



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

**Bundesamt für Energie BFE**

# Konzept der Energieforschung des Bundes 2008 bis 2011

Ausgearbeitet durch  
die Eidgenössische Energieforschungskommission CORE



Impressum  
April 2007  
Bundesamt für Energie  
Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen  
Postadresse: CH-3003 Bern  
Tel. +41 31 322 56 11, Fax +41 31 323 25 00  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)  
Bezug der Publikation: [www.energieforschung.ch](http://www.energieforschung.ch)

# Inhalt

<b>Zusammenfassung</b>			
Forschen mit präziser Ausrichtung	4		
<b>1. Einführung</b>	<b>6</b>		
<b>2. Warum eine staatliche Förderung der Energieforschung?</b>	<b>7</b>		
<b>3. Vision und Ziele der Energieforschung</b>	<b>8</b>		
<b>4. Leitsätze und Strategie</b>	<b>10</b>		
<b>5. Schwerpunkte der Energieforschung 2008 bis 2011</b>	<b>12</b>		
<b>5.1 Effiziente Energienutzung</b>	<b>13</b>		
Gebäude	13		
Verkehr	14		
Batterien und Supercaps	15		
Elektrizitätstechnologien und -anwendungen	16		
Netze	17		
Wärme-Kraft-Kopplung	18		
Verbrennung	19		
Kraftwerk 2020	20		
Brennstoffzellen	21		
Verfahrenstechnische Prozesse	22		
<b>5.2 Erneuerbare Energien</b>	<b>23</b>		
Solaire thermique	23		
Photovoltaik	24		
Industrielle Solarenergienutzung	25		
Wasserstoff	26		
Umgebungswärme	27		
Biomasse	28		
Wasserkraft	29		
Geothermie	30		
Windenergie	31		
<b>5.3 Kernenergie</b>	<b>32</b>		
Kernspaltung und nukleare Sicherheit	32		
Regulatorische Sicherheitsforschung	33		
Kernfusion	34		
<b>5.4 Energiewirtschaftliche Grundlagen</b>	<b>35</b>		
<b>6. Mittelzuteilung 2008 bis 2011</b>	<b>36</b>		
		<b>Anhänge</b>	
		<b>A.1 Situierung der Energieforschung</b>	<b>39</b>
		A.1.1 Was ist Energieforschung?	39
		A.1.2 Rechtliche Grundlagen	39
		A.1.3 Rahmenbedingungen	40
		A.1.4 Akteure und Organisation	41
		A.1.5 Finanzmittel	42
		A.1.6 Bisher Erreichtes	44
		<b>A.2 Detaillierung der Strategie</b>	<b>45</b>
		A.2.1 Nationale Aufgabenteilung und Koordination	45
		A.2.2 Kriterien zur Förderung von Projekten	45
		A.2.3 Orientierte Grundlagenforschung	46
		A.2.4 Umsetzung der Forschungsergebnisse	47
		A.2.5 Rahmenbedingungen für die Privatwirtschaft	47
		A.2.6 Internationale Zusammenarbeit	48
		A.2.7 Kontrolle der Zielerreichung	49
		<b>A.3 Prozess der Schwerpunktsetzung</b>	<b>50</b>
		<b>A.4 Die Eidgenössische Energieforschungskommission CORE</b>	<b>51</b>
		<b>A.5 BFE-Bereiche und Verantwortliche</b>	<b>52</b>
		<b>A.6 Abkürzungen</b>	<b>54</b>

# Forschen mit präziser Ausrichtung

## ZUSAMMENFASSUNG

**2000 Watt pro Person** dient nach wie vor als prospektive Leitgrösse für den Energieverbrauch in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts. Von dieser Vision einer nachhaltig mit Energie versorgten Gesellschaft leiten sich die Ziele für die schweizerische Energieforschung ab:

- Der Energiebedarf verringert sich um den Faktor 2,5.
- Der CO<sub>2</sub>-Ausstoss beträgt eine Tonne pro Person und Jahr.
- Die Schadstoffemissionen sind minimal.
- Die durch die Energiegewinnung verursachten Stoffflüsse sind deutlich kleiner.

Ohne ein neues Bewusstsein über den angemessenen Einsatz von Energie bei Konsumenten und Investoren und ohne Verbesserung der Infrastruktur und der Produktionsweisen bleibt diese Vision allerdings eine blosser Absichtserklärung. Schwerwiegende klimatische Veränderungen wären die Folge davon (siehe z. B. Berichte des IPCC).

