privatwirtschaft	28
3. GLOBALE FINANZÜBERSICHT	30
3.1 Öffentliche Mittel (Gesamtaufwand)	30
3.2 Aufwendungen der Privatwirtschaft	34
4. PLANUNGSVERFAHREN AUF STUFE BUND	35
Teil II Aktionsperspektiven Bund	37
1. ÜBERSICHT AKTIONSEBENEN DES BUNDES IM BFI-BEREICH	37
2. BEDARFSPORTFOLIO (BFE): TECHNOLOGIEGEBIETE – FORSCHUNGSBEDARF	39
A. Biomasse/Biogas	40
B. Elektrische Netze	42
C. Gas und Dampfkraftwerke / Carbon Capture and Storage	44
D. Windenergie	46
E. Photovoltaik	48
F. Energieeffizienz	50
G. Solare Kühlung/solare Wärme	52
H. Wasserkraft	54
I. Geothermie	55
J. Verfahrenstechnik (Prozesse in Industrie und Dienstleistungen)	57
K. Speichertechnologien	59

3. BEURTEILUNG UND BEWERTUNG DES BEDARFSPORTOLIO	61
3.1 Aktionsfeld 1: Effizienztechnologien	61
3.2 Aktionsfeld 2: Elektrizitätsübertragung / Netze	63
3.3 Aktionsfeld 3: Energiespeicherung	64
3.4 Aktionsfeld 4: Bereitstellung von Elektrizität	65
3.5 Aktionsfeld 5: Ökonomische und rechtliche Aspekte (Forschungsbedarf)	67
4. FAZIT	69
4.1 Aktionsfelder: Potenzial und Vergleich	69
4.2 Querschnitts-Profile und Beitrag der Energieforschung für die drei Stromangebotsvarianten	72
4.3 Aktionsplan «Koordinierte Energieforschung Schweiz»	75
5. MASSNAHMEN UND EMPFEHLUNGEN	77
5.1 Institutionelle Fördermassnahmen (Kompetenzzentren)	77
5.2 Fördermassnahmen über etablierte Förderinstrumente	80
5.3 Aktionsplan «Koordinierte Energieforschung Schweiz»	82

ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen der vom Bundesrat eingesetzten Interdepartementalen Arbeitsgruppe (IDA) *Energie* hat die **AG Energieforschung** den Auftrag:

- (i) eine kurze Übersicht (Etat des lieux) zur Situation der Energieforschung in der Schweiz (Forschungsschwerpunkte; Akteure; Finanzierung; Planung) zu erarbeiten und
- (ii) Aktionsperspektiven für den Bund bzw. den Bundesrat im Rahmen der geltenden Verfahren und Zuständigkeiten im Bereich von Bildung, Forschung und Innovation (BFI-Bereich) darzulegen.

Teil I Aktuelle Lage

Forschungsschwerpunkte

- Gemessen am Anteil an den öffentlichen Gesamtmitteln (Referenzjahr 2009: 213.5 Mio. CHF) arbeitet die Schweizerische Energieforschung aktuell auf den folgenden Schwerpunkten/Forschungsbereichen: **Effiziente Energienutzung** (36%); **Erneuerbare Energien** (31%); **Kernenergie** (25%); **Energiewirtschaftliche Grundlagen: Energiewirtschaft, Gesellschaft, WTT** (7%).
- Nach einer Abnahme im Jahrzehnt davor hat in den **letzten Jahren (2006-2009)** eine **starke Zunahme** der *nominalen Aufwendungen* vor allem in den Bereichen der *Effizienten Energienutzung* und *Erneuerbaren Energien* stattgefunden.
- **Langzeitentwicklung:** Der prozentuale Anteil der *Erneuerbaren Energien* an den Gesamtaufwendungen der öffentlichen Hand ist in den Jahren 1990-2009 relativ konstant bei knapp über 30% geblieben, während beim Anteil der *Effizienten Energienutzung* eine Steigerung von 25% auf 36% feststellbar ist. Die *Kernenergie* (Fission und Fusion) demgegenüber hat ihren ursprünglichen Anteil von 61% (1980) auf rund 25% verringert. Der Anteil des vierten Förderschwerpunktes der *Energiewirtschaftlichen Grundlagen* hat sich in den vergangenen 20 Jahren insgesamt nur geringfügig verändert.

Finanzielle Kennzahlen (Referenzjahr 2009)

- Der Gesamtaufwand der **öffentlichen Mittel** beträgt gut **213 Mio. CHF**, davon Bund 171 Mio. CHF und Kantone/Gemeinden 20 Mio. CHF.
- Die Verteilung der *Bundesmittel* (nach Herkunft) präsentiert sich wie folgt: ETH-Rat (Zuteilung aus Globalkredit): 114 Mio. CHF; SNF: 4 Mio. CHF; KTI: 11 Mio. CHF; BFE und ENSI: 36 Mio. CHF; SBF: 5 Mio. CHF; EU-Programme: 23 Mio. CHF; weitere Bundesämter: 2 Mio. CHF
- Der Gesamtaufwand der **Privatwirtschaft** beträgt abgeschätzt mindestens 780 Mio. CHF (Jahr 2008). Diese Mittel wurden namentlich in den Schwerpunkten *Effiziente Energienutzung* (520 Mio. CHF), *Erneuerbare Energien* (180 Mio. CHF), *Kernenergie* (50 Mio. CHF) und *Energie-Wirtschaft-Gesellschaft-WTT* (30 Mio. CHF) eingesetzt.
- **BIP-Anteil:** Gemäss einer Statistik der International Energy Agency (OECD) stand die Schweiz 2008 mit 0,37‰ der BIP-Aufwendungen für Energieforschung (Gesamtaufwand) an 5. Stelle nach Finnland, Japan, Frankreich und Kanada. Bezogen auf die Aufwendungen der öffentlichen Hand, das heisst ohne den Anteil der privaten Forschungsbeträge, lag die Schweiz 2008 an 8. Stelle - hinter USA, JAP, FRA, DEU, CAN, UK und FIN.

Hauptakteure

- Die Hochschulen und Forschungsinstitute der Schweiz verfügen über hochqualifizierte Forscher auf dem Energiegebiet und können auch auf Experten aus wichtigen Kontextdisziplinen (u.a. Hydrologie, Seismologie; Ökonomie) zurückgreifen. Die Energieforschung ist zudem auf nationaler wie internationaler Ebene sehr gut vernetzt.
- Die wissenschaftlichen Hauptakteure sind klar im **ETH-Bereich konzentriert** (mit den vier Kompetenzzentren: Energy Science Center ETH Zürich; Energy Center EPF Lausanne; PSI und Empa):

So werden im Jahre 2009 insgesamt **71%** der *öffentlichen* Gesamtmittel der Energieforschung (213 Mio. CHF) allein im ETH-Bereich umgesetzt und **53%** der öffentlichen Gesamtmittel fliessen direkt über den ETH-Rat in die Grundfinanzierung der in den erwähnten Kompetenzzentren tätigen Einheiten. Dieselbe Dominanz zeigt sich auch bezogen auf die Anteile bei der *kompetitiven Förderung*, wo die Institutionen des ETH-Bereiches im Bereich der Energieforschung deutlich vor den Universitäten und den Fachhochschulen stehen, sowohl beim SNF (> 90%), bei der KTI (gut 50%; FHS 40%) wie auch bei den EU-Programmen (FP7-Energy, mit 90% bezogen auf akademische Institutionen).

Teil II Aktionsperspektiven Bund

Ausgangslage

Zur Beantwortung der Frage, wie die Stromversorgung der Schweiz mit den Zeithorizonten 2020, 2035 und 2050 sichergestellt werden kann, müssen aus Sicht der Forschung vier Hauptfaktoren berücksichtigt werden.

Effizienztechnologien im Strombereich reduzieren den direkten Elektrizitätseinsatz und bestimmen damit die Gesamtnachfrage nach Elektrizität. Weiter sind *Effizienztechnologien in anderen Sektoren* wie Gebäude oder Mobilität einzubeziehen, welche direkt über die Elektrizität oder indirekt über ihre Treibhausgasemissionen zur Entlastung des Gesamtsystems beitragen können.

Der Bereitstellung ausreichender Kapazitäten für die **Elektrizitätsübertragung** auf der Hochspannungsebene, dem Verteilnetz und der Implementierung «intelligenter» Netze (smart grids) mit der Integration von Speichern kommt eine weitere zentrale Bedeutung zu.

Das dritte leistungsfähige Element zur Reduktion von Verlusten und damit zur Effizienzsteigerung ist die Entwicklung flexibler Speicher für die zentrale und dezentrale **Speicherung von Energie**. Speicherung von Elektrizität und anderen Energieträgern ermöglicht die Anpassung zwischen verfügbarer Energie und angeforderter Last und trägt damit zur Effizienzsteigerung bei; Speicherkapazitäten sind zudem auch wesentlich für die Netzstabilität.

Die Ausschöpfung dieser drei Faktoren bildet die Voraussetzung für eine erfolgreiche Förderung der erneuerbaren Energien mit dem Ziel, deren Anteil an der Primärenergie auf über 50% und an der Elektrizität auf über 70% zu steigern. Für die **Produktion und Bereitstellung der Elektrizität** sind hierbei die Potenziale der verschiedenen Technologien (z.B. im Bereich der Photovoltaik; Geothermie und Biomasse) bezogen auf die Situation und die Umsetzbarkeit in der Schweiz zu analysieren.

Aktionsplan «Koordinierte Energieforschung Schweiz»

Bei dieser Ausgangslage und der Bewertung der wichtigsten Technologien und Technologieentwicklungsgebiete (s. Bericht, Teil II, Kap. 2 sowie Profilübersicht Tabelle 6, Teil II, Kap. 4.1) ergeben sich aus Sicht der Forschung fünf prioritäre Aktionsfelder (s. Bericht Teil II, Kap. 3) mit zusätzlichem Forschungsbedarf:

- Aktionsfeld 1: Effizienztechnologien
- Aktionsfeld 2: Elektrizitätsübertragung / Netze
- Aktionsfeld 3: Energiespeicherung
- Aktionsfeld 4: Bereitstellung von Elektrizität
- Aktionsfeld 5: ökonomische und rechtliche Aspekte

Diese Aktionsfelder umfassen sowohl effektive Massnahmen zur Abflachung der Nachfrage als auch zukunftsorientierte Optionen für die Angebotsseite und die Substitution der Energieträger. Bezogen auf die Stromangebotsvarianten gemäss der vorausgesetzten - zur Zeit allerdings noch nicht im Detail aktualisierten - Energieszenarien (s. *AG Energieszenarien*) wird daraus ein **Aktionsplan «Koordinierte Energieforschung Schweiz»** abgeleitet und in den Grundzügen skizziert (s. Bericht Teil II, Kap. 4.3)

Die Umsetzung dieses Aktionsplanes erfordert aus Sicht der Forschungsakteure erhebliche **Zusatzmittel für Forschung und Innovation**. Betreffend die *öffentlichen Forschungsmittel* plädieren die Forschungsakteure für einen *schrittweisen Ausbau* über die nächsten 10 Jahre und als *Zielgrösse* im Vergleich zu 2009 (rund 213 Mio. CHF p.a.) für eine Verdoppelung der jährlichen Mittel zu Gunsten der Energieforschung bis ins Jahr 2020 auf 427 Mio. CHF. Dieser Betrag entspricht etwa 1% der gesamten volkswirtschaftlichen Kosten des Energiesystems.

Aktionsperspektiven des Bundes: Massnahmen und Empfehlungen

Gestützt auf die im Bericht zusammengetragenen Fakten (Teil I) und Expertisen hinsichtlich Herausforderungen und Forschungsbedarf im Bereich der Energie (Teil II) kommt die **AG Energieforschung** zu einer Reihe von Massnahmen und Empfehlungen. Sie beziehen sich auf Förderachsen, die es dem Bund im Rahmen der geltenden Rechtsgrundlagen und Zuständigkeiten ermöglichen, angesichts der grossen Herausforderungen in der Energiepolitik im Bereich der Energieforschung die notwendigen Weichen zu stellen (s. Bericht Teil II, Kap. 5).

Massnahme 1A: Überprüfung der Portfolios «Energieforschung» im ETH-Bereich

- *Zuständigkeit:* **ETH-Rat** in Zusammenarbeit mit Schulleitungen und Zentren
- *Finanzierung:* *innerhalb ETH-Globalbudget* gemäss BFI 2013-2016
- *Termine:* **Dezember 2011** (zuhanden SBF und AG Energieforschung)

Angesichts der zentralen Rolle des ETH-Bereichs in der schweizerischen Energieforschung sowie unter Berücksichtigung des Umstandes, dass der Hauptanteil an den Bundesmitteln zu Gunsten der Energieforschung über den ETH-Bereich umgesetzt wird, ist diese Massnahme mittelfristig von struktureller Bedeutung. Dabei ist Massnahme 1A sowohl sachlich wie zeitlich mit Massnahme 4 (Aktionsplan «Koordinierte Energieforschung Schweiz») zu verknüpfen.

Massnahme 1B: Überprüfung des Portfolios «anwendungsorientierte Energieforschung» der Fachhochschulen

- *Zuständigkeit:* **BBT** in Zusammenarbeit mit KFH
- *Finanzierung:* *innerhalb Bundesbeiträge zu Gunsten Fachhochschulen* gemäss BFI 2013–2016 gemäss BFI 2013-2016
- *Termine:* **Dezember 2011** (zuhanden BBT und AG Energieforschung)

Angesichts des nachgewiesenen hohen Bedarfs an primär anwendungsorientierter Forschung ist das entsprechende Potenzial von Fachhochschulen und ihren Kompetenzzentren optimiert zu nutzen (gezielte Stärkungs- und Konzentrationsmassnahmen). Dabei ist auch Massnahme 1B sowohl sachlich wie zeitlich mit Massnahme 4 (Aktionsplan «Koordinierte Energieforschung Schweiz») zu verknüpfen.

Massnahme 2: Stärkung der Zusammenarbeit zwischen Hochschulen und Wirtschaft (Public-Private Partnership); Stärkung des Wissens- und Technologietransfers

Diese Massnahme betrifft einerseits die gezielte Unterstützung von Technologiekompetenzzentren mit hohem Potenzial für die direkte Zusammenarbeit zwischen Hochschulen und Wirtschaft, beispielsweise im Bereich der Photovoltaik, sowie die Verstärkung des WTT-Support im Bereich der Energie durch die KTI.

Finanzierung/Termine: Wie die erste zielt auch Massnahme 2 auf eine Förderung *innerhalb* der Finanzplanung der BFI 2013-2016 und unter den nach Gesetz geregelten Zuständigkeiten (Förderkredite nach Art. 16 FIFG; KTI-Förderkredit).

Massnahme 3a: Nutzung der etablierten Förderinstrumente, namentlich der Nationalen Forschungsprogramme

- **Zuständigkeit:** BR (auf Antrag EDI)
- **Finanzierung:** innerhalb der Finanzplanung BFI 2012 und BFI 2013-2016 (Förderkredite SNF)
- **Termine:** Juni 2011 (Grundsatzentscheid BR)

Im Vordergrund steht hier die Nutzung des etablierten Instrumentes der Nationalen Forschungsprogramme sowie die Empfehlung, im Rahmen der unmittelbar anstehenden neuen Prüfrunde (Ausschreibung 2011) eine auf die Energieproblematik fokussierte NFP *Programmserie* (i.e. mehrere, hinsichtlich Programmzielen und Forschungsthemen aufeinander abgestimmte NFP-Programme) zu lancieren – ergänzt mit der Vorgabe, dass die Programmdurchführung zwischen SNF und KTI koordiniert zu erfolgen hat.

Massnahme 3b: Innovationsförderung KTI: Förderschwerpunkt Energie

- **Zuständigkeit:** EVD
- **Finanzierung:** innerhalb der Finanzplanung BFI 2013-2016 (Förderkredite KTI)
- **Termine:** ab 2013 im Rahmen der Umsetzung der BFI 2013-2016

Empfohlen wird die Einrichtung eines Förderschwerpunktes Energie bei der Innovationsförderung durch die KTI. Ziel ist hier das Generieren von Umsetzungsprojekten namentlich im Bereich der Energieeffizienz (Prozess- und Produkteoptimierung). Denn neben der kostenintensiven und institutionalisierten High-Tech Forschung gibt es viele mittelständige Unternehmen, die neue Ideen in verschiedenen Bereichen der Energiemärkte haben wie erneuerbare Energien, Wärmedämmung oder Speicherung. Diese bottom up Ansätze sind, gestützt auf vorhandenes Wissen, breiter zu nutzen. Der KTI kommt hierbei eine zentrale Unterstützungsfunktion für in der Energietechnik spezialisierte mittelständige Unternehmen zu. Die Umsetzung dieser Massnahme würde demnach im Rahmen der Normalförderung durch die KTI mit den etablierten Instrumenten und gemäss den etablierten Förderregeln erfolgen.

Massnahme 4: Erarbeitung eines konsolidierten Aktionsplanes «Koordinierte Energieforschung Schweiz»

- **Zuständigkeit:** BR (Auftragserteilung über Departemente EDI und UVEK)
- **Auftragsempfänger:** CORE in Zusammenarbeit mit ETH-Rat und KFH
- **Koordination:** BFE, SBF, BBT

Konsolidierung des im vorliegenden Berichtes skizzierten Aktionsplanes «Koordinierte Energieforschung Schweiz»: Abstimmung zwischen Aktionsfeldern mit den Stromangebotsvarianten (Energieszenarien); Erarbeiten von Roadmaps für die prioritären Aktionsfelder; Klärung und Konkretisierung des Finanzbedarfs. Dabei ist namentlich auch der finanzielle Zusatzbedarf für Pilot- und Demonstrationsprojekte zu klären, wo Bundesmittel nach bisheriger Praxis nur subsidiär eingesetzt werden können.

Relevanz -Termine: Neben der erforderlichen Konsolidierung von diversen Sachfragen ist Massnahme 4 sowohl für die Umsetzung von Massnahmen 1A und 1B wie auch für die Klärung des effektiven *zusätzlichen* Finanzbedarfs für Forschung und für die Innovationsförderung (und damit auch für die Finanzplanung der BFI 2013-2016) von hoher Bedeutung. Entsprechend eng sind die Termine zu setzen:

- **bis Ende 2011:** Abklärungen CORE, ETH-Rat und KFH liegen vor (Berichterstattung zuhanden SBF, BBT und AG Energieforschung)
- **Frühjahr 2012:** Konsolidierter Aktionsplan «Koordinierte Energieforschung Schweiz» liegt vor, einschliesslich der Konsequenzen für die Finanzplanung im Rahmen der BFI 2013-2016 (Schlussredaktion).

Massnahme 5: Sicherung von Bundesmitteln für die subsidiäre Unterstützung von Pilot- und Demonstrationsanlagen im Energiebereich

- *Zuständigkeit:* **BR**
- *Koordination:* **EDI (SBF) – UVEK (BFE)**
- *Finanzierung:* **ausserhalb** der Finanzplanung der BFI 2013-2016
- *Termine:* **Juni 2011 (Grundsatzentscheid BR)**

Angesichts der sich im Bereich der Energiepolitik stellenden Herausforderungen ergibt sich ein Sach- und Zielkonflikt mit der kürzlich vom Bundesrat beschlossenen Aufgabenüberprüfung im Bereich der Ressortforschung des Bundes (strukturelle Einsparungen von jährlich 30 Mio. CHF ab 2014). Als weitere Sofortmassnahme empfiehlt die *AG Energieforschung* eine Aussetzung der laufenden AüP für das Bundesamt für Energie (BFE) und die zuständigen Stellen mit der entsprechenden Anpassung der aktuellen Planungsunterlagen und Abklärungsverfahren zu beauftragen.

RESUMÉ

Dans le cadre du groupe interdépartemental *IDA Energie* (institué par le Conseil fédéral), le **groupe de travail Recherche énergétique** a pour mission:

- (iii) de dresser un état des lieux de la recherche énergétique en Suisse (priorités thématiques, acteurs, financements, planification) et
- (iv) de dégager des perspectives d'action pour la Confédération (le Conseil fédéral) qui puissent s'inscrire dans le cadre des procédures et des attributions de compétence actuellement en vigueur dans le domaine *formation, recherche et innovation* (domaine FRI).

Première partie	Etat des lieux
-----------------	----------------

Priorités thématiques

- En pourcentages de la totalité des financements publics alloués à la recherche énergétique suisse (année de référence 2009: 213,5 millions de francs), le poids respectif des priorités thématiques (domaines de recherche) se présente comme suit: **Efficacité énergétique** (36 %); **Energies renouvelables** (31 %); **Energie nucléaire** (25 %); **Fondements de l'économie énergétique: économie énergétique, société, TST** (7 %).
- Après le recul enregistré au cours de la décennie précédente, les *dépenses nominales* ont **fortement progressé ces dernières années (2006–2009)**, notamment dans les domaines de *l'efficacité énergétique* et des *énergies renouvelables*.
- **Evolution au cours des deux dernières décennies:** En pourcentage des dépenses publiques, le domaine *Energies renouvelables* est resté relativement stable pendant les années 1990–2009, tandis que le domaine *Efficacité énergétique* est passé de 25 % à 36 % et le domaine *Energie nucléaire* (fission et fusion) de 61 % (1980) à 25 % en chiffre rond. La part du domaine *Fondements de l'économie énergétique* a peu évolué au cours des vingt dernières années.

Indicateurs financiers (année de référence 2009)

- Les **dépenses publiques** annuelles pour la recherche énergétique se montent à plus de 213 millions de francs, dont 171 millions à la charge de la Confédération et 20 millions à la charge des cantons et des communes.
- Les *financements fédéraux* passent par les canaux suivants: Conseil des EPF (allocation sur l'enveloppe budgétaire): 114 millions; FNS: 4 millions; CTI: 11 millions; OFEN et ENSI: 36 millions; SER: 5 millions; autres offices fédéraux: 2 millions de francs. A cela s'ajoute un apport de 23 millions de francs sur les programmes de recherche européens.
- Les **dépenses privées** sont estimées à 780 millions de francs au moins par an (année 2008). Ces ressources sont affectées notamment aux domaines *Efficacité énergétique* (520 millions), *Energies renouvelables* (180 millions), *Energie nucléaire* (50 millions) et *Energie-Economie-Société-TST* (30 millions).
- **Pourcentage du PIB:** Selon les statistiques de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) pour l'année 2008, la Suisse a consacré 0,37 ‰ de son PIB à la recherche énergétique; elle occupait ainsi la 5^e place après la Finlande, le Japon, la France et la Canada en termes de dépenses globales. A considérer uniquement les dépenses publiques, la Suisse se situait, en 2008, au 8^e rang – derrière les Etats-Unis, le Japon, la France, l'Allemagne, le Canada, le Royaume-Uni et la Finlande.

Acteurs principaux

- Les hautes écoles et les instituts de recherche disposent de chercheurs hautement qualifiés dans le domaine énergétique et peuvent également faire appel à des experts de disciplines connexes (hydrologie, sismologie, économie, etc.). La recherche énergétique est très bien intégrée au niveau national et international.

- Les principaux acteurs scientifiques se concentrent fortement dans le **domaine des EPF** (qui compte quatre centres de compétences en recherche énergétique: Energy Science Center EPFZ; Energy Center EPFL; PSI et Empa). En 2009, **71 %** des dépenses publiques en recherche énergétique (213 millions de francs) ont transité par le domaine des EPF. **53 %** de ces mêmes dépenses publiques ont été directement affectés, par le Conseil des EPF, au financement de base des unités de recherche rattachés aux quatre centres de compétences cités ci-dessus. Le domaine des EPF se démarque également dans la captation de fonds compétitifs: les institutions du domaine des EPF actives en recherche énergétique se placent nettement devant les universités et les HES dans l'obtention de fonds de projets du FNS (> 90 %), de la CTI (> 50 %; HES 40 %) et de fonds européens (FP7-Energy, 90 % des fonds captés par les institutions académiques suisses).

Deuxième partie	Perspectives d'action pour la Confédération
-----------------	--

Point de départ

Pour répondre à la question de savoir comment assurer l'approvisionnement en électricité à l'horizon 2020, 2035 et 2050, quatre facteurs principaux doivent être pris en considération dans l'optique de la recherche.

Premier facteur, les **technologies d'efficience** dans le domaine de l'électricité, qui font diminuer la consommation directe et déterminent donc la demande totale en électricité. Il faut y ajouter les effets des *technologies d'efficience relevant d'autres secteurs* comme le bâtiment ou la mobilité, qui peuvent contribuer à décharger le système global – que ce soit de manière directe sur le plan de l'électricité ou de manière indirecte sur le plan des émissions de gaz à effet de serre.

Deuxième facteur, la mise en place de capacités suffisantes de **transport d'énergie** sur les lignes à haute tension et sur le réseau de distribution, ainsi que la mise en place de réseaux «intelligents» (*smart grids*) intégrant le stockage d'énergie.

Le troisième facteur, déterminant pour accroître l'efficacité énergétique et réduire les pertes, consiste dans le développement d'accumulateurs souples pour le **stockage centralisé et décentralisé de l'énergie**. Le stockage d'électricité et d'autres agents énergétiques permet d'ajuster l'énergie disponible à la demande effective et contribue ainsi à l'efficacité énergétique; la présence de capacités de stockage est également un facteur essentiel de la stabilité des réseaux.

L'exploitation des potentiels inhérents aux trois facteurs précédents est la condition nécessaire pour le succès de la promotion des énergies renouvelables dans le but de faire passer leur part à plus de 50 % dans l'énergie primaire et à plus de 70 % pour l'électricité. Pour la **production et la mise à disposition de l'électricité** il y a donc lieu d'analyser les potentiels des différentes technologies (par ex. photovoltaïque, géothermie, biomasse) à la lumière de la situation et des possibilités de réalisation en Suisse.

Plan d'action «Recherche énergétique suisse coordonnée»

Compte tenu de ce contexte et de l'appréciation portée sur les principales technologies et champs de développement technologique (v. *Rapport, Deuxième partie, ch. 2* et *Tableau 6, Deuxième partie, ch. 4.1*), des besoins supplémentaires de recherche ont été identifiés dans les cinq champs d'action prioritaires suivants (v. *Rapport, Deuxième partie, ch. 3*):

Champ d'action 1: Technologies d'efficience énergétique

Champ d'action 2: Distribution d'électricité / Réseaux

Champ d'action 3: Stockage de l'énergie

Champ d'action 4: Mise à disposition de l'électricité

Champ d'action 5: Aspects économiques et juridiques

Ces champs d'action recouvrent à la fois des mesures effectives pour diminuer la demande et des options d'avenir pour agir sur l'offre et la substitution des sources d'énergie. Le groupe de travail en dégage un **plan d'action «Recherche énergétique suisse coordonnée»** (v. *Rapport, Deuxième partie, ch. 4.3*) axé sur les options de l'offre d'électricité et se référant aux scénarios énergétiques supposés (voir groupe de travail *Scénarios énergétiques*), même si ceux-ci ne sont pas encore actualisés jusque dans leur moindre détail.

Les acteurs de la recherche estiment que la réalisation du plan d'action demandera d'importantes **ressources supplémentaires pour la recherche et l'innovation**. En ce qui concerne les *fonds de recherche publics*, les acteurs de la recherche plaident en faveur d'une augmentation progressive sur les dix ans à venir avec comme *valeur cible* le doublement des budgets annuels en faveur de la recherche énergétique d'ici 2020 par rapport à 2009, soit 427 millions de francs (contre 213 millions en 2009). Le montant visé représente environ 1 % du coût total du système énergétique pour l'économie nationale.

Perspectives d'action pour la Confédération: mesures et recommandations

A partir de l'état des lieux dressé dans le présent rapport (Première partie) et de l'analyse des défis et des besoins de recherche dans le domaine énergétique (Deuxième partie), le **groupe de travail Recherche énergétique** aboutit à une série de mesures et de recommandations. Celles-ci se rapportent à des axes de promotion qui permettent à la Confédération de répondre aux grands défis de la politique énergétique en donnant les impulsions nécessaires à la recherche énergétique dans le cadre des bases légales existantes et des actuelles attributions de compétences (v. *Rapport, Deuxième partie, ch. 5*).

Mesure 1A: Réexamen du portfolio «Recherche énergétique» du domaine des EPF

- *Compétence:* **Conseil des EPF** en collaboration avec les directions des Ecoles et les Centres
- *Financement:* sur l'enveloppe budgétaire du domaine des EPF (crédits FRI 2013-2016)
- *Echéance:* **décembre 2011** (rapport à rendre au SER et au groupe de travail *Recherche énergétique*)

Vu le rôle éminent joué par le domaine des EPF dans la recherche énergétique suisse et compte tenu du fait que la majorité des dépenses fédérales en faveur de la recherche énergétique passent par le domaine des EPF, cette mesure aura des incidences structurelles à moyen terme. La mesure 1A doit être coordonnée par objets et par échéances avec la mesure 4 (Plan d'action «Recherche énergétique suisse coordonnée»).

Mesure 1B: Réexamen du portfolio «Recherche énergétique appliquée» des HES

- *Compétence:* **OFFT** en collaboration avec la KFH
- *Financement:* sur les contributions fédérales aux HES (crédits FRI 2013–2016)
- *Echéance:* **décembre 2011** (rapport à rendre à l'OFFT et au groupe de travail *Recherche énergétique*)

Pour répondre à la forte demande en recherche essentiellement appliquée, il convient de mieux exploiter le potentiel des HES et de leurs centres de compétences (mesures ciblées de consolidation et de concentration). La mesure 1B doit, elle aussi, être coordonnée par objets et par échéances avec la mesure 4 (Plan d'action «Recherche énergétique suisse coordonnée»).

Mesure 2: Renforcement de la coopération hautes écoles-entreprises (partenariats public-privé); renforcement du transfert de savoir et de technologie

Cette mesure consiste d'une part dans un soutien ciblé de centres de compétences technologiques présentant un fort potentiel de coopération directe entre hautes écoles et entreprises, par exemple en photovoltaïque, et d'autre part dans le renforcement du soutien de la CTI aux actions de TST dans le domaine énergétique.

Financements / Echéance: Comme la mesure 1, la mesure 2 porte sur des actions de promotion s'inscrivant dans la planification financière FRI 2013–2016 et dans le cadre des compétences prévues par la loi (crédits alloués en vertu de l'art. 16 LERI; crédit d'encouragement CTI).

Mesure 3a: Mise à profit des instruments de financement établis, notamment des programmes nationaux de recherche (PNR)

- *Compétence:* **CF** (sur proposition du DFI)
- *Financement:* sur les crédits FNS (FRI 2012 et FRI 2013-2016)
- *Echéance:* **juin 2011** (décision de principe du CF)

L'accent porte sur la mise à profit de l'instrument des programmes nationaux de recherche et sur la recommandation de lancer, dans le cadre du nouveau cycle de sélection (appel à propositions 2011) une *série de PNR* focalisés sur les problèmes énergétiques, soit plusieurs PNR dont les objectifs et les thématiques soient coordonnés et qui soient réalisés de concert par le FNS et la CTI.

