



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Aktionsplan Koordinierte Energieforschung Schweiz

Tony Kaiser, Beat Hotz-Hart, Alexander Wokaun

Bericht im Auftrag der Interdepartementalen Arbeitsgruppe (IDA) Energie
(EDI – EVD – UVEK)

24. April 2012

Impressum

Im Auftrag **der Interdepartementalen Arbeitsgruppe (IDA) Energie** (EDI – EVD sowie UVEK),
von der **Arbeitsgruppe Forschung (AG Energieforschung)*** mandatiertes Bericht.

* SBF(Leitung), BBT, BFE, CORE (Beisitz), CRUS, EnDK, ETH-Bereich, KFH, KTI

Projektgruppe:

Dr. Tony Kaiser

Präsident Eidgenössische Energieforschungskommission CORE
Direktor Future Technologies (Alstom Power)

Prof. Dr. Beat Hotz-Hart

Stab ETH-Rat

Prof. Dr. Alexander Wokaun,

Leiter Forschungsbereich allgemeine Energie, Paul Scherrer Institut, ETH Zürich



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:
www.sbf.admin.ch/energieforschungschweiz.htm

Inhalt:

Résumé	1
Zusammenfassung	3
I. Neue Energiepolitik – die Herausforderungen in den Bereichen Energieeffizienz, Netze, Stromproduktion und Stromspeicherung	5
1. <i>Ausgangslage – Ziele und Energiestrategie des Bundesrates</i>	5
2. <i>Die Herausforderungen im Einzelnen und Konsequenzen für die Energieforschung</i>	8
II. Aktueller Forschungsstand und Möglichkeiten für verstärkte Forschung	13
1. <i>Träger der Energieforschung in der Übersicht</i>	13
2. <i>Engagement in der internationalen Forschung</i>	14
3. <i>Aktionsfelder – Sicht der Wissenschaft</i>	15
3.1 <i>Effizienztechnologien</i>	15
3.2 <i>Energiesysteme, Netze und Elektrizitätsübertragung</i>	18
3.2.1 Problemstellung und Stand	18
3.3 <i>Energiespeicherung</i>	20
3.4 <i>Bereitstellung von Elektrizität</i>	22
3.5 <i>Sozio-ökonomische und rechtliche Aspekte</i>	25
4. <i>Energieforschung in der Privatwirtschaft</i>	28
5. <i>Nationale und internationale Abstimmung</i>	32
III. Umsetzung der Empfehlungen – die Vorschläge der Institutionen zum Kapazitätsaufbau	35
1. <i>ETH-Bereich</i>	35
2. <i>Fachhochschulen</i>	38
3. <i>Universitäten</i>	42
IV. Auswertung und Beurteilung der Aktionsfelder in der Übersicht	43
1. <i>Zusammenfassende Bewertung – Profil der Technologiebereiche</i>	43
2. <i>CORE-Bewertungen der Empfehlungen für zu verstärkende Forschungsgebiete – Kriterien für Fördermassnahmen</i>	44
3. <i>Forschungs- und innovationspolitische Schlussfolgerungen, Priorisierung unter strategischen Gesichtspunkten</i>	51
V. Empfohlene Förderaktivitäten und Instrumente	52
1. <i>Ziele des Aktionsplans</i>	52
2. <i>Förderachsen und Förderkonzept</i>	52
2.1 <i>Kapazitätsaufbau</i>	52
2.2 <i>Kompetenzzentren</i>	54
2.3 <i>WTT, Kommunikation, Diffusion</i>	58
2.4 <i>Aus- und Weiterbildung</i>	58
3. <i>Investitionen in Forschungsinfrastruktur</i>	59
4. <i>Pilot- und Demonstrationsanlagen</i>	60
5. <i>Governance</i>	62
VI. Aktionsplan – Konsolidierter Finanzplan	67
<i>Variante 1</i>	68
<i>Variante 2</i>	69
<i>Variante 3</i>	70
<i>Literatur:</i>	72
Anhang I: Mitglieder der Eidgenössische Energieforschungskommission CORE	73
Anhang II: Erläuternde Beispiele zum Potenzial der zusätzlichen Forschungsthemen zur Erreichung der Ziele der Energiepolitik 2050	74

Teilberichte als Grundlage:

Der Aktionsplan stützt sich auf die Ergebnisse und Vorschläge aus 5 Teilberichten:

1. Teilbericht ETH-Bereich
 1. a) Energy Research: Assessment of Technology Fields and Proposals for Additional Research Activities - Report of the ETH Domain to the State Secretariat for Education and Research (31. Dez. 2011) sowie
 1. b) Energieforschung: Beitrag des ETH-Bereichs zur Neustrukturierung des Energiesystems
(„Executive Summary zum Teilbericht des ETH-Bereichs“, März 2012)
2. Teilbericht CRUS
Recherche énergétique coordonnée en Suisse - Rapport partiel concernant les universités (15. Feb. 2012)
3. Teilbericht KFH
Position KFH, Koordinierte Energieforschung Schweiz (14. Dez. 2011)
4. Teilbericht „Konsolidierte Bewertung der Technologiefelder“
Energy Research: Assessment of Technology Fields - Consolidating the Assessment of the ETH Domain, the Universities of Applied Sciences and the Swiss Universities (11. Jan. 2012)
5. Teilbericht CORE
Priorisierung und Einschätzung der Vorschläge zur Energieforschung im «Aktionsplan koordinierte Energieforschung» durch die Eidgenössische Energieforschungskommission CORE (März 2012)

Diese Teilberichte werden auf Anfrage (info@sbf.admin.ch) elektronisch zugeschickt.

Résumé

La réalisation de la nouvelle stratégie énergétique de la Suisse à l'horizon 2050 – à savoir l'abandon progressif du nucléaire dans le respect des objectifs d'émission de CO₂ – pose de grands défis à l'économie, à la politique et à la société tout entière (ch. I). Selon la volonté du Conseil fédéral, la recherche énergétique doit contribuer au développement et à l'exploitation de technologies nouvelles et fournir un apport substantiel à la couverture du manque d'énergie moyennant des économies d'énergie et des techniques de substitution.

C'est dans cette optique que le Conseil fédéral a chargé le groupe de travail Recherche énergétique, via le DFI et le DETEC, de mettre au point un plan d'action «Recherche énergétique suisse coordonnée». Le plan d'action a été développé par la CORE (Commission fédérale pour la recherche énergétique) et le domaine des EPF avec l'appui d'une équipe opérationnelle, entre mai 2011 et mars 2012 (pour le mandat détaillé voir ch. I).

A partir du document de travail intitulé «Etat et perspectives de la recherche énergétique» (des 29 avril/12 mai 2012), le présent rapport fait le point de la recherche énergétique en Suisse et évalue les possibilités de la renforcer. Cette évaluation a été conduite avec l'aide du domaine des EPF, des HES et des universités. Des exemples viennent illustrer l'apport potentiel de la recherche aux solutions permettant de faire face à la pénurie d'électricité (ch. II). Les propositions émanant du domaine des EPF, des HES et des universités pour le renforcement de la recherche énergétique, notamment la création et le financement de nouvelles capacités de recherche, sont présentées au ch. III.

Le rapport comprend (ch. IV) une appréciation de synthèse des différents champs technologiques. Ces champs de développement ont été évalués par les membres de la CORE à partir d'un catalogue de critères. Le rapport en tire les conclusions en termes de politique de la recherche.

Les recommandations pour les cinq champs d'action sont:

- 1) Champ d'action 1: **Technologies d'efficacité énergétique**. Ces technologies resteront une forte priorité de recherche. Certains domaines appellent un encouragement spécifique de projets (par ex. les interventions sur les bâtiments, les processus industriels), d'autres nécessitent aussi le développement de nouvelles capacités de recherche (par ex. les technologies de la communication).
- 2) Champ d'action 2: **Distribution d'électricité / Réseaux**. Ce champ d'action nécessite à la fois un renforcement des capacités de recherche et un encouragement de projets. De meilleures connaissances, notamment dans la gestion des réseaux électriques, sont un préalable à l'intégration de grandes quantités d'électricité provenant de nouvelles sources renouvelables.
- 3) Champ d'action 3: **Stockage de l'énergie**. Ce champ appelle également un fort développement des capacités de recherche et l'encouragement de projets. Les technologies de stockage d'électricité et de chaleur seront un élément crucial dans la nouvelle politique énergétique.
- 4) Champ d'action 4: **Mise à disposition de l'électricité**. La production d'électricité à partir de la géothermie et de la biomasse nécessite un encouragement de projets autant qu'un renforcement des capacités de recherche. Pour le photovoltaïque et les centrales hydrauliques, l'effort portera sur l'encouragement de projets.

- 5) Champ d'action 5: **Aspects économiques et juridiques.** Une meilleure compréhension des effets des nouvelles conditions-cadres politiques et économiques et l'anticipation des réactions du marché aux interventions politiques seront déterminantes pour le succès de la nouvelle politique énergétique.

Les activités d'encouragement et les instruments de mise en œuvre proposés (ch. V) sont:

- a) la création de nouvelles capacités de recherche énergétique dans le domaine des EPF, dans les HES et les universités;
- b) la création de centres de compétence en recherche énergétique, moyennant la consolidation et la réorientation de centres existants et la création de centres nouveaux.

Les centres de compétence proposés seront constitués de réseaux thématiques associant des institutions de recherche publiques et des partenaires de l'industrie. Chaque centre sera doté d'une structure organique minimale et d'une cellule de gestion centralisée. Les centres pourront solliciter des financements pour leur mise en place et leur exploitation. Le rapport propose les thématiques prioritaires à couvrir par les futurs centres de compétence dans les différents champs d'action.

La part prépondérante (autour de 80%) de l'enveloppe financière requise sera allouée sur une base compétitive (à fois pour la création de capacités et pour le financement de projets). Le rapport propose trois options d'ampleur différente pour la mise en œuvre du plan d'action (nombre de nouvelles équipes de recherche, nombre de centres de compétence, volume financier). L'établissement des centres de compétence fera l'objet d'appels d'offres conformément aux priorités du plan d'action; les offres seront évalués sous une forme qui reste à déterminer.

Le rapport propose deux options de gouvernance du plan d'action. Il ne s'agit pas de créer des institutions ou d'instruments nouveaux, mais de valoriser l'expertise et les instruments existants du Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS) et de la Commission pour la technologie et l'innovation (CTI). Les deux options prévoient la constitution d'un groupe d'experts chargé notamment de coordonner les activités déployées respectivement par le FNS (PNR en recherche énergétique et un éventuel PRN Energie), la CTI (recherche énergétique) et l'Office fédéral de l'énergie (OFEN: recherche de l'administration fédérale et soutien d'installations pilotes et de démonstration).

Enfin, le rapport (ch. VI) chiffre les besoins financiers pour le renforcement de la recherche énergétique selon les trois options envisagées et par mesures d'encouragement spécifiques.

Les auteurs remercient les membres du groupe de travail Recherche énergétique et tous les collaborateurs du domaine des EPF, des HES et des universités pour leur précieux concours et l'esprit de travail très constructif.

13 avril 2012

Zusammenfassung

Die Umsetzung der neuen Energiestrategie 2050 der Schweiz – der schrittweise Ausstieg aus der Kernenergie unter Beibehaltung der CO₂-Emissionsziele – stellt grosse Herausforderungen an Wirtschaft, Politik und Gesellschaft (s. Kap. I). Die Energieforschung soll nach dem Willen des Bundesrates mit zur Entwicklung und zum Einsatz neuer Technologien führen und damit über Sparen und Substituieren einen wesentlichen Beitrag zum Abbau der Stromlücke leisten.

Deshalb erteilte der Bundesrat über die Departemente EDI und UVEK der Arbeitsgruppe (AG) Energieforschung den Auftrag, einen Aktionsplan „Koordinierte Energieforschung Schweiz“ zu erstellen, den CORE (die Eidgenössische Energieforschungskommission) und ETH-Bereich als Auftragnehmer mit einem operativen Team zwischen Mai 2011 und März 2012 erarbeitet haben (detailliertes Mandat s. Kap. I).

Aufbauend auf dem Vorbereitungspapier „Stand und Perspektiven Energieforschung“ (v. 29. April/12. Mai 2012) wird der aktuelle Stand der Energieforschung beschrieben. Mit Hilfe des ETH-Bereichs, der Fachhochschulen und Universitäten werden die Möglichkeiten zu ihrer Verstärkung evaluiert. Anhand von Beispielen wird der potenzielle Beitrag zum Abbau der Stromlücke illustriert (Kap. II). Die Vorschläge und Anträge aus dem ETH-Bereich, der Fachhochschulen und Universitäten zur Verstärkung der Energieforschung, insbesondere zum Aufbau und zur Finanzierung der zusätzlichen Forschungskapazitäten werden in Kap. III dargestellt.

Kap. IV legt eine zusammenfassende Beurteilung der Technologiebereiche vor. Die Mitglieder der CORE bewerten die zu verstärkenden Technologiebereiche anhand einer Kriterienliste. Daraus werden forschungspolitische Schlussfolgerungen gezogen.

Die Empfehlungen für die 5 Aktionsfelder sind:

- 1) Aktionsfeld 1 „**Effizienz**“: hat auch in Zukunft hohe Priorität in der Forschung. Einzelne Gebiete verlangen besondere Projektförderung (z.B. Gebäudebereich, industrielle Prozesse), andere benötigen auch den Aufbau zusätzlicher Forschungskapazitäten (z.B. Kommunikationstechnik).
- 2) Aktionsfeld 2 „**Netze/Übertragung**“: sowohl Kapazitätsaufbau als auch Projektförderung sind dringend nötig. Vertiefte Kenntnisse, insbesondere beim Management elektrischer Netze, sind eine Voraussetzung für die Integration grosser Strommengen aus neuen erneuerbaren Quellen.
- 3) Aktionsfeld 3 „**Speicherung**“: verlangt ebenfalls starken Kapazitätsaufbau und Projektförderung. Technologien zur Strom- und Wärmespeicherung werden bei der Umsetzung der neuen Energiepolitik eine zentrale Rolle spielen.
- 4) Aktionsfeld 4 „**Stromproduktion**“: Für Strom aus Geothermie und Biomasse ist neben verstärkter Projektförderung auch ein Kapazitätsaufbau wichtig. Für Strom aus Photovoltaik und Wasserkraft steht die Projektförderung im Vordergrund.
- 5) Aktionsfeld 5 „**Sozio-ökonomische und rechtliche Aspekte**“: Ein besseres Verständnis der Effekte alternativer ordnungspolitischer Rahmenbedingungen und der Reaktionen der Märkte bei politischen Interventionen ist für eine erfolgreiche Umsetzung der neuen Energiepolitik entscheidend.

Die empfohlenen Förderaktivitäten und Instrumente zur Umsetzung (Kap. V) sind

- a) Der Aufbau von mehr Kapazität zur Energieforschung im ETH-Bereich, an den Fachhochschulen und an den Universitäten,
- b) Der Aufbau und Betrieb von Kompetenzzentren („Competence Centers for Energy Research“, CCER) durch Konsolidierung, Re-orientierung bestehender und Schaffung neuer Zentren.

Die vorgeschlagenen Kompetenzzentren sind thematisch ausgerichtete Netzwerke von Hochschulinstituten und Partnern aus der Wirtschaft mit einer minimalen organisatorischen Struktur und einem zentralen Management. Sie können sich um Fördermittel zum Aufbau und Betrieb bewerben. Es werden nach Aktionsfeldern und Prioritäten gegliederte Schwerpunktthemen für Kompetenzzentren vorgeschlagen.

Der grösste Teil der erforderlichen Fördermittel (sowohl für den Kapazitätsaufbau wie auch für Projekte, total rund 80%) soll kompetitiv vergeben werden. Für die Umsetzung werden 3 Varianten vorgeschlagen mit unterschiedlichem Umfang (in der Anzahl neuer Forschungsteams, der Anzahl Kompetenzzentren und dem Finanzierungsumfang). Die Kompetenzzentren sollen entsprechend der Prioritäten des Aktionsplans ausgeschrieben („calls“) und die eingereichten Gesuche in einer noch zu definierenden Form evaluiert werden. Zur organisatorischen Umsetzung des Aktionsplans („Governance“) werden 2 Varianten vorgeschlagen. Dabei sollen keine neuen Institutionen oder Instrumente geschaffen werden, sondern vielmehr Erfahrung, Instrumente und Expertise vom Schweizerischen Nationalfonds (SNF) und der Kommission zur Förderung von Technologie und Innovation (KTI) optimal genutzt werden. In beiden Varianten wird die Bildung einer gemeinsamen Expertengruppe vorgeschlagen, die u.a. auch die parallel laufenden Förderaktivitäten des SNF (NFPs im Bereiche der Energieforschung und evtl. NCCR Energie), der KTI (Energieforschung) sowie des BFE (Ressortforschung und Unterstützung von Pilot- und Demonstrationsanlagen) koordinieren soll.

In Kap.VI schliesslich ist der konsolidierte Finanzbedarf zur Stärkung der Energieforschung für die 3 beschriebenen Varianten und nach den spezifischen Fördermassnahmen zusammengefasst.

Die Autoren danken den Mitgliedern der AG Energieforschung und allen Mitarbeitern aus dem ETH-Bereich, den Fachhochschulen und Universitäten, die zu diesem Bericht beigetragen haben, für ihre wertvolle Mitarbeit in äusserst konstruktiver Atmosphäre.

13. April 2012

1. Neue Energiepolitik – die Herausforderungen in den Bereichen Energieeffizienz, Netze, Stromproduktion und Stromspeicherung

1. Ausgangslage – Ziele und Energiestrategie des Bundesrates

Energiestrategie 2050 des Bundesrats

Der Bundesrat hat einen schrittweisen Ausstieg aus der Kernenergie beschlossen und das Parlament ist ihm im Grundsatz gefolgt. Die bestehenden Kernkraftwerke sollen noch bis maximal zum Ende ihrer sicherheitsbedingten Laufzeit (mit der angenommenen Basis von 50 Betriebsjahren) Strom produzieren, danach aber ersatzlos vom Netz genommen werden. Für die Umsetzung dieses Ziels hat der Bundesrat seine Energiestrategie 2050 vorgelegt. Damit die Neustrukturierung des Energiesystems gemäss dieser Strategie gelingen kann, braucht es sehr grosse Anstrengungen und Umstellungen: in der Wirtschaft, bei den Haushalten und den Konsumentinnen und Konsumenten, in Forschung und Entwicklung sowie in Politik und Verwaltung. Die Vorgaben des Bundesrats sind äusserst ambitiös, denn die Schweiz ist Teil der globalen Wirtschaft und Gesellschaft und muss ihre Konkurrenz- und Wettbewerbsfähigkeit erhalten, um den Wohlstand im Land weiterhin zu sichern [7-11].

Die vorgesehene schrittweise Reduktion der nuklearen Strombereitstellungskapazität hat den Fokus der politischen Diskussion auf die Elektrizität gelenkt. Da jedoch andere Ziele der Schweiz, insbesondere das Klimaziel und die dafür erforderliche CO₂-Reduktion, unverändert gültig sind, muss die Strategie zwingend das Energiesystem als Ganzes umfassen (s. Abb. 1). Wechselwirkungen bestehen in beiden Richtungen. Die Dekarbonisierung des Haushaltssektors und insbesondere die starke Reduktion fossiler Raumheizungen haben einen Mehrbedarf an Elektrizität für den Betrieb von Wärmepumpen zur Folge. Wird umgekehrt ein Teil der Stromnachfrage mit fossilen Gaskraftwerken oder WKK-Anlagen gedeckt, so resultiert daraus ein zusätzlicher CO₂-Ausstoss. Effizienzgewinne im anteilmässig wachsenden Mobilitätssektor können die CO₂-Bilanz entlasten; werden sie teilweise durch Elektrifizierung erzielt, so verursachen sie wiederum eine erhöhte Elektrizitätsnachfrage.

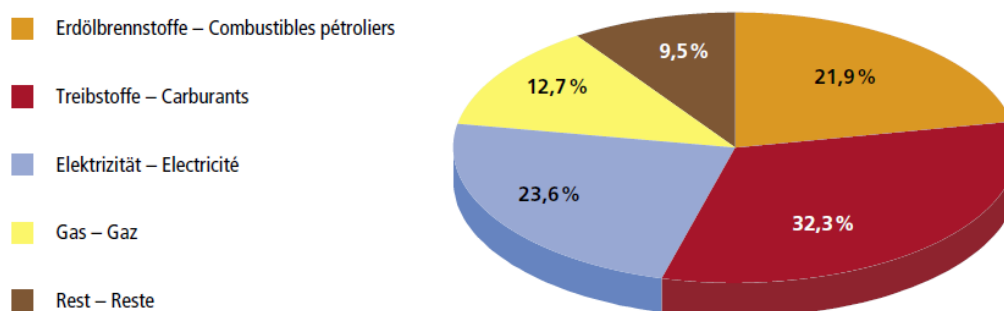


Abb. 1: Aufteilung des Endverbrauchs (912 PJ/Jahr) nach Energieträgern (Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2010)

Die Energiestrategie und der vorliegende Aktionsplan schliessen deshalb den Gebäudebereich und den Mobilitätssektor explizit ein. Erforderlich ist ein konsistentes Ensemble von Handlungsfeldern und Massnahmen, welche direkt oder indirekt zum

Erreichen der Ziele von Versorgungssicherheit und Klimaschutz unter den gegebenen Randbedingungen beitragen.

Stromproduktion 2010 in der Schweiz

2010 wurden in der Schweiz brutto 66 TWh Elektrizität erzeugt mit einem Mix aus 56 % Wasserkraft (Lauf- und Speicherwerke sowie hydraulische Erzeugung) und 38 % Kernenergie. Der Rest stammt aus konventioneller thermischer Produktion sowie aus Kehrlichtverbrennungs- und Wärme-Kraftkopplungs-Anlagen (WKK). Der erneuerbare Anteil hiervon (ohne Wasserkraft) beträgt 1,3 TWh (2 %). Photovoltaik und Windenergie tragen je nur rund 0,1 % zur Stromproduktion bei.

Steigender Stromverbrauch

2010 betrug der inländische Endverbrauch brutto 60 TWh. Dieser soll bei einem leichten Anstieg der Stromnachfrage in den kommenden Jahren gemäss Strategie des Bundesrats bis 2050 auf 56 TWh/a abgesenkt werden (inklusive Ausbau der Pumpspeicherung auf 62 TWh/a). Dies entspricht gegenüber dem BFE (Bundesamt für Energie)-Szenario „weiter wie bisher“ mit einer Eigennachfrage von 83 TWh im Jahr 2050 einer Reduktion durch **Einsparungen** von 27 TWh, d.h. rund 30 %, und einer Substitution der Kernenergie im Umfang von mindestens 20 TWh, unter Beibehaltung der klimapolitischen Ziele. Weil es dabei auch um den Ersatz von weitgehend CO₂-freiem Strom und von Bandenergie geht, stellt diese **Substitution** nicht nur wegen ihrer absoluten Grösse eine grosse Herausforderung dar. Natürlich sind Variationen zwischen Einsparungen und Substitution möglich.

Prioritäten der Energiestrategie des Bundesrats (Entscheid vom 25.5.2011):

- Einsparungen durch Erhöhung der Energieeffizienz
- Ausbau der Wasserkraft (von 37 TWh 2010 um 3 bis 4 TWh auf 40 TWh bis 2050, inkl. Ausbau der Pumpspeicherung um ca. 10 TWh bis 2050)
- Ausbau der übrigen erneuerbaren Elektrizitätserzeugung (von 1,3 TWh 2009) bis zur Ausschöpfung des Potenzials von 22 TWh bis 2050
- Deckung des Restbedarfs in dem Ausmass, als erneuerbare Elektrizität nicht oder noch nicht hinreichend zur Verfügung steht, durch zusätzliche fossile Stromproduktion – primär durch Wärme-Kraft-Koppelung (WKK, von 0,8 TWh 2010 auf 8,2 TWh bis 2050), sekundär durch Gaskombikraftwerke – sowie durch Importe.

Insgesamt soll die Endnachfrage nach Elektrizität dank Erhöhung der Energieeffizienz auf unter 60 TWh/a (mit Pumpspeicherung auf 62 TWh/a) beschränkt bleiben, auch wenn ein Bevölkerungswachstum auf 9 Millionen Einwohnerinnen und Einwohner sowie ein Wirtschaftswachstum von 50 % angenommen werden. Die Endnachfrage nach Elektrizität soll im Endausbau durch rund 40 TWh/a aus Wasserkraft plus rund 22 TWh/a aus den übrigen erneuerbaren Energien gedeckt werden. Dies sind massive Änderungen.

Die Schweizer Kernkraftwerke können bis zum Ende ihrer Lebensdauer betrieben werden. Da sie in den vergangenen Jahren laufend nachgerüstet wurden und auch in den kommenden Jahren sicherheitstechnische Nachrüstungen vorgesehen sind, rechnet der Bundesrat mit einer Lebensdauer von 50 Jahren. Somit würden die älteren Werke (mit einem Drittel der Stromproduktion aus Kernenergie) ab ca. 2020, die neueren Anlagen bis spätestens etwa 2035 vom Netz gehen. Der schrittweise

Ersatz und die notwendige Effizienzsteigerung müssen also schwergewichtig zwischen 2020 und 2035 erreicht werden. Da die finalen Zielwerte jedoch kaum vor 2050 und vielleicht auch gar nicht in diesem Ausmass zu realisieren sind, werden für eine Übergangsphase zusätzliche Stromimporte (von zu definierender Qualität) und/oder der Bau von Gas-Kombikraftwerken notwendig sein. Diese Kraftwerke bringen für eine längere Übergangsphase Sicherheit und Flexibilität in die Stromversorgung, bedingt durch ihre Amortisationszeit und Lebensdauer von etwa 20 Jahren. Der CO₂-Ausstoss wird dadurch aber vergrössert und muss entweder durch CO₂-Abtrennung und Lagerung minimiert oder anderweitig entsprechend kompensiert werden.

Forschung und Umsetzung der Ergebnisse

Forschung und Entwicklung, die Umsetzung der Ergebnisse und damit die ganze **Innovationskette**, sind in zeitlichen Phasen zu sehen. Für die Zeit von heute bis 2020 werden die Beiträge zur Umsetzung der neuen Energiepolitik zum grossen Teil von einer beschleunigten Markteinführung der heute bereits vorhandenen Technologien bestimmt. Parallel dazu ist bis 2020 die Energieforschung zu stärken und durch zusätzliche Forschungskapazität in jenen Gebieten aufzubauen, deren Resultate mittelfristig für die Periode 2020 bis 2035 umgesetzt werden können. F&E sollte auch langfristig einen wesentlichen Beitrag zur Sicherung der Energieversorgung liefern können (s. Abb. 2)

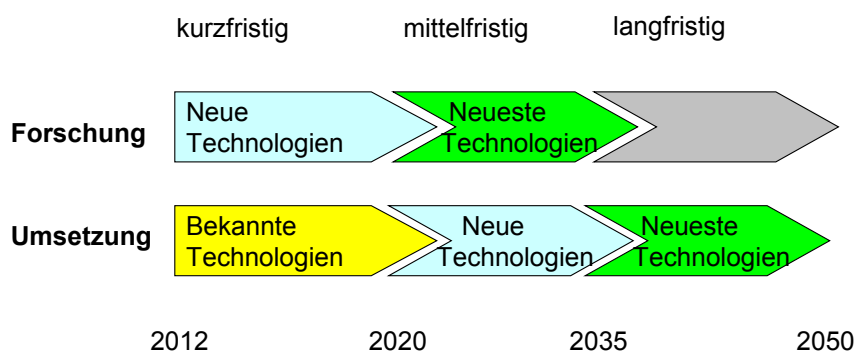


Abb. 2: Schematische, stark vereinfachte Darstellung der Abfolge von Forschung und Markteinführung neuer Technologien: Die Forschung braucht einen Vorlauf von 5-15 Jahren, um für die Umsetzung der Energiepolitik wirksam zu werden.

Gemäss Bundesrat soll die **Energieforschung** mittel- und langfristig zu einer sicheren, nachhaltigen Energieversorgung und zur Stärkung des Technologiestandortes Schweiz beitragen. Es wird also ein substantieller Beitrag zu einer erfolgreichen Umsetzung der neuen Energiepolitik erwartet. Die Forschung soll bei der Schaffung der notwendigen technischen und sozioökonomischen Voraussetzungen eine wesentliche Rolle spielen, d.h. neue und verbesserte Technologien hervorbringen sowie bessere Kenntnisse über deren schnelle Markteinführung und Marktdiffusion bereitstellen. Daraus leitet sich das Mandat ab, das gemäss Bundesratsbeschluss vom 25. Mai 2011 erteilt worden ist:

Mandat für die Erarbeitung eines konsolidierten Aktionsplanes «Koordinierte Energieforschung Schweiz» [12]

Gestützt auf die im Bericht der Arbeitsgruppe (AG) Energieforschung „Stand und Perspektiven Energieforschung“ im Rahmen der IDA Energie vom 29. April / 12. Mai 2011 zusammengetragenen Fakten (Teil I) und Expertisen hinsichtlich Herausforderungen und Forschungsbedarf im Bereich der Energie (Teil II) kam die AG zu einer Reihe von Massnahmen und Empfehlungen. Darauf abgestützt, hat der Bundesrat gemäss BRB vom 25. Mai 2011 betreffend Energiestrategie des Bundesrates nach Fukushima (Entscheid Punkte 3 und 6) folgenden Auftrag erteilt:

Konsolidierung des im Bericht der AG Energieforschung vom 12. Mai 2011 skizzierten Aktionsplanes «Koordinierte Energieforschung Schweiz»: Abstimmung zwischen den Aktionsfeldern mit den Stromangebotsvarianten (Energieszenarien); Erarbeiten von Roadmaps für die prioritären Aktionsfelder; Klärung und Konkretisierung des Finanzbedarfs. Dabei sei namentlich auch der finanzielle Zusatzbedarf für Pilot- und Demonstrationsprojekte zu klären.

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

2. Die Herausforderungen im Einzelnen und Konsequenzen für die Energieforschung

In Anlehnung an den Bericht der AG Energieforschung vom 12. Mai 2011 werden im Folgenden fünf Bereiche resp. Aktionsfelder unterschieden.

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

Energieeffizienz

Wie Tabelle 1 für die Schweiz bis 2050 zeigt, sollen alle Sektoren – Privathaushalte, Dienstleistungen, Industrie und Verkehr – erhebliche Beiträge zur Effizienzsteigerung und zum Energiesparen leisten: bei den Privathaushalten und dem Verkehr wird trotz Wachstum ein Sparpotenzial je ca. 50% geschätzt; bei den Sektoren Dienstleistungen und Industrie je ca. 20%.

Sektor	Nachfrage			Veränderungen 2050/2000		Veränderung 2050/2009		Anteil an der Gesamtnachfrage		
	2000	2009	2050	abs. (PJ)	rel. (%)	abs. (PJ)	rel. (%)	2000	2009	2050
Privathaushalte	240.21	252.28	127.59	-112.62	-46.88%	-124.69	-49.43%	30.67%	31.01%	25.87%
Dienstleistungen	139.42	144.75	111.63	-27.79	-19.93%	-33.12	-22.88%	17.80%	17.80%	22.64%
Industrie	165.33	167.64	136.74	-28.59	-17.30%	-30.91	-18.44%	21.11%	20.61%	27.73%
Verkehr	238.26	248.75	117.15	-121.11	-50.83%	-131.60	-52.91%	30.42%	30.58%	23.76%
Total	783.22	813.42	493.10	-290.12	-37.04%	-320.32	-39.38%			

Tab. 1: Endenergienachfrage 2050 in der neuen Energiepolitik (3.6 PJ = 1TWh), Tabelle aus [10].

Diese Einsparungen sollen namentlich mit Hilfe neuer Technologien bei der Raumwärme, der Prozesswärme, der Beleuchtung, der Klimatisierung von Gebäuden und in der Informations- und Kommunikationstechnik realisiert werden. Bei erfolgreicher Nutzung dieser Potenziale wird erwartet, dass die Elektrizitätsnachfrage von 207 PJ (oder 57.5 TWh) in 2009 bis 2050 auf 203 PJ (oder 56.5 TWh) sogar leicht (um 2%) abnimmt (Tab. 2).