**Als Zwischenschritt** auf dem Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft formuliert die Energieforschungskommission CORE vier quantitative Ziele für das Jahr 2050:

- Wärme in Gebäuden: ohne fossile Brennstoffe
- Energie in Gebäuden: Halbierung des Verbrauchs
- Energie aus Biomasse: Nutzung verdreifachen
- Treibstoffverbrauch von Personnenfahrzeugen: drei Liter auf 100 km (mittlerer Flottenverbrauch)

**Energieforschung ist ein wesentliches Element** der schweizerischen Energiepolitik; sie ermöglicht Innovationen zur verbesserten Energieeffizienz und zur verstärkten Nutzung erneuerbarer Energien in allen Anwendungsbereichen von Gesellschaft und Wirtschaft. Die Energieforschung sichert zudem die langfristige Kompetenz der beteiligten Projektpartner und fördert die Konkurrenzfähigkeit des Wirtschaftstandortes Schweiz.

**Das Konzept der Energieforschung** ist in erster Linie ein Planungsinstrument für die Förderinstanzen des Bundes, insbesondere der Bundesämter und des ETH-Rates. Das Konzept dient auch kantonalen und kommunalen Behörden als Orientierungshilfe und Forschungsstellen der Wirtschaft als Basis einer konsequenten Koordination. Periodisch überprüft und den neusten Entwicklungen angepasst wird das Konzept durch die Eidgenössische Energieforschungskommission CORE. Die vorliegende Fassung ist seit 1984 die sechste in der Reihe der Energieforschungskonzepte und bezieht sich auf die Periode 2008 bis 2011.

**Koordination** ist angesichts der für Forschungs- und Entwicklungsprojekte typischen Arbeitsweise von eminenter Bedeutung. Im Vordergrund stehen die Hoch- und Fachhochschulen sowie Forschungsstellen und in der Forschung tätige Unternehmen der Privatwirtschaft in der Schweiz. Wichtig sind aber auch universitäre Institute des Auslandes. Ein besonderer Stellenwert kommt der Abstimmung mit den Aktivitäten der Kommission für Technologie und Innovation KTI sowie den Technologieprogrammen der EU und der IEA zu. Diese Koordinations-, Begleitungs- und Informationsaufgaben obliegen dem Bundesamt für Energie.

**Sicherheit, Nachhaltigkeit und volkswirtschaftlicher Nutzen** der schweizerischen Energieversorgung lassen sich durch Anstrengungen in der Forschung und Entwicklung erheblich fördern. In Ergänzung zu privatwirtschaftlichen Unternehmen, die aufgrund kurzfristiger Rentabilitätsziele Forschungs- und Entwicklungsvorhaben häufig als zu riskant einschätzen, sind viele der durch die öffentliche Hand geförderten Projekte klar auf einen langfristigen Nutzen angelegt. Der lange Zeithorizont und die grossen Risiken machen den Einsatz öffentlicher Stellen in der Energieforschung unverzichtbar.

**Die anwendungsorientierte Forschung** – ergänzt mit Pilot- und Demonstrationsprojekten – steht im Zentrum der vom Bund geförderten Energieforschung. Das Konzept bevorzugt Forschungsgebiete, die einerseits eine hohe Wertschöpfung für die Schweiz und erhebliche Beiträge zur nachhaltigen nationalen und globalen Entwicklung erwarten lassen, andererseits durch kompetente Forschergruppen bearbeitet werden. Voraussetzung ist in jedem Fall ein gut funktionierendes Netzwerk von Kompetenzzentren der Wirtschaft und der öffentlichen Hand im In- und Ausland.

**Der Wissenstransfer von der Forschung in den Markt** ist eine integrale Aufgabe der Forschungsförderung. Unterstützend wirken dabei Pilot- und Demonstrationsanlagen, eine enge Zusammenarbeit mit Unternehmen der entsprechenden Branche sowie das Programm EnergieSchweiz. Verantwortung kommt der Forschungsförderung auch in der Aus- und Weiterbildung von wissenschaftlichem und technischem Personal sowie in der Information der interessierten Öffentlichkeit zu.

**Schwerpunkte der Energieforschung** in den nächsten Jahren bilden

- Technologien und Systemlösungen mit den höchsten Wirkungsgraden bei tiefsten Emissionen in den Bereichen

Transport, Gebäude und Elektrizität.