Mesure 3b: Promotion de l'innovation CTI: pôle Energie

- *Compétence:* **DFE**
- *Financement:* sur les crédits CTI (FRI 2013-2016)
- *Echéance:* **dès 2013** dans le cadre de la politique FRI 2013-2016

Le groupe de travail recommande d'établir un pôle Energie dans le dispositif de promotion de l'innovation de la CTI. Le but est de générer des projets appliqués, notamment dans le domaine de l'efficacité énergétique (optimisation des processus et des produits). En effet, en dehors de la recherche de haute technologie, onéreuse et institutionnalisée, bon nombre de PME ont des idées nouvelles dans divers secteurs du marché de l'énergie comme les énergies renouvelables, l'isolation thermique ou le stockage d'énergie. Il s'agit de mieux valoriser ces approches *bottom up* fondées sur des connaissances existantes. La CTI est appelée à jouer ici un rôle essentiel en soutenant les PME spécialisées dans les techniques énergétiques. La mise en œuvre de cette mesure s'inscrira donc dans le cadre de l'activité de promotion ordinaire de la CTI, avec les instruments existants et selon les règles de soutien établies.

Mesure 4: Mise au point d'un plan d'action «Recherche énergétique suisse coordonnée»

- *Compétence:* CF (via le DFI et le DETEC)
- *Mandataire:* CORE, en collaboration avec le Conseil des EPF et la KFH
- *Coordination:* OFEN, SER, OFFT

Consolidation du plan d'action «Recherche énergétique suisse coordonnée» préconisé dans le présent rapport: ajuster les champs d'action aux scénarios énergétiques; dresser une feuille de route pour les champs d'action prioritaires; étudier et préciser les besoins financiers. Il s'agira notamment de déterminer les besoins financiers supplémentaires pour les projets pilotes et de démonstration, pour lesquels la pratique actuelle ne permet qu'un financement subsidiaire sur les crédits fédéraux.

Pertinence – échéances: En dehors de la précision de diverses questions techniques, la mesure 4 est essentielle pour la réalisation des mesures 1A et 1B et également pour la détermination des besoins financiers supplémentaires pour la recherche et la promotion de l'innovation (planification financière FRI 2013–2016). Par conséquent, l'échéancier est très serré:

- **d'ici à la fin 2011**, la Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE), le Conseil des EPF et la KFH devront avoir rendu leurs études (à l'intention du SER, de l'OFFT et du groupe de travail Recherche énergétique);
- **printemps 2012**: une version consolidée du plan d'action «Recherche énergétique suisse coordonnée» devra être disponible, y compris une analyse des conséquences pour la planification financière du message FRI 2013–2016 (rédaction finale).

Mesure 5: Dégagement de financements fédéraux pour le soutien subsidiaire d'installations pilotes et de démonstration dans le domaine énergétique

- *Compétence:* CF
- *Coordination:* DFI (SER) – DETEC (OFEN)
- *Financement:* hors planification financière FRI 2013-2016
- *Échéance:* **juin 2011** (décision de principe du CF)

Compte tenu des défis posés en termes de politique énergétique, un conflit de moyens et d'objectifs se présente avec le réexamen des tâches récemment décidé par le Conseil fédéral dans le domaine de la recherche de l'administration fédérale (visant à des économies structurelles de 30 millions de francs par an à partir de 2014). Comme mesure immédiate, le groupe de travail *Recherche énergétique* recommande de surseoir au réexamen des tâches pour l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) et suggère qu'il soit demandé aux services compétents d'adapter en conséquence les planifications et les processus de cette opération de réexamen des tâches.

Bericht

EINLEITUNG

In Folge der Ereignisse in Japan hat der Bundesrat¹ das federführende UVEK mit der Einsetzung einer **interdepartementalen Arbeitsgruppe (IDA) Energie** beauftragt. Diese hat den Auftrag, zuhanden des Bundesrates Entscheidungsgrundlagen für die Überprüfung der Energiepolitik der Schweiz zu erarbeiten. Mit Blick auf die ausserordentliche Session der Eidgenössischen Räte im Juni 2011 besteht die vordringliche Aufgabe darin, dem Bundesrat im Mai 2011 ein Aussprachepapier zu unterbreiten, in welchem bereits erste mögliche Handlungsperspektiven und Aktionspläne dargelegt werden. Die IDA Energie umfasst drei Arbeitsgruppen: *Energieszenarien* (Leitung UVEK/BFE), *Internationale Entwicklungen* (EDA/PA V) und *Energieforschung* (Leitung EDI/SBF).

Innerhalb dieses Kontextes hat die **AG Energieforschung**² den Auftrag:

- (v) eine kurze Übersicht (Etat des lieux) zur Situation der Energieforschung in der Schweiz (Forschungsschwerpunkte; Akteure; Finanzierung; Planung) zu erarbeiten und
- (vi) Aktionsperspektiven für den Bund bzw. den Bundesrat im Rahmen der geltenden Verfahren und Zuständigkeiten im Bereich von Bildung, Forschung und Innovation (BFI-Bereich) darzulegen.

Entsprechend ist der vorliegende Bericht in zwei Teilen organisiert. Sein Hauptgewicht liegt auf dem zweiten Teil (Aktionsperspektiven). Dieser stützt sich *methodisch* auf eine **erste Bedarfsabschätzung** des BFE. Darin wird für verschiedene Energieszenarien bzw. Stromversorgungsvarianten in mittel- und längerfristiger Perspektive eine Abschätzung des **Substitutions- bzw. Deckungsbedarfs für die Energieproduktion und -versorgung der Schweiz** (*vereinfacht fortan*: «Stromlücke») vorgenommen. Die hierbei vorausgesetzten Varianten, deren detaillierte quantitative Berechnungen (Aktualisierungen) zurzeit noch fehlen, sind:

- a. *Stromangebotsvariante 1*: Weiterführung des bisherigen Strommixes mit allfälligem vorzeitigem Ersatz der ältesten drei Kernkraftwerke im Sinne höchstmöglicher Sicherheit;
- b. *Stromangebotsvariante 2*: Kein Ersatz der bestehenden Kernkraftwerke am Ende ihrer Betriebszeit;
- c. *Stromangebotsvariante 3*: Vorzeitiger Ausstieg aus der Kernenergie; bestehende Kernkraftwerke werden vor Ende ihrer sicherheitstechnischen Betriebszeit abgestellt.

Darauf gestützt stellt sich die Frage, mit welchen Massnahmen im Bereich von Forschung und Innovation (BFI-Bereich) ein Beitrag zur Schliessung einer allfälligen Stromlücke geleistet werden kann. Zu diesem Zweck beschreibt und bewertet der Bericht im Hauptteil ver-

¹ Beschluss vom 22. März 2011.

² *Zusammensetzung*: Sts. M. Dell'Ambrogio (SBF, Vorsitz); Dr. W. Steinmann (Direktor BFE); Dr. T. Kaiser (Präsident CORE); Dr. F. Schiesser (Präsident ETH-Rat); Dr. W. Steinlin (Präsident KTI); RR St. Sutter (Vorsteher Bau- und Umweltdepartement Appenzell Innerrhoden; Vertreter EnDK); *Technische Begleitgruppe* (Koordination/Redaktion): Dr. G. Haefliger; Dr. A. Werthmüller (SBF); Dr. R. Schmitz (BFE); Prof. Dr. B. Hotz-Hart (ETH-Rat); Dr. K. Sekanina (KTI); Dr. S. Friess (BBT).

schiedene **thematische Aktionsfelder** (mit Schwerpunkten im Bereich von Forschung – Innovation), welche aus Sicht beigezogener Fachexperten von prioritärer Bedeutung sind, und formuliert auf dieser Basis erste Elemente für einen möglichen **Aktionsplan «Koordinierte Energieforschung Schweiz»**.

Dieser Aktionsplan und andere Massnahmen, die sich im BFI-Bereich aufdrängen, werden im Schlusskapitel zusammengefasst. Im Einzelnen ist der Hauptteil des vorliegenden Berichtes (**Teil II Aktionsperspektiven Bund**) wie folgt aufgebaut:

- **Kap. 1** Übersicht über Aktionsebenen des Bundes im BFI-Bereich
- **Kap. 2** Bedarfsportfolio (BFE): Übersicht über Technologiegebiete/notwendige Technologieentwicklungen und Skizzierung von Schwerpunkten hinsichtlich Forschung – Innovation («Forschungsbedarf»)
- **Kap. 3** Beurteilung und Bewertung der Bedarfsportfolio BFE in folgenden **vier thematischen Aktionsfeldern**:
 - Effizienztechnologien;
 - Elektrizitätsübertragung / Netze;
 - Energiespeicherung;
 - Bereitstellung von Elektrizität;sowie unter **ökonomischen und rechtlichen Aspekten** (Forschungsbedarf).
- **Kap. 4** **Vergleich der Aktionsfelder** und ihre Bedeutung für die Stromangebotsvarianten 1 bis 3 (Beitrag zum Abbau der Stromlücke); Skizzierung eines **Aktionsplanes «Koordinierte Energieforschung Schweiz»**
- **Kap. 5** **Massnahmen und Empfehlungen** für das weitere Vorgehen (Aktionsperspektiven Bund; notwendige Folgearbeiten und weiterer Abklärungsbedarf).

Der vorliegende Bericht wurde von der AG *Energieforschung* (siehe Fussnote 2) am 27. April 2011 zuhanden der Projektleitung *IDA Energie* genehmigt. Er gilt seinem Status nach als bundesinterner Bericht. Weitere Präzisierungen und Abklärungen im Rahmen anstehender Folgearbeiten bleiben vorbehalten.³

³ Die konstitutive Sitzung der AG Energieforschung erfolgte am 6. April 2011 (Auftrag; Organisation). Die Erarbeitung des Berichtes oblag der technischen Begleitgruppe (Koordination SBF). Dabei wurden zahlreiche Fachexperten namentlich der beiden ETH's (Koordination Prof. B. Hotz-Hart und Prof. A. Wokaun) beigezogen. Zur Datenauswertung (Teil I des Berichtes) wurden im Weiteren der SNF und die KTI beigezogen. Ein erster Aufriss von Technologiefeldern wurde von den Programmverantwortlichen des BFE erarbeitet und – in Ergänzung zu den Experten des ETH-Bereiches – den folgenden externen Experten zur Stellungnahme unterbreitet: Dr. E. Kiener (ehemaliger Direktor BFE); Dr. T. Kaiser (Präsident CORE); Prof. D. Spreng (em. Professor); Dr. M. Riediker (Mitglied KTI, Präsident Förderbereich Ingenieurwissenschaften). Die abschliessende Expertenkonsultation zu einem ersten Berichtsentwurf erfolgte zwischen dem 21. April bis zum 26. April 2011. Die Genehmigung des Berichtes durch die AG Energieforschung erfolgte dann, wie erwähnt, an der Sitzung vom 27. April 2011.

Teil I Aktuelle Lage (Etat des lieux)

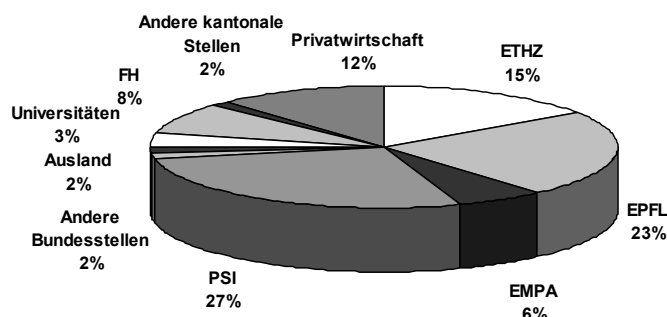
1. ÜBERSICHT ÜBER FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE

1.1 Die Förderschwerpunkte der Schweizer Energieforschung bis 2009

Das «Konzept der Energieforschung des Bundes 2008 bis 2011» ist Leitlinie für die Entscheidungsinstanzen des Bundes in der Energieforschung sowie Orientierungshilfe für kantonale und kommunale Stellen. Es dokumentiert, wie und mit welchen Mitteln die öffentliche Hand die Forschung einsetzen soll, um die gesetzten energiepolitischen Ziele zu erreichen. Das Konzept detailliert die folgenden Schwerpunkte mit zugeordneten Themenbereichen:

Forschungsschwerpunkte	Themenbereiche
Effiziente Energienutzung	Energie in Gebäuden Verbrennung Kraftwerk 2020 & Carbon Capture and Storage Elektrizitätstechnologien & -anwendungen Akkumulatoren & Superkondensatoren Brennstoffzellen Verkehr Verfahrenstechnische Prozesse Netze Wärme-Kraft-Kopplungs-Anlagen (WKK)
Erneuerbare Energien	Photovoltaik Biomasse & Holzenergie Industrielle Solarenergienutzung Wasserstoff Wasserkraft Geothermie Solarwärme & Wärmespeicherung Wärmepumpen & Kälte Windenergie
Kernenergie	Kernspaltung und nukleare Sicherheit Regulatorische Sicherheitsforschung Kernfusion
Energiewirtschaftliche Grundlagen	Energie – Wirtschaft – Gesellschaft Wissens- & Technologie-Transfer

Die von der öffentlichen Hand in die Energieforschung investierten Mittel von insgesamt rund 213 Mio. CHF (im Jahre 2009) werden zu rund 71% im ETH-Bereich umgesetzt. Die Beiträge an die Privatwirtschaft betragen rund 12%, während die Fachhochschulen 8% der öffentlichen Mittel für sich beanspruchen können. Die Universitäten erhalten rund 3% von den der Energieforschung zugerechneten öffentlichen Mittel (siehe Figur 1).

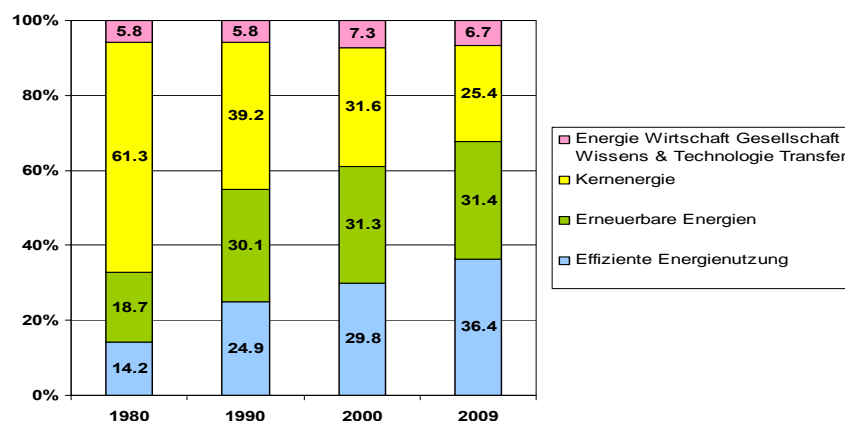


Figur 1: Prozentuale Verwendung der öffentlichen Mittel für die Energieforschung für das Jahr 2009. Quelle: Projektliste der Energieforschung des Bundes 2008/2009, BFE (2011 – Publikation in Vorbereitung).

1.2 Entwicklung der letzten Jahre

In der Schweiz wird für die Energieforschung ein Anteil von rund 0,40 ‰ des BIP verwendet (2009). Das Maximum der vergangenen 30 Jahre wurde im Jahre 1992 mit rund 0,63 ‰ erreicht. Seither ergab sich eine kontinuierliche Reduktion, welche trendmässig erst 2008 geändert hat.

Hinsichtlich Förderungsschwerpunkte zeigt sich, dass zwischen 2006 und 2009 eine starke Zunahme der *nominalen Aufwendungen* in den Bereichen der **Effizienten Energienutzung** und **Erneuerbaren Energien** stattgefunden hat (23%, bzw. 75%). Der prozentuale Anteil der *Erneuerbaren Energien* an den Gesamtaufwendungen der öffentlichen Hand ist in den Jahren 1990–2009 relativ konstant bei knapp über 30%, während beim Anteil der *Effizienten Energienutzung* eine Steigerung von 25% auf 36% feststellbar ist. Die **Kernenergie** (Fission und Fusion) zeigte nach geringfügigen Erhöhungen in den Vorjahren ab 2008 einen Rückgang der eingesetzten Finanzmittel. Im relativen Vergleich zu den durch das Konzept der Energieforschung definierten Förderungsschwerpunkten hat die Kernenergie ihren ursprünglichen Anteil von 61% (1980) auf knapp 25% verringert (Figur 2). Die betrags- und anteilmässige Veränderung des vierten Förderschwerpunktes, der Energiewirtschaftlichen Grundlagen, hat sich in den vergangenen 20 Jahren nur geringfügig geändert.



Nominalwerte (Mio. CHF)

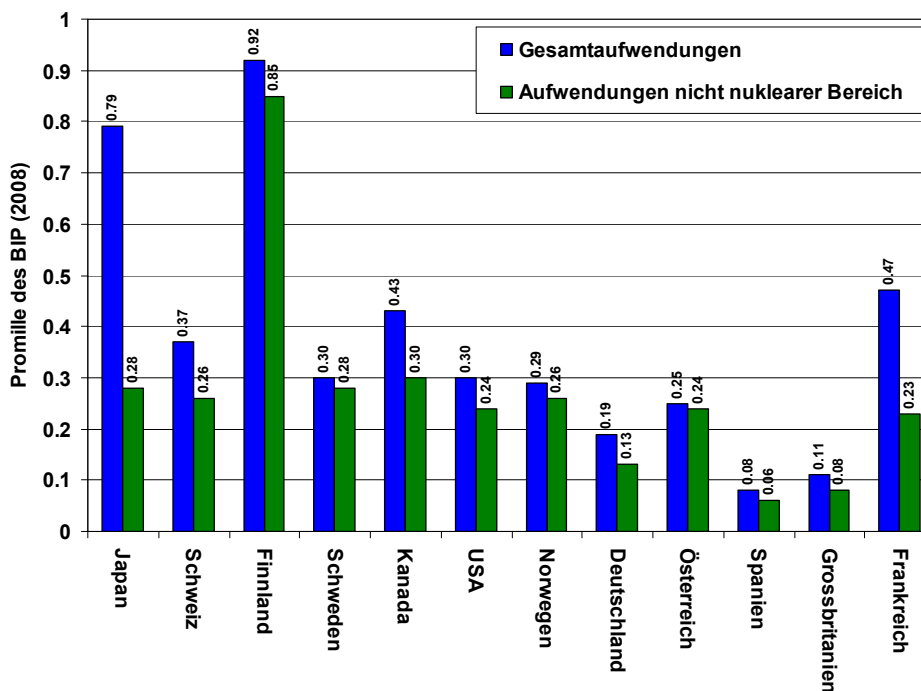
	1980	1990	2000	2009
Effiziente Energienutzung	13.9	46.6	49.7	77.8
Erneuerbare Energien	18.2	56.3	52.1	67.1
Kernenergie	59.8	73.4	52.7	54.3
Energie Wirtschaft Gesellschaft Wissens & Technologie Transfer	5.6	10.9	12.2	14.4
Total	97.5	187.2	166.7	213.5

Figur 2: Entwicklung in den Jahren 1980–2009 der prozentualen Aufteilung der öffentlichen Forschungsaufwendungen in den vier Forschungsschwerpunkten (oben) und Nominalwerte der Aufwendungen 1980–2009 (unten). Quelle: Projektliste der Energieforschung des Bundes 2008/2009, BFE 2011 (Publikation in Vorbereitung).

1.3 Vergleich National - International

Gemäss einer Statistik der International Energie Agency (OECD) stand die Schweiz 2008 mit 0,37 ‰ der BIP-Aufwendungen für Energieforschung (Gesamtaufwand) an 5. Stelle nach Finnland, Japan, Frankreich und Kanada. Wird die Forschung im Bereich Nuklearenergie (Fission und Fusion) ausgeklammert stand sie zusammen mit Norwegen mit 0,26 ‰ an 5. Stelle nach Finnland, Kanada, Japan und Schweden.

Bezogen auf die Aufwendungen der öffentlichen Hand, das heisst ohne den Anteil der privaten Forschungsbeträge, lag die Schweiz 2008 an 8. Stelle, hinter den USA, Japan, Frankreich, Deutschland, Kanada, Grossbritannien und Finnland. Während Japan bis 2007 an der Spitze stand, wurde ihm dieser Platz 2008 von den USA strittig gemacht. Grosse Steigerungen erzielten in den letzten Jahren Finnland, Kanada und Grossbritannien.



Figur 3: Aufwendungen der öffentlichen Hand für Energieforschung in ausgewählten Ländern in Promillen des BIP für das Jahr 2008. Quelle: Projektliste der Energieforschung des Bundes 2008/2009, BFE 2011 (Publikation in Vorbereitung).

2. ÜBERSICHT ÜBER AKTEURE

2.1 Forschungsakteure (Kompetenzzentren im Hochschulbereich)

a) ETH-Bereich

Das Kompetenzzentrum Energie und Mobilität (CEM, www.ccem.ch) des ETH-Bereichs mit dem Leading House Paul-Scherrer Institut fördert die Durchführung kollaborativer Energieforschungsprojekte im ETH-Bereich. Es leistet damit einen Beitrag zur Lösung der grossen Herausforderungen an unser Energiesystem, welches die benötigten Energiedienstleistungen ressourcenschonend, emissionsarm, zuverlässig und ökonomisch bereitzustellen hat. Wege zur Erreichung dieser Nachhaltigkeitsziele umfassen die Effizienzsteigerung bei allen Energieumwandlungsschritten, die Energiespeicherung zur Reduktion von Verlusten und den Ersatz fossiler durch CO₂-arme Energieträger. Viele Projekte werden in Zusammenarbeit mit industriellen Partnern durchgeführt, um die Umsetzung der Resultate sicherzustellen. Mit der Anschubfinanzierung in Höhe von 5 Mio. CHF/Jahr durch den ETH-Bereich wird das dreifache Projektvolumen ausgelöst, wobei je etwa gleiche Teile aus den Eigenmitteln der teilnehmenden Institutionen und aus Zweit- und Drittmitteln stammen. Gegenwärtig umfasst das Portfolio 17 Projekte mit über 100 beteiligten Forschenden. Die Mitarbeitenden an den Projekten bleiben an ihren Heiminstitutionen angestellt, welche neben den untenstehend beschriebenen Institutionen des ETH-Bereichs auch mehrere Fachhochschulen sowie Forschende von Eawag und WSL umfassen.

ETH-Bereich	Schwerpunkte
Energy Science Center (ESC) der ETHZ	Das Energy Science Center (ESC, www.esc.ethz.ch) fungiert als zentrale Anlaufstelle für die Energieforschung der ETH Zürich, erarbeitet Strategien und kommuniziert zu den relevanten Themen nach innen und aussen. Etwa 45 Professoren der ETH Zürich widmen ihre Forschung ganz oder teilweise den Themen der Energieforschung und tragen zu den ETH-internen Kompetenzzentren bei (z.B. Forschungsstelle Energienetze, Center for Energy Policy and Economics, Center of Economic Research). Insgesamt sind (inkl. Doktorierende) etwa 400 Forschende ganz oder teilweise auf dem Gebiet tätig; die zugehörigen Aufwendungen bewegen sich im Bereich von ca. 40 Mio. CHF/Jahr. ⁴
Energy Center der EPFL	An der EPFL nimmt das Energy Center (http://energycenter.epfl.ch) die koordinierende Rolle in der Energieforschung wahr, indem es die Interaktionen innerhalb der wissenschaftlichen Gemeinschaft stärkt, Verbindungen zu Industrie und Gesellschaft herstellt und das Center als Partner in der Entwicklung und Umsetzung von Strategien positioniert. Die überwiegend mit Energiethemen befassten Institute umfassen etwa 20 Professuren in drei Departementen. Etwa 500 Forschende, davon viele Doktorierende, sind in der Energieforschung tätig, und die Aufwendungen betragen ca. 40 Mio. CHF/Jahr. ⁴
Forschungsanstalt Paul Scherrer PSI	Am Paul Scherrer Institut sind zwei Forschungsbereiche den Themen der Energie gewidmet. Die Allgemeine Energieforschung untersucht die technische Nutzung erneuerbarer Energien sowie die effiziente und emissionsarme Wandlung zur Bereitstellung von Energiedienstleistungen. Im Bereich Nukleare Energie und Sicherheit werden Fragen des sicheren Betriebs bestehender Kernkraftwerke und der Endlagerung radioaktiver Abfälle untersucht. Die Forschung nutzt die Möglichkeiten der Grossanlagen des

⁴ Sachmittel und Salärkosten inkl. Sozialleistungen, ohne Overhead.

	PSI und trägt zu deren Weiterentwicklung bei. Insgesamt sind 370 Personen, davon rund 100 Doktorierende, im Bereich der Energieforschung tätig, und die Aufwendungen betragen ca. 50 Mio. CHF/Jahr. ⁴
Forschungsanstalt Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt EMPA	An der Empa werden energierelevante Themen (u.a. Mobilität, Gebäude, Photovoltaik) in mehreren Departementen untersucht. Vier von fünf Forschungsschwerpunkten befassen sich direkt oder indirekt mit der Energiethematik (Materialien für Energietechnologien, Sustainable Built Environment, Natürliche Ressourcen und Schadstoffe sowie nanostrukturierte Materialien). Insgesamt arbeiten etwa 250 Personen auf diesem Gebiet, die direkten Aufwendungen betragen ca. 30 Mio. CHF/Jahr. ⁴

b) Universitäten

Die Analyse der Projektdatenbanken des SNF (für die Jahre 2005–2011) und der KTI (für die Jahre 2008–2011) zeigt, dass überwiegend die Universitäten Genf, Zürich und Neuenburg im Bereich der Energieforschung tätig sind. An der Universität Genf ist zudem das Departement für Physik der kondensierten Materie das Leading House des Nationalen Forschungsschwerpunktes «Materialien mit neuartigen elektronischen Eigenschaften». Forschung im Energiebereich ist an naturwissenschaftlichen Instituten der Universitäten verbreitet, wobei die Fragmentierung relativ gross ist.

Universität	Organisationseinheit	Schwerpunkte
Universität Genf	Institut für Kristallographie	Wasserstoff-Sensoren für Wasserstoff-Brennstoffzellen, Wasserstoffspeicherung
	Departement für Physik der kondensierten Materie	Hoch-Tc-Supraleitung, Leading House NFS «Materialien mit neuartigen elektronischen Eigenschaften»
	Institut für organische Chemie	Materialienentwicklung Solarzellen
Universität Neuenburg	Institut für Hydrogeologie und Geothermie	Geothermielabor CREGE (Geologie, Geophysik, Geochemie), Untersuchung von geothermischen Reservoirs, Erdwärmesonden
	Institut für Mikrotechnik	Photovoltaiklabor
	Institut für Chemie	Nanomaterialien mit elektronischen Eigenschaften
Universität Zürich	Institut für Anorganische Chemie	Materialien Photovoltaik (Nanomaterialien)
	Physikalisch-Chemisches Institut	Materialien Solarzellen, Photokatalytische Systeme

c) Fachhochschulen

An den Fachhochschulen ist das Spektrum der Energieforschung sehr breit. Sämtliche sieben öffentlich-rechtlichen Fachhochschulen verfügen über Institute oder Gruppen, welche sich mit energierelevanten Themen auseinandersetzen. Damit ist auch für KMUs ein Netzwerk in unmittelbarer Nähe verfügbar, welches allfällige F&E koordinieren oder mindestens als Türöffner zu geeigneten Stellen in der Schweiz agieren kann.

Zwar sind in den Fachhochschulen zahlreiche Kompetenzen in der Energieforschung vorhanden (siehe Tabelle), eigentliche Standort und/oder departementsübergreifende Kompetenzzentren sind aber oft noch in der Entstehungsphase.

Die Hochschule für Technik Rapperswil HSR als Mitglied der FHO verfügt über zwei international renommierte Institute für Solartechnik (SPF) und für Energietechnik (IET). Das SPF gilt weltweit als anerkannte Anlaufstelle für Prüfung, angewandte Forschung und Entwicklungsberatung im Bereich der thermischen Solarenergie; das IET agiert als Bindeglied zwischen den energietechnischen Abteilungen der HSR und der Öffentlichkeit

Die HES-SO unterhält ein Kompetenznetz «Energietechnik» mit den drei Forschungsschwerpunkten Energiesysteme, Erneuerbare Energien, und Transport/Speicherung/Umwandlung von Energie. Es ist eine grössere Zusammenarbeit mit der Energiewirtschaft geplant.

Die Berner Fachhochschule plant mit ihrem Institut für Energie, Transport und Mobilität (Standorte Biel und Burgdorf) die Schaffung eines departementsübergreifenden Forschungsschwerpunktes «Nachhaltige Energienutzung».

Die Hochschule Luzern der FHZ unterhält im Fachgebiet Energy and Environment mehrere Kompetenzzentren, u.a. für «Thermische Energiesysteme und Verfahrenstechnik» sowie ein Zentrum mit einem Forschungsschwerpunkt für intelligente/effiziente Energiesysteme.

In der Lehre gibt es eine FH-übergreifende und gesamtschweizerische Zusammenarbeit mit dem Masterstudiengang «MSc Engineering». Eine der Vertiefungsrichtungen beinhaltet den Bereich «Energie».

Die FHNW bietet zudem ab Herbst 2011 ein interdisziplinäres Bachelor-Studium «Energie- und Umwelttechnik» an, mit dem auf die steigende Nachfrage nach in diesen Bereichen spezifisch ausgebildeten Ingenieurinnen und Ingenieuren am Arbeitsmarkt reagiert wird.

Eine schweizweite Vernetzung bietet das CCEM (siehe 2.1 a), mit dem mehrere Fachhochschulen Zusammenarbeitsvereinbarungen unterhalten, darunter die Berner FH, die FHNW, und die FHO.

Während sämtliche Fachhochschulen sich in den letzten drei Jahren erfolgreich um KTI-Finanzierung beworben haben, sind lediglich zwei Projektbeteiligungen im Rahmen der Europäischen Forschungsrahmenprogramme bekannt. Es sind dies die SUPSI und die Fachhochschule Zürich (siehe Abschnitt 2.2).