	2000	2009	2035		2050	
			„Weiter wie bisher“	„Neue Energiepolitik“	„Weiter wie bisher“	„Neue Energiepolitik“
Raumwärme	18.5	21.0	22.2	17.2	22.2	14.1
Warmwasser	8.8	8.6	9.2	5.5	9.1	3.1
Kochen	4.2	5.2	5.3	5.3	5.2	5.1
Prozesswärme	21.1	21.9	32.1	22.5	35.1	21.6
Beleuchtung	18.5	20.1	22.5	15.1	23.5	12.7
Klima, Lüftung & Haustechnik	17.8	20.8	31.5	22.0	34.9	13.2
I&K, Unterhaltungsmedien	3.9	4.5	8.0	6.2	14.0	8.8
Antriebe, Prozesse	82.9	89.4	107.2	90.0	112.9	92.7
Verkehr	9.5	11.0	16.8	24.5	25.0	28.1
sonstige	3.4	4.5	3.9	2.3	3.2	3.1
Total	188.5	206.9	258.6	210.6	285.1	202.6

Tab. 2: Elektrizitätsnachfrage nach Verwendungszweck, Szenario "weiter wie bisher" und "Neue Energiepolitik" in PJ (3.6 PJ = 1 TWh), Tabelle aus [10].

Netze

Die Aufgabe der elektrischen Netze ist das Angebot von Strom unter den Aspekten Versorgungsqualität, Versorgungssicherheit, Verfügbarkeit und Kosten. Die traditionellen Netze sind charakterisiert durch den lastgeführten Betrieb mit unidirektionalen Lastflüssen über die Spannungsebenen hinweg. In den für die neue Energiepolitik notwendigen Netzen wandelt sich dieser zu einem durch bidirektionale und stark volatile Leistungsflüsse und multidirektionale Informationsflüsse bestimmten Betrieb.

Bei der wachsenden Zahl dezentraler Kraftwerke, die auf tieferen Spannungsebenen erneuerbaren Strom entsprechend dem Angebot (fluktuierend und nicht bedarfsabhängig) ins Netz einspeisen, wird die Steuerung der Kette „Produktion – Netze – Verbrauch“ wesentlich anspruchsvoller. Ein Umbau Richtung „smart grids“ mit den nötigen physikalischen Komponenten („smart meters“, lokale Energiespeicherung etc.) verlangt nicht nur zusätzliche Investitionen, sondern auch neue Technologien und neues Know-how, um mit dem geplanten Strom aus neuen Erneuerbaren von 22.5 TWh (heute sind es 1.3 TWh^{*}) die Versorgungssicherheit, die Regelenenergie und die Reservekapazität sicherstellen zu können. Auch die Transportleistung der Netze in der Schweiz (Hochspannungsnetz) muss ausgebaut und stärker ins europäische Netz integriert werden. Weiter muss auch die Speicherkapazität auf allen Spannungsebenen vergrössert werden, und Lastflussoptimierungen haben auf allen Spannungsebenen zu erfolgen [11].

Der angestrebte Umbau des Energiesystems erfordert nicht partikuläre Lösungen, sondern ein **kohärentes Design des gesamten Energiesystems**, um die möglichen Synergiegewinne zu realisieren. Diesbezügliche Ansätze sind mit hoher Priorität weiterzuentwickeln. Die Aktivität "Netze" im engeren Sinn umfasst heute nur einen kleinen Anteil (2%) der Energieforschung. Die Forschungsaktivitäten „Netze“ sollten in den kommenden Jahren zusammen mit allen funktional damit verbundenen Gebieten zu einem weiter gefassten Aktionsfeld mit dem notwendigen, grösseren Gewicht gebündelt und verstärkt werden. Dabei ergeben sich zusätzlich starke Synergien insbesondere mit den Bereichen der Speichertechnologien und der Gesamtsystem-Optimierung.

Stromspeicherung

Die durchlaufende Grundlast der Schweiz beträgt ca. 5 GW; die maximale inländische Last liegt im November/Dezember bei 10.5 GW. Ein hoher Anteil der Grundlast wird heute durch die 3.2 GW Leistung der Kernkraftwerke gedeckt. Die Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke verfügen über ca. 9.5 GW zusätzliche, regelbare Leistung (davon sind 1.4 GW Pumpspeicherleistung).

Bei den für 2050 geplanten hohen Beiträgen an fluktuierender Spitzenleistung von Wind (2 GW) und Photovoltaik (PV) (9.5 GW) müssen Arbeit (kWh) und Leistung (GW) separat betrachtet werden. Der PV-Strom würde an einigen sonnigen Sommertagen fast die Landes-Höchstlast von 8-8.5 GW decken (oder sogar übersteigen). Im Winter (nationale 18h-Spitze von 10-10.5 GW) steht diese Leistung sicher nicht zur Verfügung. Diese Konstellation verlangt sowohl saisonale wie auch kurzzeitige, zentrale und dezentrale Energiespeicher. Zusätzlich sind für Windstrom

* Einschliesslich des erneuerbaren Anteils der Stromproduktion aus Kehrichtverbrennungsanlagen

90% und für PV-Strom 99% der installierten Leistung als Backup-Kapazität notwendig (z.B. mit Gasturbinen).

Die Schweizer Speicherseen, die heute vorwiegend als saisonale Speichersysteme dienen, haben eine Kapazität von 8.5 TWh und werden heute im Wesentlichen durch Schneeschmelze und Niederschläge gefüllt. Die Füllmenge durch Pumpen ist wegen der kleinen Unterseen vergleichsweise klein. Eine Füllung durch überschüssigen Sonnen- und Windstrom müsste es aber erlauben, Wassermengen für 5-6 TWh vom Sommer in den Winter „umzuspeichern“. Entsprechende Kapazitäten von Unter- und Oberseen (zusätzlich zur vorhanden Lauf- und Speicherwasser-Stromerzeugung) müssen also zu Verfügung gestellt werden. Mit den geplanten Erweiterungen Linth-Limmern (1000 MW) und Nant-de-Drance (900 MW) werden ab 2016 3300 MW (3.3 GW) Pumpspeicherkapazität zur Verfügung stehen. Weitere Projekte (Grimsel 3, Lago Bianco) sind in Abklärung. Konsequenzen für die Energieforschung ergeben sich daraus, dass dezentrale Energiespeicher, die in einem Stromsystem mit zentralen und (zahlreichen) dezentralen Stromerzeugern für einen zuverlässigen Netzbetrieb ebenfalls nötig sind, heute nicht existieren.

Stromproduktion

In der Stromangebotsvariante 2 geht die „neue Energiepolitik“ davon aus, dass 2035 ca. 12 TWh Elektrizität aus erneuerbaren Energien (ohne Wasserkraft) und 2050 22.5 TWh (2009: 1.3 TWh¹) erzeugt werden. Davon entfallen 2050 10.5 TWh auf Photovoltaik, 4 TWh auf Windanlagen und 4.4 TWh auf (petrothermale) Geothermie; der Rest stammt aus gekoppelter Biomassenutzung. Die Wasserkraft – inklusive Strom aus Pumpspeicherwerken - soll mit 47.5 TWh (2009: 38 TWh) zum Elektrizitätsangebot beitragen.

Für die petrothermale Geothermie ist die wichtigste Herausforderung in Forschung und Entwicklung (und damit auch für die Technik) der Nachweis, dass Wärmereservoirs in mehreren Kilometern Tiefe zuverlässig erschlossen werden können. Für die Photovoltaik ist es das Kosten/Nutzen-Verhältnis der Photozellen; das bedeutet eine Erhöhung des Wirkungsgrades und/oder eine starke Senkung der Kosten sowohl für die Zellen wie für die Anbindung ans Stromnetz. Bei der Stromproduktion aus Gaskraftwerken liegt die Herausforderung, neben einer kontinuierlichen Steigerung des Wirkungsgrades, in der CO₂-Entfernung und Lagerung. Abklärungen zu möglichen Lagerstätten in der Schweiz sind erst wenige durchgeführt worden; Fragen der Risiken resp. der Sicherheit sind noch weitgehend ungeklärt. Zur effizienten und sauberen Verwertung von Biomasse sind neue Verfahren zur Aufbereitung nötig.

¹ Stand 2009, gemäss Elektrizitätsstatistik 2010, letzte Seite, einschliesslich des erneuerbaren Anteils des Strom aus Kehrrechtverbrennungsanlagen.

Erzeugung - Hydrologisches Jahr	2000	2009	2020	2035	2050
ungekoppelt					
Photovoltaikanlagen	11.04	17.60	534.78	2'929.47	10'397.00
Windenergieanlagen	2.98	12.40	583.60	1'492.08	4'000.00
Biomasse (Holzgas)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Geothermie	0.00	0.00	276.16	1'084.27	4'378.29
gekoppelt					
Biomasse (Holz)	10.47	34.23	470.75	1'105.00	1'105.00
Biogas	12.02	16.90	605.37	1'430.00	1'430.00
ARA	93.99	107.20	129.35	300.00	300.00
KVA (50% EE-Anteil)	642.10	728.93	438.44	997.80	997.80
Deponiegas	44.25	28.51	0.00	0.00	0.00

Tab. 3 Szenario "Neue Energiepolitik", Elektrizitätserzeugung aus erneuerbaren Energien, in GWh/a, hydrologisches Jahr [10]; Tabelle aus [10].

Umsetzung der neuen Technologien

Für neue Energietechnologien kann die Gesellschaft Anteile der Ausreifungskosten degressiv übernehmen. Langfristig müssen sie marktfähig werden. Der Umbau des Energiesystems bewirkt branchenspezifisch Chancen, Vorteile und Nachteile und sektorielle Verschiebungen. Um eine erfolgreiche Energiepolitik zu betreiben, ist ein besseres, klareres Verständnis der Wirkungsweise (Vor- und Nachteile) von bekannten Subventions- und Fördermodellen und neuen Alternativen zentral. Die Politik braucht eine bessere Basis, um zwischen betriebswirtschaftlichen Vorteilen von Interessengruppen und den volkswirtschaftlich zu erzielenden Vorteilen unterscheiden zu können. Die Umsetzung der neuen Energiepolitik muss mit geeigneten Massnahmen wie Normen, Abgaben, Anreizsystemen und Information / Ausbildung unterstützt werden. Für die verschiedenen Zielgrössen müssen die geeigneten Instrumente identifiziert, entwickelt und angewendet werden.

Dafür sind Kenntnisse über die Auswirkungen der Energieversorgungssysteme auf Umwelt und Gesellschaft notwendig. Letztlich ergeben sich so wichtige Grundlagen für Entscheide zur nachhaltigen Weiterentwicklung der Energiesysteme, zur Wahrung des ökologischen Gleichgewichts und zur Akzeptanz entsprechender Massnahmen in der Gesellschaft. Hier will und muss die ökologisch orientierte Energieforschung wesentliche zusätzliche Beiträge leisten. Das Investitionsverhalten von Unternehmen und Haushalten und Faktoren, welche die Akzeptanz einer Technologie beeinflussen, müssen dank verstärkter sozio-psychologischer Forschung viel besser verstanden werden. Die Argumente betreffend technischer Vorteile einer Technologie genügen alleine nicht; die Umsetzung scheitert oft an fehlender Akzeptanz.

Im nächsten Kapitel wird die „Beurteilung und Bewertung des Bedarfsportfolios“, wie sie im Bericht „Stand und Perspektiven der Energieforschung“ vom 12. Mai 2011 für die 5 Aktionsfelder vorgenommen worden ist, zusammengefasst und mit den Kommentaren dazu aus den Teilberichten der Institutionen (ETH [1,2], FH [3], Universitäten [4]) ergänzt. Gleichzeitig werden Empfehlungen der Forschergemeinde für eine verstärkte Energieforschung zur Unterstützung der neuen Energiepolitik formuliert. Die Empfehlungen sind nach der Erwartung ihrer Wirkung zeitlich geordnet, zumindest dort, wo es sinnvollerweise möglich ist. Eine „mittelfristige Wirkung“ bedeutet, dass die Resultate der Forschung über die Umsetzung der Energiepolitik zwischen 2020 und 2035 eine Wirkung haben können. „Langfristig“ bedeutet eine Wirkung erst nach 2035. Die Forschung an den neuen Technologien muss aber schon heute beginnen; sie braucht in vielen Fällen einen zeitlichen Vorlauf von 5 bis 15 Jahren (s. auch Abb. 2).

II. Aktueller Forschungsstand und Möglichkeiten für verstärkte Forschung

1. Träger der Energieforschung in der Übersicht

Der aktuelle Stand der Energieforschung in der Schweiz ist im Bericht „Stand und Perspektiven Energieforschung“ der Arbeitsgruppe Forschung (AG Energieforschung) im Rahmen IDA Energie vom 29. April/12. Mai 2011 ausführlich beschrieben² [12]. Die folgenden Tabellen fassen die wichtigsten Zahlen zusammen.

Tabelle 4 gibt einen Überblick über den Status Quo der Energieforschung (BFE-Statistik der von der öffentlichen Hand finanzierten Projekten zur Energieforschung und Selbstdeklaration der Institutionen). Der ETH-Bereich ist der grösste Akteur in der Energieforschung. Der Aufwand des ETH-Bereichs (ohne Overhead-Kosten) in 2011 ist mit 190 MCHF deutlich grösser als 2009 in der BFE-Statistik 2009 (156 MCHF) ausgewiesen. Diese Steigerung kann mit grosser Wahrscheinlichkeit auf eine bereits in den Jahren 2010 und 2011 durch interne Umverteilung und zusätzlich akquirierte Mittel aus der Industrie (via ETH-Foundation) stark geförderte Energieforschung zurückgeführt werden. Werden die Overhead-Kosten (ca. 60%) mitberücksichtigt, beträgt der Aufwand des ETH-Bereichs 306 MCHF.

	BFE-Statistik 2009	Selbstdeklaration 2009	Selbstdeklaration 2011
Institution	MCHF	MCHF	MCHF
ETH-Bereich	156		190*
Fachhochschulen	17	35.5**	42**
Universitäten	7.2		

* reflektiert das Wachstum der Energieforschung im ETH-Bereich (ohne Overhead-Kostenanteil)

** enthält Direktzahlungen der Industrie sowie nicht explizit ausgewiesene Kantonsanteile und Anteile von Overheadkosten

Anmerkung: Die anderen Zahlen (freie Felder) konnten nicht erhoben werden.

Tab. 4: Aufwandabschätzung für Energieforschung - BFE-Statistik und Selbstdeklaration der Institutionen

An den Fachhochschulen beträgt der Aufwand für 2009 aus eigener Schätzung 35,5 MCHF, und liegt gegenüber der BFE-Statistik doppelt so hoch. Die Selbstdeklaration für 2001 beträgt 42 MCHF. Der Unterschied erklärt sich durch Beiträge wie Direktzahlungen der Industrie, Kantonsanteile und Anteile von Overheadkosten.

Overhead-Kosten sind definiert als Beitrag, der für die anfallenden indirekten Kosten einer Institution bezahlt wird. Der Overhead beträgt einen gewissen Prozentsatz der zugesprochenen Forschungsbeiträge. **Gemeinkosten** sind Kosten, die ein Forschungsprojekt verursacht. Dazu zählen Infrastrukturkosten wie Amortisation von Mobiliar und Material, Schuldzinsen, Unterhalt (Hauswart, Elektrizität und Heizung, Reparaturen, Versicherungen) und Verwaltungskosten wie Kosten für Zentrale Stellen, Gremien, Informatik, Buchhaltung, Abteilungsverwaltung, Dekanate, Sekretariate, Büromaterial, etc. Welche indirekten Kosten von Forschungsförderungsorganisationen als Overhead vergütet werden, hängt von den Organisationen und vom Land ab. Vgl. dazu Schweizerische Eidgenossenschaft, Eidgenössisches Departement des Innern EDI, Staatssekretariat für Bildung und Forschung SBF (2007): Overhead Einführung des Overhead beim Schweizerischen Nationalfonds SNF, Bericht zu Händen der Kommissionen für Wissenschaft, Bildung und Kultur WBK, S. 4.

² Weitere Ausführungen zu den F&E-Kapazitäten finden sich in den Teilberichten der Institutionen: ETH-Bereich [1.2], Fachhochschulen [3] und Universitäten [4].

Der Schwerpunkt der öffentlich finanzierten Energieforschung (ohne Industrieanteile) liegt mit 80% im ETH-Bereich; die Fachhochschulen sind mit 10% beteiligt. Der Rest verteilt sich auf Universitäten und andere, nicht näher aufgeführte, Stellen.

Die Kosten Energieforschung der öffentlichen Hand und die Verteilung auf die Institutionen und 5 Aktionsfelder streuen stark [12]. Die Forschung zur Stromproduktion (Aktionsfeld 4) beansprucht mit über 50 % den grössten Anteil, gefolgt von der Forschung zur Energieeffizienz (Aktionsfeld 1) mit ca. 30 %. 9 % betreffen ökonomische und juristische Fragestellungen (Aktionsfeld 5), während Fragen zur Energiespeicherung (Aktionsfeld 3) und zur Übertragung (Aktionsfeld 2) mit 5 % resp. 2 % nur einen kleinen Teil beanspruchen.

Ein Überblick über die Energieforschungs-Kapazität in der Schweiz im Jahr 2011 ergibt folgendes Bild*:

	Professuren	Wissenschaftl. Mitarbeiter	Techn. Mitarbeiter.
ETH- Bereich:	75	1100	210
Fachhochschulen	25	200	25

* Abgeleitet aus der Kapazität für die Energieforschung, die für die ETH und die Fachhochschulen (FH) in einer Umfrage erfasst worden ist. Die Daten sind als „full-time-equivalents“ präsentiert, d.h. es sind mehr als 75 (ETH) resp. 25 (FH) Professoren in der Energieforschung tätig, aber nicht alle zu 100%:

2. Engagement in der internationalen Forschung

Einen weiteren Hinweis auf das Engagement der Schweiz in der Energieforschung und damit verbundene Stärken und Schwächen gibt die *Teilnahme der Schweiz am 7. EU-Rahmenprogramm (FRP) im Bereich Energie*. Für Energieforschung hat die EU selber 2007-2011 gesamthaft rund 800 MEUR an Fördergeldern ausgegeben. Die Schweiz hat sich zwischen 2007 bis 2010 im Umfang 52.8 MCHF oder 36.1 MEUR (Stand 15. Juni 2011) an diesen Forschungsaktivitäten beteiligt. Ein Abgleich des relativen Engagements der EU und der Schweiz nach Technologiebereichen ergibt folgenden Befund (vgl. Abb. 3):

Die Schweiz weist ein im Vergleich mit dem EU-Schnitt höheres Engagement in folgenden Technologiebereichen auf:

- Erneuerbare Elektrizität: Photovoltaik, konzentrierte Solarenergie
- CO₂ Abscheidung und Lagerung
- Energiepolitik

Demgegenüber zeigt die Schweiz ein im Vergleich mit der EU unterdurchschnittliches Engagement (bis hin zu völliger Absenz) in den Technologiebereichen auf:

- Intelligente Energienetze
- Erneuerbare Energie zu Heiz- und Kühlzwecken

Die Anteile der Institutionen der Schweiz an der Energieforschung im FRP betragen (in Prozenten des Totals von 36.1 MEUR): ETH-Bereich 37%, Industrie 29%, KMU 24%, FH 3%, Universitäten 2%.

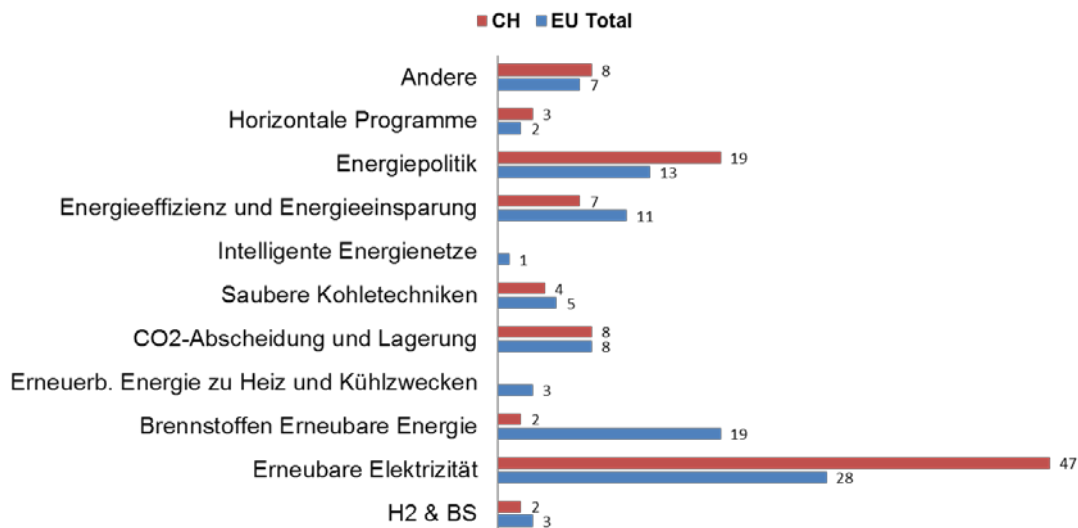


Abb. 3: Teilnahme der Schweiz am FRP im Bereich Energie; Struktur in Prozenten der absoluten Beträge, Stand Juni 2011; EU: 800 MEUR; CH: 36.1 MEUR. Quelle: Projektdatenbank des SBF (laufend aktualisiert und korrigiert).

Gemessen an der grossen zukünftigen Bedeutung der Aktionsfelder 2 und 3 (Netze / Übertragung und Speicherung) gibt das geringe Engagement der Schweiz im 7. EU-RP zumindest einen Hinweis auf mögliche Defizite. Besondere Anstrengungen in diesen Themenbereichen von Seiten der Schweiz dürften notwendig sein.

3. Aktionsfelder – Sicht der Wissenschaft

Der Teilbericht „Konsolidierte Bewertung der Technologiefelder“ [5] behandelt den aktuellen Stand der Energieforschung in der Schweiz eingehend und zeigt chancenreiche Felder für künftige F&E-Anstrengungen auf. Im Folgenden werden die 5 Aktionsfelder aus der Sicht der Wissenschaft jeweils nach der folgenden Gliederung kurz beschrieben: (1) Problemstellung und Stand, (2) Neue und zu stärkende Forschungsgebiete mit mittelfristiger und langfristiger Wirkung und (3) Potenzial zur Problemlösung – Beitrag zur Umsetzung der „neuen Energiepolitik“.

3.1 Effizienztechnologien

3.1.1. Problemstellung und Stand

Um eine sichere Energieversorgung der Schweiz zu gewährleisten, muss in erster Linie bei der Nachfrage angesetzt werden. Effizienzsteigerung reduziert – bei gleicher Energiedienstleistung – den Endenergiebedarf und hilft, den Stromverbrauch zu stabilisieren. Die aktuellen Forschungsanstrengungen im Bereich Effizienztechnologien konzentrieren sich auf

- a) effiziente elektrische Antriebe (Motoren, Ventilatoren),
- b) thermische Isolation von Gebäudehüllen,
- c) effiziente Verbrennung fossiler Energie (Motoren, Gasturbinen, Brennstoffzellen),
- d) Stromverbrauch von Informations- und Kommunikationssystemen,
- e) Stromverbrauch von Kälteanlagen und Beleuchtungskörpern.

Der heutige Anteil der Effizienzforschung an der gesamten Energieforschung in diesen Bereichen beträgt rund 30%.

Zukünftige Forschungsgebiete mit grossem Potenzial zur Effizienzsteigerung verlangen vermehrt systemische Ansätze und sollten sich zusätzlich auf folgende Themen konzentrieren:

- a) in der Gebäudetechnik auf neue „low-CO₂“-Konzepte und Integration erneuerbarer Energien,
- b) auf energieeffiziente industrielle Prozesse,
- c) effiziente Informations- und Kommunikationstechnik und
- d) einen effizienten Privatverkehr.

Um diese Effizienz- und Sparpotenziale zu realisieren, sind – zusammen mit den geeigneten politischen und Umsetzungsanstrengungen – die folgenden verstärkten Anstrengungen in der Energieforschung nötig.

3.1.2 a Empfehlungen für neue oder zu stärkende Forschungsgebiete mit mittelfristiger Wirkung

- a) Effizientere Gebäudetechnik für neue und bestehende Gebäude:
 - Neue Konzepte für „low-energy / low CO₂-Buildings“, inklusive Plusenergie-Häuser und Renovationskonzepte
 - Komponenten und Systeme zur Nutzung solarer Wärme für Heizung, Warmwasser und Kühlung
 - Gebäudeautomation, Sensoren und Steuerung zur Vermeidung von „Betrieb ohne Nutzen“
 - Energiemanagement als Teil des Facility Managements, Ecodesign – Energie- und Ressourceneffizienz, Optimierung der Energiegewinnung und Minimierung der Verluste in Gebäuden und Quartieren, Betriebsoptimierung
 - Elektrizitätstechnologien und –Anwendungen (Antriebe, Leuchten...)
- b) Energieeffiziente Informations- und Kommunikationstechnik:
 - Neue Wege des Datenmanagements, Reduktion des Energiebedarfs
 - Effizientere Kühlung und Nutzung der Abwärme
- c) Energieeffiziente Prozesse in industrieller Umgebung:
 - Neue Analysemethoden, Abwärmenutzung
 - Nutzung solarer Wärme in der Industrie (100-500 Grad C)
 - Reduktion des Energiekonsums bei der CO₂-Entfernung aus Kraft- und Zementwerken
 - Wärmepumpen und Kälteanlagen bei industriellen Prozessen (Trocknungsprozesse, Abwärme-Nutzung, Kältebereitstellung, Absorptionswärmepumpen, etc.)
- d) Effiziente Konzept in der Mobilität:
 - Elektrifizierung – Hybrid-, Plug-in Hybrid-, elektrische Fahrzeuge
 - Leichtbaukomponenten und -bauweisen.
 - Brennstoffzellen-Antriebe im Zusammenhang mit der Speicherfunktion von Wasserstoff (s.u.)

3.1.2 b Empfehlungen für neue oder zu stärkende Forschungsgebiete mit langfristiger Wirkung

- a) Neue Katalysatoren für effizientere Prozesse:
 - Katalysatoren für die effiziente Umwandlung von Biomasse
 - Photokatalytische oder photoelektrochemische Speicherung von Solarenergie
 - Durchführung industrieller Prozesse mit geringerem Energieeinsatz
 - Katalysatoren für die effizientere und schadstoffarme Nutzung fossiler Energieträger
- b) Nanomaterialien für die Energietechnik, Beispiele:
 - „Carbon Nanotubes“ für effiziente CO₂-Membranen
 - Effizientere Elektroden für Batterien, Brennstoffzellen und Katalysatoren

3.1.3 Potenzial zur Problemlösung – Beitrag zur Umsetzung der „neuen Energiepolitik“

- a) Schätzungen lassen vermuten, dass durch automatische Anpassung des Betriebs der elektrischer Beleuchtung und der Geräte bis zu 10% des nationalen Strombedarfs reduziert werden könnte. Mit solarer Wärme für Heizen und Warmwasser kann ein Teil des heutigen Stromkonsums in diesem Sektor (er beträgt ca. 13%) eingespart werden. Zusätzlich würde eine Verzehnfachung der installierten Kollektorfläche für Heizung und Warmwasser (heute 0.13 m² / Person) die CO₂-Emissionen um 1 Mio. t pro Jahr senken.
- b) Beispiele mit hohem Effizienzpotenzial sind die Wärme-Kraft-Kopplung (WKK), Gaskraftwerke in Kombination mit Wärmepumpen, welche mindestens eine Verdopplung der Effizienz gegenüber Einzeltechnologien ermöglichen.
- c) Effiziente Mobilität: In den vergangenen Jahrzehnten war die Mobilität ein starker Wachstumssektor, geprägt durch Zunahme der Fahrzeuge und der zurückgelegten Distanzen pro Einwohner. Ohne dedizierte Massnahmen ist mit einem weiteren Ansteigen der Nachfrage nach Mobilitätsdienstleistungen sowie der damit verbundenen Endenergienachfrage und der Treibhausgasemissionen zu rechnen.

Mobilitätskonzepte, welche diesem Trend entgegenwirken, gehen von einer Gesamtvision der Mobilitätsdienstleistungen aus. Diese werden durch ein global optimiertes, multimodales und vernetztes Verkehrssystem bereitgestellt. Die moderne Informationstechnologie ermöglicht eine bessere, verbrauchs- und emissionsreduzierte Nutzung der vorhandenen Infrastruktur. Verkehrskonzepte, Leitsysteme, aktive Sicherheit und Information optimieren die Verkehrsflüsse und reduzieren damit die Umweltbelastung. Essentiell basieren diese Dienstleistungen auf der besten verfügbaren Technologie im Bereich der Fahrzeug-Infrastruktur, welche Leichtbauweisen, neue Fahrzeugkonzepte und alternative Antriebssysteme mit einschliesst.

- d) Das *Energie*-Sparpotenzial einer verstärkten und konsequenten Nutzung von Wärmepumpen (auch im industriellen Bereich) in Kombination mit Umgebungs- und Abwärme (anstelle von direkter Nutzung von Strom oder fossiler Energie) wird auf 30-40% geschätzt, das *Strom*sparpotenzial auf 2.5-5 TWh.

3.2 Energiesysteme, Netze und Elektrizitätsübertragung

3.2.1 Problemstellung und Stand

Der angestrebte Umbau des Energiesystems kann nicht allein mit der Entwicklung und dem Einsatz von Einzeltechnologien erreicht werden. Systembetrachtungen auf allen Ebenen und für alle Energieträger sind notwendig. Das Verständnis für die Auslegung und den Betrieb eines nationalen elektrischen Netzes mit einer Vielzahl von – zentralen sowie dezentralen – Stromproduzenten, Stromkonsumenten und Energiespeichern, das gleichzeitig im europäischen Netz integriert ist, ist eine Voraussetzung für die zukünftige Bewältigung der Stromversorgung der Schweiz.

Ganzheitliche Systembetrachtungen (Multikriterien-Analyse, Lebensdauer-Bewertungen) ermöglichen Gesamtoptimierungen von Produkten und Systemen. Bei technischen Verfahren ist die Zielgrösse die Minimierung des Energie- und Ressourcenkonsums des Gesamtprozesses, von den Rohstoffen über die Fertigung und den Gebrauch bis zum Recycling eines Produktes (Cleantech).

Die aktuellen F&E-Anstrengungen bei Netzen und Energiesystemen konzentrieren sich auf

- a) Hochspannungs-Übertragung und deren Komponenten,
- b) die Leistungselektronik und Analysen von Energiesystemen,
- c) Lebensdaueranalysen von Einzeltechnologien.

Heute werden ca. 2% der öffentlichen Forschungsförderung im Bereich elektrische Netze und Systembetrachtungen eingesetzt. Der Umfang der gegenwärtigen Forschungsaktivität im Bereich der elektrischen Netze ist ungenügend. Das „Kompetenzzentrum Netze“ im ETH-Bereich, das im Herbst 2011 seine Tätigkeit aufgenommen hat, stellt erst einen Anfang dar.

Grosse Anstrengungen auf verschiedenen Netzebenen werden nötig bei der Integration grosser Mengen erneuerbaren Stroms (z.B. 10 TWh Photovoltaikstrom bis 2050). Die zentrale und dezentrale Speicherung von Elektrizität, der Ausbau des Schweizer Übertragungs- und Verteilnetz und die Integration des Schweizer Netzes in das europäische Netz sind Gebiete, auf denen grosse Anstrengungen nötig werden. Das Resultat dieser Verbesserung sind nicht in erster Linie Effizienzgewinne; vielmehr geht es um die grundlegenden Voraussetzungen für den Betrieb zukünftiger „smart grids“ mit bidirektionalen und komplizierten Stromflüssen. Das dazu nötige Lastmanagement weist einen hohen Kommunikationsbedarf auf.

Um die Potenziale bei den Netzen und Energiesystemen zu realisieren, sind – zusammen mit den geeigneten politischen und Umsetzungsanstrengungen – die folgenden verstärkten Anstrengungen in der Energieforschung nötig:

- a) Betrieb und Stabilität von elektrischen Netzen („smart grids“, alle Spannungsebenen),
- b) Integration von erneuerbarem Strom ins Stromnetz,
- c) Integration erneuerbarer Energien in Gebäude und Quartiere (inklusive Produktion und Speicherung)
- d) „low-carbon“-Technologien in Verkehr und Gebäuden (Systembetrachtungen, z.B. neue kombinierte Systeme zum Heizen und Kühlen mit erneuerbarer Energie, inkl. Zwischen-Speicherung),
- e) Lebenszyklusbewertung von Energiesystemen.