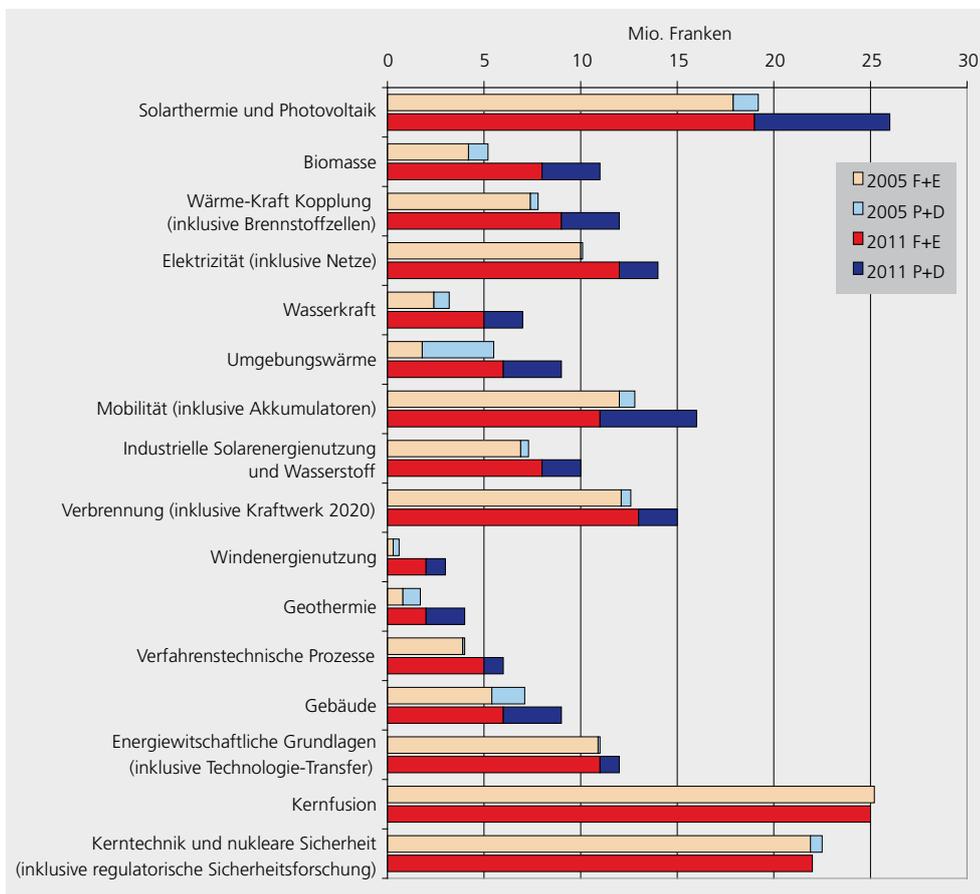
- Technologien zur Nutzung von Umgebungs- und Solarwärme sowie Biomasse.
- Technologien zur maximalen, kürzerfristigen Nutzung der Wasserkraft und des Geothermiepotenzials.
- Technologien zur längerfristigen Reduktion der Abhängigkeit von fossilen Energien (Photovoltaik, Wasserstoff, IV Generation Nuklear).

Unter diesen Prämissen hat die CORE die verschiedenen Energiebereiche geprüft und für sie Zielsetzungen sowie Forschungsschwerpunkte für die Jahre 2008–2011 festgelegt.

**Die Zuteilung der Mittel** basiert auf folgenden Fakten und Annahmen: Seit 1992 ist ein kontinuierlicher Rückgang der Forschungsmittel zu verzeichnen. Aufgrund der Sparmassnahmen des Bundes sind ab 2004 der Grossteil der P+D-Mittel weggefallen. Mit den heute knapp 160 Mio. Franken pro Jahr haben die Aufwendungen der Schweiz für die Energieforschung – gemessen am Bruttoinlandprodukt – den tiefsten Stand seit 30 Jahren erreicht. **Angesichts der Bedeutung der öffentlichen Mittel für die künftige Energieversorgung und den Wirtschaftsstandort Schweiz sind gemäss vorliegendem Konzept jährliche Aufwendungen von 200 Mio. Franken anzustreben. Um die-**