Fachhochschule	Organisationseinheit	Schwerpunkte
Berner Fachhochschule	Departement Technik und Informatik, Biel	Dezentrale und mobile Energiesysteme: Brennstoffzellen, Photovoltaiklabor
Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW)	Institut Energie am Bau, Brugg-Windisch	Energieeffizientes Bauen, Betriebliche Energieoptimierung, Umweltwärmenutzung
Fachhochschule Ostschweiz (FHO)	Institut für Energietechnik IET, Rapperswil Institut für Solartechnik SPF, Rapperswil Institut für Energiesysteme IES, Buchs	Thermische und elektrische Energietechnik Führendes Labor für Prüfungen und Zertifizierungen im solarthermischen Bereich Forschung und Entwicklung im Bereich Wärmepumpen und Kältetechnik, Energie im Gebäude, Leistungselektronik und Photovoltaik
Hochschule Luzern Fachhochschule Zentralschweiz (FHZ)	Kompetenzzentrum Integrale Intelligente & Effiziente Energiesysteme, Thermische Energiesysteme & Verfahrenstechnik, Horw	Energiespeicher, Energie-, Verfahrens- und Umwelttechnik, Wärmepumpen und Kältesysteme

Haute école spécialisée de Suisse occidentale (HES-SO)	Institut d'Energie et Systèmes Electriques -- IESE, Yverdon-les-Bains Institute for Information and Communication Technologies – IICT, Yverdon-les-Bains Institut des technologies industrielles – iTIN, Fribourg	Energiesysteme auf der Grundlage von erneuerbaren oder alternativen Energien Gebäudesysteme für die Messung und Optimierung des Energieverbrauchs, Technologien für ein Smart Grid Erzeugung und Verteilung von Energie, Windräder, Solarstrom, Energievorrat, Brennstoffzellen, Hochleistungsbatterien, Hybridsysteme
Scuola Universitaria Professionale della Svizzera italiana (SUPSI)	Istituto di Sostenibilità Applicata all'Ambiente Costruito ISAAC	Energie am Bau Photovoltaik
Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW)	Institut für Energiesysteme und Fluid Engineering Institut für Umwelt und natürliche Ressourcen Institut für Facility Management	Solarstrom / Elektromobilität Erneuerbare Energien Nachwachsende Ressourcen Energie und Gebäude

Quelle: Auszug Masterplan Cleantech Schweiz, Oktober 2010, S. 98f

2.2 Förderagenturen (nationale Ebene)

a) Schweizerischer Nationalfonds (SNF)

Der SNF ist das Förderorgan des Bundes für wissenschaftliche Forschung in der Spannweite von primär aus der Wissenschaft motivierter bis hin zur anwendungsorientierten nicht kommerziellen Forschung. Den grössten Teil seiner Mittel verwendet er für die freie Grundlagenforschung, die Personenförderung sowie Projektbeiträge im Rahmen von internationalen Forschungsprogrammen. Mit etwa einem Achtel seiner Mittel finanziert er die Nationalen Forschungsprogramme (NFP) und die Nationalen Forschungsschwerpunkte (NFS). Aus seiner Projektdatenbank hat der SNF für diesen Bericht relevante Vorhaben in den Kategorien «energy» «risk» und «andere» (u.a. Grundlagenforschung zu «Erdbeben») aus den **Jahren 2005 bis 2011** zusammengestellt (Basis: Förderbeiträge bzw. Zusprachen für Projekte von in der Regel über 3 Jahren Laufzeit). Zusammen sind es 238 Forschungs- und Personenförderbeiträge mit einem Fördervolumen von **63 Mio. CHF** (rund 2% des gesamten Fördervolumens des SNF in dieser Zeit). Nachstehend ist die Aufteilung dieser Mittel unter den universitären Hochschulen aufgeführt:

- 63 Mio. CHF = Fördervolumen
(Zunahme von 6 auf 15 Mio. CHF von 2006 gegenüber 2010)
- **93%** = **Anteil ETH-Bereich**
(EPFL 41%, ETHZ 31%, PSI 16%, EMPA 5%)
- 7% = Anteil Universitäten (ZH, GE & NE = 6%, übrige = 1%)

Förderinstrumente: von den insgesamt 63 Mio. CHF flossen 45 Mio. CHF (72%) über die Einzelprojektförderung, 7,4 Mio. CHF (12%) über verschiedene Förderprogramme des SNF (SINERGIA, R'EQUIP) sowie ein Projekt im Rahmen des NFP 61 («Nachhaltige Wassernutzung»), 7 Mio. CHF (11%) über die Personenförderung und 3,3 Mio. CHF (5%) über verschiedene internationale Initiativen (DFG Panel, TOPO Europe, ESF/SONS II, SCOPES,

Joint Research Projects)⁵. Das kürzlich lancierte NFP «Ressource Holz» ist hierbei nicht berücksichtigt.

b) Kommission für Technologie und Innovation (KTI)

Als Förderagentur für Innovation des Bundes unterstützt die KTI die anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung (aF&E). Die KTI unterstützt innovative Projekte aus allen wissenschaftlichen Disziplinen, somit werden keine thematischen Schwerpunkte gesetzt.

Pro Jahr werden rund 300 F&E-Projekte durch die KTI gefördert. Aus diesem Projektportfolio wurden in den **letzten vier Jahren (2008–2011)** 90 Projekte mit einem direkten Bezug zur Energieforschung identifiziert, grob geschätzt bedeutet dies rund 20 Projekte pro Jahr oder ca. 8% am gesamten Projektvolumen.

In diesen 90 Projekten wurden öffentliche Mittel im Umfang von rund **33 Mio. CHF** verpflichtet (ca. 8 Mio. pro Jahr); diese Mittel wurden zu 51% im ETH-Bereich, zu 40% in den Fachhochschulen und zu 7% in den Universitäten umgesetzt.

Neben den Projektförderungen und den Innovationschecks⁶ verfolgt die KTI auch die Förderung des Wissens- und Technologietransfers (WTT) durch thematische oder regionale Netzwerke und Plattformen. Im Bereich der Energieforschung sind dies das *Nationale Kompetenznetzwerk Gebäudetechnik* und *Erneuerbare Energien Brenet* sowie der *Energie-Cluster*.

2.3 Forschungsförderung auf internationaler Ebene mit Beteiligung CH

a) Beteiligung an den Europäischen Forschungsrahmenprogrammen

Im Rahmen der Bilateralen I beteiligt sich die Schweiz seit 2004 an den Forschungsrahmenprogrammen der Europäischen Union. Diese beinhalten unter anderem auch den Themenschwerpunkt «Nicht-nukleare Energieforschung». Übergeordnetes Ziel dieses thematischen Schwerpunktes (FP7-Energy) sind die Entwicklung einer stärker nachhaltig ausgerichteten Energiewirtschaft mit breitem Energieträgermix, Steigerung der Energieeffizienz gegen wachsende Versorgungsabhängigkeit und drohenden Klimawandel und damit nicht zuletzt die Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit europäischer Energie-Unternehmen.

Seit Beginn von FP7-Energy und mit Stand Oktober 2010 haben sich in diesem Rahmen insgesamt 72 Institutionen aus der Schweiz erfolgreich um eine finanzielle Unterstützung beworben. Das dabei generierte Fördervolumen für die Schweizer Partner beläuft sich auf rund 63 Mio. CHF. Bezugnehmend auf das Konzept der Energieforschung und die darin enthaltenen drei nicht-nuklearen Forschungsschwerpunkte lassen sich von den 72 durch die EU geförderten Projekten mit Schweizer Beteiligung 38 Projekte den Erneuerbaren, 27 der Effizienz und 7 der Energiewirtschaft zuordnen.

⁵ DFG: Deutsche Forschungsgemeinschaft; TOPO Europe initiative: TOPO-EUROPE addresses the 4-D topographic evolution of the orogens and intra-plate regions of Europe through a multidisciplinary approach linking geology, geophysics, geodesy and geotechnology; ESF/SONS II: European Science Foundation/Self-Organised NanoStructures II; SCOPES: Scientific co-operation between Eastern Europe and Switzerland.

⁶ Mit dem Innovationsscheck können kleine und mittlere Unternehmen (KMU) F&E-Leistungen von öffentlichen Forschungsinstitutionen in der Höhe von maximal 7'500 CHF beziehen.

Tabelle 1: Übersicht über die Schweizer Beteiligungen, welche zwischen 2008 und 2010 erfolgreich im Rahmen von FP7-Energy eingegeben wurden. Quelle: SBF/MFZ, 2011.

Institution	Anzahl Projekte	verpflichtete Mittel in CHF
Bund	1	17'061
ETH-Bereich	27	18'795'619
Fachhochschulen	2	702'742
Industrie	14	27'246'535
Kanton / Gemeinde	1	1'649'852
KMU	20	12'885'453
NPO	4	594'755
Universität	3	1'200'219
Total	72	63'092'236

Der Schweizer Beitrag an FP7-Energy belief sich in den vergangenen 4 Jahren auf rund 59 Mio. CHF.

b) Begleitinitiativen (Technologie/Innovation)

Im Bereich der Energieforschung ist die Europäische Union sehr aktiv. Für die Schweiz besteht hier die Schwierigkeit, dass deren Programme und Initiativen immer mehr ausserhalb des eigentlichen Forschungsrahmenprogrammes angedacht und umgesetzt werden und so den Forschenden aus der Schweiz nicht oder nur unter erschwerten Bedingungen zugänglich sind. In Zusammenhang mit der aktuellen Thematik lässt sich noch nicht abschätzen wie die Europäische Union die 20/20/20-Strategie oder den SET-Plan in die Europäische Energieforschung tragen wird. Aufgrund von früheren Erfahrungen ist anzunehmen, dass gewisse Teilprojekte sehr wohl im Rahmen des Forschungsrahmenprogramms realisiert werden. Es muss aber damit gerechnet werden, dass andere, oftmals die sehr viel interessanteren, weil umsetzungsnäheren Programme und Initiativen den Forschenden aus der Schweiz nur mit einer zusätzlichen nationalen Finanzierung offenstehen werden (siehe Assisted Ambient Living AAL und European Nanoelectronics Initiative Advisory Council ENIAC). In diesem Sinne sind auch die Technologie- und Innovationsinitiativen wie das *European Institut of Innovation and Technology* EIT oder das *Competitiveness and Innovation Framework Programme* CIP zu verstehen.

Die Vertretung der Schweiz an den verschiedenen, für die Energieforschung relevanten Technologieplattformen sei hier informationshalber erwähnt, insbesondere die Joint Technology Initiatives (JTI), der Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan), sowie die European Energy Research Alliance (EERA). Die Schweiz nimmt auch an den Treffen zum SET-Plan teil, wobei hinsichtlich der Finanzierung und Mechanismen zur Umsetzung noch Klärungsbedarf besteht.

Hinzu kommen zum Teil bilaterale, zum Teil multilaterale Abkommen, welche die Schweiz mit aussereuropäischen Staaten oder im Rahmen internationaler Organisationen abgeschlossen hat. Des Weiteren schliessen die Hochschulen Kooperationsabkommen mit ihren Internationalen Partnern ab, welche mindestens teilweise auch die Energieforschung umfasst.

c) Nukleare Energieforschung / Beteiligung an den Euratom Rahmenprogrammen

Neben dem oben beschriebenen Forschungsrahmenprogramm ist die Schweiz seit 1978 an der Europäischen Fusionsforschung und seit 2004 auch am Euratom Rahmenprogramm assoziiert. Letzteres umfasst den gesamten nuklearen Forschungsbereich, also neben der Fusion auch die Fission (Kernspaltung) und die nuklearen Aktivitäten des *Joint Research Center JRC*. Mit dem Start des ITER-Projektes hat sich die Fusionsforschung budgetmässig als wichtigster der drei Bereiche entwickelt. Mittlerweile, auch aufgrund der anstehenden Vertragsvergabe im europäischen Teil von ITER, liegen zwischen den Fusions- und den Fissionsbeiträgen ein Faktor zehn⁷.

Die Beteiligungsregeln in den drei Programmteilen von Euratom sind unterschiedlich. Dies führt dazu, dass hier nur ein sehr oberflächlicher Detaillierungsgrad für die Fissionsforschung (Kernspaltung) wiedergegeben werden kann. In der Fusionsforschung sind nur die direkten Rückflüsse in die Schweiz erhebbar. Aufgrund des ITER-Projekts gibt es aber auch indirekte Rückflüsse, insbesondere zu industriellen F&E Akteuren, welche bisher nicht im Detail erhoben worden sind.

Tabelle 2: Übersicht über die Schweizer Beteiligungen, welche zwischen 2008 und 2010 erfolgreich im Rahmen von Euratom Fission eingegeben wurden. Quelle: SBF/MFZ, 2011.

	Anzahl Projekte	verpflichtete Mittel in CHF
<i>Bund</i>	1	16'050
<i>ETH-Bereich</i>	16	5'692'566
<i>KMU</i>	3	720'772
<i>NPO</i>	3	1'131'075
<i>Universität</i>	1	216'618
Total	24	7'777'081

Der Schweizer Beitrag an das Euratom-Rahmenprogramm belief sich in den vergangenen 4 Jahren auf rund 50 Mio. CHF.

2.4 Ressortforschung des Bundes

a. Bundesamt für Energie BFE

Die Ressortforschung des Bundesamts für Energie (BFE) deckt mit ihren 24 Forschungsprogrammen im Wesentlichen das gesamte Spektrum der Energieforschung ab. Im Rahmen seiner Zuständigkeit für den Politikbereich *Energie* fördert das BFE über Mittel der Ressortforschung in erster Linie die angewandte Forschung und die forschungsnahe Entwicklung neuer Energietechnologien. Die Unterstützung erfolgt in der Regel subsidiär.

Tabelle 3 gibt eine Übersicht über die vom BFE geführten Forschungsprogramme und deren Budgets für das Jahr 2011 in Mio. CHF. Total stehen 19 Mio. CHF für Forschungsprojekte zur Verfügung. 2011 sind davon 7 Mio. CHF für die erneuerbaren Energien, 8 Mio. CHF für Energieeffizienz und 1,5 Mio. CHF für energiewirtschaftliche Grundlagen budgetiert. Das Budget für Pilot- und Demonstrationsprojekte beträgt 4,8 Mio. CHF.

⁷ In den Jahren 12/13 sind geplant: Fusion 2208 Mio. €, Fission 118 Mio. € und JRC 223 Mio. €

Spezielle Hinweise: Bei den Forschungsprogrammen im Bereich Kernenergie übernimmt das BFE lediglich die Rolle einer Auskunftsstelle. Für die Förderung der Kernenergieforschung (sowohl Fission wie Fusion) ist im Rahmen der allgemeinen Forschungsförderung des Bundes das Staatssekretariat für Bildung und Forschung (SBF) zuständig. Eine Ausnahme bildet hier das BFE-Forschungsprogramm *Radioaktive Abfälle*, welches für die Thematik der Lagerung radioaktiver Abfälle gewisse soziale Aspekte (z.B. Akzeptanzfragen) beleuchtet. Für den technischen Teil zu dieser Thematik ist die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) zuständig. Die hierfür notwendigen Mittel sind nicht in den Ressortmitteln des BFE, sondern im Betriebskredit der Nagra eingestellt (Jahr 2009 (in Mio. CHF): Bund (1,065); Axpo AG (8,124); BKW (3,942); Kernkraftwerk Gösgen-Däniken AG (10,791); Kernkraftwerk Leibstadt AG (12,939).

Tabelle 3: Forschungsprogramme des Bundesamtes für Energie (Angaben in Mio. CHF)

Forschungsprogramme des Bundesamtes für Energie		
zur Energieeffizienz	zu erneuerbaren Energien	übrige
Brennstoffzellen (0,750)	Biomasse und Holzenergie (1,260)	Energie-Wirtschaft-Gesellschaft (1,510)
Elektrizitätstechnologien und -anwendungen (1,000)	Geothermie (0,870)	Kernfusion (0,190)
Energie in Gebäuden (1,850)	Industrielle Solarenergienutzung (0,640)	Kerntechnik und Nukleare Sicherheit (0,000)
Kraftwerk 2020/CCS (0,790)	Photovoltaik (0,910)	Radioaktive Abfälle (0,080)
Netze (1,110)	Solarwärme und Wärmespeicherung (1,030)	Regulatorische Sicherheitsforschung (0,000)
Verfahrenstechnische Prozesse (0,630)	Wasserkraft (0,380)	Talsperren (0,198)
Verkehr und Akkumulatoren (2,020)	Wasserstoff (0,510)	
Wärme-Kraft-Kopplung (0,250)	Windenergie (0,440)	
Wärmepumpen, Kälte (0,480)		
Verbrennung (0,480)		

b. ENSI (Nuklearsicherheitsbehörde)

Das ENSI ist die Aufsichtsbehörde des Bundes für die Kernanlagen. Es prüft laufend die Sicherheit in den Kernkraftwerken und beaufsichtigt die Transporte und die Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle sowie die Arbeiten zur geologischen Tiefenlagerung. Mit dem Programm «Regulatorische Sicherheitsforschung» verfolgt das ENSI das Ziel, bei der Wahrnehmung seiner Aufsichtstätigkeit die dafür nötigen Kompetenzen auf dem Stand von Wissenschaft und Technik zu sichern (Erstellung von Richtlinien für die rechtlichen Anforderungen in den Bereichen Kernenergie und Strahlenschutz, Kompetenzerhalt und Ausbildung im Bereich Nukleare Sicherheit, internationalen Vernetzung des ENSI und der Schweizerischen Forschung, Vertretung in über 70 internationalen Gremien). Die jährlichen Ressortforschungsaufwendungen betragen rund 4,3 Mio. CHF, wobei 2,1 Mio. CHF vom Bund beige-steuert werden.

c. Andere Bundesämter

Im Bereich der Ressortforschung des Bundes weist das Bundesamt für Umwelt BAFU Projekte im Energieforschungssektor aus. Im Allgemeinen handelt es sich bei den Projekten der Bundesämter um kleinere Vorhaben (finanziell, Zeitdauer).

Das BAFU befasst sich mit Umweltaspekten der Energieverwendung und -produktion. Die Projekte umfassen das Erarbeiten von Ökobilanzen für alle möglichen Varianten der Erzeugung von Energieprodukten aus erneuerbarer Biomasse, bzw. für die Nutzung von Energie aus Kehrichtverbrennungsanlagen, Machbarkeitsstudien für die Effizienz der Kupplung von

Solarzellen mit einer Wärmepumpe, die Analyse von waldbaulichen Konzepten für die vermehrte Nutzung von Waldenergieholz oder die Entwicklung einer nachhaltigen Wasserkraftstrategie. Das Bundesamt beteiligt sich zusammen mit SECO, BFE und DEZA an der REPIC-Plattform, welche einen wichtigen Beitrag zur Schaffung einer kohärenten Politik und Strategie der Schweiz zur Förderung der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz in der internationalen Zusammenarbeit leistet.

Weitere Bundesämter beteiligen sich punktuell an Energieforschungsprojekten wie der Erstellung des Konzepts «Windenergie Schweiz» (ARE, BAFU, BFE), Nutzung von Bioenergie in einem Biobetrieb (Agroscope), Untersuchung des Anwendungspotenzials der Kombination von Photovoltaik und Schallschutz entlang von Nationalstrassen (ASTRA) und die Erhebung der Auswirkungen von Energiesparlampen, bzw. LED-Lampen auf die Gesundheit des Menschen (BAG).

2.5 Hauptakteure Privatwirtschaft

Die Liste der Hauptakteure aus der Privatwirtschaft, die Energieforschung in den hier betrachteten Forschungsbereichen betreiben, umfasst einen grossen Teil der Schweizer Wirtschaft. In allen Forschungsbereichen mit Ausnahme der Wasserkraft (Talsperren) sind entsprechend Firmen vorhanden, die in Energieforschung investieren. Nachfolgend ist eine kleine Auswahl von Firmen pro Forschungsbereich wiedergegeben.

Auswahl an relevanten Firmen pro Forschungsbereich (Quelle: Experten BFE)

Forschungsbereich	Firmen
Biomasse/Biogas	CTU-Conzepte Technik Umwelt, Müller W. Konstruktionen, ESU Services, Jakob Bösch, axpo-Kompogas, axpo-genesys, Schweizer AG, nova energie, Meritec, Ing.-Büro Hersener, engeli engineering, arbi, EREP
Elektrische Netze	AEW Energie, ABB Secheron, ABB Schweiz, AG – Utility Solutions, Alstom
Energieeffizienz	awtec, Arbonia Forster, Landert Motoren, Zehnder Group, GreenTeG, ABB Secheron
Geothermie	Axpo, Geo-Energie Suisse, Stadtwerke St. Gallen, Geothermal Explorers Ltd., Geowatt, Colenco Power Engineering, Alstom
GuD/CCS	MAN Turbo, Alstom, ABB, Sulzer, von Roll Isola, Gaznat/Petrosvibri, Vibrometer, Precicast, Jean Gallay
Photovoltaik	Meyer Burger Gruppe, Oerlikon Solar, Applied Materials Switzerland, Sputnik, VHF-Technologies, HCT Shaping Systems, Maxwell Technologies, 3S Swiss Solar Systems;
Solare Kühlung/solare Wärme	Swissolar, Planair, Muntwyler Energietechnik, Ökozentrum Langenbruck, Sorane, JC Hadorn ing conseil, BMIC, Soltop, Schweizer, Agena
Speichertechnologien	FZSonic, SMH/Asulab, Brusa Elektronik, Maxwell Technologies, Alstom
Verfahrenstechnik	Novartis, Hoffmann la Roche, Rieter, Sulzer, Georg Fischer
Wasserkraft	Alstom (Generatoren), Andritz (Turbinenbau)
Wind	ABB, Von Roll, Huntsman Advanced Materials, Meteotest

Finanzielle Aufwendungen

Über die finanziellen Aufwendungen der Privatwirtschaft für Energieforschung können nur grobe Angaben gemacht werden. Die letzte der vom BFE alle zwei Jahre durchgeführten Umfrage von 2010 hat für die Jahre 2008/2009 durchschnittliche Aufwendungen der Privatwirtschaft für Energieforschung von 815 Mio. CHF ergeben. Dieser Wert spiegelt allerdings nur die freiwillig ausgefüllten und ans BFE zurückgeschickten Fragebögen wieder. Der tatsächliche Wert dürfte auf jeden Fall darüber liegen. Die Auswertung der Daten zeigt, dass die private Industrie insbesondere in die Forschungsbereiche Photovoltaik, Verfahrenstechnik und Speichertechnologien investiert (Tabelle 4).⁸

Tabelle 4:

Schätzung der Aufwendungen (Mio. CHF) der privaten Industrie in den Forschungsbereichen

Forschungsbereich	Aufwendungen Industrie (in Mio. CHF)
Photovoltaik	175
Verfahrenstechnik	77
Speichertechnologien	30 (nur Akkumulatoren, keine Angaben zu anderen Speichertechnologien)
Geothermie	22
GuD/CCS	15
Elektrische Netze	6
Solare Kühlung/solare Wärme	3
Wind	1

⁸ Für die Aufwendungen der Industrie für die Forschungsbereiche Biomasse/Biogas, Energieeffizienz und Wasserkraft existieren keine Angaben.

3. GLOBALE FINANZÜBERSICHT

3.1 Öffentliche Mittel (Gesamtaufwand)

a. Aktueller Stand CH

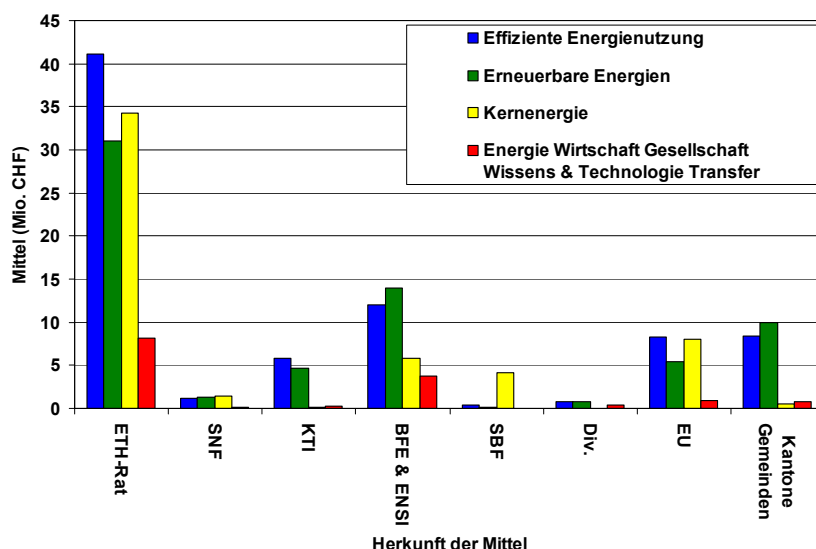
Der Gesamtaufwand der öffentlichen Hand beträgt im Jahre 2009 insgesamt rund **213.5 Mio. CHF**. Davon stammen rund 171,2 Mio. CHF vom Bund und 19,7 Mio. CHF von Kantonen/Gemeinden, bzw. 22,6 Mio. CHF von der EU.

- Verteilung nach Förderbereichen:

- 77,8 Mio. CHF (36,4%) für *Effiziente Energienutzung*,
- 67,1 Mio. CHF (31,4%) für *Erneuerbare Energien*,
- 54,3 Mio. CHF (25,4%) für *Kernenergie* und
- 14,4 Mio. CHF (6,7%) für *Energie–Wirtschaft–Gesellschaft/Wissens- & Technologietransfer*.

- Verteilung nach Herkunft (Finanzierungsquellen):

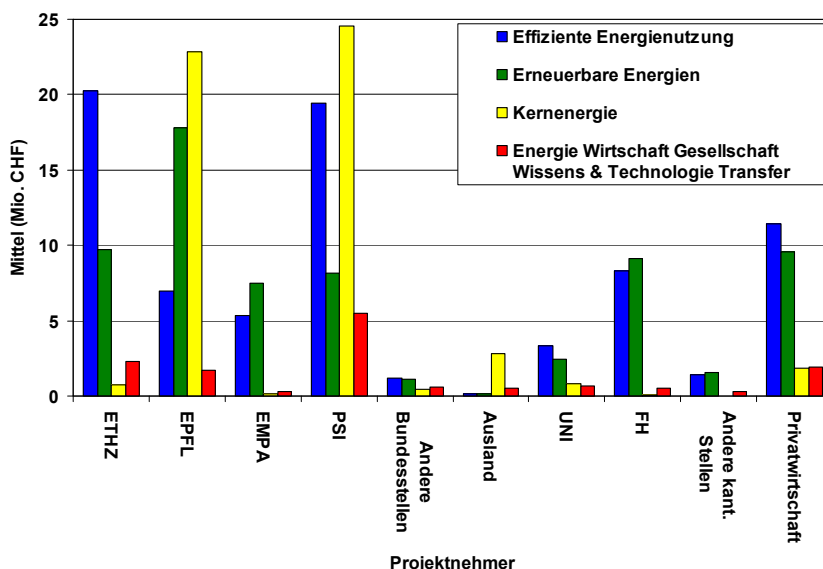
- ETH-Rat: Der grösste Anteil der Gesamtaufwendungen werden mit einem Anteil von gut 53% (rund 114 Mio. CHF) direkt im Rahmen des ETH-Globalbudgets über den ETH-Rat vergeben. Dessen Schwerpunkte (funktionale Zuweisung) liegen bei der *Effizienten Energienutzung* gefolgt von *Kernenergie* und *Erneuerbare Energien* (Figur 4).
- Das BFE und ENSI steuern rund 16,6% der Mittel der öffentlichen Hand für die Energieforschung bei. Die Schwergewichte liegen – trotz mit eingerechnetem ENSI – bei *Effizienter Energienutzung* und *Erneuerbaren Energien*.
- Die Förderagenturen des Bundes (SNF; KTI) tragen rund 6.8% bei mit Schwergewicht auf *Effizienter Energienutzung* und *Erneuerbaren Energien* (KTI), bzw. zusätzlich *Kernenergie* (SNF).
- Die Beiträge der EU betragen rund 10,6%, wobei rund 1/3 davon für die Fusionsforschung verwendet wird.
- Kantone und Gemeinden tragen rund 9,2% des Gesamtaufwandes der öffentlichen Hand bei. Deren Beiträge fliessen insbesondere an die Fachhochschulen und die kantonalen Universitäten in die Bereiche *Effiziente Energienutzung* und *Erneuerbare Energien* verwendet.



Figur 4: Herkunft der Mittel für die Forschungs-Hauptgebiete. Quelle: Projektlisten der Energieforschung des Bundes 1998–2009, BFE 2011 (Publikation in Vorbereitung)

- Zuteilung der Mittel zu den Forschungsstätten

Die Zuteilung der Mittel der öffentlichen Hand zu den Forschungsstätten ist in Kap. 1 dargestellt. Figur 5 zeigt die Schwerpunkte (funktionale Zuweisung) der Institutionen: Das PSI betreibt Forschungsschwerpunkte in den Bereichen *Kernenergie* und *Effiziente Energienutzung*, wobei auch bei *Erneuerbaren Energien* der Mitteleinsatz beträchtlich ist. Die EPFL hat Schwerpunkte bei der *Kernenergie* und den *Erneuerbaren Energien*, während die ETHZ insbesondere die *Effiziente Energienutzung* und *Erneuerbare Energien* untersucht. Ebenso haben die Privatwirtschaft, die Fachhochschulen, Universitäten und die kantonalen Stellen ihre Forschungsschwerpunkte in diese beiden Themenbereiche gesetzt.



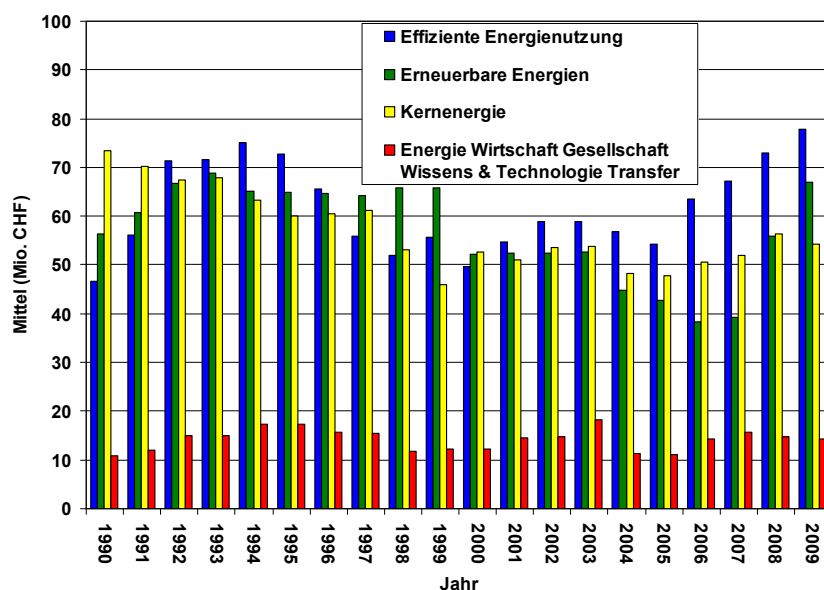
Figur 5: Verteilung der Mittel auf Forschungs-Hauptgebiete und die Forschungsstätten. Quelle: Projektlisten der Energieforschung des Bundes 1998–2009, BFE 2011 (Publikation in Vorbereitung)

b. Zeitreihe (Profil): Entwicklung ab 1990

Die Forschungsaufwendungen der öffentlichen Hand für die Energieforschung haben von 1980 bis 1993, als mit 223,3 Mio. CHF ein Maximalwert erreicht wurde, stetig zugenommen. In den nachfolgenden Jahren wurden die Aufwendungen reduziert, wobei 2005 ein Minimalwert von 155.9 Mio. CHF resultierte. Seit 2006 sind die Mittel wieder zunehmend (Figur 7).