3.2.2 Empfehlungen für neue oder zu stärkende Forschungsgebiete mit mittelfristiger und langfristiger Wirkung:

- a) Elektrische Netze und ihre Stabilität
 - Verständnis und Modelle des Lastfluss-Management auf allen Spannungsebenen (bidirektionaler Stromaustausch)
 - Neue, adaptive Steuerungs-*Algorithmen* („smart grid“)
- b) Integration von erneuerbarem Strom ins Stromnetz
 - Die Integration grösserer Mengen (>10%) von intermittierendem Strom (Wind, Photovoltaik) ins CH-Netz verlangt spezielle Speicher und Lastmanagement-Massnahmen.
- c) „HGÜ“-Systeme (Hochspannungsgleichstrom-Übertragung) und Komponenten für Verteilnetze (Verlustminderung)
- d) Integration von erneuerbarer Energie in Gebäude und Quartiere
 - Saisonale Speicher
 - Elektrochemische Speicher
 - Chemische Speicher, Elektrolyse
- e) Ganzheitlicher Entwurf von Energiesystemen, Energienetze
 - WKK und zentrale Kraftwerke, in Kombination mit Wärmepumpen und Wärmespeichern
 - Integration von Mobilitätsaspekten, Wohnen und Dienstleistungen
- f) Lebenszyklus-Bewertung von Energiesystemen.

3.2.3 Potenzial zur Problemlösung – Beitrag zur Umsetzung der „neuen Energiepolitik“

Das Sparpotenzial (Strom- und fossile Energie) liegt im intelligenten, effizienten Design von Energiesystemen.

Beispiele:

- a) Heizen mit elektrischen Wärmepumpen, welche den Strom aus Gas-Kraftwerken beziehen, weist gegenüber Heizen mit Gas eine Effizienz von 250% auf.
- b) Elektrifizierte Mobilität (Hybrid, vollelektrisch) hat gegenüber rein fossilem Antrieb ein Sparpotenzial von einem Faktor 2-3.
- c) „Smart Grid“ bietet Vorteile dank der Nähe zum Konsumenten, Anreize für Verhaltensänderungen, zum sparsamen Umgang mit Elektrizität dank transparenter Information.

Eine notwendige Voraussetzung für die Realisierung dieser Potentiale ist die Verfügbarkeit von Speichertechnologien; damit bestehen Querverbindungen zu den im folgenden Abschnitt beschriebenen Forschungsfeldern.

3.3 Energiespeicherung

3.3.1 Problemstellung und Stand

Die Bedeutung von kurzzeitiger und auch saisonaler Speicherung von Energie – Wärme und Strom - wird in Energiesystemen mit einem hohen Anteil von erneuerbarer Energie und intermittierender Stromproduktion immer grösser. Gross-Speichertechnologien wie Pump- und Druckluft-Speicherung oder chemischer Energiespeicherung werden zu zentralen Elementen einer zuverlässigen Stromversorgung. Neue, dezentrale Speichertechnologien (Batterien, lokale Wärmespeicher, etc.) werden nötig, um die zeitlichen Unterschiede (Sek., Min., Tage, Jahreszeiten) zwischen Nachfrage und Angebot der Energie zu überbrücken.

Die aktuellen Forschungsanstrengungen im Bereich der Energiespeicherung konzentrieren sich auch auf

- a) die Grundlagen für elektrochemische Speicherung (Elektrodenwerkstoffe),
- b) elektrochemische Prozesse (Batterien),
- c) Supercaps sowie die
- d) chemische Speicherung (Elektrolyse zur Bildung von Wasserstoff).

Der aktuelle Anteil der Energiespeicherung an der gesamten Energieforschung beträgt ca. 5% (wobei einige speicherrelevante Aktivitäten auch anderen Aktionsfeldern zugeordnet sind).

Zukünftige Forschungsgebiete müssen sich vermehrt konzentrieren auf

- a) das komplexe Lastmanagement auf allen Spannungsebenen des elektrischen Netzes,
- b) die Effizienz und den instationären Betrieb der Pumpturbinen,
- c) das Potenzial von Druckluftspeichern sowie chemischen Energiespeichern wie H₂-Speicherkaavernen,
- d) Batterien mit hoher Energiedichte.

Zur Unterstützung der Entwicklung und Realisierung dieser Speicherkapazität sind die folgenden verstärkten Energieforschungsanstrengungen nötig.

3.3.2 a Empfehlungen für neue oder zu stärkende Forschungsgebiet mit mittelfristiger Wirkung

- a) Zentrale Speichertechnologien
 - Neue Konzepte (inkl. Betriebskonzepte) für Pumpspeicherwerke wegen der neuen Anforderungen an stark dynamischen Betrieb (Einspeisung von PV und Windstrom; Aufrechterhalten der Netzstabilität)
 - Erosionsfeste Werkstoffe
 - Potenzialabklärung für Druckluftspeicherwerke und chemische Energiespeicher in der Schweiz
 - Einbezug der hydrologischen Entwicklung (Gletscher, Klima)
- b) Elektrizitätsspeicherung zur Leistungsstabilisierung, Supercaps
- c) Elektrische Speicherung – Integration der Elektromobilität
- d) Elektrochemische, dezentrale Speicherung
 - Batterien mit hoher Energiedichte (500-1000 Wh/kg)
- e) Solarwärme und Wärmespeicherung.

3.3.2 b Empfehlungen für neue oder zu stärkende Forschungsgebiete mit langfristiger Wirkung

- a) Effiziente chemische Prozesse zur Speicherung
 - Elektrolyse für Wasserstoffproduktion aus Überschussstrom (wünschbare Effizienz 60-80%, zum Vergleich: Pumpspeicherzyklus 75-80%)
 - Neue Katalysatoren für Wasserelektrolyse
 - Photochemische Wasserspaltung
- b) Sonnenenergiespeicherung in solaren Brennstoffen, Nutzung von CO₂
 - Syntheseverfahren für flüssige organische Verbindungen, ausgehend von mit Sonnenenergie hergestelltem Synthesegas

3.3.3 Potenzial zur Problemlösung – Beitrag zur Umsetzung der „neuen Energiepolitik“

Verbesserte Speichertechnologien sind ein Schlüsselement, ohne das es nur äusserst schwer gelingen wird, die erwarteten hohen Anteile an fluktuierenden erneuerbaren Energien gewinnbringend im Energiesystem zu nutzen. Dabei müssen die kurzzeitigen, tageweisen und saisonalen Verschiebungen der verfügbaren Energieanteile durch Speicherung dem unterschiedlichen Lastprofil angepasst werden. Für den Ausgleich der räumlichen Ungleichgewichte zwischen Bereitstellung und Nachfrage sei auf den vorangehenden Abschnitt über Energiesysteme verwiesen.

Fortgeschrittene Speichertechnologien bieten ein hohes Potential, Verluste zu vermeiden und damit den Gesamtwirkungsgrad des Energiesystems zu steigern. Die dezentrale Stromproduktion mit erneuerbaren Energien und die Realisation 'virtueller Kraftwerke' erfordern Möglichkeiten der lokalen Elektrizitätsspeicherung. Es müssen leistungsautarke Energiedrehscheiben ('Hubs') auf der Ebene des Quartiers oder der Gemeinde entwickelt werden, welche Speicherung, Austausch und Lastmanagement der Energieträger übernehmen (intelligente Netze für mehrere Energieträger). In diesem Kontext kommt fortgeschrittenen stationären Batterien eine wichtige Rolle zu. Damit die Batterien von Fahrzeugen als bidirektionale Stromspeicher eingesetzt werden können, sind wesentliche zusätzliche Forschungsanstrengungen angebracht.

Mit der zunehmenden Penetration von Windenergie und Solarelektrizität ist vermehrt mit Ungleichgewichten zwischen Produktion und Stromnachfrage zu rechnen. Neue, hocheffiziente Druckelektrolyseure sind zu entwickeln, mit welchen der Überschussstrom in Wasserstoff umgewandelt werden kann. Dessen Einsatz in der Mobilität (Brennstoffzellen- und Elektrofahrzeuge) entlastet die Strombilanz und die CO₂-Bilanz.

Effiziente Elektrolyse von Wasser ist auch eine Möglichkeit, um den mit Überschussstrom (Wind, PV) produzierten Wasserstoff saisonal zu lagern und damit Solarenergie für das Winterhalbjahr zu speichern. Die bevorzugte Anwendung ist die Substitution fossiler Treibstoffe im Verkehr. Wasserstoff kann bei Bedarf auch wieder zur Stromerzeugung eingesetzt werden, wobei ein Wirkungsgrad des gesamten Zyklus von 60-80% angestrebt werden muss, d.h. der Wirkungsgrad muss um rund einen Faktor 2 höher liegen als die heute kommerziell verfügbare Technologie. Hierzu sind verstärkte Forschungsanstrengungen erforderlich.

3.4 Bereitstellung von Elektrizität

3.4.1 Problemstellung und Stand

Ein ausreichendes Angebot von Energie in allen Formen ihrer Nutzung ist selbstredend der wichtigste Pfeiler einer zuverlässigen Energieversorgung.

Die aktuellen Forschungsanstrengungen konzentrieren sich auf praktisch alle Stromproduktionstechnologien: Wasserkraft, Biomasse, Windkraft, Photovoltaik, Gas-Kombikraftwerke, Kernspaltung und Kernfusion.

Ausgewählte Schwerpunkte der aktuellen Forschung sind:

- a) Nieder- und Hochtemperatur-Brennstoffzellen, WKK
- b) Prozesse zur Nutzung von Biomasse (Vergasung, Vergärung)
- c) Effizienzsteigerung von Gaskraftwerken und CCS („Carbon Capture and Storage“)
- d) Entwicklung hocheffizienter PV-Dünnschicht-Zellen
- e) Lebensdauer-Analysen von Stromproduktionstechnologien
- f) Plasmaphysikalische Grundlagen zu Fusion und Beteiligung am Demonstrationsreaktor „ITER“
- g) Sicherheitsrelevante Forschung zur Kernspaltung (Betrieb und Entsorgung)
- h) Hydrodynamische Analysen und Experimente zur Wasserkraft.

Der aktuelle Anteil dieser Forschung an der gesamten von der öffentlichen Hand finanzierten Energieforschung beträgt 55-60%.

Zur *Nuklearenergieforschung* lässt sich der Status Quo wie folgt zusammenfassen:

Die Fissionsforschung ist im Hinblick auf den Erhalt und die Weiterentwicklung der notwendigen Kompetenz in Kerntechnik weiterzuführen. Dies betrifft insbesondere die Bearbeitung von Fragen der Sicherheit von Kernkraftwerken und der Behandlung und Lagerung von radioaktivem Abfall. Besonders wichtig ist die Ausbildung eines qualifizierten wissenschaftlichen Nachwuchses für den sicheren Betrieb und den späteren Rückbau der Kernkraftwerke. Dieses Feld der Nuklearforschung betrifft auch andere Anwendungen, zum Beispiel in der Medizintechnik.

Die Fusionsforschung der Schweiz ist heute in die internationalen Forschungsanstrengungen eingebettet und leistet in diesem globalen Programm wesentliche Beiträge. Nach Aufforderung durch das Staatssekretariat für Bildung und Forschung (SBF) hat der ETH-Rat am 2./3. März 2011 seine Strategie für die Fusionsforschung für die Jahre 2013 bis 2016 beschlossen. Dazu gehört, dass sich der ETH-Bereich mit den entsprechenden Mitteln auf wissenschaftlicher Basis an den europäischen Programmen beteiligt. International wird in die Erforschung der Fusion als potentielle Option der grossmassstäblichen Elektrizitätsproduktion investiert. Andererseits wird es als unwahrscheinlich angesehen, dass die Kernfusion vor dem Jahr 2050 einen Beitrag zur Elektrizitätsbereitstellung liefern wird. Die Herausforderung der Konkurrenzfähigkeit mit den sinkenden Gestehungskosten aus erneuerbaren Energien wird grösser. Als Resultat ist davon auszugehen, dass die Fusion im Rahmen der Planung der Energiestrategie 2050 der Schweiz nicht einbezogen wird.

Zukünftige Forschungsgebiete mit grossem Potenzial, die einen Beitrag an die Strombereitstellung zu leisten vermögen, müssen sich vermehrt konzentrieren auf:

- a) die Geothermie – Bohrtechnik, Reservoir-Erschliessung und –Management
- b) den Kohlenstoff-Kreislauf (Speicherung und Nutzung von CO₂)
- c) die Photovoltaik – neue, effiziente Zellen mit gutem Kosten- / Nutzenverhältnis, Massenfertigung
- d) eine minimale CO₂-Intensität und damit höchste Effizienz bei der Nutzung Kohlenwasserstoff-basierter Technologien – Brennstoffwechsel zu Gas, Biomasse, CO₂-Lagerung, Systemaspekte
- e) die Windenergie
- f) die Wärmekraftkopplung
- g) die optimale Nutzung der Wasserkraft (Produktion, Regelung, Speicherung, Infrastruktur-Erhaltung).

Um die Potenziale dieser Technologien zu realisieren, sind – zusammen mit den geeigneten politischen und Umsetzungsanstrengungen – die folgenden verstärkten Anstrengungen in der Energieforschung nötig.

3.4.2 a Empfehlungen für neue oder zu stärkende Forschungsgebiete mit mittelfristiger Wirkung

- a) Photovoltaik – neue, effiziente Zelltechnologien und „large-scale“-Fertigungstechnik
 - Kristalline Zellen mit 23 % Wirkungsgrad (2015),
 - Multi-kristalline Zellen mit 18 % Wirkungsgrad (2020),
 - Konzentrierende PV mit Wirkungsgrad von 40 % (2030)
 - Reduktion des Si-Gehalts auf 2 g / W_p (heute 5 g / W_p)
 - Dünnschichtzellen (organisch, anorganisch) mit Wirkungsgrad 12-15 % (2020), neue Nanostrukturen
 - Konkurrenzfähige „large-scale“ Fertigungsverfahren für Dünnschichtzellen
 - Demonstrationsversuche (P&D)
 - Integration in die Gebäude-Architektur und Quartierplanung
 - Ertragsvorhersagen (regional und Anlagen-spezifisch)
- b) Bioenergie – Biomasse, Biogas – Rohstoffe, Grundlagen, Verfahrenstechnik
 - Prozesstechnologie, insbesondere Vergasung von Biomasse (Restholz, Holzabfälle, Altholz, Grünschnitt, Grün- und Agrikulturabfälle)
 - „Up-scaling“ von industrieller Biomassevergasung (P&D) bis 2020
 - Lebenszyklus-Analyse (LCA) von Biomasse-Technologien für Energieanwendungen (Konkurrenz zu Lebensmitteln, Ökonomie, Logistik, Gesamteffizienz von Prozessketten, Labelling...)
 - Umwelteinfluss der Biomassenutzung, Emissionsreduktion (Geruch und Feinstaub), „sustainable, low-emission, resource-efficient biomass production“, Ökobilanzen
- c) Windenergie
 - Erhöhung der Verfügbarkeit und des Ertrages durch „Mapping“ guter Standorte und Vereisungsschutz (Nanomaterialien)
 - Umweltgerechte Integration von Windparks in die Landschaft
 - Optimale Integration in die Stromversorgung (Windvorhersagen, Ertragsvorhersagen, Bedarf an Regelenergie)
 - ggf. Schaffung eines Windkompetenz-Zentrums

d) Wärme-Kraftkopplung

- dezentrale WKK-Anlagen auf Basis von Festoxid-Brennstoffzellen (auch in Kombination mit der Verwendung von Wasserstoff als Energiespeicher)
- biogene WKK-Anlagen: Effizienz, Vermeidung von Schadstoffemissionen bei der Verwendung fossiler Brennstoffe.

e) Wasserkraft

- Überwachung und Sanierung von Infrastruktur
- „Hochdynamischer“ Betrieb von Pumpspeicherkraftwerken.

3.4.2 b Empfehlungen für neue oder zu stärkende Forschungsgebiete mit langfristiger Wirkung

a) Geothermie (petrothermale Systeme, Hot Dry Rock-Verfahren, Enhanced Geothermal Systems)

- Reservoir-Exploration – geologische, geophysikalische und geochemische Methoden zur Reservoir-Erkundung; Bohrtechnologie, Reduktion der Bohrkosten, Reduktion der seismischen Risiken
- Reservoir-Erzeugung – d.h. ingenieur-technische Erhöhung der hydraulischen Durchlässigkeit des Reservoirs um Faktoren >10 bis 1000, neue Stimulierungsverfahren
- Reservoir-Überwachung – Methoden zur Modellierung des Reservoirs, Instrumentierung und Überwachung des Kraftwerkbetriebs
- Effizientere Energieumwandlung (höherer elektrischer Wirkungsgrad)

b) Kohlenstoff-Kreislauf (Speicherung und Nutzung von CO₂)

- Untergrund des Schweizer Mittellandes wird zur Speicherung von CO₂ ist grundsätzlich geeignet betrachtet (CCEM-Projekt CARMA); Pilotversuche sind aber nötig, um konkrete Aussagen zu spezifischen Standorten und zum Verhalten von CO₂ im Untergrund machen zu können

c) Photovoltaik: weitere Steigerung der Wirkungsgrade für alle Zelltypen

d) Künstliche Photosynthese als Langfrist-Alternative zur Biomassenutzung.

3.4.3 Potenzial zur Problemlösung – Beitrag zur Umsetzung der neuen Energiepolitik

a) Mittelfristig :

Während der nächsten 10 Jahre ist von der tiefen Geothermie kein Beitrag an den Deckungsbedarf für die Schweizer Stromnachfrage zu rechnen. In diesem Zeitraum ist es im günstigen Falle möglich, bis 2017 ein Demonstrationskraftwerk zu erstellen. Die Begründung der zusätzlichen Forschungsausgaben für die tiefe Geothermie liegt in ihrem langfristigen Potenzial.

Auch die CO₂-Lagerung ist in diesem Zeitraum noch nicht kommerziell machbar.

b) Langfristig :

Die Schweizerische Geophysikalische Kommission schätzt die nutzbare elektrische Energie unter dem Schweizer Mittelland auf ca. 260 PJ (über einen Zeitraum von 30 Jahren). Dies entspricht pro Jahr etwa 4% des heutigen Strombedarfs. Langfristig sind gegen 10 % denkbar; über 10 % erscheint aus heutiger Sicht unrealistisch.

Die technische Machbarkeit der CO₂-Lagerung in der Schweiz kann bis ca. 2020 mit einem Pilotversuch nachgewiesen werden. Im Erfolgsfall hat sie das Potenzial, dass bei Gas-Kombikraftwerke 90% des CO₂ entfernt und gelagert werden kann, statt es in

die Atmosphäre abzulassen. Bei der Umwandlung von fossilen oder nichtfossilen Kohlenwasserstoffen ist der Wirkungsgrad weiter zu erhöhen, um die energetische Nutzung der Energieträger zu verbessern.

Die Wirtschaftlichkeit, ökonomische Konkurrenzfähigkeit und CO₂-Intensität der Wärme-Kraft-Kopplung im Vergleich zu konkurrierenden Technologien (Biogas, Erdgas, Synthesegas) ist auszuloten und gezielt dort zu nutzen, wo die dezentrale Erzeugung Vorteile bietet.

Potenzial der PV, mittel- und langfristig: Das Potenzial von 10 TWh / Jahr PV-Strom ist bei sofortiger und dedizierter Anstrengung grundsätzlich realisierbar (s. p. 8 in [2]).

3.5 Sozio-ökonomische und rechtliche Aspekte

3.5.1 Problemstellung

Die sehr ambitionierten Ziele der neuen Energiestrategie können nicht allein durch technologischen Fortschritt erreicht werden. Sie müssen auch umgesetzt werden, und dies relativ rasch und in grossem Umfang. Dies verlangt einen weitgehenden Umbau des Energiesystems und einen **Paradigmenwechsel im Energieverbrauch**. Der damit verbundene nutzungsorientierte Ansatz erfordert neue Konzepte und strukturelle Anpassungen bei Infrastrukturen, Wirtschaft, Politik sowie bei vorherrschenden gesellschaftlichen Normen und beim Verhalten. Dies betrifft Arbeitsplätze und Einkommen, bewirkt Umverteilung von Kosten und Nutzen zwischen Bevölkerungsgruppen, Branchen und Regionen. Damit sind die Akteure der verschiedensten Bereiche wie Wissenschaft, Technik, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft gefordert und müssen einbezogen werden.

Die zugrundeliegenden Mechanismen und Kausalitäten, die bei dem verlangten Umbau wirksam sind, werden heute nur ungenügend verstanden. Sie erfordern eine vertiefte Analyse aus sozio-ökonomischer und geisteswissenschaftlicher Sicht. Die sozio-ökonomische Forschung über die anstehenden Energiefragen ist somit ein weiterer wichtiger Pfeiler der Energiestrategie 2050.

Die anzustrebenden Forschungsaktivitäten müssen inter- und transdisziplinär konzipiert sein. Sie müssen von Beginn weg die Bedürfnisse der unmittelbar Betroffenen und Interessierten, der Stakeholder wie auch die Möglichkeiten der Technik mit ihren Lösungen einbinden und kombinieren. Dafür sind die bestehenden Strukturen in der Wissenschaft ungenügend: Es braucht eine Forschungs-Community an der Schnittstelle von Technik und Sozialwissenschaften, die sich längerfristig mit dem Thema beschäftigt.

Der Umbau geht auch einher mit der Weiterentwicklung der politischen Planungs- und Entscheidungsprozesse. Im Zusammenhang mit neuen Lösungen dürften vermehrt Modelle der politischen Partizipation gefragt sein (z.B. bei der Standortsuche von Infrastrukturen Solarkraftwerke, Windparks oder CO₂ Lager). Die Selbstorganisation (z.B. von Gemeinden oder Quartieren „smart city“, Unternehmen, Branchen und Verbänden) spielt eine Rolle. Fragen zu diesen Wirkungszusammenhängen und deren Effektivität gehören ebenfalls zum notwendigen und relevanten Forschungsbedarf.

3.5.2 Empfehlungen für neue oder zu stärkende Forschungsgebiete mit mittel- und langfristiger Wirkung

- a) Ordnungspolitische Themen, Rahmenbedingungen, Konzepte:
- Organisation und Funktionsweise nationaler und internationaler Märkte im Energiebereich; Konzepte der Energiemarkt-Liberalisierung und ihre Auswirkungen; Rolle und Wirkung von Regulatoren in den Energiemärkten
 - Einbindung der Schweiz in den europäischen Energie (Strom-)markt (u.a. inkl. Pumpspeicherwerke im europäischen Netz)
 - Rechtliche Aspekte wie z.B. der CO₂-Lagerung
 - (Ziel-)Konflikte zwischen der Nutzung verschiedener Energieressourcen
 - Wirkungen unterschiedlicher Ausgestaltung von Rahmenbedingungen wie z.B. durch ökologische Steuerreform, Bonus/Malus-Systeme, Lenkungsabgaben oder Einspeisevergütungen
 - Bewertung und Monitoring von energiepolitischen Massnahmen im Hinblick auf Effizienz sowie Nachhaltigkeit und Gesellschaftssystem
 - Ganzheitliche Analysen des Energiesystems; Bildung von zielkonformen, mit den Rahmenbedingungen (Atomausstieg, CO₂-Reduktion) kompatiblen gesellschaftszentrierten Szenarien als Ergänzung zu energiezentrierten Szenarien, d.h. Entwicklung von Gesellschaftsformen (inkl. Lebensformen, Raumnutzung, Arbeit, Wohnen, Einkauf, Freizeit, Mobilität, u.a.), welche innerhalb der veränderten Rahmenbedingungen erfolgreich sein können; Anreize und Hemmnisse, welche diese Gesellschaftsformen begünstigen bzw. behindern.
- b) Systemanalysen und makroökonomische Analysen:
- Makroökonomische Modelle für Szenarien und Simulationen verschiedener energiepolitischer Optionen (Atomausstieg, Fördermassnahmen, Lenkungsabgaben, ökologische Steuerreform) und ihrer Wirkungen auf die Energieversorgung und die Wettbewerbsfähigkeit der Schweizer Industrie (z.B. Nachteile für energieintensive Industrien vs. Aufbau des Cleantech-Bereiches)
 - Mechanismen zur weiteren Entkopplung von Energie- und Wirtschaftswachstum
 - Strategien zur Anpassung an die Klimaänderung (Kühlung, Wasserverfügbarkeit, etc.)
 - Wirkung von Nutzungsentwicklung und Verfügbarkeit verschiedener Ressourcen (Erdöl, Gas, Metalle, seltene Erden, Wasser, Boden) auf die Energieversorgung.
- c) Mikroökonomische und Akteur-orientierte Analysen:
- Wirkung von Massnahmen wie Subventions- und Fördermodellen zugunsten erneuerbarer Energie auf die Realisierung von Effizienz-Potenzialen über die Investitionsbereitschaft und Technologiewahl von Unternehmen und Haushalte
 - Neue Geschäftsmodelle für Stromproduzenten (Effizienzbonus statt Mengenrabatt)
 - Möglichkeiten und Potentiale von Nutzungspflichten wie Anschlusszwang an Fernwärmenetze, Installationspflicht für Anlagen erneuerbarer Energien in Neubauten
 - Zusammenhänge zwischen Information (am Beispiel von energiespezifischem Wissen) und der Entscheidungsfindung von Individuen und Bevölkerungsgruppen, Modellierung der Entscheidungsfindung inkl. Wirkung von rationalen (Risk vs. Return) und „Bounded Rationality“-Einflüssen
 - Akzeptanz von erneuerbaren Energietechnologien wie sozio-politische Akzeptanz (durch Stakeholder und Gesetzgeber), Gemeinschafts-Akzeptanz

(Verteilungsgerechtigkeit, Vertrauen), Markt-Akzeptanz (Konsumenten, Investoren)

- Einfluss der Medien auf das Verständnis (die Perzeption) von Klimaänderung und Energiesparen und dabei notwendigen Gegenmassnahmen
- Einflussmöglichkeiten von Firmen auf das Verhalten von Mitarbeitenden und Einflussmöglichkeiten der Mitarbeitenden auf Firmen

d) Innovationsforschung im Energiebereich:

- Der Energiebereich als Innovationssystem; Funktionsweise und Bestimmungsgründe; Innovationsanreize und Hemmnisse; Diffusion von Neuerungen
- Typische Eigenheiten von Innovationen im Energiebereich und Konsequenzen für deren Umsetzung und Verbreitung: Verhalten von Firmen und Haushalten
- Bedeutung und Wirkung von sozialen Innovationen
- Innovationen im internationalen Kontext und Wechselspiel.

Diese sozio-ökonomischen und rechtlichen Aspekte sollen mit verschiedenen Methoden untersucht werden wie z.B. Simulationen, Szenarien oder kontrollierten Feldexperimenten und Aktionsforschung / Begleitforschung. Weiter wird vorgeschlagen, ein Technologie-Monitoring und –Assessment zu betreiben:

- Lebenszyklusanalysen von technischen Investitions- und Gebrauchsgütern
- Bewertung von Technologien im Energiebereich, Bewertung von Risiken und Massnahmen aus der Sicht der Nachhaltigkeit; Auswirkung neuer Energiesysteme auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft wie z.B. tiefe Geothermie, CO₂-Lagerung, oder Nutzungskonflikte mit Landwirtschaft und Naturschutz (Windenergie, Biomasse, Wassernutzung).

3.5.3 Potenziale zur Problemlösung - Beitrag zur Umsetzung der „neuen Energiepolitik“

Arbeiten und Resultate der Forschung aus diesen Themenfeldern bilden eine notwendige Basis für die Umsetzung der neuen Energiepolitik. Als Querschnittsbetrachtung ist diese Forschung nicht isoliert, sondern in enger Verbindung mit den anderen vier Aktionsfeldern zu betreiben. Sie sollte und kann für den Erfolg der neuen Energiepolitik unabdingbare Beiträge leisten. Sie soll letztlich beitragen zu einem Wechsel von einem System, welches grundsätzlich auf einen Mehrbedarf an Energie mit einem grösseren Energieangebot reagiert, hin zu einer Politik, die sich konsequent am Energie- und Ressourcen-Effizienz orientiert. Neben neuen Erkenntnissen mobilisiert und involviert sie Direktbetroffene, lanciert und begleitet gesellschaftliche Lern- und Innovationsprozesse und unterstützt damit die Umsetzung der neuen Energiestrategie.

4. Energieforschung in der Privatwirtschaft

Die finanziell wichtigsten Träger in der Energieforschung sind die Unternehmen der Privatwirtschaft. Gemäss der letzten verfügbaren Umfrage des BFE für die Jahre 2008/2009 hat die Privatwirtschaft für Energieforschung 815 MCHF eingesetzt³. Dabei wurden die grössten Ausgaben in folgenden Forschungsbereichen getätigt⁴:

- Photovoltaik (175 MCHF),
- Verfahrenstechnik (77 MCHF),
- Speichertechnologien (30 MCHF).

Der grösste Teil dieser Aufwendungen fällt auf **drei multinationale Konzerne**, die im Bereich Energie am Standort Schweiz besonders aktiv sind: Alstom, ABB und Siemens. Dabei profitiert die Schweiz sowohl von den durch diese Konzerne weltweit erarbeiteten Technologien wie auch von ihren Kompetenzen und F&E-Aktivitäten vor Ort⁵.

Die **grossen Stromverbundunternehmen** der Schweiz (Axpo AG, Alpiq, BKW, CKW, EGL) unterhalten selbst keine eigenen grösseren Forschungsabteilungen. Sie führen jedoch Energieforschungsprojekte gemeinsam mit Forschungsinstituten über die Organisation *swisselectric research* durch und stellen dafür Mittel von jährlich rund 10 MCHF zur Verfügung. Sie leisten damit einen bedeutenden Beitrag zur Finanzierung der F&E-Aktivitäten und bringen die praktische Erfahrung ihrer Mitarbeiter in die Projekte ein. Ähnliches kann zum Forschungsfonds der Erdöl-Vereinigung (FEV) und des Verbandes der Schweizer Gasindustrie gesagt werden⁶.

³ Die vom BFS zusammen mit economiesuisse durchgeführte Erhebung der intramuros F&E-Aufwendungen hat für 2008 im Bereiche Energie total 631 MCHF ausgewiesen. Diese verteilen sich auf die Wirtschaftszeig IT-Herstellung (338 MCHF), Forschung und Entwicklung (178 MCHF), Maschinen (44 MCHF), um nur die wichtigsten zu nennen. Die Angaben des BFE und des BFS beruhen auf durch die Unternehmen freiwillig gemachte Angaben. Die tatsächlichen Aufwendungen für die Energieforschung dürften nach Schätzungen von Insidern grösser als 815 MCHF sein und damit bis zum Dreifachen der F&E-Aufwendungen der Hochschulen (inkl. overhead) betragen.

⁴ Für die Aufwendungen der Industrie für die Forschungsbereiche Biomasse/Biogas, Energieeffizienz und Wasserkraft existieren keine Angaben.

⁵ **Alstom:** F&E weltweit 2011 824 MEUR inklusive Amortisation und Kapitalisierung von F&E-Kosten und Akquisitionen; wichtigste Themen: Power, Entwicklung von CO₂ Capture Technologies, Transport mit Automated Guided Vehicle, AGV, neueste Generation von high speed Zügen;

ABB: F&E weltweit 2009 1.3 Mrd. USD oder 5% des Umsatzes / Standort Schweiz: In Baden-Dättwil befindet sich eines der sieben Konzern-Forschungszentren. Es beschäftigt rund 170 Mitarbeitende aus bis zu 25 Ländern. Davon sind zwei Drittel Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler.

Siemens: 2010 weltweit 3.846 Mrd. Euro oder 5.1% des Umsatzes. Standorte in der Schweiz und wichtigste Themen: Zug in der Division Building Technologies sowie Wallisellen in den Divisionen Mobility and Logistics und Rail Systems.

⁶ Der Forschungsfonds der Erdöl-Vereinigung (FEV) wurde 1996 von der schweizerischen Erdölwirtschaft ins Leben gerufen. Er unterstützt und fördert Projekte mit CHF 400'000 pro Jahr, die sich umsetzungsorientiert der Erhöhung der Qualität, Effizienz oder Umweltverträglichkeit in den Bereichen flüssige Brenn- und Treibstoffe sowie deren Anwendungstechnik widmen. Der Forschungsfonds FOGA des Verbandes der Schweizer Gasindustrie unterstützt ebenfalls Projekte im Umfang von CHF 350'000 pro Jahr.

Diese Angaben geben einen groben Eindruck über die vorhandenen Kapazitäten in der Energieforschung der Privatwirtschaft. Die Überlegungen zum Bedarf und Ausbau künftiger Energieforschung müssen auch diese Kapazitäten mitberücksichtigen.