**sen Stand im Jahr 2010 zu erreichen, sind die heutigen Mittel (2005) um 25 % zu erhöhen, was einem jährlichen Anstieg von 6 % entspricht.** Vom gesamten Fördervolumen entfallen 20 % auf die orientierte Grundlagenforschung und weitere 20 % auf die Förderung und die begleitende Forschung von Pilot- und Demonstrationsprojekten (P+D). **Der Wiederaufbau eines P+D-Programms wird als unverzichtbar erachtet.** Es wird davon ausgegangen, dass die Rückflüsse aus EU-Mitteln ansteigen (heute ca. 20 Mio. Franken pro Jahr). Die Forschungsgelder des BFE sind, analog der Steigerung der generellen Forschungsmittel in der Schweiz, anzuheben, um deren Hebelwirkung auszunutzen zu können. Von den Kantonen, von Gemeinden und Förderstellen der Privatwirtschaft wird ein höheres Engagement erwartet. Im Rahmen seiner Koordinationstätigkeit sorgt das BFE für einen effektiven Einsatz der Mittel.

Enthalten im Forschungsbudget ist der Aufwand für die **Ressortforschung** (Mittel zur Sicherstellung der Amtsführung) des BFE im Umfang von jährlich 5 Mio. Franken. 60 % davon entfallen auf die Regulatorische Sicherheitsforschung (Kernenergie, Wasserkraft), der Rest von 40 % auf energie-wirtschaftliche Grundlagen.



**Abbildung 1:** Jährliche Aufwendungen der öffentlichen Hand für die Energieforschung 2005 und Ziele für 2011 (Realwerte 2005), geordnet nach fallender Empfehlung der zusätzlichen Mittel für 2011. Details dazu sind im Kapitel 6 enthalten (Seite 36).

# 1. Einführung

Energieforschung ist ein Grundpfeiler der schweizerischen Energiepolitik. 1984 hat der Bundesrat ein erstes **Konzept der Energieforschung des Bundes** gutgeheissen und zugleich das Bundesamt für Energie (BFE) mit der systematischen Planung und Koordinierung der Energieforschung der öffentlichen Hand beauftragt.

1986 setzte das UVEK die **CORE – CO**mmision fédérale pour la **Recherche** Energétique – als beratendes Organ für die Energieforschung ein. Zu den Aufgaben der Kommission gehört unter anderem, das **Energieforschungskonzept** des Bundes regelmässig zu überprüfen und den neuesten Entwicklungen anzupassen. Das vorliegende Papier ist die sechste, vollständig überarbeitete Fassung und **gilt für die Periode 2008 bis 2011**. Das Konzept detailliert die Angaben, welche in der bundesrätlichen **Botschaft über die Förderung von Bildung, Forschung und Technologie in den Jahren 2008 bis 2011** beschrieben sind. Eine noch weitergehende Detaillierung findet sich in den Teilkonzepten, welche von den Programmleitern des BFE zu den einzelnen Forschungsthemen erstellt werden.

Das **Konzept der Energieforschung ist ein Planungsinstrument für die Förderinstanzen** des Bundes – wie BBT, BFE, ETH-Rat, etc. Zudem soll es Orientierungshilfe für kantonale und kommunale Stellen sein, welche mit der Umsetzung der energiepolitischen Vorgaben betraut sind. Des Weiteren informiert es interessierte Forschungsstellen darüber, in welchen Bereichen neue Aktivitäten geplant sind; in diesem Sinn dient es **auch als Ausschreibung zur Einreichung von Forschungsprojekten**.

Schliesslich dokumentiert das Konzept, wie und mit welchen Mitteln die öffentliche Hand in der Schweiz die Energieforschung einsetzt, um die energiepolitischen Ziele zu erreichen.

## 2. Warum eine staatliche Förderung der Energieforschung?

Forschungsförderung aus Steuermitteln lässt sich grundsätzlich nur dann rechtfertigen, wenn die Ergebnisse allen Interessierten zur Verfügung stehen, sie für die Gesellschaft einen generellen Nutzen schafft und die Privatwirtschaft die entsprechenden Forschungsleistungen nicht erbringt.