Bezogen auf die wichtigsten Förderschwerpunkte ergeben sich in der Zeitreihe folgende Entwicklungen (Figur 6):

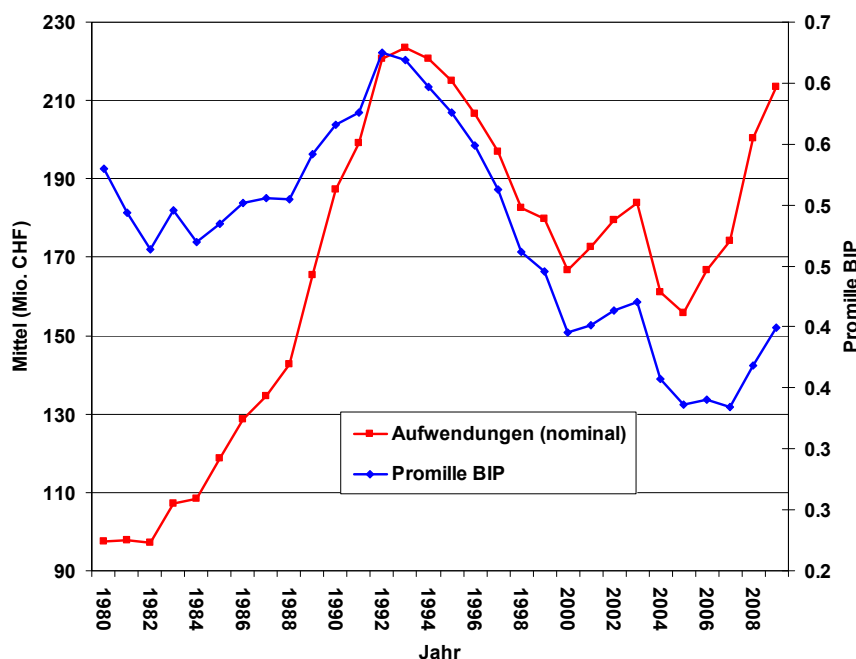
- *Effiziente Energienutzung*: Im Jahr 2000 wurde ein Tiefpunkt erreicht (Figur 6). In den letzten Jahren ist eine Zunahme der Aufwendungen feststellbar, was insbesondere auf das vermehrte Engagement der ETH und auf Forschung über EU-Projekte zurückzuführen ist.
- *Erneuerbare Energien*: In diesem Bereich erfolgte ein markanter Rückgang der Mittel im Jahr 2000, auf welchen bis ins Jahr 2006 weitere Reduktionen folgten. In den letzten beiden Jahren (2008, 2009) ist demgegenüber ein starker Anstieg feststellbar.
- *Kernenergie*: In diesem Bereich erfolgte erstmals in den 1990er Jahren ein substantieller Abbau der Mittel. In den Jahren 2000–2009 sind die Mittel mit etwas über 50 Mio. CHF pro Jahr konstant geblieben. Ab 2006 sind auch die für die ENSI-Forschung bestimmten reglementarischen Beiträge der Kernkraftwerksbetreiber mit einberechnet. Der Anteil der Kernfusion beträgt rund 26 Mio. CHF (2009).
- *Energie-Wirtschaft-Gesellschaft /Wissens-und Technologietransfer*. Nach einem Rückgang in den Jahren 2004 und 2005 haben sich die Aufwendungen bei rund 15 Mio. CHF stabilisiert.



Figur 6: Entwicklung der Mittel (nominal) in den Forschungs-Hauptbereichen zwischen 1990 und 2009. Quelle: Projektlisten der Energieforschung des Bundes 1998–2009, BFE 2011 (Publikation in Vorbereitung)

c. Entwicklung (Prozentanteil) im Verhältnis zur BIP-Entwicklung

In den Jahren von 1982 bis 1992 ist eine Zunahme des Verhältnisses der Aufwendungen der öffentlichen Hand für die Energieforschung zum Bruttoinlandprodukt (BIP) von 0,464 auf den Maximalwert von 0,625 ‰ (Jahr 1992) beobachtbar. In den Folgejahren hat das Verhältnis bis ins Jahr 2000 (0,395 ‰) stetig abgenommen. Nach einer Phase des erneuten Anstiegs (2001–2003) erreichte das Verhältnis in den Jahren 2005–2007 Tiefstwerte (um 0,34 ‰). Ab 2008 ist ein leichter Anstieg feststellbar (Figur 7).



Figur 7: Entwicklung der Mittel der öffentlichen Hand nominal, bzw. in ‰ des Bruttoinlandprodukts. Quelle: Projektlisten der Energieforschung des Bundes 1998–2009, BFE 2011 (Publikation in Vorbereitung)

d. Internationaler Vergleich (OECD)

Im Internationalen Vergleich des Verhältnisses der Aufwendungen der öffentlichen Hand für die Energieforschung zum Bruttoinlandprodukt (BIP) steht die Schweiz im Jahr 2008 im Vergleich mit anderen Ländern, welche sich an der internationalen Energieagentur beteiligen, an 5. Stelle hinter Finnland, Japan, Frankreich und Kanada. Im Jahr 2003 stand die Schweiz hinter Japan noch an 2. Stelle. Im nicht-nuklearen Bereich steht die Schweiz zusammen mit Norwegen an 5. Stelle hinter Finnland, Kanada, Japan und Schweden (Figur 3).

3.2 Aufwendungen der Privatwirtschaft

Das BFE führt Schätzungen für die Geldmittel, welche die Privatwirtschaft für die Energieforschung aufwendet, durch und stützt sich dabei auf die Angaben des Bundesamtes für Statistik und die Umfragen der Programmleiter des BFE bei der Industrie (Tabelle 5). Nach der Beurteilung des BFE liegen die tatsächlichen Aufwendungen der Industrie eher höher als in der Tabelle ausgewiesen (siehe Kap. 2.5). Die Privatwirtschaft fokussiert ihre Forschung auf traditionelle Bereiche, wobei insbesondere internationale Grossunternehmen aktiv sind. Rund 4/5 der Mittel der Privatwirtschaft fliessen in Pilot und Demonstrationsprojekte (P+D), 1/5 in Grundlagen- und angewandte Forschung (F+E).

Tabelle 5:

Schätzung der Gesamtaufwendungen der Privatwirtschaft für die Energieforschung in Mio. CHF (F+E, P+D)

	1999	2001	2003	2005	2007	2008
Effiziente Energienutzung	390	390	565	550	740	520
Erneuerbare Energien	140	245	95	120	110	180
Kernenergie	40	40	45	45	22	50
Energie Wirtschaft Gesellschaft						
Wissens & Technologie Transfer	230	50	55	25	28	30
Total	800	725	760	740	900	780

Schätzung der Aufwendungen der Privatwirtschaft für P+D Projekte (Mio. CHF)

	1999	2001	2003	2005	2007	2008
Effiziente Energienutzung	350	330	475	490	600	420
Erneuerbare Energien	120	220	85	85	90	140
Kernenergie				1	10	45
Energie Wirtschaft Gesellschaft						
Wissens & Technologie Transfer	180	25	40	19	20	25
Total	650	575	600	595	720	630

4. PLANUNGSVERFAHREN AUF STUFE BUND

Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE)

Der Bundesrat hat am 18. April 1984 den Auftrag erteilt, einen Vorschlag für die Einsetzung einer eidgenössischen Energieforschungskommission vorzulegen, die in erster Linie im konzeptionellen Bereich tätig sein soll. Am 3. Oktober 1986 wurde die CORE eingesetzt und dem UVEK zugeteilt. Das Sekretariat der Kommission wird durch das BFE geführt. Die CORE berät Bundesrat und UVEK im Bereich der Energieforschung. Sie setzt sich aus 15 hochrangigen Vertretern aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft zusammen und wird vom Bundesrat gewählt. SBF, BFE und BAFU haben Einsitz als Beobachter. Die CORE ist ein wesentliches Lenkungsgremium im Bereich der Schweizer Energieforschung.

Die zentralen Aufgaben der CORE sind die Ausarbeitung und die regelmässige Überarbeitung des Energieforschungskonzepts des Bundes (alle vier Jahre), sowie die periodische Überprüfung der Energieforschungsprogramme des Bundes. Sie äussert sich zudem zu den Mehrjahresprogrammen der energiebezogenen Ressortforschung des Bundes und zur Beteiligung an internationalen Energieforschungsprojekten. Eine wichtige Aufgabe der CORE ist die regelmässige Überprüfung der Forschungsprogramme des BFE, im Rahmen derer sie Empfehlungen bezüglich der Ausrichtung dieser Programme gibt.

Das Energieforschungskonzept des Bundes gibt lediglich Empfehlungen für die Förderung von Forschungsprojekten durch die öffentliche Hand. Die einzelnen Institutionen – etwa ETH-Bereich, Bundesämter, Fachhochschulen – sind bei der Wahl der zu unterstützenden Projekte nicht gebunden.

Energieforschungskonzepte des BFE

Die Energieforschungskonzepte des BFE sind in die Verfahren der Forschungskonzepte des Bundes für die Gestaltung wichtiger Politikbereiche eingebettet und dienen in diesem Zusammenhang auch der interdepartementalen Koordination der Ressortforschung unter dem vom Bundesrat im Jahre 1997 eingesetzten Steuerungsausschuss für Bildung, Forschung und Technologie (Präsidium SBF/BBT). Wie im Falle der massgeblichen Forschungskonzepte andere Politikbereiche erarbeitet das BFE gestützt auf das Energieforschungskonzept des Bundes ebenfalls alle vier Jahre für jedes seiner Programme ein Detailkonzept, das der CORE vorgestellt wird. Jedes dieser Forschungsprogramme wird von einem Programmleiter bzw. einer Programmleiterin (Programmleitung) geführt. Der Programmleitung steht in der Regel eine Begleitgruppe aus Vertretern der Wirtschaft, der Wissenschaft und der Verwaltung zur Seite.

Die Unterstützung von Forschungsprojekten durch das BFE orientiert sich an den entsprechenden Detailkonzepten, in denen die für die jeweils vierjährige Geltungsperiode gültigen Zielsetzungen festgelegt sind (www.energieforschung.ch).

Mit dieser Struktur einer ausserparlamentarischen Kommission als übergeordnetes strategisches Gremium, einer Begleitgruppe für die rollende strategische Planung und einer Programmleitung, die neben den operativen Aufgabe auch die Vernetzung der Schweizer Forschenden untereinander, mit der Industrie und auch mit den Forschungsprogrammen u.a. der *Internationalen Energieagentur* (IEA) und der EU (Forschungsrahmenprogramme, Joint Technology Initiatives, ERA-Nets, etc.) fördert bzw. sicherstellt, verfügt die Schweiz über eine äusserst effiziente Struktur der energierelevanten Forschungscoordination und des Wissenstransfers. Die enge Kooperation der Bereichsleitungen mit EnergieSchweiz (Einsitz in den Begleitgruppen) stärkt den Transfer in den Markt zusätzlich.

Die Programmstruktur der Schweizer Energieforschung ist eine der wesentlichen Stärken, welche den zeitlich langen Charakteristiken der Energieforschung und -technologie (von der Forschung über Umsetzung bis zum Produkt am Markt) am besten gerecht wird.

Evaluationen der Forschungsprogramme des Bundesamts für Energie BFE

Die Energieforschung des BFE wurde in den letzten zwei Jahren verschiedentlich evaluiert: Die Evaluationen der Eidg. Finanzkontrolle EFK und des Steuerungsausschuss BFT gaben der durch das BFE geförderten Energieforschung durchwegs Bestnoten. Die EFV bemerkt in ihrem Schlussbericht⁹, dass das BFE die im *Forschungskonzept des Bundes* vorgegebenen Schwerpunkte systematisch verfolgt. Zu betonen ist zudem, dass die in diesem Bereich etablierten Strukturen und Verfahren im Ressortforschungsbereich über keine bundeseigenen Forschungsinstitutionen verfügen, sondern systematisch und in effizienter Form mit den im Schweizerischen Hochschulsystem etablierten Forschungsinstitutionen (ETH-Bereich; Universitäten; Fachhochschulen) *ausserhalb* der Bundesverwaltung koordiniert sind.

⁹ «Pilotage de la recherche énergétique financée par la Confédération Evaluation du processus de fixation des priorités, d'allocation des moyens financiers et de coordination entre les acteurs», Décembre 2008

Teil II Aktionsperspektiven Bund

1. ÜBERSICHT AKTIONSEBENEN DES BUNDES IM BFI-BEREICH

Im Rahmen der geltenden Rechtsgrundlagen und Zuständigkeiten kann der Bund im BFI-Bereich auf vier Förderachsen spezifische Massnahmen zu Gunsten der Energieforschung vorsehen:

- **Förderachse 1: Massnahmen auf institutioneller Ebene (Kompetenzzentren)**
 - Konsolidierung und ggf. Reorientierung bestehender Zentren, namentlich im ETH-Bereich
 - Erweiterungen: Ausweitung bei der Unterstützung von Technologiekompetenzzentren mit hohem Potenzial für die direkte Zusammenarbeit mit der Privatwirtschaft (Public Private Partnership) hinsichtlich der Stärkung des Wissens- und Technologietransfers und Innovation (Umsetzung)
- **Förderachse 2: Massnahmen über Förderagenturen (SNF; KTI)**
 - Unterstützung im Rahmen der *Normalförderung* des Schweizerischen Nationalfonds SNF (primär für die grundlagenorientierte Energieforschung), ggf. *ergänzt* durch Spezialprogramme («Clustering») *innerhalb* seiner Normalförderung
 - Nutzung der beim SNF etablierten *spezifischen Förderinstrumente* (Nationale Forschungsschwerpunkte NFS und Nationale Forschungsprogramme NFP) in Form von thematisch orientierten Förderprogrammen (sowohl grundlagen- wie anwendungsorientierte Energieforschung)
 - Unterstützung im Rahmen der *Normalförderung* der Kommission für Technologie und Innovation KTI (Innovationsförderung, mit Matching Funds), ggf. *ergänzt* durch Spezialprogramme («Impulsprogramme») *innerhalb* der Normalförderung
 - Spezifische und ggf. verstärkte Unterstützung von F&E- sowie von WTT-Netzwerken im Energiebereich im Rahmen der etablierten Innovationsförderung der KTI
- **Förderachse 3: Massnahmen auf Ebene der Internationalen Kooperation**
 - Beteiligung der Schweiz an den EU-Rahmenforschungsprogrammen (im Bereich der nicht-nukleare Energieforschung)
 - Beteiligung der Schweiz an Euratom (im Bereich nukleare Energieforschung, mit heutigem Schwergewicht auf Fusionsforschung)
 - Nutzung der europäischen «Joint Programming Initiative» zur Koordination nationaler Förderprogramme im Rahmen neu zu entscheidender NFP; Teilnahme an der European Energy Research Alliance EERA
- **Förderachse 4: Massnahmen im Bereich Ressortforschung**
 - Verstärktes Engagement im Bereich der Förderung von Pilot- und Demonstrationsanlagen in Zusammenarbeit namentlich mit der Privatwirtschaft und den Kantonen
 - Begleitmassnahmen zum Anschluss der Schweiz an spezifischen, auf europäischer Ebene lancierten Initiativen, namentlich Beteiligung der Schweiz an ausgewählten Massnahmen im Rahmen des EU SET-Plan (Strategic Energy Technology Plan); Beteiligungen an diversen Initiativen nach Art. 179/181 des Vertrages

Mit diesen vier Förderachsen sind im Rahmen der BFI-Förderung des Bundes jeweils unterschiedliche übergeordnete Ziele, Entscheidzuständigkeiten und -verfahren verknüpft. Entsprechend verläuft auch die zugehörige Finanzplanung der Bundesförderung in unterschiedlicher Form. Namentlich sind in der Finanzplanung zur *periodischen* Botschaft zur Förderung von Bildung, Forschung und Innovation (BFI-Botschaften) in der Hauptsache nur die Förderachsen 1 und 2 direkt berücksichtigt. Ein **Aktionsplan «Koordinierte Energieforschung Schweiz»** hat *einerseits* diesen Differenzen hinsichtlich Zielsetzung, Zuständigkeiten und Finanzplanung Rechnung zu tragen, bietet *andererseits* im Hinblick auf die anstehenden Probleme bei der Energieproduktion und -versorgung der Schweiz die Chance, das Zusammenwirken der Fördermassnahmen des Bundes und der von ihm unterstützten Institutionen und Förderorganisationen lösungsorientiert und effizient zu sichern und zu optimieren. Die entsprechenden Förderinstanzen sind gemäss den Zielsetzungen des Aktionsplans zu stärken.

2. BEDARFSPORTFOLIO (BFE): TECHNOLOGIEGEBIETE – FORSCHUNGSBEDARF

Zur Beantwortung der Frage, wie die Stromversorgung der Schweiz mit den Zeithorizonten 2020, 2035 und 2050 sichergestellt werden kann, müssen vier Elemente berücksichtigt werden.

Effizienztechnologien im Strombereich reduzieren den direkten Elektrizitätseinsatz und bestimmen damit die Gesamtnachfrage nach Elektrizität. Weiter sind *Effizienztechnologien in anderen Sektoren* wie Gebäude oder Mobilität einzubeziehen, welche direkt über die Elektrizität oder indirekt über ihre Treibhausgasemissionen zur Entlastung des Gesamtsystems beitragen können.

Der Bereitstellung ausreichender Kapazitäten für die **Elektrizitätsübertragung** auf der Hochspannungsebene, dem Verteilnetz und der Implementierung «intelligenter» Netze (Smart Grids) mit der Integration von Speichern kommt eine zentrale Bedeutung zu.

Speicherung von Elektrizität und anderen Energieträgern ermöglicht die Anpassung zwischen verfügbarer Energie und angeforderter Last und trägt damit zur Effizienzsteigerung bei; Speicherkapazitäten sind wesentlich für die Netzstabilität.

Für die **Bereitstellung der Elektrizität** sind die Potenziale der verschiedenen Technologien und die zu lösenden Herausforderungen zu analysieren.

Auf diesem Hintergrund werden nachfolgend die in diesem Zusammenhang wichtigsten **Technologien und Technologiegebiete** aufgeführt, kurz charakterisiert und betreffend Forschungsbedarf (thematische Schwerpunkte) erläutert.

A. Biomasse/Biogas

Markteinführung der Technologie (= volle Verfügbarkeit zum Abbau der Stromlücke)	<input checked="" type="checkbox"/>	2020
	<input type="checkbox"/>	2035
	<input type="checkbox"/>	2050
Potenzial zum Abbau der Stromlücke (mittel- und langfristig)	<input type="checkbox"/>	klein (unter 5% bei 70 TWh pro Jahr)
	<input checked="" type="checkbox"/>	mittel (bis 10% bei 70 TWh pro Jahr)
	<input type="checkbox"/>	gross (über 10% bei 70 TWh pro Jahr)
Allgemeines Profil der Forschung (= primäre Ausprägung des Forschungsbedarfs)	<input type="checkbox"/>	Grundlagenforschung
	<input type="checkbox"/>	Angewandte F & E
	<input checked="" type="checkbox"/>	Pilot und Demonstrationsversuche
	<input type="checkbox"/>	Innovation / Umsetzung am Markt

Hauptinhalte der anzustrengenden Forschung:

Die wichtigsten technischen Hindernisse der verschiedenen Biogas/Biomasse-Technologien liegen sowohl bei den Kosten, als auch bei der Effizienz, wobei durch eine Effizienzsteigerung neben der markanten Reduktion der Treibhausgasemissionen auch eine Kostenreduktion erzielt werden wird. Bezüglich Effizienz liegen die Probleme sowohl bei der Gesamteffizienz, als auch bei der Effizienz in Bezug zur Vorbehandlung (inkl. Logistik). Die sozio-ökonomischen Hemmnisse sind schwer quantifizierbar. Biomasse-Technologien (im Speziellen Grossanlagen) haben keinen leichten Stand in der Öffentlichkeit. Des Weiteren fehlen zum Teil langfristige Lieferverträge für das Ausgangsmaterial resp. die Betriebsstoffe – dies als Folge eines noch intransparenten, internationalen Marktes für Biomasse. Nicht zuletzt muss die Nutzung der Biomasse nachhaltig sein. Wesentliche Forschungsthemen sind: (1) Systemoptimierung und Systemintegration: Wirkungsgraderhöhung zur effizienten Nutzung der Biomasse, Emissionsreduktion (Feinstaub, klimarelevante Gase), Kostensenkung, Umfassende Bewertung der Wertschöpfungskette mittels Life Cycle Analysis (LCA); (2) *Qualitätssicherung*: Grundlagen, Standardisierungen; (3) *Förderung neuer zukunftsweisender Technologien*; (4) *Sensibilisierung der Öffentlichkeit* durch gute Kommunikation.

Zeitskala für die Umsetzung der Ergebnisse:

In den kommenden 3 Jahren kann durch höhere Gesamtnutzungsgrade bei der Vergärung von Biomasse die Wirtschaftlichkeit verbessert werden. Hier sind Möglichkeiten der Abwärmenutzung zu prüfen (z.B. Heizung von Gewächshäuser und Stallungen, Kälteerzeugung mit Absorptionskältemaschinen, Trocknung von Heu oder Früchten etc.). Anlagen sind besser in die gegebenen Systeme zu integrieren, um eine maximale Ausnutzung des Biomassesubstrats zu erzielen.

In den kommenden 5 Jahren können durch Pilot- und Demonstrationsanlagen zur Strom- und Wärmeproduktion (BHKWs) weitere Schlüsseltechnologien der Holzenergienutzung getestet und aufeinander abgestimmt werden (Heissgasentschwefelung zur Steigerung des Wirkungsgrads, Gasreinigung, Methanierung, Einsatz in Brennstoffzellen).

Mittel- bis Langfristig ist die Verwendung von Gülle, Bioabfall und Restholz, welche sich günstig auf die Nachhaltigkeit und Treibhausgasbilanz der ganzen Kette auswirken, anzustreben. Für die rasche Umsetzung ist eine Vernetzung von Industrie und Forschung vorteilhaft. Daneben kann die Umsetzung durch finanzielle Anreize und praxisnahe Vorschriften, aber auch durch Information, Beratung und Weiterbildung unterstützt werden.

Problemlösungspotenzial:

Stromproduktion aus Biomasse kann bis 2050 5–9 TWh betragen. Damit könnten ca. 10% des Strombedarfs durch Biomasse, bei Investitionskosten von 2000 Fr./kW, Betriebskosten von 9,3 Rp./kWh und Gestehungskosten von 12,0 Rp./kWh substituiert werden.

Die Gasproduktion aus Biomasse kann bis 2050 5 TWh erreichen. Der überwiegende Teil des erzeugten Biogases wird heute zur Wärme- und Stromerzeugung genutzt; der Rest wird ins Gasnetz eingespeist, sowie als Treibstoff eingesetzt. Künftig müssen neben kleinen Anlagen auch Grossanlagen mit einer Leistung von einigen 10 MW realisiert werden.

Einzusetzende Ressourcen:

Die oben beschriebenen Massnahmen zur Förderung der Energieproduktion über Biomasse/Biogas werden mit einem Finanzbedarf von 6 Mio. CHF/Jahr veranschlagt (4 Mio. CHF in den nächsten 3–5 Jahren und 2 Mio. CHF/Jahr längerfristig), wovon jeweils die Hälfte für Pilot- und Demonstrationsprojekte eingesetzt werden sollte.

B. Elektrische Netze

Markteinführung der Technologie (= volle Verfügbarkeit zum Abbau der Stromlücke)	<input checked="" type="checkbox"/>	2020
	<input checked="" type="checkbox"/>	2035
	<input type="checkbox"/>	2050
Potenzial zum Abbau der Stromlücke (mittel- und langfristig)	<input checked="" type="checkbox"/>	klein (unter 5% bei 70 TWh pro Jahr)
	<input type="checkbox"/>	mittel (bis 10% bei 70 TWh pro Jahr)
	<input type="checkbox"/>	gross (über 10% bei 70 TWh pro Jahr)
Allgemeines Profil der Forschung (= primäre Ausprägung des Forschungsbedarfs)	<input type="checkbox"/>	Grundlagenforschung
	<input checked="" type="checkbox"/>	Angewandte F & E
	<input checked="" type="checkbox"/>	Pilot und Demonstrationsversuche
	<input type="checkbox"/>	Innovation / Umsetzung am Markt

Hauptinhalte der anzustrebenden Forschung:

Durch den Aus- und Umbau der elektrischen Netze, sowie der Nutzung von Synergien mit Netzen anderer Energieträger (z.B. Gas, Wärme) kann die Versorgungssicherheit erhöht, die Integration neuer erneuerbarer Energien ermöglicht und, im besten Fall, Energie eingespart werden. Die Wirkung der auf Netze bezogenen Forschung liegt also nicht bei Energieeinsparungen, sondern bei der Versorgungssicherheit und der Integration.

Es ist eine entsprechende Roadmap zu entwickeln. Dabei soll analysiert werden, zu welchem Zweck und wie die Netze in der Schweiz künftig funktionell ausgestaltet werden müssen, um nachhaltig betrieben werden zu können. Anhand verschiedener Szenarien wird der anzustrebende Zustand des Schweizer Netzes definiert werden, wobei der Speicherung von elektrischer Energie die entsprechende Bedeutung beigemessen werden muss. Wenn der anzustrebende Zustand einmal festgelegt ist, können die notwendigen Schritte zur Umsetzung, insbesondere zur Überwindung der Hindernisse, abgeleitet werden. Ausserdem lassen sich dann auch die von der Gesellschaft zu tragenden Entwicklungs- und Investitionskosten abschätzen. Damit die Frage nach der Finanzierung und nach Modellen für eine verursachergerechte Aufteilung der Kosten beantwortet werden kann, soll ausserdem aufgezeigt werden, welchen Nutzen die verschiedenen Interessenvertreter aus den verschiedenen Investitionen ziehen.

Die Stossrichtungen der Forschung liegen damit bei der Architektur und dem Betrieb des Übertragungsnetzes, dem Betrieb des Verteilnetzes, der Netzintegration erneuerbarer Energien und der Marktintegration der Endkunden (Smart Grids).

Zeitskala für die Umsetzung der Ergebnisse:

Nachfolgend sind die zu verfolgenden Forschungsthemen in kurzfristig (3–5 Jahre), mittelfristig (5–10 Jahre) und langfristig (10–20 Jahre) unterteilt.

Bei der (1) *Übertragungsnetzarchitektur* sind die Forschungsthemen Planungswerkzeuge und Grundlagen zur Verkabelungs-/Freileitungsthematik (beide mittelfristig); beim (2) *Übertragungsnetzbetrieb* die Forschungsthemen länderübergreifende Netzüberwachung, länderübergreifende Koordination, Sicherheitskriterien und Systemdienstleistungen, die alleamt sowohl kurz- als auch mittelfristig Forschungsbedarf aufweisen. Beim (3) *Marktdesign* stehen die Themen Engpassmanagement, Marktintegration erneuerbarer Energien, Engpassmanagement, Marktintegration von Endkunden und Speichern im Vordergrund, alle mit ebenfalls kurz- und mittelfristigem Forschungsbedarf, wobei die Marktintegration der End-

kunden auch langfristige Forschung erfordert. Bei den (4) *Endkunden* steht kurzfristig Demand Side Participation und kurz- bis mittelfristige die Integration von Gebäuden im Zentrum. Die (5) *Netzintegration erneuerbarer Energien* weist kurzfristigen Forschungsbedarf bei der Integration in Niederspannungsnetze (Schutz, Qualität, etc.) und in Mittelspannungsnetze auf, kurz- bis mittelfristigen ist der Bereich Integration und Bewirtschaftung von Speichern zu erforschen und kurz- bis langfristigen die Integration von Elektromobilität. Beim (6) *Verteilnetzbetrieb* ist kurzfristig Forschung in den Themenbereichen Monitoring und zur Steuerung der Niederspannungsnetze, Automatisierung von Mittelspannungsnetzen und dem Asset Management nötig. Bei der (7) *Informations- und Kommunikationstechnik* schliesslich ist kurzfristig Forschung bei der Informationserfassung, -übertragung und -verarbeitung sowie beim Datenschutz nötig, kurz- bis langfristig beim Schutz kritischer Infrastruktur.

Problemlösungspotenzial:

Die Energieforschung im Bereich der elektrischen Netze bringt in erster Linie Beiträge zur Netzstabilität und zur Integration erneuerbarer Energie ins elektrische Netz. Wesentliche Beiträge zur Reduktion des Stromverbrauchs sind nicht zu erwarten.

Einzusetzende Ressourcen:

In den nächsten 10 Jahren werden zur Erreichung obiger Forschungsziele 9 Mio. CHF/Jahr für Forschungsprojekte und 20 Mio. CHF/Jahr für Pilot- und Demonstrationsprojekte benötigt.

C. Gas und Dampfkraftwerke / Carbon Capture and Storage

Markteinführung der Technologie (= volle Verfügbarkeit zum Abbau der Stromlücke)	<input type="checkbox"/>	2020
	<input checked="" type="checkbox"/>	2035
	<input checked="" type="checkbox"/>	2050
Potenzial zum Abbau der Stromlücke (mittel- und langfristig)	<input type="checkbox"/>	klein (unter 5% bei 70 TWh pro Jahr)
	<input type="checkbox"/>	mittel (bis 10% bei 70 TWh pro Jahr)
	<input checked="" type="checkbox"/>	gross (über 10% bei 70 TWh pro Jahr)
Allgemeines Profil der Forschung (= primäre Ausprägung des Forschungsbedarfs)	<input checked="" type="checkbox"/>	Grundlagenforschung
	<input checked="" type="checkbox"/>	Angewandte F & E
	<input checked="" type="checkbox"/>	Pilot und Demonstrationsversuche
	<input type="checkbox"/>	Innovation / Umsetzung am Markt

Hauptinhalte der anzustrebenden Forschung:

Um Gas- und Dampfkraftwerke (GuD) in der Schweiz einsetzen zu können, müssen vier Forschungsthemen gefördert werden: (1) Wirkungsgradsteigerung, (2) CO₂-Emissionsminderung, (3) Flexibilisierung bezüglich abzugebender Leistung und – da die substantielle inländische Kompensation der CO₂-Emissionen gesetzlich vorgegeben ist – (4) Abscheidung, Transport und Speicherung von CO₂ (Carbon Capture and Storage, CCS). Da nur mit wenigen wesentlichen CO₂-Punktquellen (z.B. Gaskraftwerke) zu rechnen ist, kann die Kompensation einerseits durch eine Vielzahl von Massnahmen am GuD selber angegangen, und andererseits durch CCS im tiefen Untergrund ermöglicht werden.

Zeitskala für die Umsetzung der Ergebnisse:

In den kommenden 3 Jahren sind folgende Forschungsthemen voranzutreiben: Für die Schweiz wurde das theoretische CO₂-Speicherpotenzial auf 2,7 Mrd. Tonnen pro Jahr geschätzt wurde. Ein 400-MW-GuD-Kraftwerk würde im Vollastbetrieb 1–1,5 Millionen (also weniger 0,1% des theoretischen Speicherpotenzials ausstossen). Aus diesem Grund müssen erdwissenschaftliche Methoden angewendet werden, um die theoretischen Schweizer Speicherressourcen zu kartieren und die Abschätzung zu präzisieren. An möglichen Standorten in Nähe von stationären CO₂-Punktquellen müssen die Speicherressourcen charakterisiert werden und mögliche Standorte mit mehr als 1 Million Tonnen CO₂-Speicherpotenzial pro Jahr bestimmt werden.

Die Schwerpunkte für die nächsten 5 Jahre liegen bei den folgenden Themen.