Industrieprofil aufgrund einer Unternehmensbefragung

Im Rahmen einer Umfrage im September 2011 bei den Mitgliedern des Verbandes des Schweizerischen Maschinen-, Elektro- und Metallindustrie, Swissmem und dem energie-cluster.ch sind Antworten von 161 Unternehmen eingegangen, darunter auch diejenigen der drei Konzerne (Swissmem 54 und energie-cluster.ch 107)⁷. Die grosse Mehrheit der Umfrage-Teilnehmer sind Anbieter von Energietechnologien; eine Minderheit sind Nachfrager. Nach Unternehmensgrösse gemessen an der Anzahl Mitarbeiter haben kleinste und kleine Unternehmen (1-49 Mitarbeiter) und kleine und mittlere Unternehmen (10-249) geantwortet, was neben den „drei Grossen“ auch der Struktur der Schweizer Industrie im Energiebereich entsprechen dürfte. Sie sind geschäftlich schwerpunktmässig in den Technologiefeldern Energieeffizienz, Photovoltaik und Verfahrenstechnik tätig. Je nach Technologiefeld sind sie selber unterschiedlich stark mit eigenen F&E-Aktivitäten engagiert; im Durchschnitt aller Technologiefelder ist der Anteil F&E-aktiver Unternehmen zwischen 40% bis 70%. Den höchsten Anteil mit F&E-Aktivitäten weisen die Technologiefelder Verfahrenstechnik, Energieeffizienz, Speichertechnologie und Biomasse auf.

Marktpotential in Verbindung mit Exportpotential: Die antwortenden Unternehmen sehen in allen zwölf angegebenen Technologiefeldern ein Markt- und ein Exportpotential, wenn auch in klar unterschiedlichem Ausmass. Die am besten bewerteten Felder sind (in der Reihenfolge ihrer Gewichtung) Energieeffizienz (mit Abstand an der Spitze), Photovoltaik, Biomasse/Biogase, Solare Kühlung/Wärme, Verfahrenstechnik und Speichertechnologien. Die neue Energiepolitik des Bundes wird von den Unternehmen überwiegend als positiv für ihre Marktchancen gesehen, dies besonders deshalb, weil dadurch das Interesse der Nachfrage nach diesen Technologien gesteigert werde.

Forschung und Entwicklung: 83% der antwortenden Unternehmen melden ein aktives Engagement in F&E, wobei es sich dabei vor allem um Entwicklungsarbeiten handelt. Je grösser der Umsatz einer Unternehmung, desto höher ihr F&E-Aufwand. Das mit Abstand stärkste Engagement besteht im Feld der Energieeffizienz (51 Nennungen), gefolgt von Verfahrenstechnik (28), Photovoltaik (24), Biomasse/Biogase (21) und solare Kühlung/solare Wärme (20). Die Zusammenarbeit bei Entwicklungsarbeiten mit anderen Unternehmen ist relativ stark, stärker jedenfalls als die Zusammenarbeit der Unternehmen mit Hochschulen. Die Unternehmen sind untereinander gut bis sehr gut vernetzt. Eigene Erfolge aufgrund ihrer F&E-Anstrengungen melden sie in Technologiefeldern in der Reihenfolge: Energieeffizienz, Verfahrenstechnik, Photovoltaik.

Politische Massnahmen für eine Unterstützung und Beschleunigung von F&E im Energiebereich werden von allen ausser zwei der antwortenden Unternehmen begrüsst. Die wichtigsten von ihnen erwähnten Technologiegebiete für eine staatliche F&E-Förderung sind Energieeffizienz, Photovoltaik und Speichertechnologien.

Das vorhandene Interesse und die Bereitschaft zur Zusammenarbeit bei Pilot- und Demonstrationsanlagen (P&D-Anlagen) sind gross bis sehr gross. Bei der Frage nach prioritären Massnahmen der Politik steht die Förderung von P&D-Anlagen mit Abstand an erster Stelle, gefolgt von einer Verbesserung der Information und Transparenz über Neuerungen und der Vereinfachung von Bewilligungsverfahren.

⁷ Bei 1430 angeschriebenen Unternehmen ergibt dies einen Rücklauf von 11%.

Benötigte Fachkräfte: 65 % von denjenigen Unternehmen, die diese Frage beantwortet haben, beklagen bei der Verfolgung ihrer geschäftlichen Ziele einen Fachkräftemangel in den für sie relevanten Technologiegebieten. Je kleiner die Unternehmung, desto häufiger die Klage. Gesucht werden in erster Linie Absolventen von Fachhochschulen. Die anderen Qualifikationen (vom Fähigkeitszeugnis durch Lehrabschluss bis zum Abschluss ETH-Ingenieur) werden etwa in gleichem Masse gesucht, wobei Unterschiede in der Nachfrage vom jeweiligen Technologiefeld abhängig sind. So werden z.B. bei solarer Kühlung/solarer Wärme oder Energieeffizienz an zweiter Stelle nach den FH-Absolventen Personen mit einem Abschluss einer höheren Fachschulen gesucht; bei Biomasse, Gas und Dampfkraftwerke, Wind, Wasser, Verfahrenstechnik sind Absolventen der ETH / universitären Hochschulen an zweiter Stelle. Absolventen werden vor allem gesucht aus den Fachrichtungen: Gebäude- und Haustechnik, (beim energie-cluster.ch); Elektrotechnik und Maschinenbau (bei Unternehmen von Swissmem).

Technologiebereich	Marktpotential Inland (1)	Marktpotential Ausland bzw. Exportpotential (1)	F&E-Intensität der Unternehmen (1)	Chancen am Markt über F&E-Projekte generell (1)	Potential zur Substitution des Verzichts auf Kernenergie
Elektrische Netze (3)	(Grösser)	(Grösser)	Kleiner	(Grösser)	gross
Gas- und Dampfkraftwerke	Kleiner	Durchschnitt	Kleiner	Kleiner	
Photovoltaik (2)	Grösser	Durchschnitt	Grösser	Grösser	
Energieeffizienz (2)	Grösser	Grösser	Grösser	Grösser	
Geothermie	Durchschnitt	Kleiner	Kleiner	Durchschnitt	
Verfahrenstechnik (2)	Durchschnitt	Grösser	Grösser	Durchschnitt	
Speicherung (2)	Grösser	Grösser	Durchschnitt	Grösser	
Biomasse/Biogas	Durchschnitt	Durchschnitt	Grösser	Durchschnitt	mittel
Solare Kühlung/Wärme	Durchschnitt	Durchschnitt	Durchschnitt	Durchschnitt	klein
Windenergie	Kleiner	Durchschnitt	Durchschnitt	Kleiner	
Wasserkraft (3)	(Grösser)	(Grösser)	Kleiner	Kleiner	

Tab. 5: Potenziale in Technologiegebieten aus Sicht der Industrie mit Schwergewicht bei den Anbietern, zusammenfassende Übersicht aufgrund der Umfrage. Quelle: Melanie Trost, Innovationen und wirtschaftlicher Strukturwandel aufgrund der neuen Energiepolitik in der Schweiz, BA-Arbeit, Universität Zürich 2012

Tabelle 5 gibt eine Zusammenfassung der Beurteilung der Bereiche der Energietechnologien und der damit verbundenen F&E-Anstrengungen durch die antwortenden Unternehmen. Die Angaben zu den F&E-Anstrengungen (1) beziehen sich relativ zum Durchschnitt der antwortenden Unternehmen in allen Technologiegebieten. Mit „kleiner“ wird unterdurchschnittlich im Vergleich zu allen Technologiegebieten verstanden und mit „grösser“ überdurchschnittlich. Die grössten Marktpotentiale werden denjenigen Technologien (2) zugerechnet, wo die Unternehmen entweder ein grösseres inländisches und/oder ein grösseres ausländisches Marktpotential sehen. Diese weisen zusammen mit den elektrischen Netzen ein besonders grosses Potential für den Ersatz aufgrund des Verzichts auf Kernenergie auf. Werden die Antworten der drei grossen Konzerne stärker gewichtet, so wird zusätzlich den elektrischen Netzen und der Wasserkraft ein grosses Marktpotential zugesprochen (3), der Wasserkraft speziell im Export. Die Grossunternehmen melden u.a. auch besondere Forschungsanstrengungen und

Stärken in den Bereichen der Leistungselektronik, Speicher und Systeme und Automation.

KTI-Projekte 2010-2011

Einen zusätzliche Einblick in die industriellen Forschungsschwerpunkte der Energieforschung in der Schweiz gibt Tabelle 6. Anhand von 94 in den Jahren 2010 und 2011 bewilligten KTI-Projekten im Bereich Energie zeigt sich deutlich, dass in der Forschungszusammenarbeit Industrie / Hochschule die Schwerpunkte in den beiden Gebieten Effizienz (52 Projekte) und Erneuerbare Energien (21 Projekte) liegen.

Schwerpunkt	2010		2011	
	Anzahl Projekte	Bundesbeiträge MCHF	Anzahl Projekte*	Bundesbeiträge MCHF
Effiziente Systeme und Anwendungen	22	6.4	30 (8)	13.4 (6.2)
Erneuerbare Energie und Materialien	9	2.7	12 (5)	4.4 (2.2)
andere	5	1.66	16 (1)	5.4 (0.8)

*: in Klammern stehen die Anzahl Projekte, die 2011 unter dem Titel „Flankierende Massnahmen“ bewilligt wurden.

Tab. 6: Forschungsschwerpunkte bei den Energie-bezogenen KTI-Projekten, die in den Jahren 2010 und 2011 bewilligt wurden (Quelle: KTI)

Fazit: Die Schweizer Industrie verfügt über eine gute Ausgangslage für die weitere Entwicklung, Anwendung und Verbreitung neuer Energietechnologien. Das vorhandene und weiterzuentwickelnde Profil gemäss den bisher bearbeiteten Technologiefeldern ist deutlich sichtbar: Prioritär sind Energieeffizienz, Verfahrenstechnik und Photovoltaik. Das weiter oben in diesem Bericht als ebenfalls wichtig erkannte Feld „Energiespeicherung“ wird mit mittlerer Intensität, dasjenige Feld „Energiesysteme, Netze und Elektrizitätsübertragung“ mit geringer Intensität bearbeitet. Das Markt- und Exportpotential wird in einer Mehrzahl der Technologiegebiete positiv beurteilt und als Chance gesehen. Eine Stärkung und Beschleunigung von Forschung und Entwicklung wird von allen antwortenden Unternehmen begrüsst. Das Interesse und die Bereitschaft, bei P&D-Projekten mitzuwirken, sind besonders gross. Allerdings bleibt unklar, ja ist zweifelhaft, ob die antwortenden Unternehmen selber namhafte finanzielle Beiträge bei P&D-Projekten leisten könnten. Der Bund müsste als Moderator wirken, damit zusammen mit Kantonen und der Privatwirtschaft über Public-Private-Partnerships lokale Pilot- und Demonstrationsprojekte zustande kommen und auch effektiv realisiert werden. Dazu muss der Bund selber finanzielle Mittel einsetzen können. Damit die allfällig positiven Resultate der Energieforschung erfolgreich umgesetzt werden können, sind zum Abbau des festgestellten Fachkräftemangels im Bereiche der Energietechnologien auch Massnahmen zur Aus- und Weiterbildung auf allen Stufen notwendig.

5. Nationale und internationale Abstimmung

Eine Vielzahl von Ländern und insbesondere die EU setzen sich intensiv mit der Energieforschung auseinander. Und Energieforschung ist, wie jede Forschung, in hohem Grade international. Forscherteams der Schweiz engagieren sich in der grenzüberschreitenden Zusammenarbeit. Diese erzeugt Synergien und hilft, Doppelspurigkeiten zu vermeiden, die Forschungseffizienz zu steigern und die jeweilige Industrie zu stärken. Dies bringt allen Beteiligten einen Gewinn.

Eine besondere Bedeutung hat dabei die Zusammenarbeit im Rahmen der Internationalen Energie-Agentur IEA und in den Forschungsprogrammen der Europäischen Union. Über die Teilnahme an internationalen Forschungsprogrammen lassen sich auch im Bereich der Energieforschung sowohl für den Hochschulbereich wie für die Wirtschaft finanzielle Ressourcen mobilisieren.

„Strategic Energy Technology Plan“ (SET-Plan)

Im Rahmen der Bilateralen I beteiligt sich die Schweiz seit 2004 an den Forschungsrahmenprogrammen der Europäischen Union. Im Bereich der Energieforschung ist die Europäische Union besonders aktiv. Im Zentrum steht der „Strategic Energy Technology Plan“ (SET-Plan)⁸. Dieser verfolgt das Ziel, anhand von Forschungs- und Umsetzungsprojekten (vor allem P&D-Projekte) die Energieproduktion aus erneuerbaren Energieträgern zu erhöhen, den CO₂-Ausstoss aus fossil befeuerten Grosskraftwerken zu reduzieren (Carbon Capture and Storage) und das elektrische Netz auf die zunehmenden dezentralisierten Einspeisungen vorzubereiten. Er ist das zentrale Instrument der EU zur Erreichung der von ihr gesteckten klimapolitischen Ziele 2020. Das 7. Forschungsrahmenprogramm der EU ist eine der wichtigsten Finanzierungsquellen dieses Plans.

Im Rahmen des SET-Plans werden sieben „**European Industrial Initiatives**“ in folgenden Themenbereichen verfolgt: Wind, Photovoltaik und konzentrierte Sonnenenergie, elektrische Netze, Biomasse, Nuklearenergie sowie CO₂ Abtrennung, Transport und Speicherung (CCS). Dafür ist von der EU bis 2020 der Einsatz von rund 60 Milliarden Euro vorgesehen.

Die Schweiz ist über den Einsitz des BFE im „Energy Committee“ des 7. Forschungsrahmenprogramms und in der „Steering Group“ des SET-Plans direkt in die laufenden Prozesse zum SET-Plan involviert. In beiden Steuerungsgremien geniesst die Schweiz den Status eines assoziierten Landes (ohne Stimmrecht) und kann ihre Anliegen unmittelbar in die Diskussionen einbringen.

In der Forschungszusammenarbeit mit der EU besteht für die Schweiz die Schwierigkeit, dass deren Programme und Initiativen immer mehr ausserhalb des eigentlichen Forschungsrahmenprogramms angedacht und umgesetzt werden und so den Forschenden aus der Schweiz nicht oder nur unter erschwerten Bedingungen zugänglich sind. Die weitere Entwicklung in der Energieforschung der EU lässt sich noch nicht genau abschätzen. 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

⁸ Vgl. dazu sowie generell für Informationen über die Energieforschung in der EU: „SETIS – Strategic Energy Technology Information System“, <http://setis.ec.europa.eu/about-setis/set-plan> <http://setis.ec.europa.eu/about-setis/set-plan>

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 Institute of Innovation and Technology (EIT) oder das Competitiveness and Innovation Framework Programme (CIP) zu verstehen.

Europäisches Energieforschungsbündnis (EERA)

Eine Grosszahl von Organisationen der Energieforschung in Europa hat sich zum Europäischen Energieforschungsbündnis (EERA) zusammengeschlossen, um noch effizienter und effektiver forschen zu können. Dieses will seine Aktivitäten in gemeinsamen Forschungsprogrammen koordinieren. Mittlerweile arbeiten innerhalb des EERA mehr als 2000 Forscher aus 150 Organisationen und Institutionen – u.a. aus der Schweiz auch das PSI - mit einem Investitionsvolumen von über 200 MEUR zusammen. Es besteht die klare Absicht zum grosszügigen weiteren Ausbau. Die thematischen Schwerpunkte sind: Solarenergie, Brennstoffzellen und Wasserstoff, Meeresenergie, intelligente Städte, Energiespeicherung und fortgeschrittene Werkstoffe und Prozesse der Energieanwendungen. Zusammen mit bereits laufenden Forschungsprogrammen deckt das EERA alle Themengebiete des SET-Planes ab.

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 Fission (Kernspaltung) auch die Fusion 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, liegt zwischen den Fusions- und den Fissionsbeiträgen ein Faktor zehn⁹. Die Beteiligungsregeln in den drei Programmteilen von Euratom sind unterschiedlich.

Deutschland: Energietechnologien 2050 - Schwerpunkte für Forschung und Entwicklung

Im Sommer 2008 hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie die sehr umfangreiche Studie „Energietechnologien 2050 – Schwerpunkte für Forschung und Entwicklung“ in Auftrag gegeben¹⁰. Ziel der Studie war es, neue Akzente bei bereits bestehenden F&E-Themen sowie ggf. neue F&E-Themen aus der Perspektive einer öffentlichen Förderung zu identifizieren. Die Studie sollte für Deutschland einen wesentlichen Beitrag für die forschungspolitische Ausrichtung sowie die Prioritätensetzung einer längerfristigen Förderpolitik (bis 2050) für die nicht-nukleare

⁹ In den Jahren 2012/13 sind geplant: Fusion 2208 Mio. €, Fission 118 Mio. € und JRC 223 Mio. €.

¹⁰ Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Gesamtleitung), Energietechnologien 2050 - Schwerpunkte für Forschung und Entwicklung; Zusammenfassung der Ergebnisse in den Büchern "Energietechnologien 2050 - Politikbericht" und "Energietechnologien 2050 - Technologiebericht" [13]. Diese enthalten eine ausführliche Beschreibung und Bewertung der untersuchten Technologien. http://www.energietechnologien2050.de/wDefault_4/index.php
http://www.energietechnologien2050.de/wDefault_4/index.php

Energieforschung liefern. Sie diente der Vorbereitung des neuen Energieforschungsprogramms¹¹ und wurde 2010 publiziert.

In der umfassenden Studie werden die Entwicklungspotenziale und Nutzungsoptionen innovativer Energietechnologien dargestellt. Dazu wurden die aktuellen F&E-Schwerpunkte untersucht und darauf aufbauend die kurz- und mittelfristigen Entwicklungsziele für die relevanten Energietechnologien formuliert. Die Ableitung langfristiger Entwicklungsziele erfolgte aufgrund einer Technikcharakterisierung, die Entwicklungshemmnisse, wirtschaftliche Herausforderungen und sozio-ökonomische Aspekte beinhaltet.

Das Meinungsbild über die Relevanz der Technologiefelder für eine öffentliche Förderung wurde über eine Befragung gewonnen. Befragt wurden das die Studie leitende Konsortium, die wissenschaftlichen Forschungseinrichtungen des Konsortiums und deren Industriepartner. Daraus ergab sich, dass den Themen **erneuerbare Energien** und **Energieeffizienz** in allen Szenarien eine hohe Bedeutung zugesprochen wird. Es wurde empfohlen, hier Schwerpunkte in einer öffentlichen F&E-Projektförderung der Bundesregierung zu setzen. Themenfelder **Energiespeicher** und **Stromnetze** spielten bisher in der Projektförderung der Bundesregierung eine eher untergeordnete Rolle. Es wird empfohlen, diesen Themenfeldern künftig mehr Bedeutung zuzusprechen. Weitere Themenfelder sind stärker Szenario-abhängig und zur Absicherung gegen bestimmte Rahmenbedingungen von hoher Bedeutung, z.B. die CO₂-Speicherung und –abscheidung beim Klimaschutzszenario.

Vergleich der Technologieschwerpunkte

Ein Vergleich der Technologieschwerpunkte zwischen der Schweiz, dem SET-Plan der EU und den Empfehlungen des Expertenkonsortiums in Deutschland zeigt folgendes Bild: Im Bereich Wind kann die Schweiz von den Anstrengungen im Ausland profitieren. Analoges gilt für CCS, wo sich für die Schweiz ein Vorgehen im internationalen Verbund empfiehlt. Bei den elektrischen Netzen / „Smart Cities“ legt das Ausland einen klaren Schwerpunkt; gleichzeitig besteht in der Schweiz in diesem Bereich eine markante Lücke. Aus Gründen der strategischen Bedeutung dieses Bereichs für das gesamte Energiesystem sollte die Schweiz hier nicht nur von den Arbeiten im Ausland profitieren, sondern selber substantielle Anstrengungen zur Stärkung der Kompetenzen im Bereich elektrischer Netze unternehmen.

¹¹ Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Das 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung, Berlin 2011.

III. Umsetzung der Empfehlungen – die Vorschläge der Institutionen zum Kapazitätsaufbau

1. ETH-Bereich

Der ETH-Bereich [1, 2] beschäftigt sich intensiv mit den verschiedensten Aspekten von Energie und hat in den vergangenen Jahren bereits substantielle Schwerpunktverlagerungen zugunsten des Energiebereichs vorgenommen. Dabei war und ist ihm die Ausbildung des Nachwuchses in den hier angesprochenen Themenbereichen ein zentrales Anliegen.

So hat z.B. die *ETH Zürich* (teilweise gemeinsam mit Forschungsanstalten) in den Jahren 2009-2011 durch interne Umlagerungen ordentlicher Mittel u.a. neun Professuren in den Bereichen der elektrischen Energieforschung, Energiespeicherung und des nachhaltigen Bauens und damit der Energieeffizienz geschaffen, zum Teil beschleunigt durch Drittmittelfinanzierungen. Die langfristige Finanzierung erfolgt durch die ETH Zürich und teilweise durch die Forschungsanstalten.

Elektrische Energieforschung

- Hyung Gyu Park (Energy Technology: Thermoscience of Fuel Engineering)
- Christian Franck (Hochspannungstechnik)
- Christoph Müller (Energy Science & Engineering)
- Jürgen Biela (Hochleistungselektronik)

Energiespeicherung

- Maxim Kovalenko (Advanced Inorganic Materials, D-CHAB), mit Empa
- Thomas Schmidt (Electrochemistry, D-CHAB), mit PSI
- Jeroen van Bokhoven (Heterogene Katalyse, ICB), mit PSI

Nachhaltiges Bauen

- Ingo Burgert (Wood Materials Science, D-BAUG), mit Empa
- Arno Schlüter (Sustainable Building Technologies)

Auch die EPFL hat in der Periode 2009 bis 2011 bedeutende Restrukturierungen zugunsten der Energieforschung realisiert so etwa in der «Faculté Environnement Naturel, Architectural et Construit, ENAC». Mit Industrieunterstützung wurde ein Zentrum für Energiespeicherung und erneuerbare Energien gegründet sowie ein Lehrstuhl für «Distributed Electrical Systems» geschaffen. Seit 2011 vereint das Programm EcoCloud (Innovating Economical and Eco-Friendly Cloud Computing) ein Dutzend Institute der EPFL, die durch Kombination ihrer Spezialkenntnisse versuchen, das Wachstum des Energiebedarfs von Informatikanlagen zu reduzieren. Im Januar 2012 wurde in einer gemeinsamen Aktion mit dem Wallis die Schaffung von elf neuen Professuren angekündigt, u.a. auf dem Gebiet der Energieforschung.

Das *PSI* hat in den letzten Jahren bereits wesentliche Umorientierungen vorgenommen. So wurde 2011 die Stilllegung des letzten und einzigen Null-Leistungs-Forschungsreaktors Proteus beschlossen. Für das vom ETH-Bereich initiierte Kompetenzzentrum Competence Center Energy and Mobility (CCEM) sind leistungsfähige Forschungsinfrastrukturen geschaffen worden. Die Aktivitäten des Labors für Stoffkreisläufe wurden in Richtung Bioenergienutzung und Katalyse umorientiert. Das neu geschaffene Labor «Katalyse und nachhaltige Chemie» hat fortgeschrittene Charakterisierungsmethoden für Katalysatoren an der Swiss Light Source (SLS) etabliert.

Auch die *Empa* hat aus Institutsmitteln leistungsfähige neue Infrastrukturen für die Energieforschung errichtet, u.a. einen dynamischen Motorenprüfstand und einen Windkanal für die Gebäudeforschung. Der Bereich Energie und Umwelt wurde personell gestärkt, u.a. durch die neu geschaffene Abteilung 'Hydrogen and Energy'. Viele der Materialforschungsaktivitäten weisen einen wesentlichen Energiebezug auf.

Damit die Energieforschung nachhaltige Beiträge in den im Kap. II vorgeschlagenen Themenbereichen erarbeiten kann, muss die Verstärkung schrittweise und mit langfristiger Optik erfolgen; dazu sind zusätzliche Mittel unabdingbar. Dabei ist auf den bestehenden Kompetenzen an den Institutionen des Wissenschaftsbereichs aufzubauen. Zwischen den in den letzten Jahren in der Energieforschung bereits tätigen Forschungsinstitutionen sollen Synergien genutzt werden, um eine grösstmögliche Hebelwirkung zu erzielen.

Vorgeschlagen wird die Schaffung zusätzlicher, neuer Forscherteams um neue Professuren und Laboratorien sowie die Verstärkung der dazu notwendigen wissenschaftlichen Infrastruktur. Im ETH-Bereich ist vorgesehen, jedes Jahr 4 neue Forschungsteams inklusive Infrastruktur in den in Tabelle 7 angegebenen Gebieten zu bilden und aufzubauen [1].

Für den Aufbau eines Forschungsteams (inklusive experimentelle Labor-Infrastruktur), an einer Institution des ETH-Bereichs muss mit Durchschnittskosten von 2 MCHF pro Team und Jahr gerechnet werden. Daraus resultiert bezogen auf die Legislaturperiode 2013-2016 die folgende zeitliche Verteilung des beantragten Zusatzkredits für den ETH-Bereich:

Jahr	neue Teams	operative Teams	Kosten/Jahr für alle operativen Teams
2013	4	4	8 MCHF
2014	4	8	16 MCHF
2015	4	12	24 MCHF
2016	4	16	32 MCHF
Total Legislaturperiode 2013-2016			80 MCHF

Jahr	neue Teams	operative Teams	Kosten/Jahr für alle operativen Teams
2017	4	20	40 MCHF
2018	4	24	48 MCHF
2019	4	28	56 MCHF
2020	4	32	64 MCHF
Total Legislaturperiode 2017-2020			208 MCHF

Die Entscheidung über die Zuteilung dieser Mittel liegt beim ETH-Rat. Er geht dabei von wissenschaftlich begründeten Forschungs- und Lehrplänen aus, mit dem Ziel, die Umsetzung der Energiestrategie des Bundesrates zu unterstützen. Der Prozess der Selektion der Teams und die Qualitätskontrolle folgen den etablierten Verfahren.

Die Grösse der Herausforderungen und die Komplexität der Systeme erfordern vernetzte Forschung und schweizweite Kollaborationen zwischen ETH-Bereich, Fachhochschulen, Universitäten und Industrie. Deshalb sollen Kompetenzzentren geschaffen werden oder bestehende, erfolgreich arbeitende Zentren mit dem erweiterten Auftrag versehen werden, diese Zielsetzung unter Beteiligung aller genannten Bildungs- und Forschungsinstitutionen zu verfolgen. Dabei ist auf Kollaborationsprojekte zu fokussieren, welche die grossen Herausforderungen des Energiesystems adressieren. Im Sinne von Public-Private-Partnerships wird eine

Finanzierung dieser thematischen Netze aus dem beantragten Zahlungsrahmen sowie über die kompetitive Einwerbung von Zweit- und Drittmitteln angestrebt.

Inhaltlich sollen sich die zusätzlich aufzubauenden Forscherteams an den Themenbereichen orientieren, die in der folgenden Tabelle 7 angegeben sind. Diese ergeben sich aus den Überlegungen und Befunden zu den prioritären Aktionsfeldern in Kapitel II und sind für die Umsetzung der Energiestrategie notwendig.

Aktionsfelder Forschungs-Teams ETH-Bereich	2013-2016	2017-2020
Effizienz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nanomaterialien für Energietechnik ▪ Niedrigenergie-Niedrigemissions-Gebäude ▪ Katalyse-Forschungszentrum ▪ Mobilität mit niedrigsten CO₂- und Schadstoffemissionen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Industrielle Effizienz ▪ Elektromobilität ▪ Leichtbau-Werkstoffe für die Fahrzeugtechnik
Elektrizitätsübertragung, Netze	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Komplexe Energiesysteme: Modelle, Szenarien, Management ▪ Neue urbane Konzepte ▪ Hochleistungselektronik für intelligente Netze 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fortgeschrittene Konzepte für urbane Regionen ▪ Integration der dezentralen Erzeugung im System ▪ Leistungsautarke Quartiere und Gemeinden ▪ Ressourceneffizienz
Energiespeicherung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Thermische Energiespeicherung ▪ Elektrische Energiespeicherung, Batterien ▪ Elektrolyse, Elektrochemie ▪ Hochdynamische Pumpspeicherwerke 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Solare Thermochemie ▪ Nutzung und Speicherung von Abwärme, z.B. durch Thermoelektrizität
Produktion	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Geothermie und CCS (Carbon Capture and Storage) ▪ „Geoengineering“ ▪ Dünnschicht-Photovoltaik, insbes. Fertigungstechnologien ▪ Biomasse (biogene Brennstoffe) ▪ Dezentrale Strom- / Wärme- / Kälteerzeugung mit Biomasse ▪ Kleinstwasserkraftwerke 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Photovoltaik ▪ Solare Brennstoffe ▪ Biomasse (flüssige Energieträger)
Ökonomie, Ökologie, Gesellschaft	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Energieökonomie und Energiepolitik ▪ Ressourcen-Management und sozioökonomische Forschung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Innovation und Energiepolitik ▪ Gesellschaft und "public policy" ▪ Ressourcenökonomie ▪ Sozioökonomische Forschung

Tab. 7: Kapazitätsaufbau in der Energieforschung im ETH-Bereich (ein typisches Forschungsteam besteht aus 1 „Full-time equivalent“-Professur und Forscherteam, bestehend aus Senior Scientist, Postdoktoranden, Doktorierenden und technischen Mitarbeitenden; Durchschnittskosten pro Team 2 MCHF/a inklusive experimentelle Infrastruktur).

Tabelle 7 fasst stichwortartig die im Kapitel II vorgeschlagenen zusätzlichen Forschungsaktivitäten zusammen. Diese sind im Sinne der Abb. 1 erforderlich, um die Grundlagen für die Umsetzung neuer und neuester Technologien in den folgenden Perioden (bis 2035 bzw. 2050) zu schaffen. Wie oben ausgeführt, können diese wichtigen Themen nur mit zusätzlicher Forscherkapazität bearbeitet werden, für

welche zusätzliche Grundfinanzierung bereitgestellt werden muss. Der strategische Einsatz dieser zusätzlichen Ressourcen bis 2020 ist notwendig, damit die Umsetzung und Markteinführung der benötigten Technologien zur Erreichung der politischen Ziele für die Jahre 2035 bzw. 2050 überhaupt eine Chance erhalten, die erforderlichen Beiträge zu leisten.

Damit diese Umsetzung stattfinden kann, sind des weiteren Pilot- und Demonstrationsanlagen zu realisieren, an denen neue Technologien im industriell relevanten Massstab erprobt und gezeigt werden können. Die Erfahrung der Technologiesgeschichte beweist die Notwendigkeit dieses Zwischenschritts zwischen Labor-Piloteinrichtungen und industriellen Produktionsanlagen. Ohne die Möglichkeit, P&D-Anlagen zu realisieren, besteht die Gefahr, dass neuartige Verfahren mit hohem Beitragspotential zur neuen Energiepolitik von der Industrie als nicht ausreichend erprobt eingestuft, nicht aufgegriffen und damit von der Umsetzung ausgeschlossen werden.

Diese Angaben geben einen groben Eindruck über die vorhandenen Kapazitäten der ETH in der Energieforschung. Die folgenden Überlegungen zum Bedarf und Ausbau künftiger Energieforschung müssen von diesen Kapazitäten ausgehen.

Es ist aus ETH-Sicht offensichtlich, dass mehr Forschung auch mehr Forschungskapazität (Professoren, wissenschaftliche Mitarbeiter, experimentelle Einrichtungen) erfordert. An den Hochschulen werden die Forschungsschwerpunkte laufend überprüft, Forschungsmittel in neue Gebiete umgeleitet; neue Gelder fliessen von privater Seite in die Hochschulen. Diesen Umschichtungen sind durch die berechtigten Anliegen anderer Disziplinen enge Grenzen gesetzt. Bisher (auch nur teilweise) in der Energieforschung tätige Professorinnen und Professoren können ihr Engagement verstärken. Nach der erfolgten Intensivierung und Beschleunigung der F&E-Aktivitäten sind weitere Effizienzgewinne jedoch kaum mehr möglich. Das Aufgreifen der neuen, zusätzlichen Forschungsthemen mit hohem Umsetzungspotential, welche in den folgenden Abschnitten skizziert werden, erfordern deshalb zusätzliche Finanzmittel.

Das Szenario des ETH-Bereichs setzt für die Periode 2013 - 2016 die Verfügbarkeit der folgenden zusätzlichen Bundesmittel für die Energieforschung voraus:

- Aufbau Forschungsteams in ausgewählten Themenbereichen 80 MCHF
- Ausbau von Kompetenzzentren im Energiebereich mit erweiterter Mission im Energiebereich
- Investitionen in Forschungsinfrastruktur

2. Fachhochschulen

Die öffentlich-rechtlichen Fachhochschulen [3] betreiben seit Jahren anwendungsorientierte Energieforschung (aF&E) in enger Zusammenarbeit mit ihren Praxispartnern aus der Wirtschaft. Das Volumen ihrer Energieforschung betrug 2010 rund 40 MCHF (ohne Pilot- und Demonstrationsanlagen und Investitionen) . Rund die Hälfte davon finanzierten die Träger der Fachhochschulen, also die Kantone. Etwa ein Viertel der Finanzierung leistete die an der aF&E beteiligte Wirtschaft; ein weiteres Viertel wurde durch eingeworbene kompetitive Mittel der öffentlichen Hand (KTI, SNF, EU-Programme) gedeckt.