Der Energieforschung kommt eine eminente Bedeutung zu:

- Wirtschaft und Gesellschaft sind von einer ausreichenden, ununterbrochenen Energieversorgung abhängig. Aufgrund des verständlicherweise stark steigenden Energiebedarfs von sich entwickelnden Ländern und des auf hohem Niveau weiter steigenden Bedarfs der Industrieländer steht das Thema **Versorgungssicherheit** international an der Spitze der politischen Agenda. Um eine umfassende Energieversorgung weiterhin zu gewährleisten sind verstärkte Forschungserkenntnisse zur Verbesserung der Energienutzung und zum Einsatz neuer Energietechniken unerlässlich.
- Die heutige Energieversorgung beruht grösstenteils auf nicht erneuerbaren Ressourcen. Die konventionellen Nutzungstechniken verursachen zudem lokale und globale Umweltbelastungen. Darunter fällt insbesondere die Veränderung des globalen Klimas durch den Treibhauseffekt, verursacht hauptsächlich durch den Anstieg der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration. Eine auf **Nachhaltigkeit** ausgerichtete Bereitstellung und Anwendung von Energie ist deshalb weltweit zu einem **zentralen Anliegen der Energie- und Umweltpolitik** geworden. Die Schweiz hat sich im Rahmen der CO<sub>2</sub>-Gesetzgebung an diese Politik angeschlossen. Geboten ist eine rasche Verminderung des globalen Klimaproblems durch die gezielte Entwicklung und Implementierung nachhaltiger Systeme zur Umwandlung und Nutzung von Energie; zu schaffen ist dies nur durch eine an diesem Ziel orientierte Forschung.
- Alle Wirtschaftszweige hängen von einer sicheren Energieversorgung ab. Auch gehören Energieanlagen traditionell zu den wichtigsten Erzeugnissen der schweizerischen Exportindustrie. Durch die Weiter- und Neuentwicklung von Energietechniken werden nicht nur Arbeitsplätze erhalten sondern es können neue geschaffen werden. Energieforschung hat somit für unser Land auch eine erhebliche **volkswirtschaftliche Bedeutung**.

Eine Rechtfertigung des staatlichen Eingriffs in die Energieforschungsszene ergibt sich einerseits aus der **Langfristigkeit der Investitionen**: Die Nutzungsdauer von Energieanlagen

beträgt oft Jahrzehnte (z.B. Wasser- und Kernkraftwerke, Gebäude und Prozessanlagen). Andererseits erschweren oder verunmöglichen **die vergleichsweise niedrigen Preise herkömmlicher Energieträger** die rasche Einführung neuer Techniken. Zudem hängt die Marktdurchdringung von Faktoren ab, die sich nur schwer voraussagen lassen: **Ökonomische, politische und soziale Gegebenheiten**, Einsicht und Flexibilität von Investoren, Akzeptanz in der Bevölkerung sowie Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Technologien. Privatwirtschaftliche Unternehmen sind aber stark auf kurzfristige Rentabilität ausgerichtet und bewerten deshalb Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Energiesektor in der Regel als zu riskant. **Daher erweist sich die Förderung der Energieforschung durch die öffentliche Hand als richtig und wichtig.** Nur in gemeinsamer Anstrengung von Privatwirtschaft und öffentlicher Hand kann die angestrebte Entwicklung und Anwendung neuer Energietechnologien in nützlicher Frist realisiert werden. **Energieforschung ist denn heute auch in allen Industriestaaten ein selbstverständlicher und integraler Bestandteil der Energiepolitik** und wird entsprechend gefördert.

# 3. Vision und Ziele der Energieforschung

Die in früheren Konzepten dargelegte Vision der Energieversorgung für die zweite Hälfte dieses Jahrhunderts dient nach wie vor als Basis zur Zielformulierung. Im Vergleich zu heute gilt es:

- **den Energiebedarf um den Faktor 2,5 zu verringern.** Dies entspricht einem mittleren Leistungsbedarf von **2000 Watt pro Person (Primärenergie)**.
- **den CO<sub>2</sub>-Ausstoss auf einen Sechstel zu reduzieren, d. h. auf maximal 1 Tonne pro Person und Jahr.**
- **die Schadstoffemissionen (Stickoxide, Feinstaub, fluoridierte Kohlenwasserstoffe etc.) zu minimieren.**
- **die durch die Energiegewinnung bedingten Stoffflüsse massiv zu verringern.**

Ohne Änderung im Konsumverhalten und Umstellungen in den Produktionsweisen sind diese Vorgaben nicht erreichbar. Nötig sind auch Veränderungen der nationalen und internationalen politischen Rahmenbedingungen (Steuerungsmassnahmen, Lenkungsabgaben, Anreize, Internalisierung externer Kosten etc.). Insofern liegt der Energiemix der Zukunft im Spannungsfeld zwischen Konsumenten, Industrie und Politik. Nur gemeinsame Anstrengungen führen zum angestrebten nachhaltigen Wachstum mit sicherer Energieversorgung und einer lebenswerten natürlichen Umwelt.