Die Erlangung eines elektrischen *Wirkungsgrads* von > 60% umfasst die Steigerung der Komponenten-Wirkungsgrade (Luftverdichter, Gasturbine, Dampfturbine, Generator), die Reduzierung des Kühlluft-Bedarfs (Gasturbine, Generator) und die Steigerung der Prozess-Parameter (Druck, Temperatur für Gas-/Dampf-Prozess). Die *CO₂-Emissionsminderung* soll –15% betragen, damit die spezifische CO₂-Emission um 50 g CO₂/kWh_{el} reduziert wird. Dies soll durch die Steigerung der Gesamt-Wirkungsgrade (Strom- und Wärmenutzung), durch den Einsatz CO₂-neutraler Brennstoffe (gewonnen aus Biomasse) und die notwendigen Prozess-Modifikationen zur Emissions-Minderung (Erleichterte CO₂-Abscheidung durch Aufbereitung des Brennstoffs, bzw. durch Beeinflussung der Abgas-Zusammensetzung, CO₂-Abscheidungstechnologien) erreicht werden. *Gas- und Dampfkraftwerke* eignen sich insbesondere zur Deckung der Stromnachfrage in Spitzenverbrauchszeiten. Die Zuschaltung erfordert eine schnelle *Netzstabilisierung* (Leistungserhöhung von > 3% pro Sekunde), was

eine Verbesserung der zyklischen Belastbarkeit der Maschinen-Komponenten, die Verbesserung der Maschinen-Dynamik und neue Generator-Technologien erfordert.

Generell müssen über die nächsten 5–10 Jahre die effektiven Speicherressourcen bestimmt werden, damit die Planung von Pilot- und Demonstrationsprojekten für einen begrenzten, die Speicherressource näher bestimmenden, CO₂-Injektionstest vorgenommen werden können, und so die Bestimmung der praktischen Speicherressourcen erfolgen kann. Es wird erwartet, dass dies im internationalen Verbund und mit Unterstützung der Stromwirtschaft erfolgen wird.

Problemlösungspotenzial:

Das Potenzial hängt von den politischen Rahmenbedingungen ab, ob und ab wann wie viele GuD (in MW) bewilligt werden. GuD können relativ schnell bereit gestellt werden; problematisch bleibt aber die tatsächlich durch CCS mögliche, zu verpressende Menge CO₂, welche durch geeignete Pilot- und Demonstrationsprojekte nachgewiesen werden muss.

Einzusetzende Ressourcen:

In den nächsten 5 Jahren muss von einem Bedarf von 7 Mio. CHF/Jahr ausgegangen werden.

D. Windenergie

Markteinführung der Technologie (= volle Verfügbarkeit zum Abbau der Stromlücke)	<input checked="" type="checkbox"/>	2020
	<input type="checkbox"/>	2035
	<input type="checkbox"/>	2050
Potenzial zum Abbau der Stromlücke (mittel- und langfristig)	<input checked="" type="checkbox"/>	klein (unter 5% bei 70 TWh pro Jahr)
	<input type="checkbox"/>	mittel (bis 10% bei 70 TWh pro Jahr)
	<input type="checkbox"/>	gross (über 10% bei 70 TWh pro Jahr)
Allgemeines Profil der Forschung (= primäre Ausprägung des Forschungsbedarfs)	<input type="checkbox"/>	Grundlagenforschung
	<input type="checkbox"/>	Angewandte F & E
	<input checked="" type="checkbox"/>	Pilot und Demonstrationsversuche
	<input checked="" type="checkbox"/>	Innovation / Umsetzung am Markt

Hauptinhalte der anzustrebenden Forschung:

Heute sind technisch ausgereifte Windkraftanlagen mit Leistungen von 500 W bis 5 MW für Standardbedingungen auf dem Markt. Im Vordergrund der Forschung stehen daher die (1) *Entwickeln von Anlagekomponenten* (Sensorik, Nano-Technologie) für die Nutzung von Windenergie unter spezifisch schweizerischen Verhältnissen durch die einheimische Industrie; die (2) *Erhöhung der Verfügbarkeit und des Energieertrages* von Windkraftanlagen an extremen Standorten (Klima, Turbulenzen, Logistik); die (3) *Erhöhung des «Wertes» der Windenergie*, also die Optimierung der Integration von Windkraftanlagen in die Stromversorgung (Forecasting, Regelenergie) und die (4) *Erhöhung der Akzeptanz für Windenergie* unter Einbezug sozial- und umweltwissenschaftlicher Kompetenz, was zu einer Verkürzung der Projektrealisierungsdauer führen soll.

Ergänzend sollen mit (5) *Pilot- und Demonstrationsprojekten* die nicht technischen Hemmnisse zur stärkeren Marktdurchdringung der Windenergie reduziert und die Lücke zwischen eigentlichen Forschungsaktivitäten und der Anwendung in der Praxis geschlossen werden.

Zeitskala für die Umsetzung der Ergebnisse:

In den nächsten 5 Jahren ist die Forschung in den folgenden Themenkreisen voranzutreiben: Entwickeln von *Anlagekomponenten*. (1) Verbesserter Blitzschutz; Verbesserung Flügelgeometrie; (3) «Nano»-Oberfläche für Windenergie-Rotorblätter als Vereisungs- und Verschmutzungsschutz.

Erhöhung der Verfügbarkeit und des Energieertrages: Erhöhung der Produktion um 10% (Cold Climate, turbulente Winde, komplexe Topografie). (1) Test «Windmess-Laser» und Verbesserung/Anpassung an Schweizer Verhältnisse (Windregime, Topographie); (2) Längere Wartungsabstände für Getriebe: Dies ermöglicht grosse Kostenersparnis und kann daher auch für die Windenergie in der Schweiz wichtig sein, ist aber vor allem für die Offshore-Windindustrie interessant (Zulieferer für Präzisionsteile «Getriebe» sind in der Schweiz vorhanden, für die Erstellung von Gesamtgetrieben in Diskussion);

Erhöhung des «Wertes» der Windenergie: Bessere, einfachere Integration, Kostensenkung Bilanzgruppe für Erneuerbare Energien. Verbesserung der Produktionsprognose (speziell auch wichtig für die Schweiz) aufgrund überarbeiteter Modelle und Miteinbezug reeller Leistungszahlen der Schweiz;

Erhöhung der Akzeptanz: Verkürzung der Planungs-/Bewilligungsdauer, (Akzeptanz, Vögel, Fledermäuse). (1) Vorhersagesystems für den Vogelzug (Vogelzug ist durch die Alpenquerung ein besonderes Schweizerisches Forschungsgebiet.); (2) Abschätzung der möglichen Auswirkungen auf die Avifauna bei einem umfassenden Ausbau der Windenergie in der Schweiz und darauf basierend Ermittlung von fundierten Anforderungen an einzelne Projekte; (3) Entwicklung vereinfachter Verfahren zur Ermittlung der Auswirkungen auf Fledermäuse; (4) Entwicklung und Sicherheitsnachweis von Hinderniskennzeichnungen mit reduziertem Störpotenzial (Sichtweitenregulierung, bedarfsgerechte Befeuerung, bei Windparks Kennzeichnung von nur einzelnen Anlagen); Massnahmen zur Schallreduzierung (Vortex-Generatoren, aktive Lärmunterdrückung etc.); (5) Störwirkung von Windenergieanlagen: Ermittlung der wesentlichen Faktoren (Sichtbarkeit, Lärm, soziale Faktoren) durch Umfragen bei existierenden Anlagen; (6) Massnahmen zur verbesserten Umweltintegration von Windenergieanlagen, wie z.B. optimierte Farbgestaltung, die für Vögel besser wahrnehmbar sind;

Erstellung eines *Windkompetenzcenters* (an der ETHZ wurde Interesse geäussert), welches Kompetenzen in Bezug auf technische und ökonomische Fragestellung rund um die Windenergie bietet (Return of Investment, Windparkmodelle für Schweizer Verhältnisse etc.).

Problemlösungspotenzial:

Das realistische Potenzial der Windkraft in der Schweiz für 2020 etwa 600 GWh Windstrom pro Jahr, für 2035 etwa 1500 GWh und für 2050 etwa 4000 GWh. Für die Ausschöpfung dieses Potenzials ist vor allem politischer Willen nötig. Die Energieforschung kann hier vor allem mit Ergebnissen zur Förderung der Akzeptanz beitragen.

Einzusetzende Ressourcen:

Kurzfristig (3–5 Jahre) ergibt sich aus den oben aufgeführten Forschungsschwerpunkten ein Mittelbedarf von rund 5 Mio. CHF/Jahr für Forschungsprojekte und 1 Mio. CHF/Jahr für Pilot- und Demonstrationsprojekte.

Zusätzlich besteht langfristig (10 Jahre) ein Bedarf von 3 Mio. CHF/Jahr für ein Windkompetenzcenter.

E. Photovoltaik

Markteinführung der Technologie (= volle Verfügbarkeit zum Abbau der Stromlücke)	x	2020
	x	2035
	x	2050
Potenzial zum Abbau der Stromlücke (mittel- und langfristig)	<input type="checkbox"/>	klein (unter 5% bei 70 TWh pro Jahr)
	<input type="checkbox"/>	mittel (bis 10% bei 70 TWh pro Jahr)
	x	gross (über 10% bei 70 TWh pro Jahr)
Allgemeines Profil der Forschung (= primäre Ausprägung des Forschungsbedarfs)	x	Grundlagenforschung
	x	Angewandte F & E
	x	Pilot und Demonstrationsversuche
	<input type="checkbox"/>	Innovation / Umsetzung am Markt

Hauptinhalte der anzustrengenden Forschung:

Die Photovoltaik befindet sich in einer dynamischen Entwicklungsphase zwischen Technologie, globaler Industrialisierung und grossmassstäblicher Umsetzung. Sie besitzt mittel- und langfristig das grösste Potenzial der erneuerbaren Stromversorgung. Die Schweiz ist in der Photovoltaikforschung mit international führenden Ansätzen präsent, droht aber durch die markante Beschleunigung und grossangelegte Programme verschiedener Länder ins Hintertreffen zu geraten. Die Schweizer Photovoltaik-Industrie hat 2010 einen Jahresumsatz von etwa 2. Mrd. CHF erreicht, wovon ein Grossteil in den Export fliesst. Die Ziele der Schweizer Photovoltaikforschung können zusammengefasst werden mit Kostenreduktion durch neue Technologieansätze, Wirkungsgraderhöhung der einzelnen Komponenten und des Systems, insbesondere von Solarzellen und Solarmodulen, Umsetzung in industrielle Verfahren und Produkte, Zuverlässigkeit und Qualitätssicherung, langfristige Optionen für künftige Solarzellenkonzepte sowie Integration in Gebäude und das elektrische Netz. Die Schweizer Photovoltaikforschung ist sehr gut in die internationale Forschungslandschaft integriert und im 7. Rahmenforschungsprogramm der EU sehr aktiv.

Die Photovoltaik befindet sich gemäss der Photovoltaik Roadmap der Internationalen Energieagentur im Jahrzehnt 2010–2020 in einer entscheidenden Phase bezüglich ihrer künftigen Rolle als Beitrag zu einer nachhaltigen Stromversorgung. Die Schweiz befindet sich technologisch und industriell in einer sehr guten Ausgangslage, welche durch eine Intensivierung der Forschung massgeblich beschleunigt werden kann. Wichtigste Forschungsbereiche sind die Dünnschichtsolarzellen auf der Basis von verschiedenen Materialien, die Gebäude- und Netzintegration und die Qualitätssicherung von Solarmodulen

Zeitskala für die Umsetzung der Ergebnisse:

Die wichtigsten Handlungsfelder der Schweizer Photovoltaikforschung in den nächsten 3–5 Jahren sind:

Dünnschichtsolarzellen auf der Basis von verschiedenen Materialien (z.B. amorphes und mikrokristallines Silizium [EPFL] und CIGS [EMPA]): Forschungsbedarf besteht bei der Verbesserung der Solarzellen selbst, der Infrastruktur für grossflächige Prozesse sowie für Pilotproduktionslinien.

Produktionstechnologien für Dünnschichtsolarzellen und kristallines Silizium (EPFL und EMPA): Zur Sicherung des Vorsprungs der Schweizer Photovoltaik-Industrie sind stetige Innovationen notwendig. Die Mehrheit dieser Forschung wird von der Privatindustrie getragen.

Die Hochschulen können aber wichtige Beiträge für fortgeschrittene Produktionstechnologien leisten.

Gebäudeintegration (EPFL und EMPA): Die Schweiz ist Vorreiterin auf dem Gebiet der Integration von Photovoltaikanlagen in Gebäude. Bedarf an Forschung und Pilot- und Demonstrationsanlagen besteht insbesondere beim Einsatz von Dünnschichtsolarzellen.

Netzintegration (ETHZ): Mit zunehmendem Anteil zeitlich variabler Produktion von Elektrizität werden die Integration von Solarstrom und die intelligente Steuerung von Netzen zu einem bedeutenden Forschungsthema mit Bedarf für Pilot- und Demonstrationsanlagen.

Institutionelle Verankerung der Photovoltaik in einem geeigneten Forschungsinstitut, welches als Public Private Partnership ausgestaltet sein sollte mit dem Auftrag, die schnelle Umsetzung der Forschung in industrielle Prozesse und Produkte zu unterstützen. Das CSEM und die EPFL haben 2010 einen entsprechenden Vorschlag gemacht.

Qualitätssicherung von Solarmodulen (SUPSI) und elektrischer Systemtechnik (FH Burgdorf).

Beteiligung an der European Solar Industry Initiative und dem Photovoltaic ERA-Net.

Problemlösungspotenzial:

Bei einer reinen Flächenbetrachtung und unter der Annahme, dass die Netzintegration gelöst ist, könnten bis 2035 rund 12 bis 18 TWh auf bestehenden Gebäudeflächen realisiert werden, was rund einem Drittel des heutigen Verbrauchs entspricht. Diese Zahl wurde auch von Energieschweiz für 2035 als Potenzial angegeben. Dabei muss aber berücksichtigt werden, dass dies nicht ohne Folgen für die Netz- und Speicherkapazitäten ist. Swissolar hat an der PV-Tagung im April ein Ziel von 20% bis zum Jahr 2025 proklamiert.

Langfristig liesse sich das Potenzial noch weiter steigern, wobei aber die Netzfragen immer bedeutender werden, wie auch die Konkurrenz der Flächennutzung.

Einzusetzende Ressourcen:

In den nächsten 3 bis 5 Jahren ergibt sich aus den oben aufgeführten Forschungsschwerpunkten ein Mittelbedarf von rund 13 Mio. CHF/Jahr für Forschungsprojekte und 1 Mio. CHF/Jahr für Pilot- und Demonstrationsprojekte.

F. Energieeffizienz

Markteinführung der Technologie (= volle Verfügbarkeit zum Abbau der Stromlücke)	x	2020
	x	2035
	x	2050
Potenzial zum Abbau der Stromlücke (mittel- und langfristig)	<input type="checkbox"/>	klein (unter 5% bei 70 TWh pro Jahr)
	<input type="checkbox"/>	mittel (bis 10% bei 70 TWh pro Jahr)
	x	gross (über 10% bei 70 TWh pro Jahr)
Allgemeines Profil der Forschung (= primäre Ausprägung des Forschungsbedarfs)	<input type="checkbox"/>	Grundlagenforschung
	x	Angewandte F & E
	x	Pilot und Demonstrationsversuche
	x	Innovation / Umsetzung am Markt

Hauptinhalte der anzustrengenden Forschung:

Durch Unterstützung von Forschungs- und Entwicklungsprojekten in spezifischen Schwerpunkten kann ein grosses Potenzial erschlossen werden. Nachfolgend ist eine aus Sicht des BFE geeignete Auswahl aufgeführt. Schwerpunkte liegen bei den (1) Kühlgeräten und der (2) Effizienzsteigerung bei Motoren. Wichtig ist zudem auch die Verstärkung der Forschung in den Bereichen der (3) supraleitenden Verteilnetztransformatoren und bei (4) LED-Retrofit-Leuchten. Forschung im Bereich der Energieeffizienz ist aber noch in einer Unzahl anderer Anwendungen notwendig.

Zeitskala für die Umsetzung der Ergebnisse:

Für den Zeithorizont von 3–5 Jahren stehen folgende Forschungsziele im Vordergrund:

(1) Kühlschränke: Die ca. 6 Mio. Kühl- und Gefriergeräte der Schweiz verbrauchen etwa 2'500 GWh, was etwa 4% des Gesamtstromverbrauchs entspricht. Mit einem Funktionsmuster konnte bereits nachgewiesen werden, dass der Stromverbrauch eines heutigen A++-Kühlschranks um knapp 30% vermindert werden kann. Eine Halbierung des Stromverbrauchs ist mit erhöhtem F+E-Aufwand technisch möglich und ist mit der Industrie rasch voranzutreiben. Geht man davon aus, dass alle Geräte bereits den Stand A-Klasse haben (was nicht der Fall ist), würde der Ersatz sämtlicher Geräte durch A++-Geräte etwa 1'250 GWh einsparen. Wird der Verbrauch dieser Geräte nochmals halbiert, ergeben sich zusätzliche 625 GWh. Mit dem Sprung von A auf «A++/halbe» ergibt sich damit ein gesamtes Potenzial von knapp 1'900 GWh. (2) Supraleitende Verteilnetztransformatoren: Der gesamte Schweizer Stromverbrauch fliesst durch Transformatoren. Die Hochtemperatursupraleitung (HTSL) ist technologisch grundsätzlich verfügbar, aber noch nicht kosteneffektiv. Deshalb ist die Forschung und Entwicklung von HTLS-Transformatoren voranzutreiben, um die Kosten zu vermindern und den Markt anzutreiben. Geht man davon aus, dass der gesamte Stromverbrauch (58'000 GWh) mindestens ein Mal durch einen Trafo «fliesst», und ein HTSL-Trafo gegenüber einem konventionellen Trafo etwa 1,5% effizienter ist (Abschätzungen zeigen, dass ein HTSL-Trafo etwa 30% der Verluste eines konventionellen Trafos aufweist. Bei einem Wirkungsgrad eines traditionellen Trafos von 96% im Teillastbereich gibt dies eine Gesamtreduktion von etwa 1,3%), ergibt sich ein Einsparpotenzial von über 870 GWh.

Einen etwas längeren Zeithorizont von 5–10 Jahren oder mehr sollten die folgenden Zielsetzungen eingeplant werden.

(3) Hoch effiziente IE4-Motoren: Die Entwicklung hoch effizienter Motoren im Bereich IE4 (noch nicht standardisiert) ist im Markt kaum ersichtlich. Mit einer intensiven Forschungsaktivität sind hoch effiziente Motoren mit Einbezug der Industrie zu erforschen und zu entwickeln. Unter der Annahme, dass heutige Motoren etwa 45% des Gesamtstroms konsumieren (= ca. 26 TWh/Jahr), etwa 70% davon Standardmotoren sind (= 18 TWh/Jahr). Der Ersatz heutiger schlechter Motoren durch IE3-Motoren ergibt ein Einsparpotenzial von etwa 5000 GWh/Jahr. Forschungsbedarf besteht vor allem bei der Verbesserung heutiger IE3-Motoren hin zu IE4-Motoren. Dadurch könnten zusätzliche 300 GWh/Jahr eingespart werden. (4) LED-Retrofit-Leuchten: Die Forschung im LED-Bereich ist bezüglich Effizienz und Qualität verstärkt mit der einschlägigen Industrie voranzutreiben, damit kostengünstige und effiziente Leuchten auf den Markt kommen. Die besten, kommerziell erhältlichen weissen LED erreichten Ende 2009 eine Lichtausbeute von >100 Lumen/W. Diese Werte sind mit der Energieeffizienz von gängigen Fluoreszenzlampen und Energiesparlampen vergleichbar. Mit einer Steigerung der Effizienz auf 140 Lumen/W ergibt sich eine Verbesserung um ca. 30%. Geht man davon aus, dass der Verbrauch für die Beleuchtung in der Schweiz etwa 7'600 GWh beträgt, und etwa 50% mit LED ersetzt werden könnten, ergibt sich ein Einsparpotenzial von 2'300 GWh.

Längerfristig, (10 Jahre und mehr) sollte die Niedertemperatur-Wärmerückgewinnung stärker erforscht werden.

(5) Thermoelektrische Generatoren (TEG, Niedertemperatur-Wärmerückgewinnung): TEGs wandeln Wärme in elektrische Energie um. Momentan finden TEGs nur in wenigen Nischenmärkten Anwendung, weil die Herstellungsverfahren heutiger Anbieter teuer und hinsichtlich Massenproduktion nicht skalierbar sind. Für die Stromerzeugung durch Abwärmenutzung im Niedertemperaturbereich ist einerseits die Materialforschung massiv zu intensivieren, und andererseits das Engineering für konkrete Anwendungen durchzuführen, damit fertige Produkte verfügbar sind. Erste, grobe Abklärungen gehen von einer verfügbaren Prozessabwärme im Bereich bis 100 °C von 30 PJ aus. Geht man davon aus, dass davon 50% mit TEGs bei einem Wirkungsgrad von 6% genutzt werden kann, ergibt sich eine zusätzliche Stromproduktion von 250 GWh (Anmerkung: sehr grobe, ungenau Abschätzung).

Problemlösungspotenzial:

In den nächsten 3–5 Jahren kann mit den oben angeführten Zielen ein Potenzial von rund 2'800 GWh erschlossen werden, in den nächsten 5–10 Jahren eines von rund 3'600 GWh. Bei einem Zeithorizont von mehr als 10 Jahren sind zusätzlichen 250 GWh an Einsparpotenzial möglich.

Einzusetzende Ressourcen:

Für die im Zeitraum von 3 bis 5 Jahren durchzuführenden Arbeiten sind rund 25 Mio. CHF/Jahr zur Verfügung zu stellen (rund 80% für die Erforschung supraleitender Verteilnetztransformatoren). Mittelfristig (5–10 Jahre) werden weitere 15 Mio. CHF/Jahr benötigt, und im längerfristigen Zeitraum von 10 Jahren und mehr zusätzliche 10 Mio. CHF/Jahr. Sowohl bei den TEGs als auch bei den LED-Retrofit-Leuchten bestehen allerdings noch erhebliche Unsicherheiten bezüglich der Einsatzbereitschaft.

Generell ist aber zu vermerken, dass die oben aufgeführten Forschungsthemen nur einen – allerdings wichtigen – Ausschnitt der möglichen Massnahmen bilden. In einer Vielzahl anderer Bereiche (Geräte, Anlagen) sind ebenfalls weitere Forschungsanstrengungen nötig.

G. Solare Kühlung/solare Wärme

Markteinführung der Technologie (= volle Verfügbarkeit zum Abbau der Stromlücke)	<input type="checkbox"/>	2020
	<input checked="" type="checkbox"/>	2035
	<input checked="" type="checkbox"/>	2050
Potenzial zum Abbau der Stromlücke (mittel- und langfristig)	<input type="checkbox"/>	klein (unter 5% bei 70 TWh pro Jahr)
	<input checked="" type="checkbox"/>	mittel (bis 10% bei 70 TWh pro Jahr)
	<input type="checkbox"/>	gross (über 10% bei 70 TWh pro Jahr)
Allgemeines Profil der Forschung (= primäre Ausprägung des Forschungsbedarfs)	<input type="checkbox"/>	Grundlagenforschung
	<input checked="" type="checkbox"/>	Angewandte F & E
	<input checked="" type="checkbox"/>	Pilot und Demonstrationsversuche
	<input type="checkbox"/>	Innovation / Umsetzung am Markt

Hauptinhalte der anzustrebenden Forschung:

In der Schweiz besteht ein grosses Potenzial zur Effizienzsteigerung im Bereich der Wärmepumpentechnologie. Insgesamt werden Schweiz weit 14% des Stromverbrauchs für Heizen und Warmwasser verbraucht, nämlich 6000 GWh/Jahr mittels ohmscher Widerstandsheizung, sowie 1000 GWh/Jahr für Wärmepumpen (WP). Letztere werden heute bei einer bescheidenen Jahresarbeitszahl von 3,0 (Luft/Wasser-WP) bzw. 3,5 (Wasser/Wasser-WP) betrieben. Eine Anhebung auf 5 (Luft/Wasser-WP) bzw. 6 (Wasser/Wasser-WP) ist kurz- bis mittelfristig machbar.

Der Bedarf von Kälte in Form von Prozesskälte und Kühlenergie für Gebäude nimmt stetig zu und ist nicht mehr aus unserer heutigen Gesellschaft wegzudenken. Der Energiebedarf für die Bereitstellung ist beträchtlich und besteht vorwiegend aus elektrischer Energie, die als Antriebsenergie für die notwendigen Kompressoren und Ventilatoren eingesetzt wird. In der Schweiz werden heute 12–15% des Stromverbrauchs in Kälteanlagen umgesetzt. Da Kältemaschinen und Wärmepumpen technisch gleich aufgebaut sind, bestehen grundsätzlich die gleichen technischen Verbesserungspotenziale.

Die Forschung muss daher in den folgenden Bereichen verstärkt werden: (1) Wärmepumpentechnologie (Verbesserung der Kreisprozesse, effiziente Warmwasseraufbereitung, Gesamtwirkungsgrade bei Wärmepumpensystemen), (2) solare Kühlung/solare Wärme (solarthermische Kühlsysteme, Systeme Solarkollektor–Wärmespeicher) und (3) Stadtentwicklung und Gebäude (Vermeidung von Heat Islanding, Energieeffizienzsteigerung Heizen, Kühlen, Lüften und Beleuchtung).

Zeitskala für die Umsetzung der Ergebnisse:

In den nächsten 3–5 Jahren stehen folgende Zielsetzungen im Vordergrund.

Hoch effiziente Systeme für die Warmwasseraufbereitung: Entwicklung neuer Systeme mit Abwasserwärmerückgewinnung und Integration von weiteren Wärmequellen; Entwicklung und Erprobung von geeigneten Wärmemitteln für hohe Temperaturhübe. Die Entwicklung und Standardisierung neuartiger Wärmepumpen-Systeme mit erhöhtem Gesamtwirkungsgrad: Einzelraumwärmepumpen; Wärmepumpen–Solar mit Speicherung der sommerlichen Überschusswärme mittels Erdsonde und effizienter Nutzung im Winter; Entwicklung von Kleinstkompressoren (high speed) und Mikrowärmetauschern (Micro Channels, Nano Tubes)

unter 5 kW thermischer Leistung zwecks Miniaturisierung und Integration in Gebäudeelemente.

In den nächsten 5–10 Jahren ist an der Verbesserung der thermodynamischen Kreisprozesse zur Wärme- und Kälteerzeugung zu forschen: Wirkungsgradsteigerung durch Nutzung der Expansionsenergie; Verbesserung der isentropen Wirkungsgrade durch zweistufige Prozesse; Weiterentwicklung der kontinuierlichen Leistungsregelung.

Langfristige Forschung mit einem Zeithorizont von über 10 Jahren wird für folgende Themenkreise benötigt:

Entwicklung von solarthermischen Kühlsystemen: Neue Technologieansätze sollen erforscht und existierende müssen vom Pilotstadium zur Marktreife weiter entwickelt werden. Erhöhung der Leistungsfähigkeit von Solarkollektoren und Wärmespeichern: Verbesserung der Konkurrenzfähigkeit von solaren Warmwassersystemen gegenüber elektrischen Systemen durch Verbesserung der Komponenteneigenschaften, Systementwicklung und -erprobung sowie neue Materialien (Kunststoff statt Kupfer). Vermeidung von Heat Islanding und der damit einhergehenden Zunahme an Raumkühlung: Erforschung des thermischen Verhaltens von Siedlungstopologien (Wärmespeicherung und Abstrahlung von Infrastruktur) und Entwicklung geeigneter Gebäude- und Siedlungskonzepte; natürliche Kühlungskonzepte auf Siedlungsebene (Konvektion, Windbreschen). Energieeffizienzsteigerung im Stromverbrauch von Gebäuden für Heizen, Kühlen, Lüften und Beleuchtung: Weiterentwicklung von Technologien und Konzepten betreffend natürliche und passive Kühlung, erdgekoppelte Lüftung/Kühlung, effiziente Luftförderung, Gebäudeautomation, Tageslichtnutzung, Beleuchtung, etc.; intelligentes Lastmanagement in Gebäuden.

Problemlösungspotenzial:

Das Energiesparpotenzial der Wärmepumpentechnologie (inkl. Kälteanwendungen) beträgt also insgesamt rund 15'000 GWh/Jahr, was 25% des aktuellen Stromverbrauchs entspricht. Solare Kühlung/solare Wärme: Die solare Wärmegewinnung für Raumwärme, Warmwasser und Kühlung substituiert elektrischen Strom. Kälte wird heute praktisch ausschliesslich mit Elektrizität generiert, was rund 12–15% des Jahresverbrauchs ausmacht (vergl. Kap. Wärmepumpen). Auch im Wärmebereich ist der Stromanteil mit 14% relevant, entsprechend gross das Potenzial zur Substitution durch Solarwärme. Stadtentwicklung und Gebäude: Im Bereich Stadtentwicklung und Gebäude kann die Forschung erheblich zur Effizienzsteigerung im Elektrizitätsbereich beitragen. 60% des schweizerischen Stromverbrauchs wird von den Haushalten und vom Dienstleistungssektor verursacht. Es sind deshalb weitere Forschungsanstrengungen in diesem Bereich notwendig, um die technologische Entwicklung in der Schweiz zu beschleunigen. Dies gilt umso mehr, da der Gebäudebereich einen stark nationalen bis lokalen Charakter aufweist, die Wirkungspfade also kurz sind und die Wertschöpfung primär im Inland stattfindet.

Einzusetzende Ressourcen:

In den nächsten 5 Jahren ist mit einem Finanzbedarf von 10 Mio. CHF/Jahr zu rechnen, jeweils hälftig aufgeteilt auf Forschungsprojekte und Pilot- und Demonstrationsprojekte. In den nächsten 5 bis 10 Jahren sind weitere 50 Mio. CHF/Jahr bereitzustellen (auch wieder jeweils hälftig aufgeteilt auf Forschungsprojekte und Pilot- und Demonstrationsprojekte), 60% davon für die Forschung im Bereich Stadtentwicklung und Gebäude.

H. Wasserkraft

Markteinführung der Technologie (= volle Verfügbarkeit zum Abbau der Stromlücke)	x	2020
	x	2035
	<input type="checkbox"/>	2050
Potenzial zum Abbau der Stromlücke (mittel- und langfristig)	x	klein (unter 5 % bei 70 TWh pro Jahr)
	<input type="checkbox"/>	mittel (bis 10 % bei 70 TWh pro Jahr)
	<input type="checkbox"/>	gross (über 10 % bei 70 TWh pro Jahr)
Allgemeines Profil der Forschung (= primäre Ausprägung des Forschungsbedarfs)	x	Grundlagenforschung
	x	Angewandte F & E
	<input type="checkbox"/>	Pilot und Demonstrationsversuche
	<input type="checkbox"/>	Innovation / Umsetzung am Markt

Hauptinhalte der anzustrengenden Forschung:

Bei der Wasserkraft steht sich Sicherheit der Talsperren im Vordergrund – also nicht unmittelbar die Stromproduktion. Entsprechend ist hier in erster Linie die Ressortforschung des BFE betroffen, die in diesem Bereich hoheitliche Aufgabe wahrnimmt. Forschungsschwerpunkte liegen hier bei der (1) Alterung von Staumauerbeton der (2) Abschätzung von extremen Hochwasserereignissen, der (3) grossräumigen Geländeüberwachung und der (4) Messung von Starkbeben.