Die Portfolioanalyse der Energieforschung an den Fachhochschulen hat gezeigt, dass ihre Forschungsschwerpunkte heute bei *Energieeffizienz* und *Stromerzeugung* liegen.

Bereits heute liefern die Fachhochschulen in diesen Themenbereichen bedeutende aF&E-Leistungen für die Schweizer Wirtschaft. Es gilt, diese für die erfolgreiche Umsetzung der schweizerischen Energieziele unverzichtbare aF&E in den nächsten Jahren weiter zu stärken und gezielt auszubauen. Aktionsfelder mit Entwicklungspotenzial, die intensiv erschlossen und ausgebaut werden sollen, sind *Übertragung / Netze* und *Speicherung*. Daneben richten die Fachhochschulen ihr Augenmerk auch auf *nicht technologieorientierte Themenbereiche*, in denen sie besonders ihre interdisziplinären Stärken zur Wirkung bringen können.

In der im Zusammenhang mit dem Aktionsplan erarbeiteten Potenzialanalyse gehen die Fachhochschulen von einem substanziellen Wachstum aus und ermitteln für 2016 ein aF&E-Volumen (ohne P&D und Investitionen) von knapp 60 MCHF und für 2020 deutlich über 70 MCHF. Eine Realisierung dieser Perspektive ist allerdings an drei wesentliche Faktoren geknüpft:

1. Weil die Fachhochschulforschung unmittelbar an die Technologie- und Innovationsentwicklung der involvierten Unternehmen gekoppelt ist, entsteht in der Umsetzung der Forschungsergebnisse eine grosse Hebelwirkung. Dies setzt jedoch eine entsprechende Investition von Seiten der Unternehmen voraus.
2. Die Fachhochschulen können ihre Kapazitäten nur dann ausbauen, wenn der Mix ihrer Finanzierung für ihre aF&E (Kantone, Bund, Wirtschaft) so angepasst wird, dass ein Teil des Wachstums über zusätzliche Bundesmittel finanziert werden kann¹².
3. Die KTI als zentrales Innovationsförderungsinstrument muss mit zusätzlichen Mitteln zweckgebunden für die Förderung der Energieforschung ausgestattet werden.

Die Kosten des F&E-Wachstums von rund 34 MCHF bis 2016 (Kapazitätsaufbau) mit zwei neuen Forschungsteams pro Jahr sollen zu 36 % durch zusätzliche direkte Bundesmittel, zu 28% durch kompetitive Bundesmittel, zu 25 % durch die Wirtschaft und zu 11 % durch die Kantone gedeckt werden (vgl. Abb. 4). Für den Kantonsanteil wird angenommen, dass er durch interne Umlagerungen an den Fachhochschulen bereitgestellt wird.

Die Fachhochschulen gehen im Bereich der Energieforschung von einem kontinuierlichen (nicht sprunghaften) Wachstum über die Jahre aus. Sie erachten für die Periode 2013 - 2016 Investitionen für die Implementierung von jährlich zwei neuen Forschungsteams als nachhaltig (pro Forschungsteam sind Vollkosten von rund 1.7 Mio. Franken veranschlagt¹³).

¹² Der *Masterplan Fachhochschulen von Bund und Kantonen* postuliert, dass die Forschungskosten der Fachhochschulen im Durchschnitt über alle Fachbereiche einen Anteil von höchstens 20% der Betriebskosten erreichen sollen. In den technischen Fachbereichen ist dieser Wert heute bereits deutlich überschritten. Es ist deshalb davon auszugehen, dass die Trägerkantone für das projizierte Wachstum der Energieforschung keine signifikanten Zusatzfinanzierungen leisten können. Die sich dadurch öffnende Finanzierungslücke von rund 12 MCHF für die Periode 2013 - 2016 muss deshalb mit neuen Bundesmitteln für die Energieforschung geschlossen werden.

¹³ Forschungsteam in „Full-Time Equivalents“: Professor/Professorin 0.5, wissenschaftliche Mitarbeitende 0.5, Assistierende 4, technisches Personal 0.5).

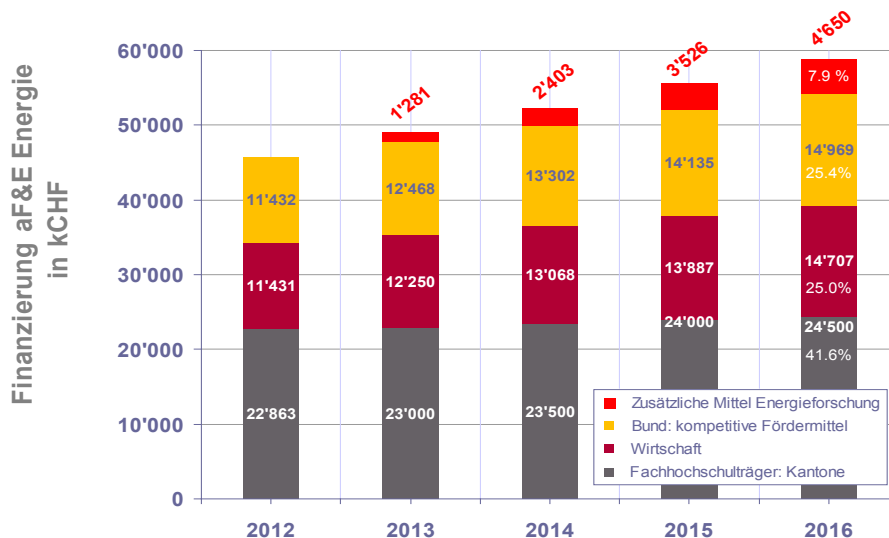


Abb. 4: Finanzierung der angewandten F&E an den Fachhochschulen: Kantonsbeiträge, Wirtschaftsbeiträge, kompetitive Mittel vom Bund und zusätzliche Bundesmittel für die Mitfinanzierung des Kapazitätsaufbaus (s. auch Tabelle unten); Abbildung aus [3].

Jahr	neue Teams	operative Teams	Kosten/Jahr (alle Teams)	Bundesanteil
2013	2	2	3.4 MCHF	1.3 MCHF
2014	2	4	6.8 MCHF	2.4 MCHF
2015	2	6	10.2 MCHF	3.5 MCHF
2016	2	8	13.6 MCHF	4.7 MCHF
Total Legislaturperiode 2013-2016			34 MCHF	12 MCHF

Das Wachstumsszenario legt also weiterhin eine Akquisition einer Direktfinanzierung von 25 % durch die in Projekte eingebundenen Unternehmen sowie die Einwerbung von kompetitiven Fördermitteln des Bundes von 25 % - 30 % zugrunde und setzt damit voraus, dass die KTI 2013 - 2016 zweckgebunden mit zusätzlich rund 20 Mio. Franken dotiert wird. Dieser Betrag ergibt sich aufgrund der Erfahrung der letzten Jahre, wonach die Fachhochschulen im Energiebereich rund die Hälfte der KTI-Fördermittel akquirieren können.

Die geplante inhaltliche Orientierung der zusätzlich aufzubauenden Teams soll nach den in Tabelle 8 angegebenen Themenbereichen erfolgen. Diese ergeben sich aus den Überlegungen zu den prioritären Aktionsfeldern in Kapitel II und sind für die Umsetzung der Energiestrategie von besonderer Bedeutung.

Aktionsfelder Forschungs-Teams Fachhochschulen	2013-2016
Effizienz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Energie in Gebäuden ▪ Wärmepumpen und Kälteanwendungen, WKK ▪ Elektrizitätstechnologien und –anwendungen ▪ Verfahrenstechnische Prozesse
Elektrizitätsübertragung, Netze	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Smart Grid Technologie, Sensoren und Messsysteme ▪ Leistungselektronik für Hochspannungstechnik
Energiespeicherung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stromspeicherung in Akkumulatoren und Supercaps ▪ Chemische Speicherung ▪ Wärmespeicherung inkl. Solarwärmespeicherung
Produktion	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Photovoltaik ▪ Biomasse und Holzenergie ▪ Solarwärme und industrielle Solarenergienutzung ▪ Wasserkraftanlagen ▪ Windenergie ▪ Brennstoffzellen

Tab. 8: Kapazitätsaufbau in der Energieforschung bei den Fachhochschulen (typisches Forschungsteam: 0.5 „Full-time Equivalent“-Professur, 0.5 wissenschaftlicher Mitarbeiter, 4 Assistierende, 0.5 technisches Personal; typische Kosten 1.7 MCHF/a)

Flankierend zur Finanzierung der aF&E fallen im *Szenario der Fachhochschulen 2013 - 2016* Investitionen in Pilot- und Demonstrationsanlagen (P&D) von 27 MCHF an. Etwa 55% aller Aufwendungen dürften auch hier durch die Fachhochschulträger und etwa 25% durch Wirtschaftsbeiträge gedeckt werden können. Für 20% der Kosten ist eine Finanzierung aus neuen Bundesmitteln für die Energieforschung vorgesehen (ca. 5.5 MCHF, vgl. Kap VI).

In welchem Ausmass in der Periode 2013 - 2016 grössere *Investitionen* (grösser als 1 MCHF) anfallen werden, ist in der heutigen Ausgangslage noch nicht plausibel abschätzbar. Die Fachhochschulen gehen von Aufwendungen in der Höhe von rund 6 Mio. Franken und einem Kostenteiler von 75% zu Lasten zusätzlicher Bundesmittel für die Energieforschung und 25% zu Lasten der Fachhochschulträger und der Wirtschaft aus.

Das Fachhochschulzenario setzt für die Periode 2013 - 2016 die Verfügbarkeit der folgenden zusätzlichen Bundesmittel für die Energieforschung voraus:

- 12 MCHF zur Mitfinanzierung des Aufbaus von jährlich zwei neuen Forschungsteam
- 5.5 MCHF zur Mitfinanzierung von Pilot- und Demonstrationsanlagen (P&D)
- 4.5 MCHF zur Mitfinanzierung von Investitionen
- 20 MCHF für zusätzliche zweckgebundene Mittel für die KTI (die Erfahrung zeigt, dass es den Fachhochschulen gelingt, rund 50% der Fördermittel einzuwerben, die in Energieprojekte gehen, was zu 10 MCHF zusätzlichen kompetitiven Mitteln führen würde.)

Für die Periode 2017-2020 sind Abschätzungen nur spekulativ möglich; die einfachste Annahme ist – immer ein entsprechendes komplementäres Angebot von Mitteln der Industrie/Wirtschaft für angewandte Projekte vorausgesetzt – eine kontinuierliche Weiterentwicklung der F&E-Wachstumsfinanzierung wie in der Periode 2013-2016.

Jahr	neue Teams	operative Teams	Kosten/Jahr	Bundesanteil (ca. 36%)
2017	2	10	17 MCHF	6.1 MCHF
2018	2	12	20.4 MCHF	7.3 MCHF
2019	2	14	23.8 MCHF	8.6 MCHF
2020	2	16	27.2 MCHF	9.8 MCHF
Total Legislaturperiode 2017-2020			88.4 MCHF	31.8 MCHF

3. Universitäten

Die Energieforschung an den Schweizer Universitäten [4] findet vor allem im Bereich der Grundlagenforschung statt. An den Universitäten Basel, Bern, Fribourg, Genève, Neuchâtel und Zürich befassen sich zwischen 7 und 12 Forscherteams in unterschiedlichem Ausmass mit energiebezogenen Themen. Anwendungsorientierte Schwerpunkte sind Geothermie, Seismik, Lagerung von CO₂ und radioaktiver Stoffe, ökonomische, juristische und soziale (Verhaltens-)Fragen im Zusammenhang mit Energie.

Insbesondere die Universität Neuchâtel mit einem Schwerpunkt Geothermie und Endlagerung radioaktiver Stoffe sowie die Universität Bern mit den Schwerpunkten Geologie, Seismik und CO₂-Lagerung befassen sich mit technischen Fragestellungen im Zusammenhang mit der Stromproduktion.

Juristische, energiepolitische, ökonomische und sozial-psychologische Forschung sind Schwerpunkte an den Universitäten Basel und Zürich.

Auch an den Universitäten sind Veränderungen in Richtung einer Stärkung der Energieforschung bereits im Gange. An der Universität Genf ist eine Stiftungsprofessur im Bereich der Nutzung von Holz als erneuerbare Ressource ausgeschrieben; eine weitere (bereits bewilligte) Professur im Bereich der Nutzung von Holz als chemischer Rohstoff. Eine weitere von der Privatwirtschaft finanzierte Professur wird im Bereich Energieeffizienz im 2012 ausgeschrieben.

Die Universität Bern plant eine Professur in nachhaltiger Entwicklung, während die Universität Neuenburg kürzlich einen ordentlichen und einen ausserordentlichen Professor in Energieökonomik berufen hat,

Die Universitäten schlagen an den grössten Universitäten einen Kapazitätsaufbau vor (Totalkosten 15-20 MCHF / Jahr) im Vollausbau. Dabei gehen sie von 3-5 Professuren pro Universität im Bereich Energie aus. Der Ausbau wird auf die Periode 2013-2016 beschränkt; Aussagen über die Periode 2017-2020 wären rein spekulativ.

Der erwartete Anteil der Bundes bewegt sich bei 20-25%. Dabei wird angenommen, dass ein Forscherteam (Professor mit wissenschaftlichen Mitarbeitern) ca. 1.5 MCHF kostet. Die Erarbeitung von neuen Doktoratsprogrammen generiert zusätzlich Kosten von 0.3 bis 0.75 MCHF/Jahr von 2013-2017.

Jahr	neue Teams	operative Teams	Kosten/Jahr (alle Teams)	Bundesanteil*
2013	3	3	4,5 MCHF	1.0 MCHF
2014	3	6	9.0 MCHF	2.0 MCHF
2015	3	9	13.5 MCHF	3.0 MCHF
2016	3	12	18 MCHF	4.0 MCHF
Total Legislaturperiode 2013-2016			45 MCHF	10 MCHF

*inklusive Aufbau neuer Doktorprogramme

Für die Periode 2017 -2020 wird nicht mit einem weiteren Aufbau gerechnet. Die Universitäten gehen dann von jährlichen Zusatzkosten von 20 MCHF aus, davon 5 MCHF vom Bund, was für die ganze Periode 20 MCHF zusätzliche Bundesbeiträge bedeuten würde.

IV. Auswertung und Beurteilung der Aktionsfelder in der Übersicht

1. Zusammenfassende Bewertung – Profil der Technologiebereiche

Profil Technologiebereiche am Standort Schweiz	Biomasse / Biogas	Windenergie	Wasserkraft	Elektrische Netze / System	Speichertechnologie	Verfahrenstechnik	Geothermie	Solare Wärme / Kühlung / Treibstoffe	Gas-/Dampf KW/CCS	Photovoltaik	Energieeffizienz	
Potenzial zum Abbau der Stromlücke	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	klein (unter 5%) mittel (bis 10%) gross (über 10%)
Profil der Forschung												
Sicht Industrie: Profil am Standort Schweiz				--	++	+++				+++	+++	Umfrage 2011, Teilnahme 160 Unternehmen
Teilnahme Schweiz am 7. RP EU, Bereich Energie	2%	2%	1%	4%	8%	2%	3%		8%	35%	11%	2007-2010 mit 35 Mio. Euro = 100%

Abb. 5: "Holzschnittartige" Wertung der Technologien. Eine differenzierte Beurteilung wird im Teilbericht "Assessment of Technology Fields" [5] vorgenommen und in der Bewertung durch die CORE (Kap. IV/2). Die Balken deuten an, wo die Forschungsanstrengungen in der Wertschöpfungskette positioniert sind und wie sich der Charakter der Forschung als Funktion der Zeit von den Grundlagen bis zur Umsetzung ändert. Der Fokus des Aktionsplans ist auf angewandter Forschung und den P&D-Versuchen (s. Umrahmung). Die Bewertung der CORE zum „Profil der Forschung“ ist ebenfalls in diese Darstellung eingeflossen. Das Profil am Standort Schweiz beruht auf der Einschätzung der 160 KMUs. (Die Potenzialabschätzung für tiefe Geothermie bleibt schwierig und ist deshalb uneinheitlich.)

Abb. 5 präsentiert die Resultate der Technologie-Bewertung (Stand wie in [12] beschrieben, ergänzt durch die Sicht der Forschenden gemäss Assessmentbericht [5]) „holzschnittartig“, also auf hohem Abstraktionsniveau. Ins „Profil der Forschung“ ist auch die CORE-Bewertung eingeflossen. Die Potenziale beziehen sich auf einen angenommenen jährlichen Strombedarf von 60-70 TWh.

Förderbedarf besteht im Hinblick auf die neue Energiepolitik vor allem bei der angewandten Forschung und bei Pilot- und Demonstrationsanlagen. Der Wissens- und Technologietransfer stimuliert die Entwicklung und die Umsetzung im Markt durch industrielle Akteure.

Die Zeile „Sicht der Industrie“ repräsentiert die Sicht der hauptsächlich technologieproduzierenden, mittelständischen Industrie bezüglich F&E in energierelevanten Technologien. Aus ihrer Sicht ist die Schweiz stark bei den grossen Potenzialen Energieeffizienz, Photovoltaik und Verfahrenstechnik, schwach jedoch im Bereich Elektrische Netze und Systeme sowie Speichertechnologien¹⁴.

2. CORE-Bewertungen der Empfehlungen für zu verstärkende Forschungsgebiete – Kriterien für Fördermassnahmen

Die Eidgenössische Energieforschungskommission CORE hat die vorgeschlagenen Empfehlungen für die „zu stärkenden Forschungsgebiete“ aus allen Aktionsfeldern (s. Kap. II) nach wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Kriterien analysiert und die Priorität mit einer Einschätzung bewertet [6]. Die verwendeten Kriterien und deren Interpretation sind in Tabelle 9 erklärt.

Kriterium*	Kategorie	Bedeutung
Allgemeines Profil der Forschung	Wirtschaft (W) und Forschung (F)	Grundlagen, angewandte F&E, P&D, Umsetzung am Markt?
Forschungsnische für die Schweiz	Forschung (F)	Hat das Forschungsgebiet in der Schweiz gute Ressourcen oder Potenzial für Erfolg, wenn Ressourcen aufgebaut werden?
Kapazitätsaufbau	Forschung (F)	Wie wichtig sind in diesem Gebiet verstärkte Ressourcen?
Anbindung der Forschung ans Ausland	Forschung (F)	Möglichkeit für Knowhow aus dem Ausland?
Marktfähige Produkte	Wirtschaft (W)	Gibt es für die Schweiz gute Marktchancen im In- und Ausland?
Umsetzungsmöglichkeit in der Schweiz	Wirtschaft (W)	Wie sind die Chancen für Wertschöpfung in der Schweiz? (Für Aktionsfeld 5: „Wie wichtig ist das Wissen zur wirksamen Umsetzung?“)
Potenzial zur Problemlösung	Wirtschaft (W) und Forschung (F)	Potenzial, dass im Erfolgsfalle eine verstärkte F&E-Förderung einen wesentlichen Beitrag zur Deckung des Strombedarfs, der Steigerung der Energie-Effizienz und/oder Reduktion des CO ₂ -Ausstosses bis spätestens 2035 gibt

*: Die möglichen Werte für die Kriterien, immer bezogen auf die Bedeutung der Stärkung der Forschung unter dem Aspekt des spezifischen Kriteriums, sind:

- a) „hoch“: Potenzial hoch, Stärkung sehr wichtig
- b) „mittel“: Potenzial mittel, Stärkung wichtig und sinnvoll
- c) „halten“: das aktuelle Niveau der Forschungsförderung ist adäquat.

Tab. 9: Kriterien zur Bewertung der Forschungsgebiete

¹⁴ vgl. Kapitel II.4.

In den Abb. 6-10 werden die Resultate der Bewertung aus der Sicht der CORE für jedes Aktionsfeld dargestellt. Die Bewertung des „Potenzials zur Problemlösung“ wird im erklärenden Text zur Bewertung des Aktionsfeldes gegeben. Die Charakterisierung der Forschung (Profil) im jeweiligen Technologiegebiet findet sich in Abb. 5.

Aktionsfeld 1: Effizienztechnologien

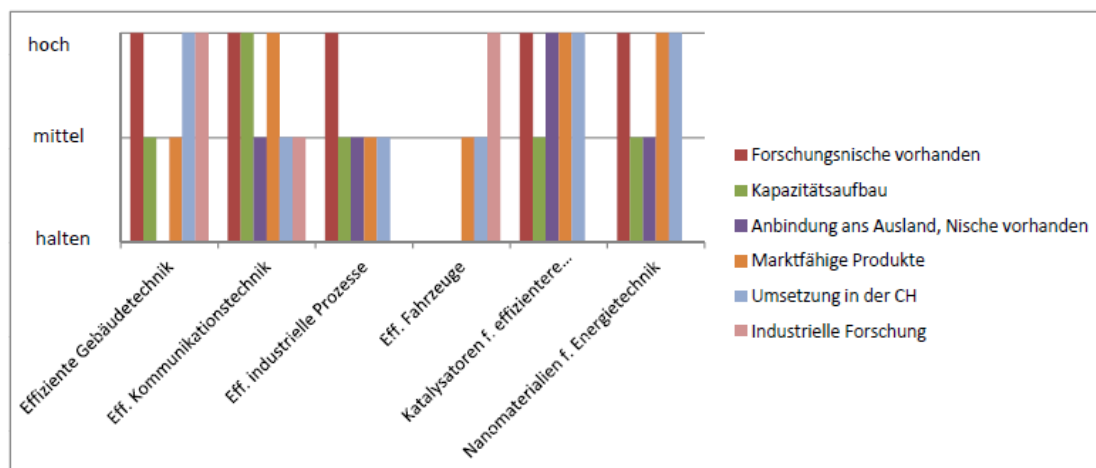


Abb. 6: Bewertung von Aktionsfeld 1 "Effizienztechnologien"

Effizienztechnologien weisen in der Bewertung der CORE mit Ausnahme effizienter Fahrzeuge ein grosses Potenzial als Forschungsnische für die Schweiz auf, sowohl in etablierten, anwendungsnahen Gebieten wie z.B. in der Gebäudetechnik (wo die Forschung bereits stark ist) als auch bei eher grundlagenorientierten Gebieten wie z.B. effiziente Kommunikationstechnik, neue Katalysatoren und Nanomaterialien.

Der Aufbau zusätzlicher Kapazität wird als nötig erachtet, aber als „mittel“ eingestuft. Eine Ausnahme bildet die effiziente Informationstechnik, bei der der Bedarf an Kapazität hoch bewertet wurde.

Die aktuelle F&E im Bereich der effizienten traditionellen Fahrzeuge wird gemessen an der industriellen Basis (Automobil-Zulieferindustrie) in der Schweiz als adäquat betrachtet. Neue, effiziente urbane Konzepte zur Mobilität betrachtet die CORE aber als sehr wichtig. Sie sieht wesentliche Aspekte davon sowohl bei den Komponenten der elektrifizierten Mobilität als auch im Aktionsfeld 5. Die Bewertung „effiziente Fahrzeuge“ in Abb. 6 reflektiert diese Differenzierung nicht.

Das Potenzial, zusätzlich von Forschungsaktivitäten im Ausland zu profitieren, wird vor allem bei den grundlagenorientierten Technologien gesehen, während im Gebäudebereich die Schweiz als führend betrachtet wird.

Die Chancen für marktfähige Produkte und deren Vermarktung in der Schweiz sind hoch; eine industrielle Basis ist vorhanden und die F&E-Investitionen der Industrie werden als höher eingestuft als jene der öffentlichen Hand.

Das Potenzial zur Effizienzsteigerung und CO₂-Reduktion durch starke Reduktion des Endenergiebedarfs (fossile Energie) wird als hoch eingeschätzt. Die CORE hat sich für eine qualitative Bewertung entschieden. Sie hat aber keine wesentliche Kritik an der Potenzialabschätzung von Abbildung 5 geübt.

Aktionsfeld 2: Energiesysteme, Netze und Elektrizitätsübertragung

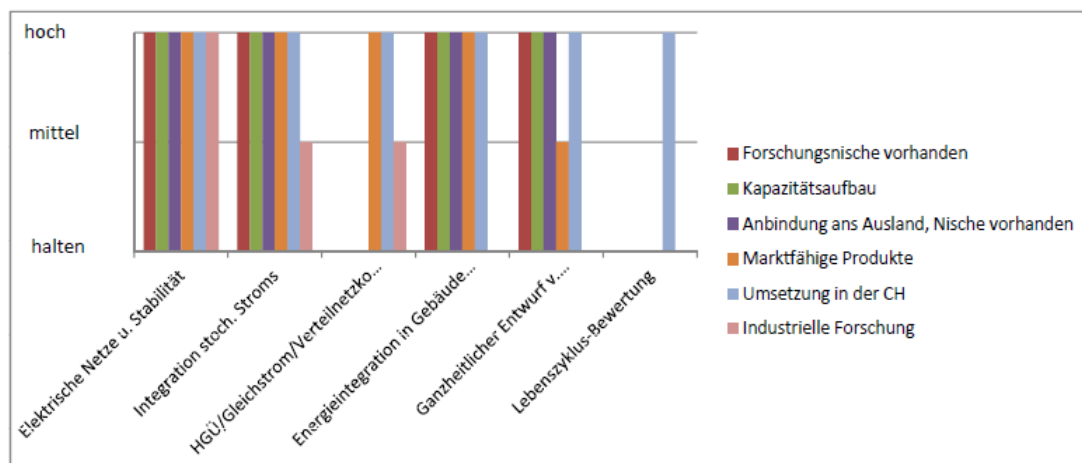


Abb. 7: Bewertung von Aktionsfeld 2 „Energiesysteme, Netze und Elektrizitätsübertragung“

Im Aktionsfeld 2 werden Elektrische Netze und deren Stabilität, die Integration von intermittierendem, erneuerbarem Strom ins Netz und die Integration erneuerbarer Wärme in Gebäude und Quartiere als Aktivitäten mit generell hoher Priorität bewertet. Auch die ganzheitliche Betrachtung von Energiesystemen hat hohe Priorität, während F&E im Bereich der Komponenten und Systeme zur Hochspannungsgleichstrom-Übertragung eher als Aufgabe der Industrie betrachtet wird und das heutige Niveau der öffentlichen Förderung darin als genügend eingeschätzt wird.

Für das Verständnis und den Betrieb zukünftiger Netze mit konventioneller zentraler und sehr volatiler dezentraler Stromerzeugung besteht ein grosser Forschungsbedarf.

Kapazitätsaufbau in den prioritären Technologien und eine bessere Anbindung an die Aktivitäten im Ausland sind ausschlaggebend für eine rasche und erfolgreiche Forschungsförderung in diesem Gebiet.

Die Chancen für marktfähige Produkte mit Wertschöpfung in der Schweiz werden durchwegs als sehr gut bewertet. Eine Beurteilung der industriellen Forschung in diesem Aktionsfeld ist schwierig, mit zwei Ausnahmen: Bei der Hochspannungsgleichstromübertragung („HGÜe“) ist die Grossindustrie (ABB, Alstom, Siemens) weltweit aktiv, und das Knowhow zum Betrieb traditioneller elektrischer Netze ist bei den Netzbetreibern vorhanden.

Potenzial: Wissen, Resultate und Produkte, die zu diesem Aktionsfeld gehören, sind in erster Linie eine notwendige Voraussetzung zum stabilen Betrieb zukünftiger Netze und Systeme und erst in zweiter Linie ein Beitrag zur Effizienz, zur CO₂-Reduktion oder zur Reduktion von Verlusten.

Aktionsfeld 3: Energiespeicherung

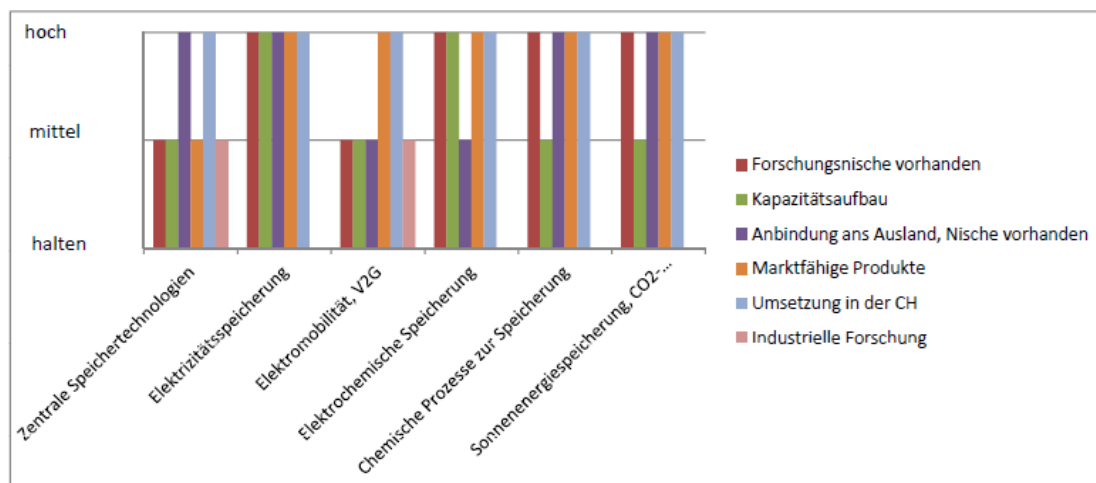


Abb. 8: Bewertung von Aktionsfeld 3 „Energiespeicherung“

Stromspeicherung mit Speichertechnologien und deren Förderung in der Forschung wird ganz allgemein – wie auch Aktionsfeld 2 – als sehr wichtig erachtet, insbesondere die Speichertechnologien für Strom, seien sie basierend auf physikalischen (z.B. Pumpspeicher, Druckluftspeicher), elektrochemischen (z.B. Batterien) oder chemischen Prozessen (z.B. Synthese von Wasserstoff).

Sowohl das Potenzial als Forschungsnische wie auch der Bedarf an neuer Kapazität werden als mittel bis hoch bewertet. Eine bessere Anbindung an Aktivitäten im Ausland wird generell als sehr wichtig angesehen. Das Ausland baut ähnliche Forschungsaktivitäten auf.

Die Chancen für marktfähige Produkte und eine entsprechende Wertschöpfung in der Schweiz werden als hoch bewertet. Dies gilt auch für Produkte im Bereich der Elektromobilität.

Solarwärme und Wärmespeicherung wird als Gebiet betrachtet, bei dem vor allem das Umsetzungspotenzial genutzt werden muss.

Langfristig werden der *Nutzung der Sonnenenergie* auf hohem Temperaturniveau zur Herstellung von energiereichen Produkten und Energieträgern gute Chancen eingeräumt.

Strom- und Wärmespeicherung sind „enabling technologies“, welche die zeitliche Differenz zwischen Angebot und Nachfrage überbrücken helfen (Puffer). Sie tragen dadurch wesentlich zur Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energie und zur Reduktion des CO₂-Ausstosses bei.

Aktionsfeld 4: Strombereitstellung

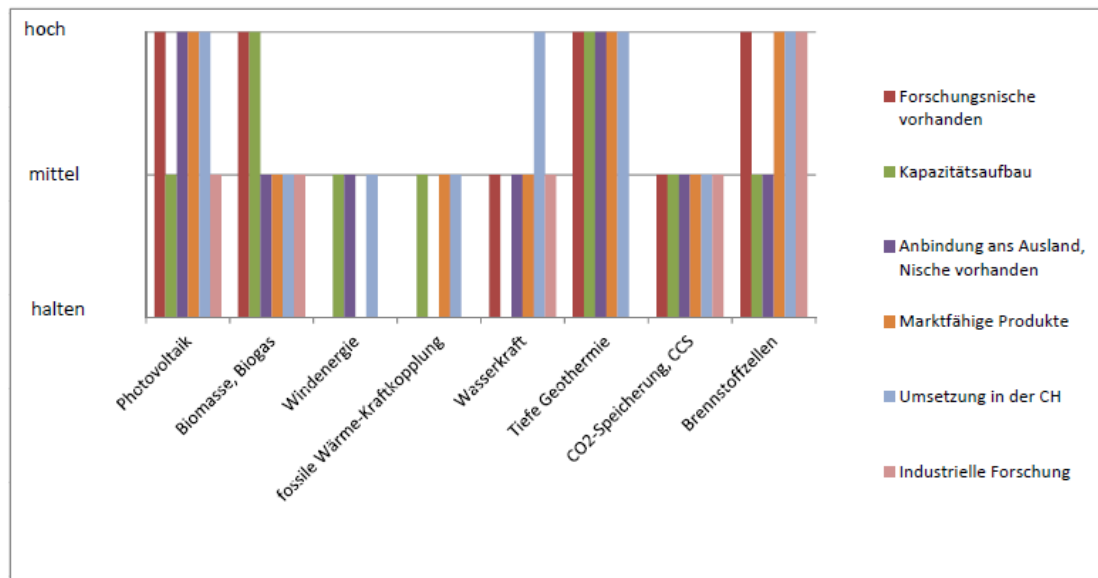


Abb. 9: Bewertung von Aktionsfeld 4 "Strombereitstellung"

Photovoltaik hat in der Schweiz eine lange Tradition und wird nach wie vor als sehr wichtige Forschungsnische bewertet. Der Bedarf an zusätzlicher Forschungskapazität wird als „mittel“ eingeschätzt. Die Anbindung ans Ausland ist sehr gut und bleibt weiterhin wichtig. Die Chance für marktfähige Produkte und eine grosse Wertschöpfung in der Schweiz werden nach wie vor sehr optimistisch beurteilt. Voraussetzung dazu sind kostengünstige, effiziente Zellen und Module. Daher sollte auch die Entwicklung von Fertigungstechnologien entsprechend gefördert werden. Die Erwartungen an die Photovoltaik, einen grossen Beitrag an die zukünftige Stromversorgung der Schweiz zu liefern, sind sehr hoch.