Zeitskala für die Umsetzung der Ergebnisse:

Kurzfristig, d. h. innerhalb von 2 Jahren sollte das bestehende Starkbebenmessnetz «Staumauer» erneuert werden, hierbei mit Fokus auf Betonmauern. Dies setzt im Speziellen die Regelung des Langzeitbetriebes beim Schweizerischen Erdbebendienst voraus. Ferner sind der offene und der Langzeitbetrieb des Tools DamReg zur Vorhersage von Talsperrenverhalten sicherzustellen.

Im Bereich von 3–5 Jahren sind die Abschätzung von extremen Hochwasserereignissen und die grossräumige Geländeüberwachung stärker zu erforschen. Und mit dem Zeithorizont von 5–10 Jahren steht die Erforschung der Alterung von Staumauerbeton (insbesondere die Alkali-Aggregat-Reaktion) im Zentrum. Über den gesamten Zeitraum benötigt die Ressortforschung in diesem Bereich 0,2 Mio. CHF/Jahr zusätzlich.

Problemlösungspotenzial:

Auf diesem Forschungsgebiet steht die Sicherheit der Talsperren im Vordergrund. Angesichts der zunehmenden Integration von erneuerbaren Energien werden die Staumauern eine immer wichtigere Rolle spielen. Ihre Sicherheit ist ein essentieller Pfeiler der Energiepolitik.

Einzusetzende Ressourcen:

Zur Durchführung der oben aufgezeigten Forschungsschwerpunkte werden in den nächsten 2 Jahren 1 Mio. CHF für Einmalaufwendungen benötigt. Für den Zeithorizont von 3–5 Jahren sollten 0,5 Mio. CHF/Jahr bereit gestellt werden und für jenen von 5–10 Jahren 1 Mio. CHF/Jahr.

I. Geothermie

Markteinführung der Technologie (= volle Verfügbarkeit zum Abbau der Stromlücke)	<input type="checkbox"/>	2020
	<input checked="" type="checkbox"/>	2035
	<input type="checkbox"/>	2050
Potenzial zum Abbau der Stromlücke (mittel- und langfristig)	<input type="checkbox"/>	klein (unter 5 % bei 70 TWh pro Jahr)
	<input type="checkbox"/>	mittel (bis 10 % bei 70 TWh pro Jahr)
	<input checked="" type="checkbox"/>	gross (über 10 % bei 70 TWh pro Jahr)
Allgemeines Profil der Forschung (= primäre Ausprägung des Forschungsbedarfs)	<input type="checkbox"/>	Grundlagenforschung
	<input checked="" type="checkbox"/>	Angewandte F & E
	<input checked="" type="checkbox"/>	Pilot und Demonstrationsversuche
	<input type="checkbox"/>	Innovation / Umsetzung am Markt

Hauptinhalte der anzustrebenden Forschung:

Die Ausbeutung der in der Schweiz vorhandenen, geothermischen Potenziale benötigt den Aufbau von Kompetenzen im Bereich der Projektentwicklung auf Seiten der Versorgungsunternehmen. Die 4 Schwerpunkte der Energieforschung im Bereich Geothermie sind daher die Ermöglichung einer (1) *wertsteigernden Exploration*: Entwickeln von Explorationstechnologien, welche die Wahrscheinlichkeit erhöhen, geeignete Ressourcen zu finden. Es gibt bisher nur rund 100 Schweizer Geothermie-Bohrungen, die mehr als 300 m tief sind und etwa 40 tiefe Bohrungen nach Erdöl und Erdgas, sowie die Forschungsbohrungen der Nagra. Universitäre Einrichtungen müssen zusammen mit der Service-Industrie und Projektgesellschaften Technologien entwickeln und anwenden, die Standort spezifische Modelle der jeweiligen Geothermie-Ressourcen ermöglichen.). Die (2) *Reservoir-Erschliessung und -Bewirtschaftung nach Gesichtspunkten der nachhaltigen Entwicklung*: Da Bohrkosten je nach Ressourcenqualität 50 bis 75 % der Kapitalausgaben ausmachen, müssen die Bohrfixkosten gesenkt und die Bohrgeschwindigkeit erhöht werden. Bohrfixkosten sind in erster Linie von Effizienz und Steilheit der Lern- und Erfahrungskurve abhängig. Wie allgemein in der Nutzung von unterirdischen Ressourcen hat auch das Projekt in Basel 2006 gezeigt, dass vor allem die hydraulische Stimulation mit fühlbaren Mikro-Erdbeben einhergehen kann. Es müssen daher Techniken entwickelt werden, um seismische Risiken und Vulnerabilitäten zu beschreiben, und um Strategien und operative Pläne zu deren Mitigation zu formulieren. Das (3) *Nachhaltige Reservoir-Management*: Die nachhaltige Bewirtschaftung eines Reservoirs setzt ein tiefes Verständnis der geologisch-statischen und fluid-dynamischen Reservoirmodelle und deren Rückkopplungen voraus. Einerseits können Methoden und Technologien an Schweizer Hochschulen entwickelt werden, und andererseits müssen die Forschergruppen mit Projektbetreibern und Praktikern im nationalen und internationalen Umfeld zusammen arbeiten, um Messkampagnen und Instrumentierungen von Geothermie-Reservoirs, Bohrlöchern und Produktionsanlagen vorzunehmen. (4) *Effiziente Energie-wandlung*: Mit heutiger Kraftwerkstechnologie kann aus der Wärmeenergie, die in geothermischen Fluiden mit Temperaturen ab 75 °C gespeichert ist, Strom produziert werden. Die Investitionskosten sind hoch und im Bereich der anorganischen Arbeitsmittel gibt es grossen Forschungsbedarf. Neuerungen und signifikante Kostenreduktion bedürfen integraler Systemforschung, wie sie an technischen Hochschulen vorgenommen wird. Im Bereich der revolutionären Technologien können neuartige thermoelektrische Generatoren entwickelt werden.

Zeitskala für die Umsetzung der Ergebnisse:

In den nächsten 3 bis 5 Jahren sind folgende Forschungsschwerpunkte zu verstärken.

- (1) *Reservoir-Erschliessung*: Neue Bohrtechnologie für das Bohren im tiefen Kristallin oder in niedrig-porösen Sedimenten sind zur Marktreife zu bringen. Wo die hydraulische Leitfähigkeit zu gering ist, muss das Bohrlochumfeld und der Untergrund chemisch und hydraulisch mit noch nicht ausgereiften Methoden stimuliert werden. Nötig ist die Förderung der Wärmegegewinnung mittels Stimulationsmethoden in ausgewählten Pilot- und Demonstrationsanlagen.
- (2) *Nachhaltiges Reservoir-Management*: Nachhaltige Bewirtschaftung eines Reservoirs setzt ein tiefes Verständnis der geologisch-statischen und fluid-dynamischen Rückkopplungen im tiefen Untergrund voraus. Es müssen Methoden und Technologien entwickelt und Messkampagnen und Instrumentierungen von Geothermieprojekten vorgenommen werden.
- (3) *Effiziente Energiewandlung*: Mit heutiger Kraftwerkstechnologie kann aus der Wärmeenergie, die in geothermalen Fluiden mit Temperaturen ab 75 °C gespeichert ist, Strom produziert werden. Kernpunkt ist die Verwendung von organischen Arbeitsmitteln (hoher Technologiereifegrad) oder Ammoniak-Wassergemischen an Stelle von Wasserdampf (geringer Technologiereifegrad). Neuerungen und signifikante Kostenreduktion bedürfen integraler Systemforschung. Zudem müssen neuartige thermoelektrische Generatoren entwickelt werden.
- (4) *Exploration*: Entscheidend sind Technologien, welche die Wahrscheinlichkeit erhöhen, geeignete Ressourcen zu finden. Dazu dienen geophysikalische Explorationsmethoden, Bohrlöcher zur Messung der unterirdischen Temperaturgradienten und der Spannungsfelder, Bestimmung der Lithologien und deren tektonischer Struktur, sowie die Analyse geothermischer Fluidproben. Entsprechende Technologien müssen entwickelt und angewendet werden, um plausible, konzeptionelle, Standort-spezifische Modelle der jeweiligen Geothermie-Ressourcen zu schaffen. Im Weiteren muss die Förderung von sicherheitsrelevanten Prozessen und Methoden (Sicherheit, Umwelt- und Personenschutz) vorangetrieben werden (z.B. induzierte Seismizität).

Längerfristig, d.h. im Zeitraum von 10 Jahren, sind *lokale Pilot- und Demonstrationsprojekte* für die gesamte Geothermie-Wertschöpfungskette zu fördern: Die nötigen hohen Eigenmittel von 40–50 Mio. CHF für eine Produktions- und eine Verpressbohrung in 3 km Tiefe sind nach wie vor eine der grössten Barrieren. Mit der Zunahme der Anzahl erfolgreich realisierter Projekte werden Risikoverständnis und Kompetenzen verbessert, und die technischen Gesteungskosten näher an die Wirtschaftlichkeit geführt: Wichtig ist daher die Förderung von Geothermie-Stromprojekten durch finanzielle Beiträge an Tiefenbohrungen.

Problemlösungspotenzial:

Strom aus einheimischer Geothermie ist als dezentraler Grundlaststromlieferant vorgesehen und die Restwärme kann mit Fernwärmenetzen genutzt werden. In Tiefen bis 5000 m lagern in der Schweiz ungenutzte 36 EJ (rund 10'400 TWh) geothermische Energie – ein Vielfaches der ~250 TWh des jährlichen Schweizer Energiebedarfs für Wärme und Stromproduktion. Ein kleiner Teil der theoretisch verfügbaren Energiemenge kann bereits heute als technisch und wirtschaftlich realisierbares Potenzial genutzt werden. Schätzungen des technisch realisierbaren Potenzials belaufen sich auf bis zu 25 TWh jährliche Strom- und rund 100 TWh jährliche Wärmeproduktion.

Stromproduktion aus Geothermie kann bis 2050 10–25 TWh betragen, dies bei technischen Einheitskosten pro kWh von 20 Rp./kWh (damit assoziiert ist eine Wärmeproduktion bis 2050 von 100 TWh).

Einzusetzende Ressourcen:

In den nächsten 3–5 Jahren muss zur Durchführung der oben beschriebenen Massnahmen mit einem Finanzbedarf von 8 Mio. CHF/Jahr gerechnet werden. Im Zeitraum von bis zu 10 Jahren müssten für Pilot- und Demonstrationsprojekte 3 Mio. CHF/Jahr bereitgestellt werden.

J. Verfahrenstechnik (Prozesse in Industrie und Dienstleistungen)

Markteinführung der Technologie (= volle Verfügbarkeit zum Abbau der Stromlücke)	<input type="checkbox"/>	2020
	<input checked="" type="checkbox"/>	2035
	<input type="checkbox"/>	2050
Potenzial zum Abbau der Stromlücke (mittel- und langfristig)	<input type="checkbox"/>	klein (unter 5 % bei 70 TWh pro Jahr)
	<input type="checkbox"/>	mittel (bis 10 % bei 70 TWh pro Jahr)
	<input checked="" type="checkbox"/>	gross (über 10 % bei 70 TWh pro Jahr)
Allgemeines Profil der Forschung (= primäre Ausprägung des Forschungsbedarfs)	<input type="checkbox"/>	Grundlagenforschung
	<input checked="" type="checkbox"/>	Angewandte F & E
	<input checked="" type="checkbox"/>	Pilot und Demonstrationsversuche
	<input type="checkbox"/>	Innovation / Umsetzung am Markt

Hauptinhalte der anzustrebenden Forschung:

In der Industrie und im Dienstleistungsbereich werden in der Schweiz über 60 % des gesamten Strombedarfs eingesetzt. Einsparungen sind durch bessere oder andere Verfahren (z.B. Umformen anstatt Fräsen), effizientere Maschinen oder Anlagen, bessere Produktionsabläufe (z.B. durch weniger Stillstandzeiten, weniger Ausschuss, höhere Kontinuität) möglich. Hinzu kommen die Rekuperation von Exergie aus thermischer sowie aus kinetischer Energie aus dynamischen Prozessen sowie die Speicherung elektrischer und thermischer Energie. Im Dienstleistungsbereich sind die Hauptverbraucher die Büroautomation und die Kommunikationstechnologien sowie die Beleuchtung und die Kühlung. Aufgrund der Vielfältigkeit der Prozesse in der Industrie sollten nicht nur einzelne Verfahrenstechnologien oder Fertigungsmethoden fokussiert werden.

Schwerpunkte der Forschung sind auf die Bereiche Produktentwicklung, Produktionsplanung, Verfahrensoptimierung, effizientere Anlagen und Produktionsabläufe, sowie in effizienteren Informationstechnologien und der Rekuperation und Speicherung von Energie zu legen.

Zeitskala für die Umsetzung der Ergebnisse:

Für die Erforschung der oben angegebenen Schwerpunkte muss von einem Zeithorizont von 10 Jahren ausgegangen werden.

(1) *Produktentwicklung*: Der Energieverbrauch für die Herstellung und die Nutzung von Produkten wird bereits während deren Entwicklung weit gehend bestimmt. Forschungsbedarf besteht in der Ausweitung von Datengrundlagen und von Simulationsmodelle zur Optimierung der Verfahren. (2) *Produktionsplanung*: Für die Planung effizienter Produktionsabläufe sind die Datengrundlagen über Teilprozesse sowie Simulationsmodelle mit dem Fokus von optimalen Durchlaufzeiten *und* geringem Energiebedarf weiter auszubauen. Die Pinch-Methode ist ein Beispiel einer erfolgreichen Methodenentwicklung zur Optimierung von Energieflüssen.

(3) *Verfahrensoptimierung*: Die Verbesserung Verfahren als solche oder die Auswahl anderer energieeffizienterer Verfahren für dasselbe Fertigungsziel müssen für alle Bereiche geprüft werden. (4) *Effizientere Anlagen*: Wesentliche Einsparungen sind durch *effizientere Elektromotoren* (vgl. Beschreibung im Kap. Energieeffizienz) sowie *effizientere Pumpen* möglich. Hinzu kommen verbesserte Abläufe im Produktionsprozess sowie in der Maschi-

nensteuerung als solches. Priorität haben Anlagen mit hohem Strombedarf pro Wertschöpfung. In der Summe sind jedoch auch die vielen Betriebe mit geringerem Bedarf pro Produkt wichtig. (5) *Effizientere Produktionsabläufe*: Durch eine verbesserte Steuerung der Anlagen und die Koordination von Abläufen kann unnötiger Energieverbrauch vermieden werden. (6) *Effizientere Informationstechnologien*: Der Stromverbrauch der Informationstechnologien betrifft die Industrie (Konstruktion, Maschinen bis Produktionssteuerung) wie auch den Dienstleistungsbereich in erheblichem Masse. Hinzu kommt der ganze Konsum- bzw. private Bereich. Priorität haben die Kühlsysteme, die Steuerung der Anlagen (Stand-by) sowie effizientere Prozessoren mit geringerem Strombedarf pro Rechenleistung. (7) *Rekuperation und Speicherung*: Durch Organic Ranking Cycle, Thermoelektrik oder Stirlingprozesse kann aus thermischen Prozessen mit niedrigem Temperaturniveau noch Strom erzeugt werden. Die Verfahren sind zwar alle bekannt jedoch noch wenig für den wirtschaftlichen Einsatz in der Industrie optimiert. Die kurzfristige Speicherung von Strom mit Supercaps erlaubt das Brechen von Stromspitzen und die Rückgewinnung von Strom aus dynamischen Prozessen.

Problemlösungspotenzial:

Langfristig könnte der Strombedarf der Industrie bis zu 30 % gesenkt werden. Bei einem Anteil von über 60 % am gesamten Schweizer Strombedarf, liegt das Potenzial bei 10–12 TWh.

Einzusetzende Ressourcen:

Für den Zeithorizont von 10 Jahren muss mit einem Bedarf von 25 Mio. CHF/Jahr gerechnet werden.

K. Speichertechnologien

Markteinführung der Technologie (= volle Verfügbarkeit zum Abbau der Stromlücke)	<input type="checkbox"/>	2020
	<input checked="" type="checkbox"/>	2035
	<input type="checkbox"/>	2050
Potenzial zum Abbau der Stromlücke (mittel- und langfristig)	<input checked="" type="checkbox"/>	klein (unter 5 % bei 70 TWh pro Jahr)
	<input type="checkbox"/>	mittel (bis 10 % bei 70 TWh pro Jahr)
	<input type="checkbox"/>	gross (über 10 % bei 70 TWh pro Jahr)
Allgemeines Profil der Forschung (= primäre Ausprägung des Forschungsbedarfs)	<input checked="" type="checkbox"/>	Grundlagenforschung
	<input checked="" type="checkbox"/>	Angewandte F & E
	<input checked="" type="checkbox"/>	Pilot und Demonstrationsversuche
	<input type="checkbox"/>	Innovation / Umsetzung am Markt

Hauptinhalte der anzustrengenden Forschung:

Speichertechnologien sind bei einer steigenden Anzahl volatiler Energiequellen unentbehrlich, da elektrische Energie nicht im Netz selber gespeichert werden kann. Diese Energien können einerseits für die Abdeckung von Spitzenlaststrom wie auch für die dezentrale Stromversorgung eingesetzt werden. Forschungsfelder sind hier Akkumulatoren, Brennstoffzellen (Wasserstoff), Wasserkraft, Druckluft, Superkondensatoren, Schwungräder und Supraleitung. Generell sollte im Bereich der Energiespeicher die langfristige Forschung unterstützt werden.

Zeitskala für die Umsetzung der Ergebnisse:

In einem Zeithorizont von 3–5 Jahren muss die Forschung bei Superkondensatoren und Druckluftspeichern forciert werden. Bei den Akkumulatoren ist von einem Zeithorizont von 10 Jahren und ggf. mehr auszugehen.

Akkumulatoren, insbesondere Lithium, Natrium-Metall-Chlorid (Zebra) und weitere Technologien wie Zink – Luft, Vanadium Redox Flow haben das Potenzial bis 2050 einen wesentlichen Teil der Spitzenlast in der Schweiz zu puffern bzw. dezentral mit Elektrizität zu versorgen. Forschungsthemen sind hier Nanotechnologie, Verbesserung der Elektrochemie und des Batteriemangements sowie der Akku-Eigenschaften, die Nutzung neuer diagnostischen Methoden und die Verbesserung der E-Dichte und der Lebensdauer. In diesem Bereich sind zudem der Ausbau der Forschungskapazitäten und die Förderung durch Pilot- und Demonstrationsprojekte (P&D) nötig (z. B. im Bereich der Elektromobilität).

Superkondensatoren können in Kombination mit Akkus oder Brennstoffzellen helfen, die Spitzenlast abdecken und die Lebensdauer der Akkus bzw. der Brennstoffzellen zu verlängern. Themenfelder auf diesem Gebiet sind Nanotechnologie, Verbesserung der Elektrostatik und die Entgiftung der Dielektrika sowie die Nutzung neuer diagnostischen Methoden.

Druckluftspeicher könnten in Kombination mit Gaskraftwerken (GuD) in ungenutzten militärischen Anlagen genutzt werden. Bis 2050 können einige 1000 MW Spitzenlaststrom abgedeckt werden.

Problemlösungspotenzial:

Bei der Energiespeicherung geht es nicht um die Ausschöpfung von Potenzialen, sondern um die Integration volatiler Energiequellen (Photovoltaik, Wind) ins Netz. Sie sind für die Netzstabilität unentbehrlich.

Einzusetzende Ressourcen:

Im Bereich von 3–5 Jahren ist von einem Bedarf von 6 Mio. CHF/Jahr auszugehen. Im Zeit-
horizont von 5–10 Jahren sind weitere 10 Mio. CHF/Jahr – etwa zur Hälfte für Pilot- und De-
monstrationsprojekte bereitzustellen.

3. BEURTEILUNG UND BEWERTUNG DES BEDARFS-PORTOLIO

Wie in der Einleitung dargelegt, erfolgt die systematische Beurteilung und Bewertung der in Kap. 2 erläuterten Technologien und Technologieentwicklungsgebiete (Bedarfsportfolio BFE) im Rahmen der folgenden **fünf thematischen Aktionsfelder**:

- Effizienztechnologien;
- Elektrizitätsübertragung / Netze;
- Energiespeicherung;
- Bereitstellung von Elektrizität;
- ökonomischen und rechtliche Aspekte.

3.1 **Aktionsfeld 1: Effizienztechnologien**

Um die sichere Energie- und Elektrizitätsversorgung der Schweiz zu gewährleisten, muss zuerst bei den Einflussgrößen auf die Nachfrage angesetzt werden. Effizienzsteigerung ist der Schlüssel zur Erreichung von Nachhaltigkeitszielen. Betroffen ist eine Vielzahl von Prozessen und Abläufen, was eine sorgfältige Analyse der Aktionsfelder mit höchster Wirkung und Einflussmöglichkeit der Schweizer Akteure erfordert.

Der Energiebedarf eines Produktes über seinen Lebenszyklus wird beim Entwurf von Herstellungsprozess und Spezifikationen bestimmt. Die Bereitstellung geeigneter Werkzeuge und Verfahren kann dazu beitragen, den Bedarf an Ressourcen, Energie und Materialien zu minimieren.

Effizienz bei der Elektrizitätsanwendung:

Bei der Optimierung von Herstellungsverfahren wurde in der Entwicklung hoch effizienter Elektromotoren und drehzahlgesteuerter Ventilatoren ein grosses Potenzial identifiziert. Generell gilt es, die energieintensiven Produktionsprozesse systematisch im Hinblick auf Einsparpotenziale zu untersuchen und diese durch innovative Lösungen zu realisieren.

Der elektrische Energiebedarf von Informations- und Kommunikationseinrichtungen steigt drastisch. Den Stromverbrauch von Informations- und Kommunikationssystemen zu senken erfordert neue Konzepte in Kombination mit Mikro- und Nanotechnologie und ist prädestiniert für innovative Hochtechnologieforschung.

Bei der Endanwendung sticht der Elektrizitätsbedarf von Kühlaggregaten hervor. Hier müssen die umsetzungsorientierten Programme (Ersatz veralteter Einheiten durch Bestgeräte) durch Forschungsanstrengungen ergänzt werden, um den Energiebedarf weiter zu senken.

Als weiteres Forschungsfeld mit hohem Potenzial ist die Entwicklung effizienter Beleuchtungskörper auf der Basis (organischer) lichtemittierender Dioden zu nennen, wo noch wesentliche Schritte vom demonstrierten Konzept zur marktfähigen Innovation erforderlich sind.

Effizienz in verbundenen Sektoren:

Während die bisher genannten Beispiele hauptsächlich den direkten Elektrizitätseinsatz betreffen, so existieren weitere grosse Sektoren, bei welchen Effizienzsteigerungen indirekt zur Senkung des Elektrizitätsbedarfs beitragen können. Ein herausragendes Beispiel ist der Gebäudesektor, bei dem die Auslegung der Gebäudehülle, das Konzept der Heizung, Lüftung und Kühlung sowie integrierte Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien den Energiebedarf im Jahresmittel stark senken oder sogar zu Plusenergiehäusern führen können. Weiter bestehen Potenziale in der Verbindung von Gebäude und Mobilität.

Effizienzfortschritte im Transportwesen entlasten die CO₂-Bilanz und schaffen damit mehr Flexibilität im Elektrizitätssektor. Multimodale Verkehrskonzepte und der Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnik werden ergänzt durch Massnahmen auf der Fahrzeugseite, die Leichtbau, Hybridisierung und alternative Antriebskonzepte einschliessen. Elektrofahrzeuge und Plug-in-hybrids stehen auf der Endnutzerseite in Interaktion mit den intelligenten Netzen, dienen dem Lastmanagement und ggf. der Stromspeicherung. Wasserstoff als chemischer Speicher wird in Brennstoffzellenfahrzeugen eingesetzt.

Als Leitgedanke ist festzuhalten, dass Effizienz des gesamten Energiesystems nicht durch die Optimierung einzelner isolierter Komponenten erreicht werden kann. Systemaspekte sind entscheidend und müssen durch eine systemische Betrachtung des Gesamtsystems ausgelotet werden. Mit Lebenszyklus- und Impactanalysen kann allen Dimensionen der Nachhaltigkeit Rechnung getragen werden; neben dem Energiebedarf sind auch die wichtige Ressourcenfrage sowie gesundheitliche, soziale und gesellschaftliche Aspekte zu berücksichtigen.

Zielgrösse	Δ /Jahr heute	Δ /Jahr Szenario	Stand heute	Stand 2050	zusätzlicher Forschungsbedarf Mio. CHF/Jahr
Bruttoinlandprodukt		+ 1%/Jahr			110
Energieeinsatz pro BIP	bester Trend - 1%/Jahr	- 2%/Jahr			
Endenergie			900 PJ/Jahr	600 PJ/Jahr Effizienzgewinn Energie: 83 TWh	
Elektrizitätseinsatz pro BIP	Trend: konstant	- 0,6%/Jahr			
Elektrizitätsverbrauch			60 TWh/Jahr	70 TWh/Jahr; Effizienzgewinn relativ zu Trend-szenario: 20 TWh/Jahr	

Effizienzmassnahmen können je nach den Investitionszyklen des betroffenen Sektors relativ kurzfristig umgesetzt werden. Sie bewirken in der Volkswirtschaft Veränderungen der Nachfrage im Prozentbereich pro Jahr, die sich aber in der Summe über 40 Jahre sehr wesentlich auswirken

3.2 Aktionsfeld 2: Elektrizitätsübertragung / Netze

Auf die Bedeutung der Netze im europäischen und schweizerischen Kontext ist bereits viel und richtig hingewiesen worden. Es sei an das Konzept eines europäischen Netzes für die Integration der erneuerbaren Energien (Windenergie aus dem Norden, Solarstrom aus dem Sonnengürtel) erinnert, ebenso an den Transfer zu den Zentren des Endverbrauchs und die Notwendigkeit der Speicherung intermittierender Energien. Durch den Ausbau der Netze und Steigerung von deren «Intelligenz» kann die Schweiz einerseits die europäische Strategie unterstützen und ihre Speicherkapazitäten zur Verfügung stellen, andererseits einen Import erneuerbarer Elektrizität in grösserem Ausmass überhaupt erst ermöglichen.

Für die inländisch intermittierend erzeugte erneuerbare Elektrizität sind fortgeschrittene Technologien für die dezentrale Einspeisung und Speicherung vorzusehen. Diese ergänzen sich optimal mit den Konzepten für das Management von Last und Lastspitzen durch «intelligente Netze». Es bestehen starke Verbindungen zu den Ladestrategien für eine effiziente Mobilität und dem bidirektionalen Netz mit dem Fahrzeug als dezentralem Stromspeicher.

In diesem für alle Energieszenarien wichtigen Gebiet besteht noch grosser Forschungsbedarf, aber auch Chancen für Innovationen auf dem Markt und industrielle Umsetzung. Das Thema Netze ist damit für prioritäre Forschungsförderung prädestiniert, wobei substantielle Beiträge von den Netzbetreibern erwartet werden.

Die Zeitskalen für Implementierung und Wirkung auf den verschiedenen Spannungsebenen sind unterschiedlich. Bei Hochspannungsübertragungsleitungen sind oft nichttechnische Faktoren wie Planungs- und Bewilligungsfragen limitierend. Der Aufbau eines intelligenten Netzes auf der Niederspannungsebene erfordert die Implementierung einer sehr grossen Zahl dezentraler Einheiten und muss vom parallelen Aufbau dezentraler Erzeugungs- und Speicherkapazitäten begleitet werden. Dies impliziert ein kontinuierliches Wachstum bis 2035 und darüber hinaus.

Spannungsebene	Ziele bis 2035	zusätzlicher Forschungsbedarf Mio. CHF/Jahr
Hochspannungsebene	Beseitigung von Engpässen; Steigerung der Übertragungskapazität in europäischer Abstimmung; Verlustminimierung	25
Verteilnetz	Verlustminimierung	
Alle Spannungsebenen	Implementieren «intelligenter» Netze für bidirektionalen Lastfluss und Einbinden dezentraler Erzeuger, Speicher und Verbraucher	

3.3 Aktionsfeld 3: Energiespeicherung

Fortgeschrittene Speichertechnologien helfen den Gesamtwirkungsgrad des Energiesystems zu steigern. Dabei reichen die angestrebten Zeitskalen der Speicherung von Millisekunden (Stromqualität) über Minuten (Rekuperation und Beschleunigung), Stunden (Elektrofahrzeuge, Lastmanagement) und Tage (intermittierende Generation) bis zu Monaten (saisonale Speicher, z.B. thermische Speicher im Erdreich).

Im Zusammenhang mit der massiven Integration intermittierender erneuerbarer Energien in Europa und der Notwendigkeit des Lastmanagements gewinnen Speicher für grosse Energiemengen, namentlich Pumpspeicherkraftwerke und grosse Druckluftspeicher, zunehmend an Bedeutung. Der oben beschriebene Schwerpunkt Wasserkraft kann hier Technologien beitragen.

Mit der zunehmenden Bedeutung dezentraler Erzeugung sollten auch Methoden für dezentrale Elektrizitätsspeicherung dezidiert weiterentwickelt werden. Hier kommt den elektrochemischen Speichern – Akkumulatoren mit verschiedenen Spezifikationen für stationäre und mobile Speicherung – eine hohe Bedeutung zu. Für die Kurzzeitspeicherung und kurzfristige Bereitstellung hoher Leistungen bieten Ultrakondensatoren und Schwungradspeicher ein hohes Potenzial, das durch Forschung weiter entwickelt werden muss.

Als zweite Option bietet sich die chemische Speicherung an. Wenn erneuerbare Elektrizität in Schwachlastzeiten zur Verfügung steht, kann sie in Elektrolyseuren zur Produktion von Wasserstoff oder Synthesegas eingesetzt werden. Diese Option ist besonders sinnvoll, wenn der produzierte Energieträger anschliessend im Verkehr eingesetzt werden kann und damit die CO₂-Bilanz entlastet.

Bei den thermischen Speichern im Gebäudebereich erfordern Absorptions- und Latentwärmespeicher zusammen mit fortgeschrittenen Heizungs-, Lüftungs- und Kühl- (HLK)-systemen (Erdsonden, Wärmepumpen, solare Heizung und Kühlung) noch wesentliche Weiterentwicklungen bis zum Erreichen der Marktreife.

Die Planung und Realisierung grosser Pumpspeicherkraftwerke ist durch lange Zeitskalen geprägt. Dies gilt auch für das energierelevante Implementieren dezentraler Speicherkapazität, denn die Kapazität der Elektrizitätsspeicherung in Elektrofahrzeugen wächst nur parallel zu deren Anteil an der zirkulierenden Fahrzeugflotte, welche sich aufgrund der Gebrauchsdauer erst nach einem Jahrzehnt dem Marktanteil der Neuwagenverkäufe angleicht. Da der Marktanteil der Elektrofahrzeuge zunächst um einzelne Prozentpunkte zunehmen wird, ist erst ab 2035 eine signifikante Präsenz in der Flotte zu erwarten.

Speichertechnologie	heute	2035	zusätzlicher Forschungsbedarf Mio. CHF/Jahr
Pumpspeicher Leistung	8 GW	Steigerung auf 12–16 GW	21
Pumpspeicherwerke Elektrizitätsgeneration	21 TWh	Verdopplung	
Elektrochemische Speicher (abrufbar 10 kWh/Batterie)	0	10 GWh für 1 Mio. netzverbundene Fahrzeuge	

3.4 Aktionsfeld 4: Bereitstellung von Elektrizität

Die **Wasserkraft** stellt in der Schweiz gegenwärtig das Fundament der erneuerbaren Elektrizitätserzeugung dar. Neben der im Bedarfsportfolio erwähnten Sicherheit der Talsperren gilt es, den erwarteten negativen Folgen des Klimawandels entgegenzuwirken, der ohne Gegenmassnahmen die hydroelektrische Produktion um 7% verringern könnte. Forschungsbedarf besteht bei der Effizienz der flexiblen Turbinierung bei Grosskraftwerken und bei der Entwicklung ökologisch vertretbarer, effizienter Lösungen für den Ausbau der effizienten Kleinwasserkraftnutzung. Mit den Pumpspeicherwerken ergibt sich ein Querschnittsthema zur Elektrizitätsspeicherung.

Die **Geothermie** bietet dank dem kontinuierlichen Erdwärmefluss das Potenzial, Bandenergie zu ersetzen. Bei Bohrtiefen von 3 km kann man Wärme bei 100 °C entnehmen und damit grosse Abnehmer mit Wärme versorgen; es ergibt sich eine Synergie mit dem Ausbau von Nahwärmenetzen, wo der entsprechende Bedarf vorhanden ist. Erst bei Bohrungen bis 5 km können Strom und Wärme bereitgestellt werden. Für den wirtschaftlichen Betrieb ist ein Wärmeabsatz vorteilhaft, und damit ist die Geothermie ideal für Standorte mit einem Wärmeverbund grosser Leistungsaufnahme (mehrere 100 MW). Damit auch ohne diese Option wirtschaftlich Strom bereitgestellt werden kann, besteht Forschungsbedarf bei der Entwicklung kostengünstiger Bohrtechnik. Untersuchungen zur Wahl und hydrologischen Erschliessung der geeigneten Standorte sowie zur Steigerung des Wirkungsgrades bei der Energieumwandlung in Elektrizität sind weitere wichtige Themen.

Biomasse stellt gespeicherte Sonnenenergie dar und kann deshalb flexibel für Band- oder Spitzenenergie eingesetzt werden. Mit einem Potenzial von nachhaltig nutzbarer Abfall-Biomasse, welches 10-12 % des gegenwärtigen Bruttoenergiebedarfs entspricht, könnte diese Ressource nach Umwandlung einen Beitrag leisten, welcher 50% des heute eingesetzten Erdgases entspricht. Der Fokus sollte hierbei auf Verfahren liegen, die einen hohen Anteil an Wirkarbeit mit Wärmenutzung als Nebenprodukt liefern, da der Wärmebedarf der Gebäude zurückgeht. Die Umwandlung von Holzabfällen zu Methan bei niedrigen Transportwegen ermöglicht die Verteilung über das Gasnetz und den räumlich flexiblen Einsatz in der Mobilität oder in Gaskraftwerken. Darauf zielende Verfahren für die Vergasung holzartiger Biomasse sind weiterzuentwickeln und zu demonstrieren. Forschungsbedarf besteht bei der Nutzung wasserhaltiger Biomassesortimente durch hydrothermale Vergasung und Vergärung mit dem Ziel der Produktion von Methan mit Netzqualität oder Elektrizität.

Die Schweiz ist aufgrund der vorherrschenden Windgeschwindigkeiten zwar kein prädestinierter Standort für die **Windenergienutzung**, verfügt jedoch über einige geeignete Standorte für Windkraftanlagen. Während die Herstellung von Windturbinen durch ausländische Hersteller dominiert wird, kann die Schweiz durch die Forschung und Entwicklung von Komponenten für anspruchsvolle meteorologische Bedingungen, von Getrieben, Leistungselektronik, Messtechnik und von Werkzeugen zur Optimierung von Standorten im Hinblick auf Energieertrag und Ökonomie ihre Chance in diesem Zukunftsmarkt wahrnehmen. Der Aufbau der für die Schweiz geeigneten kleineren Anlagen ist ein Umsetzungsproblem.

Photovoltaik bietet bei Nutzung geeigneter Dachflächen und Gebäudeintegration auch bei der in der Schweiz verfügbaren Sonneneinstrahlung ein attraktives inländisches Potenzial, dessen Nutzung aufgrund der Intermittenz und der ausgeprägten Saisonalität sehr stark mit den unten angesprochenen Themen der Tages- und saisonalen Speicherung sowie des Ausbaus der Netze verknüpft ist. Die Kostendegression wird durch den Weltmarkt bestimmt, und es ist für die Schweiz essentiell, an der richtigen Stelle der Wertschöpfungskette zu investieren. Dies betrifft vor allem die Dünnschicht-Solarzellen und die Gebäudeintegration, wo die Schweiz ihre Wissensbasis ausbauen und so einsetzen sollte, dass Schweizer Technologie

einen internationalen Impact erzielen und damit auch an der Implementierung im Inland partizipieren kann.

Damit die Errichtung von **Gas-Kombikraftwerken** zu einer realisierbaren Option entwickelt werden kann, muss das Problem der CO₂-Emissionen adressiert werden. Dazu bieten sich vier Strategien an: Reduktion des Verbrauchs an fossilem Erdgas durch Steigerung des elektrischen Wirkungsgrades auf über 60%, Verringerung des CO₂-Ausstosses durch Zufeuerung biogener Brennstoffe (z.B. Methan aus Biomasse), Abtrennung und geologische Speicherung des CO₂ sowie Kompensation in anderen Sektoren (z.B. Nutzung der Abwärme, Einsatz in Wärmepumpenheizungen). Forschung auf diesem Gebiet ist hoch relevant, da sich die gleichen Probleme international stellen und daher auch Chancen für die Schweizer Industrie auf ausländischen Märkten bieten. Da die Lagerung (Carbon Capture and Storage, CCS) vermutlich inländisch gelöst werden müsste, ist die Untersuchung aller damit verbundenen Aspekte erforderlich. Dabei ist die mit CCS verbundene Einbusse im Wirkungsgrad um 5-10 Prozentpunkte zu minimieren.

Bei der Elektrizitätsbereitstellung mit **Kernenergie** bleiben Verfahren für den Rückbau bestehender Anlagen nach Ende der Betriebszeit und für die Zwischen- und Endlagerung radioaktiver Abfälle in allen Szenarien relevant. Für den Betrieb bestehender, älterer Anlagen sind Fragen der Sicherheit, allfälliger notwendiger Nachrüstung sowie die Bestimmung und Beurteilung von Alterungsprozessen wichtig. Wenn ein Ersatz bestehender Anlagen in Betracht gezogen wird, ist die aktive und passive Sicherheit zu beurteilen; diese Aufgabe stellt sich mit noch höherer Dringlichkeit bei einem allfälligen vorzeitigen Ersatz. Die vorhandene Forschungs- und Analysekapazität muss zur Beantwortung dieser Fragen einen Beitrag leisten.

Änderungen im Portfolio der Erzeugungskapazität sind durch die typischen Lebenszeiten der Anlagen mitbestimmt. Je nach Kraftwerkstechnologie erfordert die Neuinstallation wenige Jahre oder grössere Zeiträume. Bei den «neuen» erneuerbaren Energien erfordert die Implementierung den Aufbau neuer Industrie-, Betriebs- und Instandhaltungskapazitäten. Ein organisches Wachstum ist wichtig, damit Wertschöpfung und Arbeitsplätze im Inland generiert werden und das Phänomen der Einbrüche nach Überhitzungen vermieden wird. Die internationale Entwicklung bestätigt die Einschätzung, dass kurzfristige Änderungen kaum möglich sind, jedoch mit einer kontinuierlich verfolgten Strategie langfristig sehr grosse Effekte erzielt werden können.

Erzeugungstechnologie	heutige Produktion TWh/Jahr	erwartetes Potenzial 2035 TWh/Jahr	technisches Gesamtpotenzial TWh/Jahr	zusätzlicher Forschungsbedarf Mio. CHF/Jahr
Wasserkraft	35	35	bis 38	53
Geothermie	–	0.5 - 2	10 - 20	
Biomasse	1,2	5	bis 9	
Windenergie	74 GWh	1,5 - 2	ca. 10	
Photovoltaik	75 GWh	2 - 6	12 - 18	
Gas-Kombikraftwerk mit CO ₂ -Abtrennung	-	2 - 3 (pro 400 MW Kraftwerk, abh. v. Betriebsstunden)	n x 3	

3.5 Aktionsfeld 5: Ökonomische und rechtliche Aspekte (Forschungsbedarf)

Technisch-naturwissenschaftliche Forschungsarbeiten erschliessen neue Beiträge zum Abbau der Stromlücke. Diese müssen aber auch umgesetzt und wirksam werden. Forschung ist notwendig, aber nicht hinreichend: der Bund kann den ganzen Technologie-Life-Cycle beeinflussen und unterstützen. Zu beachten ist der ganze Innovationsprozess bis hin zur Unterstützung von Anwendungen z.B. über die Gestaltung von Regulationen. Diese gehört allerdings nicht mehr zu den Forschungsperspektiven, die gemäss Mandat im vorliegenden Bericht aufgezeigt werden sollen. Sie kann aber durch Forschung unterstützt und wirkungsvoller gemacht werden. Wie Technologieumsetzung geschieht und welche Wirkungen verschiedene Massnahmen letztlich haben werden, hängt wesentlich von sozio-ökonomischen und rechtlichen Zusammenhängen und ihrer Ausgestaltung, also den wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen ab. Fragen zu diesen Wirkungszusammenhängen gehören ebenfalls zum notwendigen und relevanten Forschungsbedarf.

Die Analyse **ordnungspolitischer Themen, der Rahmenbedingungen** der Energiepolitik kann zu einem Beitrag für institutionelle Innovationen führen.

- Zu analysieren sind die Art und Weise, wie die Märkte im Energiebereich in verschiedenen Ländern und Ländergemeinschaften insbesondere in der EU und in der Schweiz organisiert sind und funktionieren (Fragen der Marktmacht, Möglichkeiten des Markteintritts) und wie die Schweiz in die internationalen Märkte eingebunden ist. Es geht um die Wirkungen der Marktordnungen in Bezug auf die Energiepreisbildung, die damit verbundenen Anreizstrukturen und ihre Ausgestaltung und Instrumentalisierung durch die Energiepolitik. Beispiele dafür sind verschiedene Konzepte wie Bonus/Malus, Energiesteuer und Lenkungsabgaben oder Einspeisevergütungen. Dazu gehört weiter der Stand der Information und Transparenz und das vorhandene Bewusstsein bei den Marktteilnehmern über bestimmte Zusammenhänge und Möglichkeiten, allgemein die Rolle der Informations- und Transaktionskosten. Eine Analyse und Beurteilung der Märkte aus wettbewerbspolitischer Sicht könnte Hinweise für eine positive Weiterentwicklung geben.
- Von grosser Bedeutung für die künftige Entwicklung sind Massnahmen der Entflechtung, des «Unbundling» der Wertschöpfungskette und damit Rolle und Stellung des Netzbetreibers. Dabei sind Besonderheiten des Stromnetzes und damit verbundene Konsequenzen für die Schaffung eines Marktes für Stromübertragung zu beachten.
- Forschungsthemen sind die Rolle der Wettbewerbspolitik und im speziellen die Rolle und Wirkung des Regulators am Elektrizitätsmarkt.

Weiterzuführen sind Arbeiten mit **Modellen für Szenarien und Simulationen** verschiedener energiepolitischer Optionen und ihrer Wirkungen auf die Energieversorgung: Für die wirtschafts- und energiepolitische Diskussion sind die Auswirkungen der verschiedenen Stromangebotsvarianten auf Einkommen und Wirtschaftswachstum zentral. Deshalb sind die Simulationen verschiedener Politikmassnahmen, wie z.B. der Verzicht auf den Ersatz von Kernkraftwerken, der vorzeitige Ausstieg oder die Förderung von Energiesparmassnahmen und Alternativenergien, in langfristig orientierten makroökonomischen Modellen der Schweiz von grosser Bedeutung. Weiter ist auch die künftige Wettbewerbsfähigkeit der Schweizer Industrie zu untersuchen. Möglichen Kostennachteilen bei höheren Energiepreisen können dabei den sogenannten «First Mover Advantages» gegenüber stehen, die z.B. dann entstehen, wenn in der Schweiz in den Clean-Tech Bereichen grosse Kompetenzen aufgebaut werden.

Als Grundlage für diese makroökonomischen Untersuchungen sind Basisinformationen durch **mikroökonomische Analysen** geeignet aufzubereiten. Dies sind Analysen zum Verhalten der Unternehmen und der Haushalte mit Schwergewicht auf der Nachfrageseite: Verhalten der Verbraucher in unterschiedlichen Situationen (z.B. ihre Zahlungsbereitschaft bezüglich alternativer Energien), Preiselastizitäten der Energienachfrage in Szenarien, Einkommenseffekte stark steigender Energiekosten bei allen wichtigen Trägern und ihre Reakti-

onen. Zur Nachfrageseite gehört auch die Analyse des Zusammenhangs von Energienachfrage mit Mobilität, ihrer Lenkung (Mobilitätsmanagement) und damit der Zusammenhang alternativer Mobilitätssysteme und Energieverbrauch. Auf der Angebotsseite geht es u.a. um Effekte veränderter Preisstrukturen auf das Innovationsverhalten der Wirtschaft, die Funktionsweise von Elektrizitätsversorgungsunternehmen als Anbieter und die Bedeutung ihrer Eigentümerstruktur, Rechtsform und Unternehmensstrategie.

Zusätzlich zu den mikroökonomischen Analysen werden **Lebenszyklusanalysen** der technischen Investitions- und Gebrauchsgüter benötigt, um die Nachhaltigkeit der energiepolitischen Optionen hinsichtlich ihrer ökonomischen, ökologischen und sozialen Auswirkungen zu beurteilen. Dabei müssen die Lebenszyklen sowohl der bestehenden als auch der neu aufzubauenden Infrastrukturen systematisch hinsichtlich aller drei Dimensionen der Nachhaltigkeit untersucht und bewertet werden. Durch eine zusätzliche geographische Differenzierung der Lebenszyklus-Perspektive wird deutlich, welche Auswirkungen in der Schweiz zu erwarten sind und welche Auswirkungen im Ausland entstehen bzw. dahin verlagert werden. Die Ergebnisse dieser Life Cycle Assessments (LCAs) und ihrer geographischen Differenzierung können wie die Ergebnisse der mikroökonomischen Analysen in die oben erwähnten Modelle für Szenarien und Simulationen der energiepolitischen Optionen einfließen.

Technologiemonitoring beinhaltet die systematische Beobachtung einzelner Technologien sowie die Informationsgewinnung zu deren Entwicklungsperspektiven. Eine systematische und auf die Dauer angelegte Beschaffung und Aufbereitung von Informationen über die Energieforschung, die Entwicklung der daraus hervorgehenden Technologien und den damit verbundenen Potenzialen, z.B. die Lernkurven von Technologien sollten ausgehend von bereits vorhandenen Ansätzen weiter ausgebaut werden.

Systematisch angelegte **Evaluationen und Wirkungsanalysen** sollten darüber Auskunft geben, welche Forschung bis heute was gebracht hat. Wo sind die grossen Defizite, die mit verstärkten Forschungsanstrengungen angegangen werden sollten? Vieles deutet darauf hin, dass diese eher am Ende der Wertschöpfungskette sind, also bei der Entwicklung bekannter Technologien zur Marktreife und der erfolgreichen Einführung und Umsetzung am Markt. Darüber hinaus sollten die begleitenden Evaluationen der Prozesse und Wirkungen der Energiepolitik intensiviert und noch stärker in die Entscheidungsprozesse eingebracht werden.

Bottom-up-Ansätze nutzen: Neben der kostenintensiven und institutionalisierten High-Tech Forschung gibt es auch viele mittelständische Unternehmen, die neue Ideen in verschiedenen Bereichen der Energiemärkte haben wie erneuerbare Energien, Wärmedämmung oder Speicherung. Es sind Mittel und Wege zu finden, wie solche Ideen und Ansätze bottom-up aufgegriffen und zur Weiterentwicklung und Entfaltung gebracht werden können. Es muss Raum und Unterstützung geben für nicht vorausgeplante, zielführende dezentrale Innovationsinitiativen. Dazu gehört die Entwicklung von neuen Formen der Zusammenarbeit der Hochschulen mit in Energietechnik spezialisierten mittelständischen Unternehmen.

Zusätzlicher Finanzbedarf für die Forschung: 4 bis 5 Mio. CHF/Jahr
--

4. FAZIT

Im Kap. 2 wurde das Bedarfsportfolio hinsichtlich Forschung und Entwicklung, differenziert nach Technologien, detailliert dargestellt. Die daraus resultierenden fünf **Aktionsfelder** wurden in Kap. 3 einzeln beurteilt. Der folgende Abschnitt 4.1 fasst Bedeutung und Kalibrierung des Beitrages dieser Aktionsfelder zum Abbau allfälliger Stromlücken auf der Zeitskala und im Vergleich zusammen. Darauf basierend werden im Abschnitt 4.2 die **Querschnitts-Profile** im Sinne der geeigneten Kombination dieser Aktionsfelder und ihre jeweiligen Beiträge zur forschungsmässigen Unterstützung der Stromversorgung im Rahmen der drei Stromangebotsvarianten skizziert:

1. Weiterführung des bisherigen Strommixes mit allfälligem vorzeitigem Ersatz,
2. kein Ersatz der bestehenden Kernkraftwerke am Ende ihrer Betriebszeit oder
3. vorzeitiger Ausstieg aus der Kernenergie, bestehende Kernkraftwerke werden vor Ende ihrer sicherheitstechnischen Betriebszeit abgestellt.

Daraus ergeben sich in Abschnitt 4.3 Empfehlungen für einen **koordinierten Aktionsplan in der Energieforschung**.

4.1 Aktionsfelder: Potenzial und Vergleich

Internationale Analysen zeigen, dass die **Effizienzsteigerung** den grössten Beitrag bei einer nachhaltigen Umgestaltung des Energiesystems leisten muss und kann; diese Schlussfolgerung (z.B. der IEA) gilt analog auch für die aktuelle Fragestellung. Der Energie Trialog Schweiz hat im Rahmen eines Zielszenarios gezeigt, wie durch energieeffizienteres Erbringen der Wirtschaftsleistung (Energieeinsatz/BIP muss jährlich um 2% abnehmen) der Endenergieverbrauch der Schweiz auch bei einem Wirtschaftswachstum von 1%/Jahr bis 2050 um 1/3 auf 600 PJ/Jahr gesenkt werden könnte. Da Elektrizität einen Schlüssel zur Effizienz darstellt, dürfte es gelingen, dass der Elektrizitätsverbrauch von gegenwärtig rund 58 nur noch moderat auf ca. 70 TWh/Jahr ansteigen wird.

Ein zweiter unabdingbar notwendiger Faktor ist die Verfügbarkeit leistungsfähiger, flexibler und mit moderner Regelungstechnik ausgestatteter, bidirektionaler **Netze**. Im Elektrizitätsübertragungs- resp. Netzbereich sind bis 2020 substantielle Fortschritte erreichbar. Mit längerfristiger Optik können intelligente Netze entworfen und installiert, dezentrale Speicherkapazitäten aufgebaut und die Eigenversorgung mit erneuerbaren Energien verstärkt werden.

Das dritte leistungsfähige Element zur Effizienzsteigerung und Einbindung erneuerbarer Energien ist die Entwicklung flexibler **Speicher** für die zentrale und dezentrale Speicherung von Energie. Aus Sicht der Forschung können in der längeren Frist zentrale Speicher verdoppelt und die dezentralen neu auf eine energiesystemrelevante Grösse aufgebaut werden.

Im Aktionsfeld der **Elektrizitätsproduktion** kann die Nutzung einheimischer erneuerbarer Energien mit den Zeitskalen, die für die Technologiesubstitution charakteristisch sind, d.h. von 20 bis 40 Jahren, vorangetrieben werden. Sie ermöglicht langfristig einen Ausbau des Anteils erneuerbarer Energien (inkl. Wasserkraft) an der Bruttoenergie von heute 20% auf deutlich über 50%, und an der Stromerzeugung von heute 55% auf deutlich über 70%.

Die Ausschöpfung der drei Faktoren (Effizienz, Netze und Speicher) ist die Voraussetzung für eine erfolgreiche Förderung der erneuerbaren Energien. Nur im systemischen Zusammenspiel dieser Komponenten mit komplementärer Abstimmung kann das Ziel erreicht wer-

den, den Anteil erneuerbarer Energien an der Primärenergie auf über 50% und an der Elektrizität auf über 70% zu steigern. Dies kann bei Verfügbarkeit der notwendigen Speichertechniken *langfristig* zu einer *radikalen* Umgestaltung unserer Energieversorgung in Bezug auf Ressourcenverbrauch und Emissionen beitragen.

Ökonomische und rechtliche Forschungsarbeiten können Konzepte für die optimale Ausgestaltung der Rahmenbedingungen entwerfen. Danach können Reformen in verschiedenen Bereichen des Elektrizitätsmarktes wesentlich zum Durchbruch und zur Verbreitung fortschrittlicher Technologien in den genannten vier Aktionsfeldern beitragen. Das Technologie-monitoring weist auf in Entwicklung begriffene Potenziale und damit Chancen hin. Evaluations- und Wirkungsanalysen zeigen, wo Fortschritte erzielt worden sind, und wo sich eine Intensivierung der Forschung lohnt.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass Effizienzsteigerung und Netzausbau bereits kurz- und *mittelfristig inkrementelle*, aber in der Summe sehr substantielle Effizienzgewinne bringen können, die sich in einer Reduktion des Endenergieverbrauchs und in einer Limitierung des Wachstums im Elektrizitätssektor niederschlagen. Die strategisch richtige Implementierung der Massnahmen auf der Zeitachse trägt zur Erhöhung der Versorgungssicherheit bei und ermöglicht angestrebte Veränderungen auch in anderen Sektoren, z.B. die Dekarbonisierung des Transportwesens.

Forschung erfolgt in internationaler Zusammenarbeit. Die gut vernetzte Schweizer Forschungsgemeinde sollte deshalb ihre Beiträge auf Teilbereiche fokussieren, wo aufgrund des spezifischen Know-hows oder der lokalen Anwendung und Umsetzung ein effektiver Beitrag geleistet werden kann. Dies wird sich oft auf die Entwicklung von Verfahren oder Spezialkomponenten beziehen, während die Produktion von Grossanlagen oder schweren Investitionsgütern oft im Ausland erfolgt. Bei der Implementierung, primär eine Sache der Umsetzung, können allenfalls spezifische Verfahren erarbeitet werden. Gute Forschungsleistungen verbunden mit Technologieentwicklung bis zur Marktreife bieten auch ein attraktives Potenzial für den Export von Gütern und Dienstleistungen. Diese Triage ist bei der Wahl der konkreten Forschungsfelder vorzunehmen.

In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass für eine glaubhafte und effektive Mitwirkung der Schweiz an gemeinsamen europäischen Aktivitäten wie dem SET-Plan auch entsprechende Mittel zur Verfügung stehen müssen. Dies gilt insbesondere für die Förderung von Pilot- und Demonstrations-Anlagen. Dazu sollte z.B. ein Fonds in der Grössenordnung von 100 Mio. CHF eingerichtet werden. Über die bestehende Mitgliedschaft der Schweiz zum Rahmenprogramm der EU und den dabei laufenden und weiter vorgesehenen Begleitmassnahmen ist dies nicht gewährleistet. Es braucht zur Finanzierung dazu eine spezielle Lösung.

	Biomasse/Biogas	Windenergie	Wasserkraft	Elektrische Netze	Speichertechnologie	Verfahrenstechnik	Geothermie	Solare Kühlung solare Wärme	Gas-/Dampf KW/CCS	Photovoltaik	Energieeffizienz	
Markteinführung der Technologie (= volle Verfügbarkeit zum Abbau der Stromlücke)	x	x	x	x	□	□	□	□	□	x	x	2020
	□	□	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2035
	□	□	□	□	□	□	x	x	x	x	x	2050
Potenzial zum Abbau der Stromlücke (mittel- und langfristig)	□	x	x	x	x	□	□	□	□	□	□	klein (unter 5% bei 70 TWh pro Jahr)
	x	□	□	□	□	□	□	x	□	□	□	mittel (bis 10% bei 70 TWh pro Jahr)
	□	□	□	□	□	x	x	□	x	x	x	gross (über 10% bei 70 TWh pro Jahr)
Allgemeines Profil der Forschung (= primäre Ausprägung des Forschungsbedarfs)	□	□	x	□	□	□	□	□	x	x	□	Grundlagenforschung
	□	□	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Angewandte F & E
	x	x	□	x	x	x	x	x	x	x	x	Pilot- und Demonstrationsversuche
	□	x	□	□	□	□	□	□	□	□	x	Innovation / Umsetzung am Markt

Tabelle 6: Bedarfsportfolio – Technologiegebiete nach Markteinführung, Potenzial und Forschungsprofil. Die grossen Potenziale (2. Zeile) können erst über die längeren Zeiträume voll ausgeschöpft werden (1. Zeile). Förderbedarf besteht vor allem bei Pilot- und Demonstrationsversuchen, weiter bei angewandter Forschung und Entwicklung und weniger in der (anwendungsorientierten) Grundlagenforschung. Die wegen dem systemischen Zusammenhang der verschiedenen Aktionsfelder notwendigerweise zu berücksichtigenden Komplementaritäten können allerdings die effektive Wirkung eines einzelnen Aktionsfeldes reduzieren.

4.2 Querschnitts-Profile und Beitrag der Energieforschung für die drei Stromangebotsvarianten

Alle Analysen stimmen darin überein, dass sich in einer Referenzentwicklung ohne Massnahmen bei der inländischen Erzeugung eine Stromlücke öffnet. Massnahmen und diesbezügliche Entscheidungen müssen getroffen werden, um dies zu verhindern resp. in volkswirtschaftlich verkraftbaren Zeiträumen abzubauen. Im Folgenden werden die Eigenheiten des Portfolios aller Aktionsfelder für die drei Stromangebotsvarianten skizziert und verglichen. Sie dürften sich in Gewichtung der Aktionsfelder, Stossrichtung und Fristigkeit unterscheiden.

Eine breit angelegte **Effizienzinitiative**, welche nicht nur die Elektrizitätsanwendung, sondern alle genannten Sektoren (Gebäude, Mobilität usw.) umfasst, ist für jede der drei Varianten zentral. Erst die systemische Veränderung von Elektrizitätsnachfrage und -angebot eröffnet den Weg zum Fernziel, den Energieverbrauch vom Wirtschaftswachstum zu entkoppeln. Konkret wurde das Ziel genannt, bis 2050 bei einer um 40% gesteigerten Wirtschaftsleistung den Energieeinsatz um 33% zu senken. Dies ist zu einem grossen Teil ein Thema der Umsetzung und Verbreitung bekannter Technologien. Dafür gilt es primär, die richtigen Anreize zu setzen und weniger Forschung und Entwicklung zu intensivieren.

Variante 1: Weiterführung des bisherigen Strommixes mit allfälligem vorzeitigem Ersatz

Variante 1 bedeutet eine Fortsetzung und Verstärkung der bisherigen Anstrengungen in Forschung und Entwicklung und der damit verbundenen Beeinflussung der Nachfrage und des Angebotes an Elektrizität.

- Bei einer Implementierung der Massnahmen mit der im Abschnitt 4.1 beschriebenen Prioritätensetzung lässt sich das Ziel erreichen, eine sichere Stromversorgung zu realisieren, welche den Postulaten der Ressourcen-, Umwelt- und Klimaschutz genügt.
- Bei einer Priorisierung der Umsetzung von **Effizienzverbesserungen** kann der Wachstumstrend in der Nachfrage nach Elektrizität abgeflacht werden. Parallel dazu wird die Kapazität zur Elektrizitätsproduktion auf der Basis erneuerbarer Energien mit dem Zeithorizont 2035 inkrementell, aber kontinuierlich aufgebaut.
- Effizienzverbesserungen können wesentlich durch geeignete **Rahmenbedingungen mit marktorientierten Anreizsystemen** verbunden mit der deutlichen Reduktion von Informations- und Transaktionskosten unterstützt werden. Dies bedingt die Weiterentwicklung und Anwendung bereits vorhandener Konzepte.

Variante 2: Kein Ersatz der bestehenden Kernkraftwerke am Ende ihrer Betriebszeit

Dies bedeutet eine Intensivierung von Variante 1 durch mittelfristig stärkere Substitution von Atomstrom. Dafür steht jedoch wesentlich mehr Zeit zur Verfügung als bei Variante 3.

- Bei Variante 2 wird der Import von Elektrizität in Betracht gezogen werden müssen. Deshalb muss der forcierte Ausbau der **Übertragungsnetze** den vorübergehend notwendigen Import von Elektrizität sicherstellen. Der Ausbau der Netze ist wirtschaftlich auf jeden Fall wünschenswert, muss aber in den Varianten 2 und 3, bei welchen die inländische Erzeugungskapazität reduziert wird, besonders energisch vorangetrieben werden. Auf der Hochspannungsebene sind in diesen Varianten zu erwartende Engpasssituationen zu beseitigen und der Ausbau an Schwachstellen voranzutreiben. Auf der Verteilnetzebene können mittel- bis längerfristig die Übertragungsverluste auf die Hälfte reduziert werden, und das Netz ist durchgehend mit einem bisher nicht gekannten Grad an bidirektionaler Regelungstechnik («Intelligenz») zu versehen.
- Die zentralen **Speicher** müssen für Variante 2 und insbesondere für Variante 3 verdoppelt und die dezentralen Speicher neu auf eine relevante Grösse aufgebaut werden.

- Die Nutzung einheimischer **erneuerbarer Energien**, deren Ausbau bereits in der Variante 1 geplant ist, soll in der Variante 2 mit den Zeitskalen, die für eine nachhaltige Technologiesubstitution charakteristisch sind, d.h. von typisch 20 Jahren, vorangetrieben werden.

Variante 3: Vorzeitiger Ausstieg aus der Kernenergie, bestehende Kernkraftwerke werden vor Ende ihrer sicherheitstechnischen Betriebszeit abgestellt

Variante 3 verlangt eine raschere Substitution von Atomstrom als in den beiden anderen Varianten und damit eine Beschleunigung und Intensivierung der Anstrengungen in F&E und der Umsetzung deren Resultate.