Tiefe Geothermie ("hot dry rock", HDR) gilt als „high-risk, high-benefit“-Technologie. Das Potenzial als Forschungsnische ist gross, der Bedarf an zusätzlicher Kapazität wird als hoch eingestuft und der Erfahrungsaustausch mit dem Ausland als sehr wichtig erachtet. Die industriellen Forschungsaktivitäten sind nicht sehr ausgeprägt. Weil im Erfolgsfall das Potenzial der Geothermie für die Schweiz gross ist und neben der Wasserkraft die einzige nicht-fossile Technologie mit der Eignung zum Grundlast-Kraftwerk besitzt, sind hier in Zukunft P&D-Projekte in Zusammenarbeit zwischen Industrie und öffentlicher Hand besonders wichtig.

Biomasse hat das Potenzial zu einer erfolgreichen Forschungsnische, wenn die Kapazität aufgebaut wird. Eine gute Grundlage ist bereits vorhanden. Das Potenzial zur Produktion und Nutzung von Biomasse ist in der Schweiz durch die Grösse und dichte Besiedlung des Landes limitiert. Trotzdem besteht die Chance, neben dem Beitrag zur Stromproduktion und Wärmenutzung mit Biomasse, entsprechende Technologien für den lokalen und den Weltmarkt zu entwickeln.

Im Zusammenhang mit der Nutzung fossiler Energie bewertet die CORE eine Lagerung von CO₂ in tiefen Gesteinsschichten (Carbon Capture and Storage CCS) anhand aller Kriterien als „mittel“, während Brennstoffzellen ein relative hohes Potenzial zugeordnet wird

Die Forschungsaktivitäten im Bereich der *Windenergie* und der *fossilen Wärme-Kraft-Kopplung* werden im Hinblick auf die neue Energiepolitik als genügend erachtet.

Kommerzielle Produkte sind auf dem Markt erhältlich. Zusätzliche Bearbeitung von Fragen zur Akzeptanz der Windenergie bleiben aber wichtig und gehören ins Aktionsfeld 5.

Bei *der Wasserkraft* verlangen spezielle Aspekte wie Alterung von Infrastruktur oder neue hochdynamische Betriebskonzepte für Pumpspeicherwerke mehr Beachtung.

Aktionsfeld 5: Sozio-ökonomische und rechtliche Aspekte

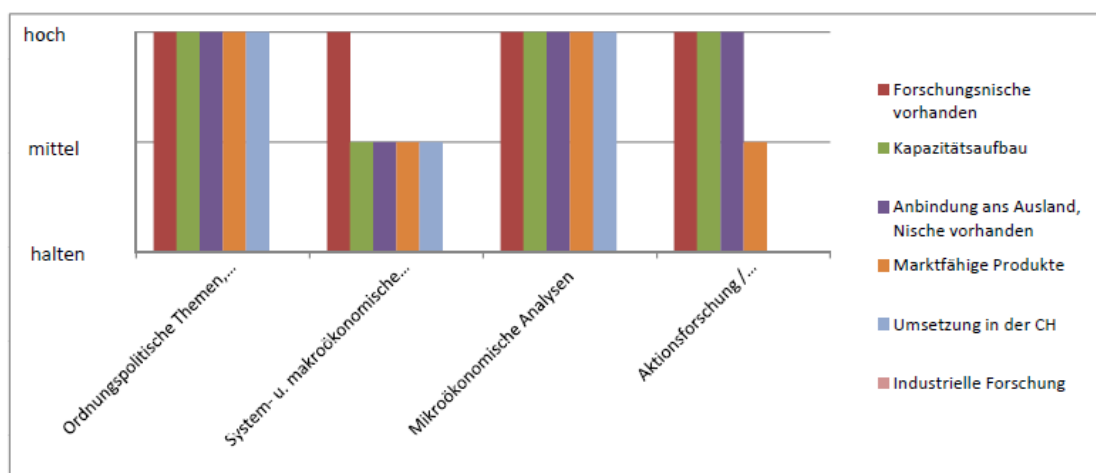


Abb. 10: Bewertung von Aktionsfeld 5 "Sozio-ökonomische und rechtliche Aspekte"

Die CORE empfiehlt für Aktionsfeld 5, die ordnungspolitischen Fragestellungen und Rahmenbedingungen mit hoher Priorität zu fördern (z.B.: Wie funktionieren nationale und internationale Märkte? Wie reagieren sie auf politische Eingriffe? Kenntnis der volkswirtschaftlichen Konsequenzen politischer Massnahmen, etc.). Ebenso wichtig sind Fragen bezüglich Akzeptanz und Wünschbarkeit einer Technologie sowie das Wissen über die Bestimmungsfaktoren für eine erfolgreiche Diffusion von Technologien im Markt.

Mikroökonomische Analysen und Kenntnisse zusammen mit einem besseren Verständnis des Verhaltens der Akteure bilden eine Voraussetzung für das Schaffen erfolgreicher Rahmenbedingungen zur Umsetzung der neuen Energiepolitik.

Von der im Ausland weiter fortgeschrittenen Forschung kann profitiert werden; lokale Besonderheiten machen aber eigene Forschung nötig.

Ein Kapazitätsaufbau und mehr wissenschaftliche Konkurrenz unter den Forschungsteams in diesem Aktionsfeld bei gleichzeitig besserer Kooperation mit den Forschungsteams in den technischen Wissenschaften erachtet die CORE als sinnvoll und nötig.

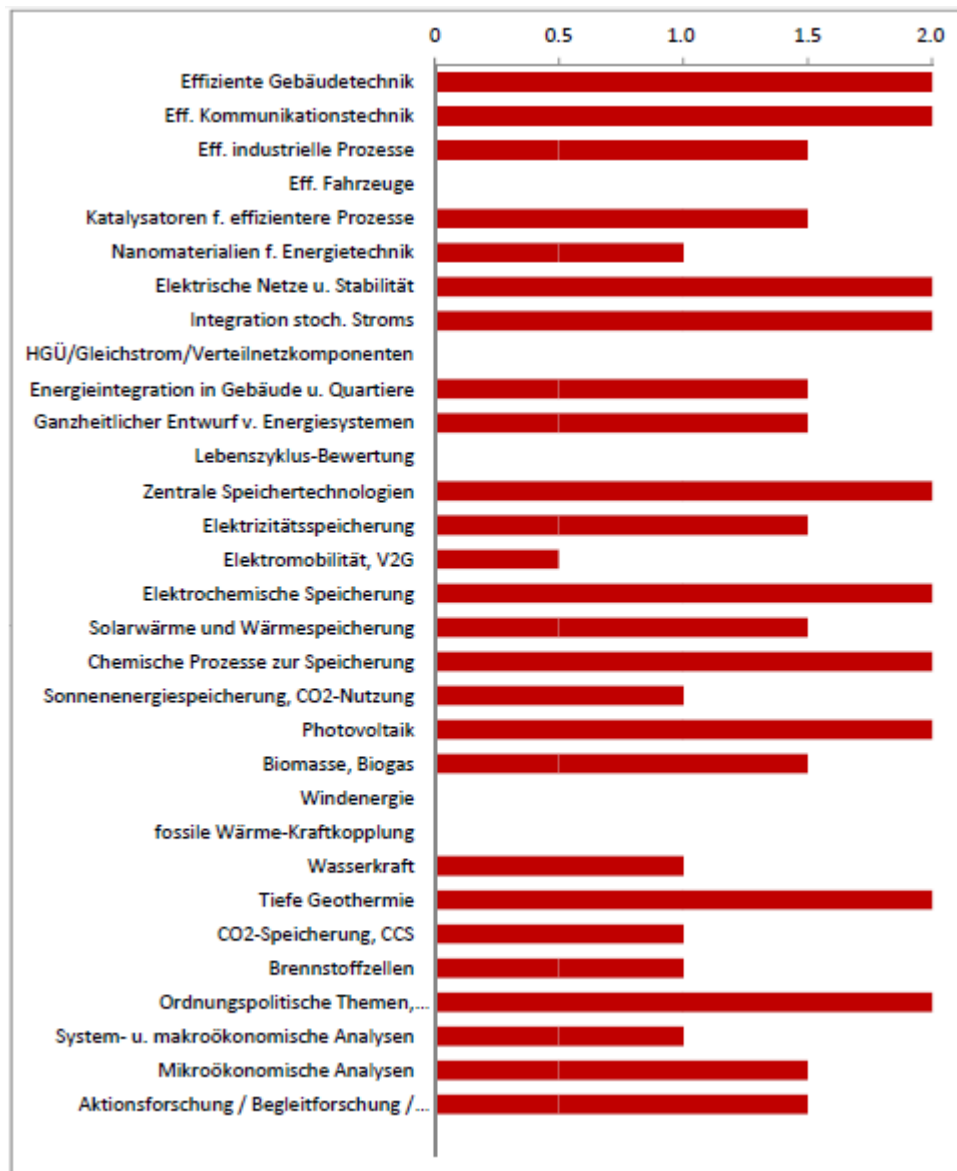


Abb. 11: Gesamtbewertung der Technologiefelder durch die CORE. Die Interpretation der Werte zwischen 0 und 2 ist folgendermassen zu verstehen: 2.0 = höchst prioritär; 1.5 = hoch prioritär; 1.0 = wesentlich; 0-0.5 = gegenwärtiges Niveau von Forschungsförderung halten.

Abbildung 11 gibt eine Übersicht über die CORE-Einschätzung der Prioritäten in den verschiedenen Technologiegebieten. Basierend auf dieser Bewertung werden in Kapitel V neu zu schaffende Kompetenzzentren und deren Priorität vorgeschlagen. Dieser Umsetzungsvorschlag fasst die zu stärkenden und auf Grund der CORE-Bewertung prioritären Forschungsaktivitäten sinnvoll zu Kompetenzzentren zusammen, indem der inhaltliche Zusammenhang und mögliche Synergien zwischen verschiedenen Gebieten berücksichtigt wurden.

3. Forschungs- und innovationspolitische Schlussfolgerungen, Priorisierung unter strategischen Gesichtspunkten

- a) *Aktionsfeld 1:* „Effizienz“ hat auch in Zukunft hohe Priorität, weil grosse Beiträge zur Umsetzung der Neuen Energiepolitik erwartet werden können. Einzelne Gebiete verlangen einen Kapazitätsaufbau (z.B. effiziente Kommunikationstechnik), andere vor allem Projektförderung in angewandter F&E (z.B. effiziente Gebäudetechnik, Elektrizitätsanwendungen, effiziente Prozesse in der Industrie).
- b) *Aktionsfeld 2:* „Netze / Übertragung“ verlangen einen starken Aufbau an Forschungskapazität und eine starke Projektförderung. Die erwarteten Resultate, d.h. das Verständnis von Lastmanagement und Stabilität von elektrischen Netzen und die Einbindung grosser Mengen stochastischen Stroms, sind für die Umsetzung der neuen Energiepolitik essentiell, auch wenn sie nicht direkt in TWh gemessen werden können.
- c) *Aktionsfeld 3:* „Speicherung“ verlangt ebenfalls einen starken Aufbau der Kapazität und eine starke Projektförderung. Sowohl die Stromspeicherung als auch die Wärme- und Kältespeicherung werden in Zukunft an Bedeutung gewinnen.
- d) *Aktionsfeld 4:* „Stromproduktion“ verlangt zusätzliche Förderung. Für Photovoltaik und Wasserkraft steht eine stärkere Projektförderung im Vordergrund, für tiefe Geothermie und Biomasse ist zusätzlich ein Kapazitätsaufbau nötig.
- e) *Aktionsfeld 5:* „Sozio-ökonomische und rechtliche Aspekte“ verlangen in erster Linie eine Stärkung im Bereich ordnungspolitischer Themen (z.B. Rahmenbedingungen für Märkte). In zweiter Linie sind Aktivitäten im Bereich mikro-ökonomischer Analysen und neue Erkenntnisse zum Verhalten der Akteure zu fördern.
- f) *Kernforschung:*

Fusion: Von der Kernfusion ist weder bis 2035 noch bis 2050 nach Meinung der Experten ein Beitrag zur Deckung des Strombedarfs wahrscheinlich. Entsprechend einem Positionspapier, das die CORE im Auftrag des Staatssekretariats für Bildung und Forschung (SBF) im Mai 2011 verfasst hat, ist aus technisch-wissenschaftlicher Sicht eine zusätzliche Förderung der Fusionsforschung, wenn sie auf Kosten anderer Technologien geht, nicht sinnvoll. Weiter sollten im Sinne eines „technology monitoring“ die Aktivitäten bei anderen Fusionkonzepten (z.B. „Laser-Fusion“) aufmerksam verfolgt werden.

Fission: Nach Meinung der CORE muss die öffentliche Förderung der Fissionsforschung auf dem aktuellen Niveau weitergeführt werden, damit die Schwerpunkte Sicherheitsforschung, Abfallentsorgung, Erhalt der Urteilsfähigkeit im Bereich der nuklearen Technologien („technology monitoring“) und die Ausbildung der Ingenieure sichergestellt ist. Die Stromwirtschaft ist angehalten, ihre finanzielle Unterstützung der Fissionsforschung nicht zu kürzen.

V. Empfohlene Förderaktivitäten und Instrumente

1. Ziele des Aktionsplans

Das übergeordnete Ziel des Aktionsplans ist es, wesentliche Beiträge zur Effizienzsteigerung des Energiesystems Schweiz und zur Deckung des Strombedarfs nach Wegfall der nuklearen Stromerzeugung in der Schweiz (Atomausstieg) zu leisten. Die dazu verfolgten Unterziele des Aktionsplans sind zusammengefasst folgende:

- a) Nachhaltige Stärkung der Energieforschung in der Schweiz zur Unterstützung einer erfolgreichen Umsetzung der neuen Energiepolitik
- b) Nachhaltige Optimierung der Strukturen der Energieforschung in der Schweiz durch Förderung der Arbeitsteilung und Koordination unter den Forschungsinstitutionen (Vernetzung)
- c) Verbesserte Abstimmung der Fördermassnahmen für Grundlagenforschung, für angewandte Forschung, für P&D-Projekte und für den Wissens- und Technologietransfer zwischen Hochschulen und Wirtschaft / Industrie
- d) Stärkung der Rolle des BFE bei der Förderung von P&D-Projekten
- e) Verbesserte Integration der Energieforschung in Programme der EU, speziell die Beteiligung der Schweiz am nächsten Rahmenprogramm und am SET-Plan („Strategic Energy Technologies“)
- f) Die Umsetzung des Aktionsplans soll neben einer verstärkten Energieforschung (Kapazitätsaufbau, s. unten) auch Anreize für die Forschergemeinde bieten, sich neu zu orientieren und – wo sinnvoll – Verlagerungen in den traditionellen Forschungsgebieten vorzunehmen. Diese Umlagerungen können beispielsweise in jenen Gebieten sinnvoll geschehen, wo der Technologietransfer schon weit fortgeschritten ist und die Industrie sich in der F&E bereits stark engagiert.

2. Förderachsen und Förderkonzept

Die Stärkung der Energieforschung wird entlang von zwei Förderachsen vorgeschlagen:

- a) **Aufbau der Kapazitäten der Energieforschung an den Institutionen**, also im ETH-Bereich, an den Fachhochschulen und an den Universitäten;
- b) **Aufbau und Betrieb von Kompetenzzentren** im Energiebereich („Competence Centers for Energy Research“, CCER), durch Konsolidierung, Re-orientierung bestehender und Schaffung neuer Zentren.

2.1 Kapazitätsaufbau

Der Kapazitätsaufbau soll – wie vorne konzeptionell und thematisch begründet – über den Aufbau von neuen Forscherteams erfolgen. Dazu werden in den beiden Perioden 2013-2016 und 2017-2020 drei Varianten vorgeschlagen. Variante 1 schlägt die Bildung von total 60 Teams zur Stärkung der Grundlagenforschung (und zur Schaffung von 9 Kompetenzzentren) vor, Variante 2 die Bildung von total 46 Teams (und die Schaffung von 7 Kompetenzzentren) und Variante 3 die Schaffung von total 32 Teams und 5 Kompetenzzentren (vgl. Tabellen 10 und 11):

	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Institution	Teams	Teams	Teams
ETH-Bereich	16	12	8
Fachhochschulen	8	8	6
Universitäten	12	10	8
Total 2013-2016	36	30	22

Tab. 10: Kapazitätsaufbau Periode 2013-2016; Varianten 1, 2 und 3.

	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Institution	Teams	Teams	Teams
ETH-Bereich	16	12	8
Fachhochschulen	8	4	2
Universitäten	0	0	0
Total 2017-2020	24	16	10
Total 2013-2020	60	46	32

Tab. 11: Kapazitätsaufbau Periode 2017-2020; Varianten 1 ,2 und 3

Der Kapazitätsaufbau gemäss Variante 1 entspricht mit 60 Teams den Anträgen der Institutionen in ihren Teilberichten, Variante 2 entspricht einer um rund 25 % reduzierten Version (total 46 Teams von 2013-2020) und Variante 3 rund 50 % von Variante 1.

Finanziell erfolgt der Aufbau zusätzlicher Kapazitäten über drei Förderinstrumente:

- die **Erhöhung der Grundfinanzierung im ETH-Bereich**,
- die Vergabe von **kompetitiven Bundesmitteln für Kapazitätsaufbau** an Fachhochschulen und Universitäten; und
- **kompetitiv einzuwerbende Mittel im Rahmen der Projektförderung (KTI)**.

Die konkrete Umsetzung bezogen auf die beiden Varianten und beide BFI-Perioden ist in den Tabellen 12 und 13 dargestellt. Die drei Varianten unterscheiden sich nicht nur in der Zahl der aufzubauenden Teams, sondern auch in der Art ihrer Finanzierung gemäss den beiden Förderinstrumenten.

	Variante 1		Variante 2		Variante 3	
Institution	Teams	Finanzierung	Teams	Finanzierung	Teams	Finanzierung
ETH-Bereich	8	Grundfinanzierung	4	Grundfinanzierung	4	Grundfinanzierung
ETH-Bereich	8	kompetitive Bundesmittel	8	kompetitive Bundesmittel	4	kompetitive Bundesmittel
Fachhochschulen	8	kompetitive Bundesmittel (36%-Anteil an F&E Wachstum)	8	Kompetitive Bundesmittel (36%-Anteil an F&E Wachstum)	6	kompetitive Bundesmittel (36%-Anteil an F&E Wachstum)
Universitäten	12	kompetitive Bundesmittel für Unis (25%-Anteil)	10	Kompetitive Bundesmittel für Unis (25%-Anteil)	8	Kompetitive Bundesmittel für Unis (25%-Anteil)
Total 2013-2016	36		30		22	

Tab. 12: Kapazitätsaufbau Periode 2013-2016; Varianten 1, 2 und 3 im Vergleich (ohne kompetitive Mittel zur Projektförderung). Die durchschnittlichen Kosten für den Aufbau der Teams über 8 Jahre sind a) im ETH-Bereich: 2 MCHF pro Team und pro Jahr, b) an den Fachhochschulen: 1.7 MCH pro Team und pro Jahr, c) an den Universitäten: ca. 1.5 MCH pro Team und pro Jahr. Zu den Aufbaukosten kommen zusätzlich Projekte, deren Finanzierung über kompetitive Mittel sichergestellt werden müssen.

Institution	Variante 1		Variante 2		Variante 3	
	Teams	Finanzierung	Teams	Finanzierung	Teams	Finanzierung
ETH-Bereich	8	Grundfinanzierung	4	Grundfinanzierung	4	Grundfinanzierung
ETH-Bereich	8	kompetitive Bundesmittel	8	kompetitive Bundesmittel	4	kompetitive Mittel
Fachhochschulen	8	kompetitive Bundesmittel (36%-Anteil an F&E Wachstum)	4	Kompetitive Bundesmittel (36%-Anteil an F&E Wachstum)	2	Kompetitive Bundesmittel (36%-Anteil an F&E Wachstum)
Universitäten	0	kompetitive Bundesmittel für Unis (25%-Anteil)	0		0	
Total 2016-2020	24		16		10	
Total 2013-2020	60		46		32	

Tab. 13: Kapazitätsaufbau Periode 2017-2020; Varianten 1, 2 und 3 im Vergleich (ohne kompetitive Mittel zur Projektförderung):

2.2 Kompetenzzentren

Die vorgeschlagenen Kompetenzzentren sind später von den für die Realisierung des Aktionsplans eingesetzten Instanzen näher zu konzipieren und offen für alle Hochschulen auszuschreiben. Dabei kann sich ihr Konzept an demjenigen von bestehenden Kompetenzzentren wie dem CCEM anlehnen, wobei auch andere Formen denkbar sind. Im Sinne von Minimalanforderungen resp. einheitlichen Beurteilungskriterien für alle Anträge für Kompetenzzentren werden hier vorgeschlagen:

- Nachweis der Kooperation in einem Netzwerk von Forschergruppen aus dem ETH-Bereich, den Universitäten und/oder den Fachhochschulen
- Nachweise der Kooperation des Netzwerks mit Unternehmen
- Gemeinsame thematische Ausrichtung der Forschungsaktivitäten im Netzwerk entsprechend den Empfehlungen im Aktionsplan (s. Tabelle 14)
- Minimale gemeinsame organisatorische Struktur mit einem Management (z.B. einem „leading house“, einem Koordinator, o.ä.)
- Vorhandensein eines Business Plans mit Budget entsprechend dem unten erwähnten Finanzierungsmodell, insbesondere ein Nachweis der Bereitstellung von Eigenmitteln aus den Trägerorganisationen und der Beteiligung der Wirtschaft (s. Tabelle 16)
- Nachweis des Kapazitätsaufbaus
- Langfristige Anlage (ca. 8 Jahre); Verpflichtung zwischen Kompetenzzentrum und Bund.

Vor diesem Hintergrund schlagen wir die Schaffung der in Tabelle 14 beschriebenen Kompetenzzentren vor. Die Themen und ihre Prioritäten berücksichtigen die Bewertung der Technologiegebiete und Aktionsfelder; die Vorschläge umfassen alle von der CORE hoch bewerteten Technologiefelder (vgl. Abbildung 11).

Dabei wird vorausgesetzt, dass das **Kompetenzzentrum Photovoltaik** bereits beschlossen und im Wesentlichen finanziert ist (CSEM, siehe BFI-Botschaft 2013-2016; ausgenommen zusätzlicher kompetitiver Projektmittel und Investitionen, z.B. für die anderen, ins Kompetenzzentrum zu integrierenden PV-Aktivitäten wie jene an der Empa.)

Aktionsfeld	Schwerpunkte	Priorität
Strombereitstellung	Photovoltaik, effiziente, kostengünstige Module und Zellen (Si-haltig und nicht-Si-basiert), neue Fertigungstechnologien	bereits beschlossen
Effizienz	Effiziente Gebäudetechnik: Materialien, Komponenten und Technologien; Energiemanagement (Integration von Gebäuden und Quartieren, Wärmeversorgung, dezentrale Strom-/Wärme-/Kälte-Systeme, effiziente Prozesse in industrieller Umgebung (inkl. beispielsweise Rechenzentren))	höchste Priorität
Netze und ihre Komponenten, Energiesysteme	Netzstabilität, Lastflussmanagement, Integration von intermittierendem erneuerbarem Strom, Systemaspekte der Stromspeicherung, Wasserkraftinfrastruktur, Hochleistungselektronik für intelligente Netze	höchste Priorität
Strom- und Wärmespeicherung	Grundlagen der Elektrizitätsspeicherung, Batterien, effiziente Elektrolyse, Wärmemanagement	höchste Priorität
Strombereitstellung	Tiefe Geothermie und CO ₂ -Speicherung	höchste Priorität
Ökonomie, Recht, Verhalten	Ordnungspolitische Fragen und Rahmenbedingungen für Märkte, mikro-ökonomische Analysen	höchste Priorität
Effiziente Konzepte, Prozesse und Komponenten in der Mobilität und Industrie	Elektromobilität, Batterien, Brennstoffzellen, Integration dezentralen erneuerbaren Stroms, Leichtbau, experimentelle Aspekte neuer urbaner Konzepte; effiziente mechanische und elektrische industrielle Prozesse	hohe Priorität
Biomasse	Bereitstellung und Anwendung von Biomasse, Biogas zur Strom- und Wärmeproduktion, gasförmige und flüssige Energieträger aus Biomasse	hohe Priorität
Chemische Energiespeicher	Chemische Prozesse zur direkten Nutzung von Sonnenenergie, Hochtemperatur-Sonnenenergie-Nutzung und -Speicherung	wesentliche langfristige Priorität
Effiziente industrielle Prozesse	Grundlagen für die langfristige Steigerung der Effizienz industrieller Prozesse und Energieanwendungen, insbesondere neue Werkstoffe, Nanomaterialien, katalytische Verfahren, energieeffiziente Informationstechnologie (Prozessoren, Speicherung)	wesentliche langfristige Priorität

Tab. 14: Vorgeschlagene Kompetenzzentren nach Themen und Priorität: Für das Photovoltaik-Kompetenzzentrum wird angenommen, dass es durch den Beitrag ans CSEM bereits beschlossen und finanziert ist. Es wird deshalb empfohlen, die anderen PV-Aktivitäten (z.B. Empa) zusammen mit CSEM als ein Kompetenzzentrum zu betrachten, das weitere kompetitive Mittel für Projekte und Investitionen einwerben kann.

Die in den Kompetenzzentren zu bearbeitenden Schwerpunkte entsprechen dem Fokus der CORE. Darüber hinaus stimmt die CORE-Bewertung einzelner Themen (vgl. Kap. IV) auch sehr gut mit den Gebieten überein, in denen die Institutionen einen Aufbau von Forschungskapazität vorschlagen. Um dies zu illustrieren, wird untenstehend die Tabelle 7 aus Kapitel III (vorgeschlagene Forscherteams) reproduziert: durch die Wahl desselben Farbcodes wie in Tabelle 14 wird hier nun zum Ausdruck gebracht, welche Forschungsgebiete im Rahmen der Schwerpunkte der Kompetenzzentren zur Bearbeitung vorgeschlagen werden.

Aktionsfelder Forschungs-Teams	2013-2016	2017-2020
Effizienz	- Nanomaterialien für Energietechnik	- Industrielle Effizienz
	- Niedrigenergie-Niedrigemissions-Gebäude	- Elektromobilität
	- Katalyse-Forschungszentrum	- Leichtbau-Werkstoffe für die Fahrzeugtechnik
	- Mobilität mit niedrigsten CO ₂ - und Schadstoffemissionen	
Elektrizitätsübertragung, Netze	- Komplexe Energiesysteme: Modelle, Szenarien, Management	- Fortgeschrittene Konzepte für urbane Regionen
	- Neue urbane Konzepte	- Integration der dezentralen Erzeugung im System
	- Hochleistungselektronik für intelligente Netze	- Leistungsautarke Quartiere und Gemeinden
		- Ressourceneffizienz
Energiespeicherung	- Thermische Energiespeicherung	- Solare Thermochemie
	- Elektrolyse, Elektrochemie	
	- Elektrische Energiespeicherung, Batterien	- Nutzung / Speicherung von Abwärme, Thermoelektrizität
Energiebereitstellung, Elektrizitätsproduktion	- Hochdynamische Pumpspeicherwerke	
	- Geothermie und Carbon Capture and Storage	- Photovoltaik
	- Geoengineering	- Solare Brennstoffe
	- Dünnschicht-Photovoltaik, insbes. Fertigungstechnologien	- Biomasse (flüssige Energieträger)
	- Biomasse (biogene Brennstoffe)	
	- Dezentrale Strom- / Wärme- / Kälteerzeugung mit Biomasse	
Ökonomie, Ökologie, Gesellschaft	- Kleinstwasserkraft	
	- Energieökonomie und Energiepolitik	- Innovation und Energiepolitik
	- Ressourcen-Management und sozioökonomische Forschung	- Gesellschaft und "public policy"
		- Ressourcenökonomie
	- Sozioökonomische Forschung	

Tab. 15: Themen für den Aufbau zusätzlicher Forscherteams im ETH-Bereich, an den Fachhochschulen und Universitäten (Prioritäten gemäss CORE-Bewertung und Aufgreifen der Themen in den Kompetenzzentren angedeutet durch den selben Farbcodierung wie in Tabelle 14). Da die Beschreibung dieser Themen nicht exakt mit der Beschreibung der Forschungsgebiete im CORE-Konzept übereinstimmt, ist die Korrelation sinngemäss zu verstehen.

Während im ETH-Bereich die Forschungskapazität in allen Aktionsfeldern gestärkt werden soll, stehen für die Fachhochschulen bestimmte thematische Schwerpunkte im Vordergrund wie Effizienz, Stromproduktion sowie Netze und Speicherung. Für die Universitäten werden neben Geothermie (Universität Neuchâtel) und CCS (Universität Bern) vorwiegend soziale, ökonomische, rechtliche und Verhaltens-Fragen vorgeschlagen.

Die **Mittelausstattung** der Kompetenzzentren soll aus einem ausgewogenen Mix bestehen.

- Ein *Grundbeitrag* (unabhängig von Projekten) soll ihnen auf ein begründetes Gesuch hin im Wettbewerb zugesprochen werden:
 - o Ein substantieller Teil davon soll dem Aufbau und Unterhalt der personellen Kapazität und damit der akademischen Kompetenz des Zentrums dienen.
 - o Ein kleinerer Teil soll den Betrieb des Zentrums resp. des Netzwerks wie Kooperation und Koordination unter den Teilnehmern gewährleisten.
- *Industriebeitrag*: Für ein erfolgreiches Beitragsgesuch wird vorausgesetzt, dass der Nachweis der Zusammenarbeit mit der Industrie und deren substantielle ressourcenmässige Beteiligung erbracht werden. Damit soll die Orientierung an der Anwendung und Umsetzung der Forschungsergebnisse gefördert werden.
- *Beitrag Trägerorganisationen*: Weiter sollen die Institutionen, die dieses Netzwerk tragen, durch eigene Beiträge ihr Interesse und ihre Mitverantwortung für ein Kompetenzzentrum demonstrieren. Dazu gehören Beiträge der Kantone bei der Mitwirkung von Fachhochschulen und/oder Universitäten. Auch wird davon ausgegangen, dass die Hochschulen Mittel aus dem Kapazitätsaufbau, die sie direkt zugesprochen erhalten (vgl. oben 2.1), zu einem gewissen Teil auch für ihre Beteiligung an einem Kompetenzzentrum einsetzen.
- Die *Projektförderung* bildet ein zweites Schwergewicht der Unterstützung der CCER durch den Aktionsplan. Die CCER sollen die Gelegenheit haben, durch kompetitiv einzuwerbende Projekt-Mittel ein entsprechendes F&E-Volumen zu erreichen.

Mit diesem Vorgehen sollen die Konkurrenz der Ideen und Leistungen und eine gewisse Umlagerung der ‚in-house‘ Mittel für Forschung gemäss den Bedürfnissen der neuen Energiepolitik gefördert werden. Gemäss Vorschlag in Tabelle 16 werden beispielsweise 60% der CCER über Bundesmittel durch den Aktionsplan und 40% durch Kantone, Industrie und andere getragen. Der letztlich verlangte Verteilschlüssel ist von den politischen Instanzen festzulegen.

Exemplarisches Finanzierungsmodell für ein Kompetenzzentrum	Anteil
Mittel für den akademischen Kapazitätsaufbau (kompetitive Mittel)	25%
Grundbeitrag an den Betrieb des Zentrums (kompetitive Mittel)	10%
Projektfinanzierung (kompetitive Mittel)	25%
Eigenmittel Heim-Hochschule und Partnerhochschulen (z.B. Grundfinanz. ETH)	20%
Industrie-Beteiligung	20%

Tab. 16: Exemplarisches Finanzierungsmodell eines typischen Kompetenzzentrums. (Der letztlich verlangte Verteilschlüssel ist von den politischen Instanzen festzulegen.)

2.3 WTT, Kommunikation, Diffusion

Ein Aktionsplan Energieforschung wird nur eine Wirkung erzielen, wenn er mit komplementären Anstrengungen des Wissens- und Technologietransfer (WTT) und damit der Umsetzung und Diffusion der neuen Erkenntnisse verbunden ist. Es wird vorgeschlagen, die Fördermassnahmen des Aktionsplans mit den bestehenden und etablierten Aktivitäten des WTT in der Schweiz, sei dies den Transferstellen bei den einzelnen Institutionen, sei dies bei KTI und SNF abzustimmen und zu kombinieren. Dabei gilt es, eine enge Zusammenarbeit mit dem von der KTI strategisch neu ausgerichteten WTT-Support anzustreben. Die KTI hat die Ausschreibung der NTN im März 2012 lanciert, die Themen der NTN werden im Wettbewerb festgelegt werden. Ein eigentliches „Energie“-NTN steht folglich a priori nicht zur Verfügung. Dennoch besteht ein Konnex zu den folgenden drei WTT-Förderelementen der KTI, welche die Innovationstätigkeit von Schweizer Unternehmen nachhaltig unterstützen sollen und mit Beginn der BFI-Botschaftsperiode 2013-2016 eingesetzt werden:

1. **Nationale thematische Netzwerke (NTN)** sollen dort genutzt werden, wo sie als Innovationsmotor für das Gesamtsystem der Energie aktiv sein können. Die Mitglieder der NTN gehen auf die Wirtschaft, insbesondere KMU zu, und bringen diese mit den öffentlichen Forschungsinstitutionen zusammen. Sie sind Brückenbauer zwischen der Wirtschaft und den Forschungsinstitutionen. Letzteres könnten im Falle der Energie insbesondere die aufzubauenden CCER sein. Die NTN tragen dazu bei, dass Ideen in Kombination mit Kompetenzen zu einem Innovationspotenzial führen.
2. **Innovationsmentoren (IM)** sind Ansprechpersonen und Begleiter von KMU aus der KTI, die deren Forschungs- und Entwicklungsbedürfnisse auch im Bereiche der Energie kennen und verstehen. Sie können KMU, seien dies Anwender oder Entwickler, auch im Bereiche der Energietechnologien auf der Suche nach den richtigen Partnern unterstützen.
3. Informationen und Networking über physische und webbasierte **Plattformen** werden auch zum Nutzen der Forschung und Innovationen im Energiebereich eingesetzt.

2.4 Aus- und Weiterbildung

Die in diesem Bericht vorgeschlagenen Massnahmen zur gezielten Verstärkung der Energieforschung zielen auf eine möglichst rasche und umfassende Umsetzung der Forschungsergebnisse in Produkte, Verfahren und Dienstleistungen am Markt ab. In verschiedenen Untersuchungen und auch in diesem Bericht wird gezeigt, dass die Verfügbarkeit von ausreichend qualifizierten Fachkräften dabei ein bedeutender Engpassfaktor sein wird. Es gilt darum, die bereits laufenden und geplanten Anstrengungen zur Stärkung der Aus- und Weiterbildung sowie zur Bekämpfung eines sich in Zukunft noch verstärkenden Fachkräftemangels mit den Bedürfnissen aus den vorliegenden fünf Aktionsfeldern abzustimmen. Unter den laufenden und geplanten Massnahmen im Bereich der beruflichen Aus- und Weiterbildung sind insbesondere zu nennen: die Umsetzung der Empfehlungen des Bundesrates zur Stärkung der MINT-Qualifikationen im Rahmen der BFI-Botschaft 2013-2016, der Schwerpunkt Aus- und Weiterbildung im Rahmen des Programms EnergieSchweiz 2011-2020, der Masterplan Cleantech (2011), die EVD-Fachkräfteinitiative (2011) sowie die geplante Bildungsinitiative im Rahmen der Energiestrategie 2050.

Die Aus- und Weiterbildungsanstrengungen haben das Spektrum der Bildung möglichst umfassend mit ihren jeweiligen Zeithorizonten zu berücksichtigen, angefangen von der beruflichen Grundbildung über die Höhere Berufsbildung (Tertiär B), die besonderen Bildungsaspekte im Tertiär A-Bereich bis hin zur beruflichen

Weiterbildung. Im Tertiär A-Bereich sind in Verbindung mit der Forschung (vgl. vorne, Aufbau von Forscherteams) auch die entsprechenden Angebote in der Lehre weiterzuentwickeln. Überdies ist die Frage zu prüfen, inwieweit bestehende Arbeitsmarktreserven und bisher ungenutzte Fachkräftepotenziale im Energiebereich mobilisiert werden können, wie dies u.a. im Rahmen der EVD-Fachkräfteinitiative diskutiert wird. Zu prüfen wäre darüber hinaus, wie Verbindungen zwischen Forschung und Bildung gestärkt und gebündelt werden können, indem unter systemischem Blickwinkel Schwerpunkte gesetzt werden, beispielsweise „Gebäude“, „Gemeinde / Städte / Agglomerationen“ oder „Integrierte Verkehrssysteme“.

3. Investitionen in Forschungsinfrastruktur

Zur Reifung innovativer Technologien vom Labormassstab bis zur Stufe, auf der die Industrie bereit ist, die Entwicklung zu übernehmen, sind zwei Schritte notwendig.

- Die Skalierung zu Labor-Pilotanlagen an den Forschungsinstitutionen, welche die Technologie im industriell relevanten Massstab erproben, erfordert *Investitionen* in ihre Infrastruktur.
- Darauf basierend können eigentliche *Pilot- und Demonstrationsanlagen* (P&D-Anlagen) «im Feld» errichtet werden, welche als nicht-kommerzielle Prototypen gemeinsame Finanzierung durch öffentliche und private (industrielle) Mittel erfordern. Diese demonstrieren die Funktionstüchtigkeit der neuen Technologie und erleichtern damit potentiellen Investoren den Entscheid für eine Markteinführung und der Übernahme der damit verbundenen Risiken. Dabei sollen öffentliche Gelder dort eingesetzt werden, wo die Risiken, aber auch die Chancen gross sind. Das Finanzvolumen der vorgeschlagenen Projekte ergibt sich aus Schätzungen von direktinvolvierten Experten.

Die empfohlenen *Investitionen in Infrastrukturmassnahmen* sind erforderlich für die Arbeiten der neu aufzubauenden Forscherteams und decken Bereiche mit hohem Potenzial für einen Beitrag zur Energiewende ab. Da sie die Voraussetzung für die anschliessende Implementierung bilden, liegt der Schwerpunkt auf der Budgetperiode 2013–2016. Die Finanzierung dieser Investitionen ist im Zahlungsrahmen des ETH-Bereichs gemäss BFI-Botschaft 2013–2016 nicht integriert und nicht abzudecken; deshalb können die Investitionen ohne Zusatzmittel für die Grundfinanzierung nicht durchgeführt werden.

An den Hochschulen sind die zu realisierenden Forschungs-Infrastrukturen eng an die Wahl der neu zu schaffenden Professuren gekoppelt; die assoziierten Aufwendungen sind nur teilweise in den genannten Aufbaukosten der Teams enthalten. So wird z.B. auf den Gebieten fortgeschrittener Energiekonzepte und der industriellen Effizienz der Bedarf für zusätzliche Investitionen in die benötigte Labor-Infrastruktur im Zeitraum von 2013 bis 2020 auf 10 bis 15 MCHF geschätzt. Insbesondere für die Forschungsanstalten gehören der Bau und der Betrieb grosser Infrastruktureinrichtungen zu den Kernaufgaben. Im Folgenden werden beispielhaft einige Investitionsbedürfnisse genannt.

Zum Aktionsfeld Effizienztechnologien:

- Demonstrationsplattform NEST für effiziente Gebäudetechnik
- Katalysezentrum für industrielle Energie- und Ressourceneffizienz

Zum Aktionsfeld Speicherung:

- Prüfstand für Hochdruck-Elektrolyse zur Stromspeicherung
- Testeinrichtungen für Pumpturbinen im hochdynamischen Betrieb

Zum Aktionsfeld Stromproduktion:

- Zentrum für Entwicklung von Fertigungstechnologien für Dünnschicht-Photovoltaik
- Forschungsanlage für die Produktion von Methan aus Holz
- Biomassezentrum für die Produktion flüssiger Energieträger (Treibstoffersatz)
- Laboreinrichtungen für die Synthese von Brennstoffen ausgehend von CO₂

Die zu errichtende Labor-Infrastruktur ist eng mit der Zahl neu zu schaffender Forscherteams bzw. Forschernetzwerke (CCER) korreliert. Als Richtwert wird deshalb im Finanzplan ein Investitionsvolumen von 10 MCHF pro einzurichtendes Kompetenzzentrum vorgeschlagen.

4. Pilot- und Demonstrationsanlagen

4.1. Definitionen

Pilotprojekte dienen der technischen Systemerprobung. Sie werden in einem Massstab gebaut, der die Beschaffung wissenschaftlicher, technischer, wirtschaftlicher oder gesellschaftlicher Daten oder das Sammeln von Erfahrungen mit aussichtsreichen neuen Organisationsformen oder ökonomischen Instrumenten erlaubt, welche im Laborversuch nicht gewonnen werden können und die zur weiteren Entwicklung nützlich sind. Pilotprojekte sind in der Regel Einzelstücke.

Demonstrationsprojekte dienen der Markterprobung. Sie werden im Massstab 1:1 erbaut und ermöglichen eine vertiefte technische, wirtschaftliche und ggf. gesellschaftliche Beurteilung im Hinblick auf eine erhoffte kommerzielle Einführung. Sie machen potenzielle Anwender auf die neue Technologie, das neue Produkt, die neue Organisationsform oder das ökonomische Instrument aufmerksam und demonstrieren seine Funktionstüchtigkeit. Demonstrationsprojekte sind nicht zwingend Einzelstücke. So kann es Sinn machen, eine neue Technologie in verschiedenen Landesteilen oder unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen bekannt zu machen.

4.2. Förderung über Pilot- und Demonstrationsprojekte

Die **Verantwortung für die Förderung** von Pilot- und Demonstrationsprojekten (P&D-Projekte) liegt beim BFE. Die Beitragshöhe des Bundes an P&D-Projekte ist dabei auf 40 % – in Ausnahmefällen 60 % – der nicht amortisierbaren Mehrkosten gegenüber Anlagen mit herkömmlicher Technologie limitiert. In der Regel werden P&D-Projekte in Zusammenarbeit mit Firmen durchgeführt, wobei KMU im Fokus stehen. Diverse P&D-Projekte werden aber auch mit der ETH, ihren Forschungsinstituten und den Fachhochschulen durchgeführt: Sie erlauben die Aufskalierung von auf neuartigen Technologien basierender Anlagen vom

Labormassstab auf eine für allfällige Investoren interessante Grösse und bilden ein wichtiges Glied vom Labor in den Markt.

Bei der **Auswahl der Projekte** setzt das BFE auf eine Reihe von Bewertungskriterien, die von der thematischen Ausrichtung auf das Energieforschungskonzept des Bundes, die Verbindung mit der (vorgelagerten) Forschung und Entwicklung, der wissenschaftlich-technischen Qualität und dem öffentlichen Interesse über das ausgewiesene Anwendungs- und Multiplikationspotenzial bis hin zur Vorgehensplanung reichen.

Zusätzliche **Fördermittel für P&D-Projekte** werden vom BFE separat beantragt (Ressortforschung) und sind daher nicht Gegenstand dieses Aktionsplans. Aktuell verfügt das BFE über ein Budget von knapp 5 MCHF pro Jahr. Der Bundesrat hat am 18. April 2012 beschlossen, die P&D-Mittel des BFE ab 2013 um weitere 5 MCHF aufzustocken. Zusätzlich hat er 5 MCHF pro Jahr für Leuchttürme gesprochen.

Bei der Festlegung der **Höhe des Beitrags** berücksichtigt das BFE verschiedene Bemessungskriterien, wie etwa das Verhältnis von Anwendungspotenzial und Projektkosten, die zeitnahe Anwendbarkeit, der Beitrag zu einer nachhaltigen Energieversorgung, die Originalität und den Innovationsgrad, sowie den Verbesserungsgrad gegenüber bestehenden Verfahren, die Hindernisse bei der Realisierung, die erbrachten Vorleistungen und den Ausbildungseffekt.

Auch ETH, Universitäten, Fachhochschulen und andere Forschungsinstitute werden sich an der Formulierung von Vorschlägen aufgrund der Ausschreibungen des BFE für P&D-Projekte beteiligen, einzelne Projekte begleiten sowie selbst Messungen und Untersuchungen an den Installationen im Feld durchführen. Aus Sicht des BFE, der Industrie und der Forschung ist es heute nicht möglich, eine vollständige Liste konkreter P&D-Projekte bis 2020 zu erstellen.

5. Governance

Die zentrale Idee des Aktionsplans „Koordinierte Energieforschung“ besteht darin, entlang der ganzen Innovationskette gleichzeitig in verschiedenen Phasen anzusetzen. Würde man sich nur auf die schnell Wirkung zeigenden letzten Phasen der praktischen Umsetzung konzentrieren, würde nach einer bestimmten Zeit die Generierung von neuen Forschungsergebnissen stagnieren; würde man sich umgekehrt allein auf den Aufbau der Grundlagenforschung konzentrieren, wäre die praktische Umsetzung völlig offen. Die in den Frühphasen getätigten Investitionen würden, wenn überhaupt, erst viele Jahre später und nur zufällig Wirkung zeigen. Wie in der zusammenfassenden Bewertung der Technologiebereiche in Abb. 5 zum Ausdruck kommt, besteht neben dem Ausbau der Grundlagenforschung in ausgewählten Technologiebereichen Förderbedarf in praktisch allen Bereichen in den Phasen angewandte Forschung und Pilotversuche und Demonstrationsanlagen.

Die Umsetzung des Aktionsplans muss die Erfahrung der involvierten Institutionen der Forschung und Entwicklung (ETH-Bereich, Universitäten, Fachhochschulen) und der Forschungsförderung (SNF, KTI) sowie den ganzen Set von bereits bestehenden und eingespielten Instrumenten der Förderung von Forschung, Entwicklung und Wissens- und Technologietransfer im Energiebereich optimal nutzen. Auf die Schaffung neuer Förderinstrumente ist zu verzichten. Damit wird ein schneller und effizienter Einsatz der Gelder gewährleistet.

Daraus leiten sich folgende **Grundsätze** für die Umsetzung des Aktionsplanes ab:

Die vorgeschlagenen Massnahmen sollen so organisiert werden, dass

- sie möglichst wirkungsvoll und effizient durchgeführt werden können
- sie auf bewährten Instrumenten basieren
- Förderentscheidungen nach Qualitätskriterien gefällt werden.

Die Zuteilung der zusätzlichen Finanzmittel erfolgt in zwei Teilen:

- direkt an den ETH-Bereich zwecks Kapazitätsaufbau (für neue Professuren) und Investitionen für Infrastruktur für F&E. Von einer Aufstockung der Grundbeiträge des Bundes an die Universitäten und/oder Fachhochschulen wird abgesehen.
- kompetitiv. Die für eine Förderagentur neu gesprochenen Mittel sind zweckgebunden. Ihre Vergabe erfolgt
 - o auf Gesuch an die Institutionen für den akademischen Kapazitätsaufbau und an Kompetenzzentren für Betrieb und Aufbau;
 - o auf Gesuch für einzelne Projekte.

Handhabung

- Entscheidungen werden durch unabhängige Experten getroffen.
- Zu den Entscheidungskriterien gehören
 - o die thematischen Überlegungen und Prioritäten des Aktionsplans;
 - o Stand und Entwicklung der Forschung und Erfahrungen in anderen Ländern (im Kontext von „make or buy“) in Verbindung mit der Berücksichtigung der entsprechenden Expertise.

- Themenwahl erfolgt innerhalb des durch den Aktionsplan vorgegebenen Rahmens und der jeweiligen Verwendungszwecke (Projekte, P&D-Anlagen) aufgrund dezentraler Initiativen von Hochschulen, Kompetenzzentren und von Unternehmen, d.h. „bottom-up“ durch die Gesuchsteller; Ausschreibungen („calls“) sind möglich.
- Eine übergeordnete Expertengruppe soll über Koordination bis auf Stufe Einzelentscheid der Aktivitäten von SNF, KTI und BFE im Themenbereich Energie für einen kohärenten Einsatz der Mittel sorgen.
- Der Zusammenarbeit mit der Wirtschaft, insbesondere dem Wissens- und Technologietransfer und der Diffusion von Resultaten aus den geförderten Projekten wird besondere Beachtung geschenkt.

Zwei organisatorische Konzepte zur Diskussion

Konzept 1: Sonderförderbereich „Energie“ bei der KTI mit übergeordneter Leitung

Es wird ein Sonderförderbereich „Energie“ geschaffen. Die dafür vorgesehenen kompetitiv zu vergebenen finanziellen Mittel (d.h. ohne Aufstockung der Grundfinanzierung ETH-Bereich) werden mit Zweckbindung bei der KTI eingestellt. Diese Mittel sollen über Wettbewerb vergeben werden und nach Kriterien, die noch zu definieren, aber offener sind, als die klassischen Kriterien für das KTI-Kerngeschäft. Die kompetitive Mittel werden gemäss Tab. 17, 18 und 19 vergeben:

- A: Fördermittel an die ETH, Universitäten und FH für ihren akademischen Kapazitätsaufbau;
- B: Grundbeiträge an Kompetenzzentren für Aufbau und Betrieb im Verbund von ETH, Universitäten, Fachhochschulen und Partnern aus der Wirtschaft;
- C: Fördermittel an Projekte der Institutionen und Kompetenzzentren.

Die Handhabung erfolgt durch eine **Expertengruppe** zusammengesetzt aus Fachexperten der KTI, aber auch des SNF und des BFE verbunden mit Expertise aus dem Ausland. Diese entscheidet über die Förderung auf Gesuch hin, sei dies bottom-up, also aufgrund dezentraler Initiativen von Hochschulen, Kompetenzzentren und von Unternehmen, sei dies über Ausschreibungen („calls“) unter Anwendung bewährter Evaluations- und Bewilligungsverfahren. Weiter soll sie mit den parallel dazu laufenden Förderaktivitäten des SNF (NFPs im Bereiche der Energieforschung und evtl. NCCR Energie), den drei WTT-Förderelementen der KTI (Nationale thematische Netzwerke (NTN), Innovationsmentoren (IM) und Plattformen) sowie dem BFE (Ressortforschung und Unterstützung von P&D-Anlagen) zusammenarbeiten und über Koordination eine optimale Wirkung erzielen. P&D-Projekte sind ein wichtiger Teil des Wissens- und Technologietransfers im Energiebereich und hängen sachlogisch eng mit den F&E-Anstrengungen zusammen. Ihre Unterstützung durch das BFE ist deshalb mit der Forschungsförderung abzustimmen.

Die Expertengruppe nimmt damit zentrale Aufgaben für die fachliche Umsetzung des Aktionsplans wahr. Für sie ergeben sich daraus folgende Pflichten:

- Evaluiert und entscheidet über Fördermassnahmen des akademischen Kapazitätsaufbaus und Grundbeiträge an die Kompetenzzentren und betreut diejenigen Zentren, denen eine Unterstützung gewährt worden ist;
- Evaluiert und bewilligt Energieforschungs-Projekte der Hochschulen und Kompetenzzentren;

- Beachtet dabei die im Rahmen des Aktionsplanes beschlossenen thematischen Überlegungen und vorgeschlagenen Prioritäten aus einer ganzheitlichen Sicht;
- Führt Absprachen und koordiniert zwischen ihrer Förderung gemäss Aktionsplan und der ordentlichen Förderung der Energieforschung beim SNF (z.B. NFP), der KTI und des BFE (Ressortforschung, Förderung von P&D-Projekten);
- Unterstützt die Zusammenarbeit mit der Wirtschaft, insbesondere die Diffusion von Resultaten aus Projekten, u.a. durch eine enge Zusammenarbeit des Sonderförderbereichs „Energie“ mit den WTT-Aktivitäten der KTI.

Konzept 2: Zwei parallel laufende, aber aufeinander abgestimmte Förderprogramme SNF und KTI

- SNF Förderprogramm: Kompetitive Personenförderung (Schaffung von Assistenzprofessuren mit „Tenure-Track“ im Rahmen des bestehenden SNF Förderprofessur-Programms als Vorbereitung der zu schaffenden neuen Vollprofessuren an ETH Universitäten und Fachhochschulen; kompetitive Evaluation, Auswahl und Platzierung von Kompetenzzentren (inklusive neue Professuren); mittel- und langfristige kompetitive Projektförderung am Anfang der Kette der Wissensproduktion; vgl. Konzept 1, A und B und Teile von C.
- KTI Förderprogramm: Kompetitive Projekt-Förderung der Kompetenzzentren; Förderung von F&E-Projekten im späteren Bereich der Entwicklungskette mit Industriebeteiligung, Förderung des Wissens- und Technologietransfers insbesondere zu den KMU, Förderung von „Start-up“-Gründungen; vgl. Konzept 1, Teile von C.

Die Finanzmittel für diese beiden Programme werden aufgeteilt und **mit Zweckbindung beim SNF und der KTI** eingestellt. SNF und KTI setzen diese Mittel im Rahmen ihrer existierenden und bewährten Förderinstrumente und Qualitätsstandards ein. Der SNF betreut den Förderschwerpunkt akademischer Kompetenzaufbau und Kompetenzzentren. Dieser wird zusätzlich mit kompetitiver Projektförderung unterstützt, die ein zentrales Element für die Finanzierung einer Hochschulprofessur darstellt insbesondere für die Doktorandenfinanzierung. Dabei werden auch die parallel dazu laufenden Förderaktivitäten des SNF (NFPs im Bereiche der Energieforschung und evtl. ein NCCR Energie) genutzt. Der SNF setzt seine Erfahrung mit der Evaluation und Entwicklung neuer Strukturen (Professuren) über das Instrument der Förderprofessur ein. Die KTI mit Förderschwerpunkt anwendungsorientierte Projekte und WTT nutzt ihre Erfahrungen in der Zusammenarbeit mit der Wirtschaft und im Kompetenzaufbau bei den FH. Sie setzt ihre flexiblen Instrumente mit kurzen Entscheidungswegen in der Phase der beginnenden Umsetzung und Zusammenarbeit mit Wirtschaft und Industrie ein. Neben der direkten Vergabe eines Grundbeitrages an den ETH-Bereich dürfte je nach Finanzierungsoption gemäss den Tabellen 17, 18 und 19 der Anteil des SNF gemäss diesem Konzept 65-75% und derjenige der KTI 25-35% den kompetitiv zu vergebenen Mittel des Aktionsplanes sein.

Die allseitige Abstimmung und Koordination der involvierten Förderinstitutionen und -Aktivitäten erfolgt über die Bildung einer speziellen Expertengruppe mit Fachexperten aus dem SNF, der KTI und des BFE.

Unterschiedliche Eigenheiten der beiden Konzepte

1. Die beiden Konzepte unterscheiden sich im Wesentlichen bei der **Ausrichtung der Förderaktivitäten** und damit bei der Ausgestaltung der **Kompetenzzentren**. Die Herausforderung für die Umsetzung des Aktionsplans besteht darin, einen optimalen Mix zwischen Grundlagen, Anwendungsorientierung und Umsetzung zu finden.

- Konzept 1: Die Kompetenzzentren haben ihre Wurzeln in der akademischen Hochschulforschung, aber das Schwergewicht bei der angewandten Forschung, mit einer starken Beteiligung der FH und einer intensiven Zusammenarbeit mit der Wirtschaft. Die Umsetzung von Forschungsergebnissen in der Tradition der KTI erhält eine stärkere institutionelle Verankerung. Variante 1 ist komplementär zur Ressortforschung und zu P&D-Projekten des BFE.

- Konzept 2: Das Schwergewicht der Kompetenzzentren liegt bei den an den Hochschulen neu zu schaffenden Förder- und Assistenzprofessuren in Verbindung mit bestehenden Professuren als thematisch verbundenes Netzwerk. Die primär längerfristig orientierte akademische Forschung in Verbindung mit akademischen Karrieren (u.a. tenure track) steht im Vordergrund. Dies wird in Verbindung mit NFP's im Energiebereich und evtl. einem NCCR noch verstärkt. Damit dominiert die in diesem Zusammenhang bewährte SNF-Förderphilosophie. Anwendungsorientierte Projekte in späteren Phasen des Innovationsprozesses in der Tradition der KTI unterstützen und ergänzen die verschiedenen SNF-Förderaktivitäten. Die Förderung von Entwicklung, Anwendung und Umsetzung und damit die Berücksichtigung der FH, des WTT, der Ressortforschung des BFE und von P&D-Projekten hat eher flankierenden und ergänzenden Charakter.

2. Die beiden Konzepte unterscheiden sich bezüglich der Rolle der gemeinsamen Expertengruppe und damit bez. Stellenwert und Wirksamkeit der **Koordination** zwischen SNF, KTI und BFE in der Förderung der Energieforschung.

- Konzept 1: Die mit Fachexperten aus SNF, KTI und BFE breit abgestützte Expertengruppe hat ein Budget in ihrer Hand und kann selber Fördermittel verteilen. Sie kann damit ihre Entscheide materiell untermauern. Das gemeinsame Programm-Management erfolgt durch die Expertengruppe „aus einer Hand“. Eine Zusammenarbeit mit Anstrengungen zur Stärkung des WTT und der Aus- und Weiterbildung, vgl. Kap. V, Pt. 2.3 und 2.4. lässt sich eher herstellen.

- Konzept 2: Es bestehen zwei getrennte Budgets bei SNF und KTI mit je eigenen Entscheidungsträgern. Die übergeordnete Expertengruppe führt eine Konsultation und Koordination durch. Sie verfügt über keine eigenen Mittel und ist damit bei der Koordination weitgehend auf Freiwilligkeit der teilnehmenden Institutionen angewiesen. Als Konsequenz findet eher ein informeller Austausch mit geringer Entscheidungsrelevanz und Durchsetzungskraft statt. Der Aktionsplan dürfte gemäss Variante 2 primär durch den SNF geführt und umgesetzt werden.

Empfehlung:

Aus Sicht des operativen Teams sind die durch die Förderaktivitäten zu berücksichtigenden verschiedenen Aspekte entlang der ganzen Innovationskette optimal aufeinander abzustimmen. Sie sollen deshalb in einem Gremium aus einer ganzheitlichen Sicht behandelt und entschieden werden. Wichtig und anzustreben ist die Führung des Aktionsplanes „aus einer Hand“. Um die Kooperationsbereitschaft der verschiedenen Förderinstitutionen mit ihren je spezifischen Kompetenzen (insbesondere SNF und KTI) dafür zu gewinnen und den Entscheiden dieses Gremiums Nachdruck zu verschaffen, muss es auch über die entsprechenden Ressourcen verfügen können resp. dafür zuständig sein. Aus diesen Gründen wird Konzept 1 bevorzugt.

Aufsicht / Supervision

Die Führung der Umsetzung des Aktionsplans „Koordinierten Energieforschung Schweiz“ ist ein Teil des Gesamtprojekts Energiestrategie (ES) 2050 resp. der IDA-Energie und muss in das dort angedachte Monitoring der Umsetzung der ES 2050 eingefügt werden. Es wird vorgeschlagen, in diesem Rahmen eine Steuerungsgruppe zu bilden, der die in beiden Varianten vorgesehene Expertengruppe rapportiert („Reporting“) und die wiederum dem Bundesrat regelmässig Rechenschaft über den Fortschritt bei der Umsetzung des Aktionsplans „Energieforschung“ ablegt. Diese Steuerungsgruppe soll in Abstimmung mit der Expertengruppe in grösseren Zeitabständen eine Überprüfung der Durchführung des Aktionsplans vornehmen. Daraus sollten – wo zweckmässig – Anpassungen im Sinne einer rollenden Planung hervorgehen. Die bestehende CORE erfüllt als Strategiegremium die Funktion eines „advisory boards“ und könnte diese Aufgabe übernehmen, eventuell ergänzt durch externe, beratende Fachleute und Verantwortliche aus der Bundesverwaltung.

VI. Aktionsplan – Konsolidierter Finanzplan

Ausgehend von den Zielsetzungen und der Strategie des Bundesrates im Energiebereich und orientiert an den fünf Aktionsfeldern wurde im ETH-Bereich, bei den Fachhochschulen sowie bei den Universitäten eine eingehende Bedarfsabklärung durchgeführt. Diese ist in den Kapiteln III dieses Aktionsplans und in den Teilberichten der drei Institutionen dokumentiert. Dieser Bedarf wurde mit der durch Experten erarbeiteten materiellen Beurteilung der Aktionsfelder und der Priorisierung der Technologiebereiche (Kapitel IV) konfrontiert (Kapitel V). Daraus ergibt sich ein Mittelbedarf, wie er in den folgenden Tabellen in die beiden Gruppen unterteilt wird:

- *Kapazitätsaufbau und Projekte:* Darin enthalten sind
 - Mittel für den Aufbau von Forscherteams im ETH-Bereich über Grundfinanzierung, die direkt an die Schulen gehen, sowie
 - kompetitive Fördermittel (zweckgebunden) für Fachhochschulen und Universitäten für den Kapazitätsaufbau, und .
 - kompetitive Fördermittel für Kompetenzzentren, die alle kompetitiv zu vergeben sind, einerseits als Grundbeitrag, andererseits über Projekte.
- *Investitionen für Forschungsinfrastruktur der Kompetenzzentren*

Dazu werden drei Varianten vorgelegt. Für alle Positionen des konsolidierten Finanzbedarf werden in den Tabellen 17, 18 und 19 die Anteile des Bundes aufgeführt.

Es ist zu beachten, dass die Ausgaben für 2017-2020 auf dem in der Vorperiode aufgebauten Sockel aufbauen und deshalb wesentlich umfangreicher sind.

Der im Folgenden aufgeführte konsolidierte Finanzbedarf für die Umsetzung des Aktionsplans wird in den drei in Kapitel V besprochenen Varianten dargestellt. Sie unterscheiden sich

- im Umfang des Kapazitätsaufbaus (Anzahl der Teams),
- durch unterschiedliche Art und Weise der Finanzierung des Kapazitätsaufbaus (Grundfinanzierung resp. kompetitive Mittel),
- im Umfang der kompetitiven Projektmittel, durch unterschiedliche Mittel für Investitionen

Es werden jeweils beide BFI-Perioden dargestellt.

Die vom BFE als nötig erachteten Finanzmittel für P&D-Anlagen werden im Rahmen der „Energieperspektiven 2050“ des UVEK beantragt und sind entsprechend in den nachfolgenden Varianten nicht enthalten.

Variante 1

Der Kapazitätsaufbau geschieht im *ETH-Bereich* (total 32 Teams, je 16 pro BFI-Periode) zur Hälfte über die Erhöhung der Grundfinanzierung und zur anderen Hälfte über kompetitive Mittel im Rahmen der zu bildenden Kompetenzzentren. In den *Fachhochschulen* (total 16 Teams, je 8 pro BFI-Periode) wird der Kapazitätsaufbau durch kompetitive Bundesmittel (36%-Anteil) im Rahmen der zu bildenden Kompetenzzentren finanziert. Der Aufbau an den *Universitäten* (12 Teams in der Periode 2013-16) wird – ebenfalls im Rahmen der Kompetenzzentren – durch kompetitive Bundesmittel (25%-Anteil) unterstützt. Zu den Mitteln für den Aufbau von Kapazität kommen kompetitive Projektmittel für alle Institutionen. Annahme: es entstehen 9 Kompetenzzentren (d.h. Kapazität im Umfang von 2 Kompetenzzentren in 2013, dann 1 pro Jahr bis 2020).