- Der Einsatz von **Gaskraftwerken** dürfte zumindest als Übergangslösung als Beitrag zum Abbau der unumgänglichen Stromlücke notwendig werden und würde besondere Anstrengungen erfordern, um gleichzeitig die Klimaziele zu erreichen. Die knappe Verfügbarkeit der Elektrizität könnte dazu führen, dass einige von Elektrizität abhängige Effizienzmassnahmen nicht im vollen Umfang umgesetzt werden und dass dadurch CO₂-Ziele in anderen Sektoren verfehlt werden.
- Bei einer Wahl der Variante 3 kommt dem Import von Elektrizität über einen längeren Zeitraum eine noch grössere Rolle zu als bei Variante 2. Während die **Effizienzstrategie** unvermindert wichtig bleibt, ist der **Netzausbau** weiter zu forcieren. Eine starke Weiterentwicklung und Anwendung intelligenter Netze («Smart Grid») dürfte wesentlich zur Bewältigung von Variante 3 beitragen.
- Die grossmasstäbliche Implementierung der **erneuerbaren Energien** kann in Variante 3 kaum schneller vorangetrieben werden, als in der Variante 2. Trotzdem werden für Variante 3 die erneuerbaren Energien zusätzlich an Bedeutung gewinnen, wobei auf die Aufbauzeiten der involvierten Industrie zu achten ist und vorzeitiger Lock-in in noch nicht ausgereifte oder weniger vielversprechende Technologien vermieden werden sollte.
- Die **Energiespeichertechnologien** sind unabdingbar im systemischen Zusammenhang mit dem Netzausbau und den erneuerbaren Energien weiter zu erforschen und zu entwickeln, wenn auch ihr Beitrag nicht so gross sein dürfte, wie derjenige der Netztechnologie.
- Es sind Konzepte für die Organisation der entsprechenden Märkte, die Preisbildung und Anreizsysteme und damit für die Unterstützung der raschen Technologieentwicklung bis zur Marktreife und der erfolgreichen, grossflächigen Einführung zu entwickeln. Diese müssten radikaler sein und rascher und konsequenter angewendet werden als in Variante 2. Deshalb sind Lösungen für einen effizienteren Wissens- und Technologietransfer vordringlich. Dazu ist die Bearbeitung **sozio-ökonomischer und rechtlicher Aspekte** notwendig.

Die drei Varianten haben unterschiedliche Zeitverhältnisse für Entwicklung und Umsetzung von Lösungsbeiträgen aus den Aktionsfeldern zur Folge. Dies bedeutet auch unterschiedliche Pfade für Forschung, Entwicklung und Innovation. Während die Varianten 1 und 2 moderate Szenarien repräsentieren, verlangt Variante 3 einen radikaleren Weg. Damit müsste auch die Allokation von Ressourcen für F&E und P/D-Anlagen verschieden sein. So müsste für Variante 3 bei der F&E in den Bereichen Netze und Speicher früher als bei den anderen beiden Varianten ein besonderer Akzent gelegt werden. Dies wäre im Rahmen der Vertiefung der Überlegungen abzuklären, vgl. dazu die Aufträge in Kap. 5.

Aktionsfeld	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Effizienzsteigerung	•••	•••	•••
Produktion, insbes. Erneuerbare Energien	•	••	•••
Netze («Smart Grid»)	•	•••	••••
Speicher (zentral / dezentral)	•	••	•••

Tabelle 7: Querschnitts-Profile und Beitrag der Energieforschung für die drei Stromangebotsvarianten nach relativem Gewicht. Dabei sind die systemischen Zusammenhänge zu beachten.

4.3 Aktionsplan «Koordinierte Energieforschung Schweiz»

Die vorgestellten Aktionsfelder umfassen sowohl effektive Massnahmen zur Abflachung der Nachfrage als auch zukunftsgerichtete Optionen für die Angebotsseite und die Substitution. Aus der Beurteilung und Bewertung des Bedarfportfolios ergibt sich die Empfehlung, **fünf Aktionspläne** mit der folgenden Prioritätsreihenfolge zu lancieren.

Erste Priorität: Effizienztechnologien

Wie dargestellt, bildet eine Effizienzstrategie die unabdingbare Grundlage für eine Begrenzung des Wachstums der Elektrizitätsnachfrage. Die Förderung von Effizienz ist ökonomisch lohnend und für alle Varianten sinnvoll. Während Umsetzungsmassnahmen rasch eine inkrementelle Wirkung erzielen können, muss bei der Umsetzung eines Forschungsergebnisses in eine wirtschaftliche Innovation auch hier mit Zeitskalen von mindestens fünf Jahren bis zur ersten Implementierung und von zehn Jahren bis zu einer signifikanten Marktpenetration gerechnet werden.

Traditionell wurden der Effizienzforschung weniger Aufmerksamkeit und Fördermittel gewidmet, da sie viele Akteure umfasst, entsprechend schwieriger zu steuern ist und weniger spektakuläre, dafür umso wichtigere inkrementelle Resultate liefert.

Neben Forschungsanstrengungen sind zur Effizienzsteigerung vor allem Pilot- und Demonstrationsanlagen notwendig.

Deshalb wird empfohlen, diesem Aktionsfeld 51% der zusätzlichen Fördermittel zu widmen.

Zweite Priorität Elektrizitätsübertragung / Netze

Ohne den Ausbau von Übertragungsnetzen und «Smart Grids» kann die Schweiz ihre Rolle in der internationalen Entwicklung nicht wahrnehmen. Netze sind der Schlüssel für die Implementierung erneuerbarer Energien aus inländischer Produktion und europäischer Zusammenarbeit.

Wie beschrieben, umfasst der Forschungsbedarf kurz- und mittelfristige Aspekte. Das historisch junge Gebiet der intelligenten Netze umfasst noch eine vergleichsweise kleine Forschergemeinde, so dass eine rasche und sehr substantielle Steigerung der Forschungsanstrengungen mit einem (im Vergleich zu den anderen Aktionsfeldern) kleineren Betrag erreicht wird. Ein grosser Teil der Implementierung wird von den Netzgesellschaften zu tragen sein, die auch eigene Forschung betreiben.

Deshalb wird empfohlen, diesem Aktionsfeld 12% der zusätzlichen Fördermittel zu widmen.

Dritte Priorität: Elektrizitäts- und Energiespeicherung

Zentrale Speicherung ist wesentlich für die grossmassstäbliche Leistungsbereitstellung. Dezentrale Speicherung eröffnet bisher nicht erschlossene Möglichkeiten für die Optimierung des Gesamtsystems und zur Erreichung der Ziele von Ressourcenschonung, Klimaschutz und Versorgungssicherheit.

Dieses Aktionsfeld ist ausbaubar und mittelfristig sehr wichtig, umfasst andererseits weniger Akteure als die Effizienzforschung.

Neben Forschungsanstrengungen sind zur Leistungssteigerung mit Speicher vor allem Pilot- und Demonstrationsanlagen notwendig.

Deshalb wird empfohlen, diesem Aktionsfeld 10% der zusätzlichen Fördermittel zu widmen.

Vierte Priorität: Elektrizitätsproduktion

Die Entwicklung von Technologien für die Bereitstellung von Energieträgern (Strom und Treibstoffe) aus erneuerbaren Energien ermöglicht langfristig den Übergang auf ein nachhaltiges, klima- und ressourcenschonendes Energiesystem. Wenn sie durch die Möglichkeit der Generation aus fossilen Energieträgern mit Abtrennung und Lagerung des CO₂ ergänzt werden soll, muss die CCS-Technologie dringend vorangetrieben und ihre Anwendbarkeit in der Schweiz untersucht werden.

Im Sinne der vorgestellten Strategie werden die angebotsseitigen Massnahmen nach der Effizienzinitiative priorisiert. Andererseits umfasst dieses Aktionsfeld mehrere Unterthemen, die von einer grossen Zahl von Forschenden getragen wird und ausgebaut werden kann.

Deshalb wird empfohlen, diesem Aktionsfeld 25% der zusätzlichen Fördermittel zu widmen.

Kontextpriorität: Ökonomische und rechtliche Aspekte

Energiepolitik wird in einem wirtschaftlichen, rechtlichen und gesellschaftlichen Kontext gestaltet, entschieden und umgesetzt. Das Verständnis über die dabei wirksamen Zusammenhänge sind für eine erfolgreiche Reformpolitik ebenso wichtig, wie die technisch-naturwissenschaftlichen Erkenntnisse und Fortschritte. Die weitere Erforschung der Funktionsweise der entsprechenden Märkte, des Verhaltens der Unternehmen, öffentlicher Betriebe und Haushalte sowie des Staates als Regulator muss deshalb ebenfalls unterstützt werden. Dazu gehören auch Arbeiten mit Modellen für Szenarien und Simulationen verschiedener energiepolitischer Optionen und ihrer Wirkungen auf die Energieversorgung.

Deshalb wird empfohlen, diesem Aktionsfeld 2% der zusätzlichen Fördermittel zu widmen.

Kostenabschätzung

Wie in Teil I des vorliegenden Berichtes dargelegt werden heute rund 210 Mio. CHF an **öffentlichen Mitteln** für die Energieforschung aufgewendet, während die **Privatwirtschaft** heute durchschnittlich über 800 Mio. CHF per annum aufwendet. Der Gesamtaufwand für Energieforschung beträgt in der Schweiz heute demnach gut 1 Mrd. CHF per annum.

Betreffend die **öffentlichen Forschungsmittel** gehen die Forschungsakteure von einem erheblichen Mehrbedarf aus und plädieren für einen schrittweisen Ausbau über die nächsten 10 Jahre und als *Zielgrösse* im Vergleich zu 2010 für eine Verdoppelung der jährlichen Mittel zu Gunsten der Energieforschung bis ins Jahr 2020. Gemäss relativer Priorität der Aktionsfelder wird der Mehrbedarf an Forschungsmitteln namentlich im Bereich der Effizienztechnologien sowie im Bereich Bereitstellung / Produktion von Elektrizität verortet (siehe Tabelle 7).

Tabelle 8: Ausbau der Energieforschung 2009 (heute) von CHF 213,5 Mio. p.a. auf CHF 427,5 Mio. p.a. über 10 Jahre bis 2020 (öffentliche Mittel, d.h. Bund, Kantone/Gemeinden, EU-Mittel).

Aktionsfeld	Zusätzliche Mittel für F&E p.a.	Gewichtung bei den zusätzlichen Mitteln in%
Effizienztechnologien inkl. P/DA	110	51
Übertragung / Netze	25	12
Speicherung	21	10
Bereitstellung / Produktion	53	25
Ökonomie und Recht	5	2
	214	100
Heute, 2009	213,5	
Total p.a. ab 2020	427,5	

5. MASSNAHMEN UND EMPFEHLUNGEN

Gestützt auf die im vorliegenden Bericht zusammengetragenen Fakten (Teil I) und Expertisen hinsichtlich Herausforderungen und Forschungsbedarf im Bereich der Energie (Teil II) kommt die AG Energieforschung zu einer Reihe von Massnahmen und Empfehlungen. Sie beziehen sich auf Förderachsen, die es dem Bund im Rahmen der geltenden Rechtsgrundlagen und Zuständigkeiten ermöglichen, angesichts der grossen Herausforderungen in der Energiepolitik im Bereich der Energieforschung die notwendigen Weichen zu stellen.

5.1 Institutionelle Fördermassnahmen (Kompetenzzentren)

Massnahme 1A **Überprüfung der Portfolio «Energieforschung»** **im ETH-Bereich**

- *Zuständigkeit:* **ETH-Rat** in Zusammenarbeit mit Schulleitungen und Zentren
- *Finanzierung:* innerhalb ETH-Globalbudget gemäss BFI 2013–2016

Gegenstand

a. *Überprüfung der Positionierung der nicht-nuklearen Energieforschung*

- Konsolidierung der bestehenden Zentren (einschliesslich CCEM) hinsichtlich Mittelzuweisung, Infrastrukturen und Organisation;
- Gezielte Stärkungs- und Konzentrationsmassnahmen *gemäss* den vom Aktionsplan «Koordinierte Energieforschung Schweiz» festgelegten Prioritäten (siehe *Massnahme 4*).

b. *Überprüfung der Positionierung der Nuklearforschung*

- Weiterführung der Sicherheitsforschung im Bereich Fission (Kerntechnik und nukleare Sicherheit; Entsorgung) auf hohem Niveau; ggf. Überprüfung der Position der Reaktorsystementwicklung (4. Generation);
- Prüfung einer Reduktion im Bereich der Fusionsforschung (in Abstimmung mit Bedarf/Entwicklung betreffend Mitgliedschaft der Schweiz in Euratom).

c. *Wissenschaftlicher Nachwuchs*

- Gestützt auf aktualisierte Portfolio «Energieforschung»: Überprüfung des wissenschaftlichen Nachwuchsbedarfes im ETH-Bereich;
- Planung und Umsetzung entsprechender kurz- und langfristig orientierter Massnahmen.

Termin

Dezember 2011 (Kurzbericht zuhanden SBF und AG Energieforschung)

Angesichts der zentralen Rolle des ETH-Bereichs in der schweizerischen Energieforschung sowie unter Berücksichtigung des Umstandes, dass der Hauptanteil an den Bundesmitteln zu Gunsten der Energieforschung über den ETH-Bereich umgesetzt wird, ist diese Massnahme mittelfristig von struktureller Bedeutung. Dabei ist Massnahme 1 sachlich wie zeitlich direkt mit Massnahme 4 (Aktionsplan «Koordinierte Energieforschung Schweiz») zu verknüpfen. Entsprechend sind die Termine aufeinander abgestimmt.

Massnahme 1B

Überprüfung des Portfolios «anwendungsorientierte Energieforschung» der Fachhochschulen

- **Zuständigkeit:** **BBT** in Zusammenarbeit mit der KFH
- **Finanzierung:** innerhalb Bundesbeiträge zu Gunsten Fachhochschulen gemäss BFI 2013–2016

Gegenstand:

- a. Überprüfung der Positionierung der anwendungsorientierten Energieforschung der Fachhochschulen
 - Bestandsaufnahme der bestehenden Kompetenzen (Forschungsinstitute bzw. –gruppen, Forschungsthemen, Personal, Forschungsvolumen)
 - Gezielte Stärkungs- und Konzentrationsmassnahmen (inkl. Prioritätensetzungen) gemäss dem Leistungsauftrag der Fachhochschulen und abgestimmt mit den im Aktionsplan «Koordinierte Energieforschung Schweiz» festgelegten Prioritäten (s. Massnahme 4) sowie den Ergebnissen der Überprüfung des Portfolios Energieforschung im ETH-Bereich (siehe Massnahme 1 A)
- b. Wissenschaftliches Personal
 - Gestützt auf das aktualisierte Portfolio anwendungsorientierte Energieforschung der Fachhochschulen Überprüfung des Bedarfs an wissenschaftlichem Personal an den Fachhochschulen
 - Planung und Umsetzung entsprechender kurz-, mittel- und langfristig orientierter Massnahmen

Termin:

Dezember 2011 (Kurzbericht zuhanden AG Energieforschung)

Massnahme 2

Stärkung der Zusammenarbeit zwischen Hochschulen und Wirtschaft (Public/Private Partnership)

Stärkung des Wissens- und Technologietransfers

a) Unterstützung über Technologiekompetenzzentren

- *Zuständigkeiten* **EDI** für ETH-Bereich (Vorbereitung BFI-Botschaft 2013 – 2016)
BBT für Fachhochschulen
(Vorbereitung BFI-Botschaft 2013 –2016)
- *Finanzierung:* *innerhalb* Finanzplanung BFI 2013–2016
(Unterstützung nach Art. 16 FIFG)

Gegenstand

- Zusammenarbeit EPFL-CSEM:
 - institutionelle Verankerung und Stärkung der Photovoltaikforschung (Technologieentwicklung von Systemen und Systemkomponenten) am CSEM
 - Klare Ausrichtung auf Technologieentwicklung (Pilot und Demonstrationsprojekte)
 - Sicherung der PP-Partnership im Rahmen des ergänzten Leistungsauftrages in der Periode 2013–2016;
- Prüfung einer Neupositionierung des CCEM als Art. 16 Institution:
 - Ausbau und Stärkung der Brückenfunktion des CCEM zwischen dem ETH-Bereich und den Fachhochschulen
 - Ausbau der PP-Partnership mit Kantonen und Wirtschaft
 - Ausarbeitung eines Leistungsauftrags für die Periode 2013-2016
- Prüfung und ggf. Unterstützung weiterer komplementärer Technologiekompetenzzentren sowie von bestehenden Kompetenznetzen der Fachhochschulen im Bereich Ressourcen- und Energieeffizienz sowie erneuerbare Energien.

Termin

Ab **2013** im Rahmen der Umsetzung der BFI 2013–2016

b) Unterstützung von WTT im Bereich der Energieforschung

- *Zuständigkeit:* **EVD** (Vorbereitung BFI-Botschaft 2013–2016)
- *Finanzierung:* *innerhalb* Finanzplanung BFI 2013–2016 (Förderkredite KTI)

Gegenstand

- Massive Verstärkung des WTT-Support im Bereich Energie: Innovations-Ausbildung, Informations- und Koordinationsplattformen (Veranstaltungen und WWW-Plattform), Innovations-Coaching von Firmen (inkl. Beratung von Hochschulpartner, Finanzierung, Projektinitialisierung, Export), Unterstützung von Konsortien-Bildungen;
- Kantonale Aktivitäten inkl. NRP-Aktionen einbeziehen.

Termin

Ab **2013** im Rahmen der Umsetzung der BFI 2013–2016

5.2 Fördermassnahmen über etablierte Förderinstrumente

Massnahme 3 **Konsequente Nutzung der etablierten** **Förderinstrumente (SNF und KTI)**

- a) **Einrichtung einer spezifischen NFP-Programmserie «Energieforschung»**
(Prüfrunde 2011/12)
- *Zuständigkeit:* **BR** (auf Antrag EDI)
 - *Finanzierung:* *innerhalb* der Finanzplanung BFI 2012 und BFI 2013–2016
(Förderkredite SNF)

Gegenstand

- Thematische fokussierte Ausschreibung der für 2011 geplanten NFP-Ausschreibung. Einleitung entsprechender Massnahmen durch SBF, unter Koordination namentlich mit BFE und CORE.
- Option: Lancierung einer auf die Energieproblematik orientierten NFP-*Programmserie* (= mehrere, hinsichtlich Programmziele und Forschungsthemen aufeinander abgestimmte NFP-Programme, unter anderem zu «Geothermie» und «Energiespeicherung»).
- BR-Entscheid: Frühjahr 2012, mit Vorgabe einer zwischen SNF und KTI koordinierten Programmdurchführung mit gemeinsamen Leitungsgremium (analog den kürzlich lancierten NFP's NFP 62 «Intelligente Materialien» und NFP 66 «Ressource Holz»).
- Kurzfristig könnte mit einer NFP-Programmserie «Energieforschung» ein Fördervolumen von insgesamt bis zu 50 Mio. CHF für eine Laufdauer der Programme von fünf Jahren ausgelöst werden (Forschungsbeginn 2013/14).
- Zusätzlich kann und sollte in diesem Rahmen die Anbindung einer entsprechenden NFP-Programmserie an Förderinitiativen der europäischen «Joint Programming-Initiative» geprüft werden.

Termin

Juni 2011: Grundsatzentscheid BR (spezifische NFP-Programmserie);
Umsetzung im Rahmen BFI 2012 und BFI 2013–2016

- b) **Nutzung des Instrumentes Nationale Forschungsschwerpunkte (NFS)**
- *Zuständigkeit:* **EDI**
 - *Finanzierung:* *innerhalb* Finanzplanung BFI 2013–2016 (Förderkredite SNF)

Gegenstand

- Die formelle Ausschreibung der 4. NFS-Serie erfolgt im **Juni 2011**; die Vorprüfung von Skizzen und Gesuchen erfolgt zeitlich gestaffelt durch internationale Panels unter der Leitung des SNF.
- Der abschliessende Selektionsentscheid erfolgt durch das EDI im **Herbst 2013**.

- NFS haben grundsätzlich eine Laufzeit von bis zu 12 Jahren, mit einem durchschnittlichen SNF-Beitrag von 3 bis 5 Mio. CHF per annum. Der SNF-Beitrag deckt rund 1/3 der Kosten, d.h. es erfolgen Eigenleistungen der Institutionen und Drittmittel im Umfang von rund 2/3 der jährlichen Gesamtinvestitionen.
- Die effektive Nutzung des Instrumentes NFS **setzt voraus**, dass sich die Forschungsakteure und Institutionen in geeigneter Form bottom up engagieren und sich dem kompetitiven Auswahlverfahren durch den SNF erfolgreich stellen.

Termin

Gemäss festgelegtem Zeitplan (Schlussentscheid **Herbst 2013** im Rahmen der Umsetzung der BFI 2013–2016)

c) Innovationsförderung KTI: Förderschwerpunkt Energie

- *Zuständigkeit:* **EVD**
- *Finanzierung:* *innerhalb* Finanzplanung BFI 2013–2016 (Förderkredite KTI)

Gegenstand

- Prüfung der Einrichtung eines Förderschwerpunktes Energie bei der Innovationsförderung durch die KTI;
- Stärkung der Vernetzung zwischen Hochschule und Wirtschaft (Push und Pull-Prozesse), mit dem Ziel der Generierung von Umsetzungsprojekten namentlich im Bereich der Energieeffizienz (Prozess- und Produkteoptimierung);
- Umsetzung der Massnahmen im Rahmen der *Normalförderung* durch die KTI.

Neben der kostenintensiven und institutionalisierten High-Tech Forschung gibt es viele mittelständige Unternehmen, die neue Ideen in verschiedenen Bereichen der Energiemärkte haben wie erneuerbare Energien, Wärmedämmung oder Speicherung. Diese bottom up-Ansätze sind breiter zu nutzen. Der KTI kommt hierbei eine zentrale Unterstützungsfunktion für in der Energietechnik spezialisierte mittelständige Unternehmen zu. Die Umsetzung dieser Massnahme würde demnach im Rahmen der Normalförderung durch die KTI mit den etablierten Instrumenten und gemäss den etablierten Förderregeln erfolgen

Termin

Ab **2013** im Rahmen der Umsetzung der BFI 2013–2016

5.3 Aktionsplan «Koordinierte Energieforschung Schweiz»

Massnahme 4

Erarbeitung eines Aktionsplanes «Koordinierte Energieforschung Schweiz»

- **Zuständigkeit:** BR (Auftragserteilung über zuständige Departemente EDI, UVEK und EVD)
- **Auftragsempfänger:** CORE in Zusammenarbeit mit ETH-Rat und KFH
- **Koordination:** BFE, SBF, BBT
- **Finanzierung:** zusätzlicher Forschungsbedarf; Finanzierung zu klären

Gegenstand

Die öffentlich geförderte Energieforschung der Schweiz hat nach einem Jahrzehnt der Abnahme im Jahr 2010 wieder ein Volumen von über 210 Mio. CHF/Jahr erreicht, was nominal den Werten vor der Jahrtausendwende entspricht. Die Forschungsinfrastruktur ist grossteils als sehr gut zu beurteilen. Die Hochschulen und Forschungsinstitute der Schweiz verfügen über hochqualifizierte Forscher auf dem Energiegebiet, und auch Experten aus anderen Disziplinen sind motiviert, zur Lösung des aktuellen Problems beizutragen.

Angesichts der Grösse der aktuellen Herausforderungen ist – nach Einschätzung der beigezogenen Experten – die heutige Förderung der vielversprechenden Ansätze im Zeitraum bis 2020 auf das Doppelte zu erhöhen. Der Aufbau der entsprechenden zusätzlichen Forscherkapazität an den mit Energieforschung beschäftigten Institutionen ist gemäss Einschätzung der Experten möglich und sollte nach deren Beurteilung in der Periode 2013–16 eingeleitet und nach Möglichkeit innerhalb von 8 Jahren abgeschlossen werden.

Auf diesem Hintergrund erfordert die Erarbeitung eines Aktionsplanes «Koordinierte Energieforschung» allerdings noch **zahlreiche Abklärungen und Konkretisierungen**:

1. Prioritäre Aktionsfelder und Stromangebotsvarianten

- Überprüfung der in Kap. 4.3 dargelegten Priorisierung der Aktionsfelder relativ zu den Stromangebotsvarianten 1 bis 3;
- Basis: Aktualisierte Energieszenarien (BFE).

2. Konsolidierung der Aktionsfelder

- Erarbeitung einer «Roadmap» zu jedem prioritären Aktionsfeld (siehe Kap. 4.3);
- Für jedes prioritäre Aktionsfeld ist die Frage der höchsten Potenziale und der erforderlichen Mittel weiter zu konkretisieren. Für die priorisierten Aktions- und Themenfelder sind die leistungsfähigen Forschungsträger zu benennen sowie die erforderlichen Mittel zu quantifizieren. Pro Aktionsfeld sind die jeweiligen Massnahmen demnach nach folgenden Kriterien detailliert zu prüfen und konsolidiert zu quantifizieren:
 - Potentieller Beitrag zur Zielerreichung;
 - Umsetzbarkeit in der Schweiz und Innovationschancen für einheimische Unternehmen;
 - Vorhandene Forscherkapazität;
 - Aufbau zusätzlicher Forscherkapazität.

3. Konsolidierung des Finanzbedarfs

Klärungen sind zwingend erforderlich hinsichtlich:

- *Form der Zusatzmittel/Förderung* (institutionelle Förderung; kompetitive Förderung über Förderagenturen; Mittel für die Finanzierung von Pilot- und Demonstrationsprojekten);
- Abstimmung zwischen *nationaler* Förderung und *internationaler* Förderung, d.h. Förderung im Rahmen internationaler Programme und der Beteiligung der Schweiz an diesen Programmen (EU-Rahmenforschungsprogramme und namentlich auch europäisch koordinierte Technologieentwicklungsinitiativen);
- Abstimmung zwischen *öffentlicher* Förderung und Förderung durch *Privatwirtschaft* im Bereich der Energiewirtschaft;
- Abstimmung zwischen öffentlicher Förderung durch den *Bund* und Förderung durch die *Kantone* und/oder Regionen.

Auf dieser Basis ist für jedes prioritäre Aktionsfeld hinsichtlich Finanzen ein Vergleich zwischen Ist-Zustand (heute) und Soll-Zustand (2020) zu erarbeiten und ein in der Zeit etappierter Finanzierungsplan, unter Bezeichnung der massgeblichen Stellen bzw. Finanzierungszuständigkeiten (Bund – Kantone/Regionen – Privatwirtschaft) darzulegen. Dabei ist namentlich auch der finanzielle Zusatzbedarf für Pilot- und Demonstrationsprojekte zu klären, wo Bundesmittel nach bisheriger Praxis nur subsidiär eingesetzt werden können. Bei der Erarbeitung des Aktionsplanes «Koordinierte Energieforschung Schweiz» sind die Fachhochschulen (Kompetenzen, Kapazitäten und Prioritäten) bei allen Arbeitsschritten (1. Prioritäre Aktionsfelder, 2. Konsolidierung der Aktionsfelder, 3. Konsolidierung des Finanzbedarfs) systematisch zu berücksichtigen.

Beauftragte

- Die Eidgenössische Energieforschungskommission CORE wird beauftragt, die im vorliegenden Bericht begründeten prioritären Aktionsfelder gemäss Kap. 4.3 zu prüfen (→ Abklärungsauftrag 1 und 2), bei der Erstellung des Energieforschungskonzeptes 2013–2016 einfließen zu lassen und an der für November 2011 geplanten nationalen Energieforschungskonferenz zur Diskussion zu stellen.
- Die Kompetenzzentren des ETH-Bereiches werden parallel dazu mit dem Abklärungsauftrag 2 und 3 beauftragt (Koordination ETH-Rat).
- Die Rektorenkonferenz der Fachhochschulen KFH wird eingeladen, die Abklärungsaufträge 2 und 3 im Bereich der Fachhochschulen durchzuführen (Koordination BBT).
- Auf der Basis der entsprechenden Ergebnisse erarbeitet die AG Energieforschung einen konsolidierten Aktionsplan «Koordinierte Energieforschung Schweiz» zwecks Unterbreitung an den Bundesrat im Rahmen der BFI 2013–2016.

Termine

Neben der erforderlichen Konsolidierung von diversen Sachfragen ist Massnahme 4 sowohl für die Umsetzung von Massnahme 1 wie auch für die Klärung des effektiven *zusätzlichen* Finanzbedarfs für Forschung und für die Innovationsförderung (und damit auch für die Finanzplanung der BFI 2013-2016) von hoher Bedeutung. Entsprechend eng sind die Termine zu setzen:

- **Ende 2011:** Abklärungen CORE, ETH-Rat und KFH (Berichterstattung zuhanden SBF und AG Energieforschung)
- **Frühjahr 2012:** Konsolidierter Aktionsplan «Koordinierte Energieforschung Schweiz» liegt vor, *einschliesslich* entsprechender Konsequenzen für die Finanzplanung im Rahmen der BFI 2013–2016 (Schlussredaktion).

5.4 Ressortforschung des Bundes

Massnahme 5

Sicherung von Bundesmitteln für die subsidiäre Unterstützung von Pilot- und Demonstrationsprojekten im Energiebereich

- *Zuständigkeit:* **BR**
- *Koordination* **EDI (SBF) – UVEK (BFE)**
- *Finanzierung:* *ausserhalb* der Finanzplanung der BFI 2013–2016

Gegenstand

Die im vorliegenden Bericht dargelegten Technologiefelder (Kap. 3) und prioritären Aktionsfelder für einen Aktionsplan «Energieforschung Schweiz» (Kap. 4) zeigen an mehreren Stellen einen in Zukunft mit Sicherheit wachsenden Bedarf von Pilot- und Demonstrationsprojekten. Die Beteiligung des Bundes an solchen für die Technologieentwicklung zentralen Vorhaben in der Schweiz erfolgt konsequent subsidiär in Zusammenarbeit mit Kantonen und namentlich der Privatwirtschaft. In der Regel trägt der Bund maximal 40% der Kosten von Pilot- und Demonstrationsprojekten. Die hierfür zur Verfügung gestellten Bundesmittel sind im Rahmen der Ressortforschung heute beim BFE (siehe Teil I, Kap. 2.4) eingestellt. Diese wurden allerdings seit 1992, wo hierfür rund 32 Mio. CHF zur Verfügung standen, kontinuierlich reduziert und betragen heute noch rund 4,8 Mio. CHF – eine Grössenordnung, welche angesichts des absehbaren Bedarfs kritisch überprüft werden muss (siehe *Massnahme 4*).

Auf dem Hintergrund des dargestellten Bedarfes ergibt sich ein Sach- und Zielkonflikt mit der kürzlich vom Bundesrat beschlossenen **Aufgabenüberprüfung im Bereich der Ressortforschung des Bundes**. Diese Aufgabenüberprüfung (AüP) sieht vor, im Bereich der Ressortforschung ab dem Jahre 2014 strukturelle Einsparungen von jährlich 30 Mio. CHF umzusetzen. Mit der Koordination dieser AüP zur Ressortforschung wurde das EDI bzw. das SBF (Koordination) beauftragt. Angesichts der Herausforderungen, die sich mit den neuen Entwicklungen im Bereich der Energiepolitik stellen, wird als Sofortmassnahme eine **Aussetzung der laufenden AüP für das Bundesamt für Energie (BFE)** vorgeschlagen. Das SBF müsste demnach umgehend beauftragt werden, die aktuellen Planungsunterlagen und Abklärungsverfahren zur laufenden AüP entsprechend anzupassen und im Schlussbericht zuhanden des Bundesrates (Termin Mitte 2012) die Konsequenzen dieser Massnahme auf die strukturelle Sparvorgabe im *Gesamtbereich* der Ressortforschung darzulegen.

Termin

Juni 2011: Grundsatzentscheid BR (Revision Auftrag AüP)