Zusätzliche Bundesmittel für Aktionsplan Variante 1				
Periode 2013-2016				
		MCHF	Anteil in %	
Kapazitätsaufbau Grundfinanzierung	ETH	40.0	23.1	Grundfinanz.
Kompetitive Mittel Aufbau ("earmarked")	FH	12.0	76.9	kompetitiv
Kompetitive Mittel Aufbau ("earmarked")	Unis	10.0		
Kompetitive Mittel Aufbau ("earmarked")	ETH	40.0		
Kompetitive Grundbeiträge Kompetenzzentren		14.0		
Kompetitive Mittel für Projekte		57.0		
Subtotal Aufbau und Projekte		173.0		
Investitionen	ETH	54.5		
Investitionen	FH	5.5		
Total		233.0		
Bereits in der BFI Botschaft 2013-2016 eingeschlossene zusätzliche Mittel				
1 NCCR (Annahme 1 NCCR in Energie)*		20.0		
NFPs Energie (kompetitive Mittel)		45.0		
CSEM (zweckgebundene Mittel)		20.0		
total in BFI-Botschaft 2013-2016		85.0		

Zusätzliche Bundesmittel für Aktionsplan Variante 1				
Periode 2017-2020				
		MCHF	Anteil in %	
Kapazitätsaufbau Grundfinanzierung	ETH	104.0	23.6	Grundfinanz.
Kompetitive Mittel Aufbau ("earmarked")	FH	31.8	76.4	kompetitiv
Kompetitive Mittel Aufbau ("earmarked")	Unis	20.0		
Kompetitive Mittel Aufbau ("earmarked")	ETH	104.0		
Kompetitive Grundbeiträge Kompetenzzentren		30.0		
Kompetitive Mittel für Projekte		150.0		
Subtotal Aufbau und Projekte		439.8		
Investitionen	ETH	24.0		
Investitionen	FH	6.0		
Total		469.8		

Tab. 17: Konsolidierter Finanzbedarf für Variante 1 für die Perioden 2013-2016 und 2017-2020;

*: Es können zwischen 0 und 2 neue NCCR im Bereich Energie sein.

Variante 2

Der Kapazitätsaufbau dieser Variante ist kleiner als bei Variante 1. Im *ETH-Bereich* entstehen 8 neue Teams (4 pro BFI-Periode) über eine Erhöhung der Grundfinanzierung und 16 (8 pro BFI-Periode) über kompetitive Mittel im Rahmen der zu bildenden Kompetenzzentren. In den *Fachhochschulen* ist ein Kapazitätsaufbau von 8 Teams in den Jahren 2013-2017 und 4 Teams im Zeitraum 2017-2020 vorgesehen. Die Finanzierung erfolgt über kompetitive Mittel (36% Bundesanteil) im Rahmen der Kompetenzzentren. Im universitären Bereich entstehen 10 neue Teams, zur Finanzierung im Rahmen von Kompetenzzentren ist ein 25%iger Anteil an kompetitiven Bundesmitteln vorgesehen. Zusätzlich stehen allen Institutionen kompetitive Mittel zur Projektfinanzierung offen.

Annahme: es entstehen 7 Kompetenzzentren (d.h. Kapazität im Umfang von 1 Kompetenzzentrum pro Jahr von 2013 bis 2019).

Zusätzliche Bundesmittel für Aktionsplan Variante 2				
Periode 2013-2016				
		MCHF	Anteil in %	
Kapazitätsaufbau Grundfinanzierung	ETH	20.0	15.0	Grundfinanz.
Kompetitive Mittel Aufbau ("earmarked")	FH	12.0	85.0	kompetitiv
Kompetitive Mittel Aufbau ("earmarked")	Unis	8.0		
Kompetitive Mittel Aufbau ("earmarked")	ETH	40.0		
Kompetitive Grundbeiträge Kompetenzzentren		10.0		
Kompetitive Mittel für Projekte		43.0		
Subtotal Aufbau und Projekte		133.0		
Investitionen	ETH	44.5		
Investitionen	FH	5.5		
Total		183.0		
Bereits in der BFI Botschaft 2013-2016 eingeschlossene zusätzliche Mittel				
1 NCCR (Annahme 1 NCCR in Energie)*		20.0		
NFPs Energie (kompetitive Mittel)		45.0		
CSEM (zweckgebundene Mittel)		20.0		
total in BFI-Botschaft 2013-2016		85.0		

Zusätzliche Bundesmittel für Aktionsplan Variante 2				
Periode 2017-2020				
		MCHF	Anteil in %	
Kapazitätsaufbau Grundfinanzierung	ETH	52.0	15.0	Grundfinanz.
Kompetitive Mittel Aufbau ("earmarked")	FH	31.8	85.0	kompetitiv
Kompetitive Mittel Aufbau ("earmarked")	Unis	16.0		
Kompetitive Mittel Aufbau ("earmarked")	ETH	104.0		
Kompetitive Grundbeiträge Kompetenzzentren		25.0		
Kompetitive Mittel für Projekte		117.0		
Subtotal Aufbau und Projekte		345.8		
Investitionen	ETH	14.0		
Investitionen	FH	6.0		
Total		365.8		

Tab. 18: Konsolidierter Finanzbedarf für Variante 2 für die Perioden 2013-2016 und 2017-2020

*: Es können zwischen 0 und 2 neue NCCR im Bereich Energie sein.

Variante 3

Der Kapazitätsaufbau dieser Variante ist deutlich kleiner als bei den Varianten 1 und 2 ; im *ETH-Bereich* entstehen 8 (4 pro BFI-Periode) neue Teams über eine Erhöhung der Grundfinanzierung und 8 über kompetitive Mittel im Rahmen der Bildung von Kompetenzzentren (ebenfalls 4 pro BFI-Periode). In den *Fachhochschulen* beträgt der Kapazitätsaufbau 6 Teams in 2013-2017 und 2 Teams im Zeitraum 2017-2020. Die Finanzierung geht über kompetitive Bundesmittel analog Varianten 1 und 2. Im universitären Bereich entstehen 8 neue Teams im Zeitraum 2013-2016. Der Finanzierungsanteil des Bundes beträgt aus 25% kompetitiver Mittel. Zusätzlich stehen allen Institutionen kompetitive Mittel zur Projektfinanzierung offen. Annahme: es entstehen 5 Kompetenzzentren (d.h. Kapazität im Umfang von 2 Kompetenzzentren in 2013 und dann 1 pro Jahr von 2014 bis 2016).

Zusätzliche Bundesmittel für Aktionsplan Variante 3				
Periode 2013-2016				
		MCHF	Anteil in %	
Kapazitätsaufbau Grundfinanzierung	ETH	20.0	19.5	Grundfinanz.
Kompetitive Mittel Aufbau ("earmarked")	FH	10.4	80.5	kompetitiv
Kompetitive Mittel Aufbau ("earmarked")	Unis	8.0		
Kompetitive Mittel Aufbau ("earmarked")	ETH	20.0		
Kompetitive Grundbeiträge Kompetenzzentren		14.0		
Kompetitive Mittel für Projekte		30.0		
Subtotal Aufbau und Projekte		102.4		
Investitionen	ETH	34.5		
Investitionen	FH	5.5		
Total		142.4		
Bereits in der BFI Botschaft 2013-2016 eingeschlossene zusätzliche Mittel				
1 NCCR (Annahme 1 NCCR in Energie)*		20.0		
NFPs Energie (kompetitive Mittel)		45.0		
CSEM (zweckgebundene Mittel)		20.0		
total in BFI-Botschaft 2013-2016		85.0		

Zusätzliche Bundesmittel für Aktionsplan Variante 3				
Periode 2017-2020				
		MCHF	Anteil in %	
Kapazitätsaufbau Grundfinanzierung	ETH	52.0	20.3	Grundfinanz.
Kompetitive Mittel Aufbau ("earmarked")	FH	19.7	79.7	Kompetitiv
Kompetitive Mittel Aufbau ("earmarked")	Unis	12.8		
Kompetitive Mittel Aufbau ("earmarked")	ETH	52.0		
Kompetitive Grundbeiträge Kompetenzzentren		20.0		
Kompetitive Mittel für Projekte		100.0		
Subtotal Aufbau und Projekte		256.5		
Investitionen	ETH	8.0		
Investitionen	FH	2.0		
Total		266.5		

Tab. 19: Konsolidierter Finanzbedarf für Variante 3 für die Perioden 2013-2016 und 2017-2020;

*: Es können zwischen 0 und 2 neue NCCR im Bereich Energie sein.

Vor- und Nachteile der Varianten

(mit Bezug auf die Liste der Kompetenzzentren gemäss Tabelle 14)

In der Variante 3 wird, neben der bereits beschlossenen Einrichtung eine Photovoltaik-Zentrums, die Schaffung von fünf Kompetenzzentren vorgeschlagen. Damit kann aus jedem der Aktionsfelder nur ein Themenkomplex im Rahmen eines Kompetenznetzwerks koordiniert bearbeitet werden. Während die effiziente Gebäudetechnik (inklusive industrielle Prozesse im Bereich Wärme/Kälte) vorgesehen ist, müssten die wichtigen Aspekte der Mobilität, der chemischen Energiespeicherung sowie der effizienten Informationstechnologie unberücksichtigt bleiben. Ebenso findet kein Kompetenzzentrum für die Produktion von Energieträgern aus der einheimischen Ressource Biomasse Platz. Das vergleichsweise niedrige Investitionsvolumen wird nur die Realisierung eines Teils der benötigten Forschungsinfrastruktur ermöglichen. Diese Variante bedeutet also besonders im Aktionsfeld "Effizienz" einschneidende Beschränkungen.

Die Variante 2 bietet durch den Vorschlag von zwei zusätzlichen Kompetenzzentren eine bessere Ausgangslage. Die wichtigen Effizienzthemen der Mobilität (Konzept und Komponenten) und industrielle Prozesse (mechanische und elektrische) sowie die Produktion von Elektrizität und Energieträgern aus Biomasse könnten jetzt aufgegriffen werden. Das entsprechend moderat gesteigerte Investitionsvolumen wird die Realisierung der zusätzlich benötigten Forschungsinfrastruktur ermöglichen.

Die Variante 1 schliesslich stellt die anzustrebende Möglichkeit dar, zusätzlich die längerfristig wesentlichen Themen der chemischen Energiespeicherung aufzugreifen. Die koordinierte Bearbeitung von Schlüsseltechnologien wie Katalyse und Nanomaterialien wird neue Zugänge zur industriellen Effizienz eröffnen, insbesondere würde hier das hohe Elektrizitäts-Einsparpotential durch neue Konzepte und Verfahren in der Informationstechnologie (z.B. Leistungselektronik und Speichertechnologie) erschlossen. Es sei abschliessend darauf hingewiesen, dass die vorgeschlagenen Investitionsbeiträge auch in der Variante 1 nur einen Teil der Gesamtkosten ausmachen, welche die Träger der Forschungsinvestitionen bereitstellen müssen. Sie werden benötigt, um die insgesamt 60 Teams mit der notwendigen Infrastruktur auszustatten, um das Technologiepotential mit den für die Schweiz adäquaten und sinnvollen Methoden der Spitzenforschung auszuloten.

Anmerkung:

Als Ergänzung zu jeder der drei Varianten empfehlen wir, in Zukunft auch die ordentliche Förderung von KTI und Nationalfonds (NFP, NFS) vermehrt zur Stärkung der Energieforschung zu nutzen. Das Echo auf die Ausschreibung für die neue Serie der NFPs und der NCCRs zeigt deutlich, dass die Welt der Forschung sich selbsttätig zu Netzwerken organisiert, die Kräfte bündelt und die Zusammenarbeit verbessert, wenn entsprechende Anreize geschaffen werden.

Literatur:

- [1] „Energieforschung: Beitrag des ETH-Bereichs zur Neustrukturierung des Energiesystems“, Dez. 2011 (Teilbericht ETH-Bereich)
- [2] „Summary zum Teilbericht des ETH-Bereichs“, Bern 7/8 März, 2012
- [3] „Koordinierte Energieforschung Schweiz“ Position KFH, Dez. 2011 (Teilbericht Fachhochschulen).
- [4] „Recherche énergétique coordonnée Suisse“, Rapport partiel concernant les universités, CRUS, Dec. 2011 (Teilbericht Universitäten)
- [5] „Energy Research: Assessment of Technology Fields and Proposal für Additional Research Activities“, Report of the ETH Domain, Nov 2011.
- [6] Priorisierung und Einschätzung der Vorschläge zur Energieforschung im „Aktionsplan koordinierte Energieforschung“ durch die Eidgenössische Energieforschungskommission CORE; Bern, BFE, März 2012.
- [7] Grundlagen für die Energiestrategie des Bundesrates – Aktualisierung der Energieperspektiven 2035; Zusammenfassung, Mai 2011,
- [8] Energieperspektiven 2050 , Analyse der Stromangebotsvarianten des Bundesrates, Faktenblatt, v. 25.05.2011
- [9] Energieszenarien für die Schweiz bis 2050, Zwischenbericht I, Elektrizitätsangebot, Prognos AG, 18.05.2011
- [10] Energieszenarien für die Schweiz bis 2050, Zwischenbericht II, Energienachfrage, energiebedingte CO2-Emissionen, Prognos AG, 18.05.2011
- [11] „Kurzbericht Netze“, BFE, Mai 2011
- [12] „Stand und Perspektiven Energieforschung“, Bericht der Arbeitsgruppe Forschung (AG Energieforschung) im Rahmen IDA Energie, 29.April/12. Mai 2011
- [13] Konsortium Energietechnologien 2050 – Schwerpunkte für Forschung und Entwicklung, Politikbericht, München 2010, Fraunhofer Verlag
- [14] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Das 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung, Berlin 2011

Anhang I:
Mitglieder der Eidgenössische Energieforschungskommission CORE
Stand März 2012

Mitglied	Funktion	Vertretung von
Dr. Kaiser Tony, Präsident	Alstom Power, Future Technologies, Direktor	Grossindustrie
Closset Alexandre	Belenos Cleanpower (Swatchgroup)	Start-up, innovative KMU
Dr. Duca Widmer Monica	EcoRisana SA	Ingenieurbüros, KMU
Prof. Dr. Etique Michel	Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du canton de Vaud (HEIGVD), Chef du département des technologies industrielles (TIN)	Fachhochschulen
Prof. Dr. Gutscher Heinz	Universität Zürich	Universitäten, Sozialwissenschaft
Hunziker- Ebnetter Antoinette	Forma Future Invest AG, CEO	Investoren, Venture Capital
Prof. Krysiak Frank	Professor für Umweltökonomie	Universitäten, Umweltpolitik und - ökonomie
Dr. Lustgarten George Allan	Technology and Business Consulting, CEO	Consulting
Prof. Dr. Lux- Steiner Martha Christina	Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (HZB), Institutsleitung Heterogene Materialsysteme	Universitäten, internationale Beziehungen
Dr. Nosedo Corrado	AGE SA, Direttore	Energiewirtschaft (Wasser und Gas)
Prof. Dr. Püttgen Hans-Björn	Energy Center EPFL, Directeur	EPF-Lausanne
Prof. Dr. Schlapbach Louis		SNF, KTI
Regierungsrat Sutter Stefan	Vorsteher Bau- und Umweltdepartement Appenzell I.	Kantone
Dr. Thumann Manfred	Axpo Holding AG, MG Konzernleitung	Energiewirtschaft (Elektrizität)
Prof. Dr. Wokaun Alexander	Paul Scherrer Institut, Leiter Forschungsbereich allgemeine Energie, PSI, ETH Zürich	Schweizerische Akademie der Technischen, Wissenschaften, Novatlantis

Anhang II: Erläuternde Beispiele zum Potenzial der zusätzlichen Forschungsthemen zur Erreichung der Ziele der Energiepolitik 2050

T. Kaiser, A. Wokaun

Energieeffizienz

- Effiziente Gebäudetechnik

Die Gebäude (Haushaltungen und Dienstleistungsgebäude) sind für rund 50% des schweizerischen Energieverbrauchs verantwortlich. Nicht nur effizientere Geräte und Installationen tragen zur Reduktion des Elektrizitätsbedarfs bei, sondern auch bessere Isolation (weniger Elektrizität für Wärmepumpen). Hier sollen neue Ansätze und Lösungen entwickelt werden, um durch systemisches Vorgehen dieses hohe Potential zu erschliessen.

Zukünftige Gebäudetechnologie (Sensoren und Steuerungen) werden den Strombedarf reduzieren können (Stichwort: "Betrieb ohne Nutzen", der heute auf eine zweistellige Prozentzahl geschätzt wird). Zusammen mit einer wirtschaftlich und emissionsmässig optimierten Isolation, Versorgung von Gebäuden mit erneuerbarer Energie, und guter Abwärme-Nutzung kann sowohl der Stromverbrauch als auch der Energieverbrauch allgemein reduziert werden (automatische, betriebsangepasste Nutzung).

- Katalyse für effiziente Verfahrenstechnik

Katalyse ist eine Schlüsseltechnologie für die Effizienzsteigerung. Sie ermöglicht es, mildere Prozessbedingungen zu verwenden und dadurch den Energieeinsatz bei industriellen Prozessen zu senken. Elektrokatalyse bestimmt wesentlich den Fortschritt bei neuen Hochleistungsbatterien (z.B. Lithium / Luft) und Brennstoffzellenantrieben. An einem neu zu gründenden Katalysezentrum sollen – ausgehend von einem molekularen Verständnis des Reaktionsmechanismus – Katalysatoren mit dem spezifischen Ziel der Effizienzsteigerung entwickelt werden.

- Energieeffiziente Informationstechnologie

Weltweit steigt der Elektrizitätsbedarf von Rechenzentren und Serverstationen drastisch an. Innovative Ansätze in der Datenspeicherung und im Wärmemanagement sind notwendig, um diesem Trend entgegenzuwirken.

Bei der steigenden Bedeutung elektronischer Kommunikation und globalen Vernetzung und beim stark steigenden Rechenbedarf in vielen Gebieten, zählt sich energieeffiziente Technologie gleich zweimal aus: bei der Informationsverarbeitung und bei der Kühlung (Abfuhr der Abwärme).

- Nanomaterialien für die Energietechnik

Die Schweiz verfügt über Spitzenkenntnisse in der Nanotechnologie für kleinskalige Anwendungen. Damit das Potential der Nanotechnik für die Energie und Effizienzsteigerung erschlossen werden kann, sind Methoden zu entwickeln, wie die Strukturierung im Nanometerbereich (1 nm = 1 Milliardstel

Meter) für makroskopische Energiewandler (Dimension: Meter) hochskaliert und nutzbar gemacht werden kann. Anwendungen von Carbon Nanotubes für CO₂-Separationsprozesse und geordnete Nanostrukturen auf grossen Flächen als Elektroden für Batterien / Brennstoffzellen sind vielversprechende Optionen.

- Kompositwerkstoffe für Automobil-Leichtbau

Neue Werkstoffe sind ein weiterer Schlüssel zur Ressourcen- und Energieeffizienz. Der Leichtbau bringt den doppelten Nutzen geringeren Rohstoffeinsatzes bei der Herstellung und niedrigeren Energieeinsatzes in der Nutzungsphase.

Schweizer Firmen sind bedeutende Zulieferer für die Autoindustrie; das Marktvolumen ist einige Milliarden Fr. /Jahr. Über eine partnerschaftliche Zusammenarbeit mit der ausländischen Autoindustrie oder über Start-ups in der Schweiz (Motorroller, Kleinwagen, öffentlicher Verkehr - z.B. Busse) könnte die Schweiz bedeutende Beiträge leisten zur Reduktion des Energieverbrauchs im Verkehr. Diese erfolgen einerseits über die Elektrifizierung (grosser Effizienzgewinn gegenüber fossilem Antrieb) und andererseits auch über die Gewichtsreduktion (im Zusammenhang mit dem Konzept der "Aktiven Sicherheit"). Damit verbunden wäre eine starke Reduktion der CO₂-Emissionen.

Netze und vernetzte Energiesysteme

- Ganzheitlicher Entwurf von Energiesystemen

Der angestrebte Umbau des Energiesystems erfordert nicht Partikulärlösungen, sondern ein kohärentes Design des gesamten Energiesystems, um die möglichen Synergiegewinne zu realisieren. Diesbezügliche Ansätze sind mit hoher Priorität weiterzuentwickeln.

Energiesysteme (WKK im Verbund mit Wärmepumpen; Gas-Kombikraftwerke im Verbund mit elektrischen Wärmepumpen; thermoelektrische Wandler zur Abwärmenutzung) bergen ein Effizienzpotenzial (bis 250% im Vergleich zu Einzeltechnologien), das noch nicht genutzt wird.

- Netze und ihre Stabilität

Die Wichtigkeit des Netzausbaus ist anerkannte Tatsache. Wenn grössere Anteile intermittierender erneuerbarer Energien eingebunden werden sollen, muss der Netzstabilität (durch Massnahmen wie Lastmanagement, Speicherung und Substitution) grösste Aufmerksamkeit gewidmet werden. Ohne zusätzliche Anstrengungen auf diesem Gebiet wird es nicht möglich sein, den in den Energieperspektiven 2035 angestrebten Anteil der Photovoltaik von 10 TWh / Jahr zu realisieren.

Beispiel: Bei einer Stromproduktion von 10% aus Photovoltaik (d.h. ca. 6 TWh im Jahresdurchschnitt) ist soviel PV-Kapazität installiert, dass PV und Grundlastkraftwerke an einem sonnigen Wochenende der ganze Strombedarf in der Schweiz gedeckt werden kann. Bei 17% PV-Strom (ca. 10 TWh im Jahresdurchschnitt) müssten an einem sonnigen Sommerwochenende – ohne zusätzliche Speicherung – die Grundlastkraftwerke abgestellt werden (was nicht einfach möglich ist). An nebligen, dunklen Wintertagen hingegen ist die

Produktion aus Strom von PV sehr tief (vgl. Baumgartner et al., Progr Photovoltaic Res Appl 2010). Vorstellungen in der Schweiz gehen von bis zu 20 TWh / Jahr Strom aus PV aus; dies zeigt die enorme Bedeutung von neuen Speichertechnologien und Netz- bzw. Last-Management.

- Ressourcen- und Energieeffizienz von industriellen Prozessen und Dienstleistungen

Da es sich hier um Hunderte von verschiedenen Prozessen handelt, besteht noch ein grosses nicht ausgeschöpftes Potential für Effizienzsteigerung, das nur durch substantielle zusätzliche Anstrengungen erschlossen werden kann. Der Aspekt der Effizienz über den gesamten Lebenszyklus muss bereits beim Design von Prozessen und Produkten als wesentliches Kriterium mit einbezogen werden.

Beispiele für mögliche Effizienzsteigerungen sind der Einsatz solarer Nieder-temperaturwärme, die CO₂-Minderung durch Carbon Capture and Storage (CCS) in der Zementindustrie und die Kaskadennutzung von Abwärme. Diese erst ansatzweise genutzten Potentiale sind durch innovative Forschung zu erschliessen.

- Lebenszyklus-Bewertung von Energiesystemen

Energie- und Emissionsbilanzen sind wesentlich, um die Nachhaltigkeit der vorgeschlagenen Technologien zu bewerten, deshalb sind die Kompetenzen im Technology Assessment zu verstärken. Der Vorteil von Cleantech-Lösungen wird besonders evident, wenn man den gesamten Produktzyklus von der Konzeption bis zur Rezyklierung betrachtet. „Life Cycle Costing“ als Basis für Geschäftsentscheidungen muss als Werkzeug und Akzeptanzkriterium für neue Prozesse und Produkte weiterentwickelt werden.

Energiespeicherung

- Solarenergiespeicherung in solaren Brennstoffen

Die direkte Speicherung von Solarenergie in Form von chemischen Energieträgern (Wasserstoff oder flüssige Kohlenwasserstoffe) löst das Problem der Intermittenz. Die Photoelektrochemie, die Photokatalyse und thermochemische Verfahren sind weiterzuentwickeln, um solare Brennstoffe zu produzieren, die flexibel an Ort und Zeit des Bedarfs eingesetzt werden können.

- Elektrolyse für Wasserstoffproduktion mit Photovoltaik- und Windstrom

Mit der zunehmenden Penetration von Windenergie und Solarelektrizität ist vermehrt mit Ungleichgewichten zwischen Produktion und Nachfrage zu rechnen. Neue, hocheffiziente Druckelektrolyseure sind zu entwickeln, mit welchen der Überschussstrom in Wasserstoff umgewandelt werden kann. Dessen Einsatz in der Mobilität (Brennstoffzellen- und Elektrofahrzeuge) entlastet die Strombilanz.

Effiziente Elektrolyse von Wasser ist auch eine Möglichkeit, um den mit Überschuss-Strom (Wind, PV) produzierten Wasserstoff nach Lagerung wieder zur Stromerzeugung zu verwenden. Voraussetzung für eine Nutzung dieser

Technologie ist aber ein Wirkungsgrad des gesamten Zyklus von 60-80%; davon ist die heute kommerziell verfügbare Technik noch weit entfernt (ca. 30%).

- Elektrochemische Energiespeicherung

Die dezentrale Stromproduktion mit erneuerbaren Energien und die Realisation 'virtueller Kraftwerke' erfordern Möglichkeiten der lokalen Elektrizitätsspeicherung. Es müssen leistungsautarke Energiedrehscheiben ('Hubs') auf der Ebene des Quartiers oder der Gemeinde entwickelt werden, welche Speicherung, Austausch und Lastmanagement der Energieträger übernehmen ('smart grids'). In diesem Kontext kommt fortgeschrittenen stationären Batterien eine wichtige Rolle zu. Damit die Batterien von Fahrzeugen als bidirektionale Stromspeicher eingesetzt werden können, sind wesentliche zusätzliche Forschungsanstrengungen angebracht.

- Pumpspeicherung / Hydroelektrizität

Im Hinblick auf die Bedeutung der Pumpspeicher im europäischen Energiesystem und die in der Energiestrategie angestrebten 6 TWh/Jahr an Elektrizität aus Pumpstrom sind die Forschungsanstrengungen zum Erhalt der Infrastruktur (Dämme) und zu deren berührungslosen Monitoring zu verstärken. Auch in der Entwicklung von Turbinen für Klein- und Kleinstkraftwerke bestehen auszulotende technische Optionen.

Bereitstellung von Energieträgern, insbesondere von Elektrizität

- Geoenergie – Bohrtechnik, Reservoir-Erschliessung und –Management

Die tiefe Geothermie zur Stromerzeugung kann heute nicht genutzt werden, weil es das Know-how und die Technik noch nicht gibt, zuverlässig einen Wärmetauscher in 6-8 km Tiefe zu "bauen". Es fehlt eine geeignete Bohrtechnik, und es fehlen Methoden zur Vorhersage guter Standorte. Auch die seismische Vorhersage von kleinen Beben während des Bohrens ist nicht genügend entwickelt.

Nur wenn diese technische Hürde genommen werden kann, wird die tiefe Geothermie in der Schweiz Realität und kann zur Kapazität der Grundlast-Kraftwerke beitragen. Für substantielle Beiträge der Geothermie an die inländische Stromproduktion (1-10TWh) bräuchte es 10-100 geothermische Kraftwerke à 10 MW elektrisch (ca. 60 MW thermisch);

- Photovoltaik – neue effiziente Zellgenerationen

Heutige, kommerzielle Photozellen haben Wirkungsgrade von <18% und sind noch teuer. Um Photovoltaik im Markt konkurrenzfähig zu machen, sind entweder Wirkungsgrade von 30-40% in kleinen Zellen (konzentrierende Photovoltaik) oder starke Kostenreduktionen bei der Produktion grossflächiger Dünnschichtzellen nötig. Ein Faktor 3 hinsichtlich des Investitionspreises pro $kW_{\text{elektrisch}}$ ist anzustreben, was auch nach den 2010 erreichten Kostensenkungen eine grosse Herausforderung darstellt, welche die Forschung angehen muss.

- Kohlenstoffkreislauf (Speicherung und Nutzung von CO₂)

Falls in der Schweiz GuD gebaut werden müssen, um die Stromversorgung zu sichern, sollte die Option von CCS (Carbon Capture and Storage) in Betracht gezogen werden. Dadurch kann der CO₂-Ausstoss von GuDs um ca. 90% reduziert werden. Die geologische Lagerung von CO₂ ist technisch nachgewiesen und wird seit ca. 20 Jahren bei der Erdgasförderung praktiziert. Die grundsätzliche geologische Eignung des Untergrundes des Schweizerischen Mittellandes zur CO₂-Lagerung ist kürzlich abgeklärt worden (Projekt CARMA); Details und die praktische Machbarkeit müssen in den kommenden 10 Jahren abgeklärt werden. Dies verlangt u.a, grössere Feldversuche.

- Bioenergie – Rohstoffbasis, Grundlagen, Verfahrenstechnik

Biomasse ist nach der Wasserkraft gegenwärtig die wichtigste einheimische erneuerbare Energieform. Sie stellt eine besonders wertvolle Ressource dar, da sie als chemisch gespeicherte Sonnenenergie gelagert, transportiert und bedarfsorientiert eingesetzt werden kann. Deshalb ist der Einsatz für die Produktion von Wirkarbeit (Elektrizität, Antriebe) zu favorisieren, Wärme sollte als Abwärme genutzt werden.

Bei holzartiger Abfall-Biomasse eröffnen thermische Vergasungsverfahren den Weg zu Energieträgern wie Methan oder flüssigen Kohlenwasserstoffen für den Einsatz in der Mobilität. Alternativ kann das produzierte Gas in Hochtemperatur-Brennstoffzellen mit hohem Wirkungsgrad verstromt werden. Die Kombination mit einer nachgeschalteten kleinen Gasturbine und Abwärmenutzung über Nahwärmenetze ist eine neu aufzubauende Forschungsaktivität mit dem Potential von Strom-Wirkungsgraden von 70% und Gesamtwirkungsgraden von über 80%.

Für die energetisch noch ungenutzten stark wasserhaltigen Biomassesortimente (Grüngut und Grünschnitt, Agrikulturabfälle, Hofdünger, Klärschlämme) sind hydrothermale Aufschlussverfahren, welche den Brennwert in Form von reinem Gas extrahieren, welches wiederum im Gas-Kombikraftwerken zur inländischen Emissionskompensation eingesetzt werden könnte. Biomassesortimente wie Algen sind geeignet, um die Probleme der Bodennutzung zu vermeiden und die mineralischen Nährstoffe zu rezyklieren.

Verfahrenstechnische Forschung zu diesen Themen muss im Hinblick auf das substantielle Potential dieser Ressource (Primärenergie rund 30 TWh/Jahr) signifikant verstärkt werden.

Ökonomische, ökologische und gesellschaftliche Aspekte

- Ökonomie und Management des Energiesektors

Für neue Energietechnologien kann die Gesellschaft Ausreifungskosten beitragen, langfristig müssen sie marktfähig werden. Der Umbau des Energiesystems bewirkt branchenspezifisch Chancen, Vorteile und Nachteile und wird sektorielle Verschiebungen zur Folge haben, die zu berücksichtigen sind.

Die Wirkungsweise von Subventions- und Fördermodellen zur Markteinführung von erneuerbaren Energien wird kontrovers diskutiert. Um eine erfolgreiche Energiepolitik zu betreiben, ist ein besseres, klares Verständnis der Wirkungsweise (Vor- und Nachteile) von den bekannten Modellen (Quotenmodell, Ausschreibeverfahren, Einspeisevergütung in allen ihren Ausprägungen) und neuen Modellen zentral. Die Politik braucht eine bessere Basis, um zwischen betriebswirtschaftlichen Vorteilen von Interessengruppen und den volkswirtschaftlich zu erzielenden Vorteilen unterscheiden zu können.

- Energiepolitik

Die Umsetzung der neuen Energiepolitik muss mit geeigneten Massnahmen unterstützt werden. Normen, Abgaben, Anreizsysteme und Information / Ausbildung verfolgen unterschiedliche Strategien. Für die verschiedenen Zielgrössen müssen die besten Instrumente identifiziert und entwickelt werden. Damit werden der Energiepolitik Werkzeuge zu Umsetzung von Massnahmenplänen zur Verfügung gestellt.

- Auswirkungen neuer Energiesysteme

Kenntnisse über die Auswirkungen der Energieversorgungssysteme auf Umwelt und Gesellschaft solche Auswirkungen sind wichtige Grundlagen für Entscheide zur nachhaltigen Weiterentwicklung dieser Energiesysteme, zur Wahrung des ökologischen Gleichgewichts und zur Akzeptanz entsprechender Massnahmen in der Gesellschaft. Hier will und muss die ökologisch orientierte Energieforschung wesentliche zusätzliche Beiträge leisten.

- Sozialwissenschaften: Verhalten der Akteure, Akzeptanzfragen

Das individuelle Investitionsverhalten (relative Gewichtung von Investitions- und Betriebskosten) und Faktoren, welche die Akzeptanz ein Technologie beeinflussen, müssen dank verstärkter soziopsychologischer Forschung viel besser verstanden werden. Falls nicht, nützen technische Vorteile einer Technologie als Argumente wenig und die Umsetzung scheitert. Beispiele reichen von der Akzeptanz für Pumpspeicherwerke, Kleinwasserkraft und Windkraftanlagen über die Zustimmung zum Bau von Freileitungen zur aktiven Mitwirkung bei 'intelligenten' Netzen und 'vehicle to grid' – Speicherkonzepten.