Die Vision der 2000-Watt-Gesellschaft, verknüpft mit einer massiven CO<sub>2</sub>-Reduktion, ist ein Schweizer Ansatz, der im Bereich des ETH-Rates entwickelt worden ist. Andere Länder, welche ebenfalls eine nachhaltige Entwicklung im Energiesektor anstreben, zielen aber in dieselbe Richtung.

Für die Forschung ergeben sich als Hauptforderungen: Steigerung der Energieeffizienz in allen Bereichen und Bereitstellung von Technologien zur Nutzung von erneuerbaren Primärenergien, um fossile Energieträger zu ersetzen, sowie weiterhin eine sichere Nutzung der Kernenergie zu ermöglichen.

Als Zwischenschritt auf dem Weg zur Vision postuliert die CORE **vier quantitative Ziele**, die – trotz Wachstum der Energie-Dienstleistungen von 60 % – bis 2050 erreicht werden sollen:

- **Verzicht auf fossile Brennstoffe für die Bereitstellung von Wärme in Gebäuden (Alt- und Neubauten).**
- **Halbierung des Energieverbrauchs in Gebäuden (Alt- und Neubauten).** Heutiger Primärenergieverbrauch: 500 PJ.
- **Mindestens Verdreifachung der Nutzung der Biomasse als Energieträger.** Heutige Nutzung: 37 PJ.
- **Senkung des durchschnittlichen fossilen Fahrzeug-**

**Flottenverbrauchs auf 3 Liter je 100 km.** Heutiger Verbrauch: 7,6 Liter je 100 km.

Diese Ziele lassen sich durch eine konsequente Weiterentwicklung von bestehenden sowie Forschungsanstrengungen für neue Technologien auf verschiedenen Wegen erreichen. Eine Analyse solcher Technologiepfade (siehe Anhang A.3) führt zu einer generellen **Roadmap**, wie sie in den Abbildungen 2 und 3 skizziert ist. Der resultierende **Energiemix** für die Gebiete Heizung, Warmwasser, Verkehr, Prozesse und Elektrizität ist in Abbildung 3 dargestellt. Daraus ist ersichtlich, dass der Leistungsbedarf auf gegen 4000 W und der CO<sub>2</sub>-Ausstoss auf rund 4 Tonnen pro Person gesenkt werden kann. Dies bedeutet, dass bis 2050 etwa ein Drittel des Wegs zur angestrebten nachhaltigen Energieversorgung zurückgelegt würde. Die Ziele lassen sich zu vertretbaren volkswirtschaftlichen Mehrkosten (weniger als 5 %) erreichen, insbesondere wenn die vermiedenen Kosten der negativen Klimaauswirkungen berücksichtigt werden.

In Abbildung 2 sind auch die wichtigsten für die Zielerreichung zu bearbeitenden Forschungsgebiete eingetragen; auf sie wird im Kapitel 5 detaillierter eingegangen. Die wichtigsten Forschungsthemen sind: Kostenreduktion, Steigerung der Effizienz, Erhöhung der Zuverlässigkeit und Lebensdauer, Vergrösserung der Betriebsbereiche, Verbreiterung des Anwendungsbereichs, Reduktion langfristiger Umweltbelastungen und Systemintegrationen.

**Abbildung 2:** Technologie-Roadmap auf dem Pfad zu einer 2000-Watt-Gesellschaft. Dargestellt sind die Beiträge an Energieeffizienz und an Erneuerbare Energie, welche aufgrund technologischer Entwicklungen in den einzelnen Sparten bis 2050 erwartet werden, ohne und mit Weiterentwicklung. Ingetragen sind zudem die jeweils wichtigsten Forschungsgebiete.

**Abbildung 3:** Energieträger für die Versorgung der Schweiz in den Jahren 2001, 2025 und nach 2050, resultierend aus der Technologie-Roadmap. Es wird zwischen einem Technologie-Mix ohne Kernenergie (**A**) und einem Mix mit Kernenergie (**B**) unterschieden.

\* zusätzlich zum in den genannten Gebieten benötigten Strom

Primärenergieverbrauch/Effizienz [Watt pro Kopf]

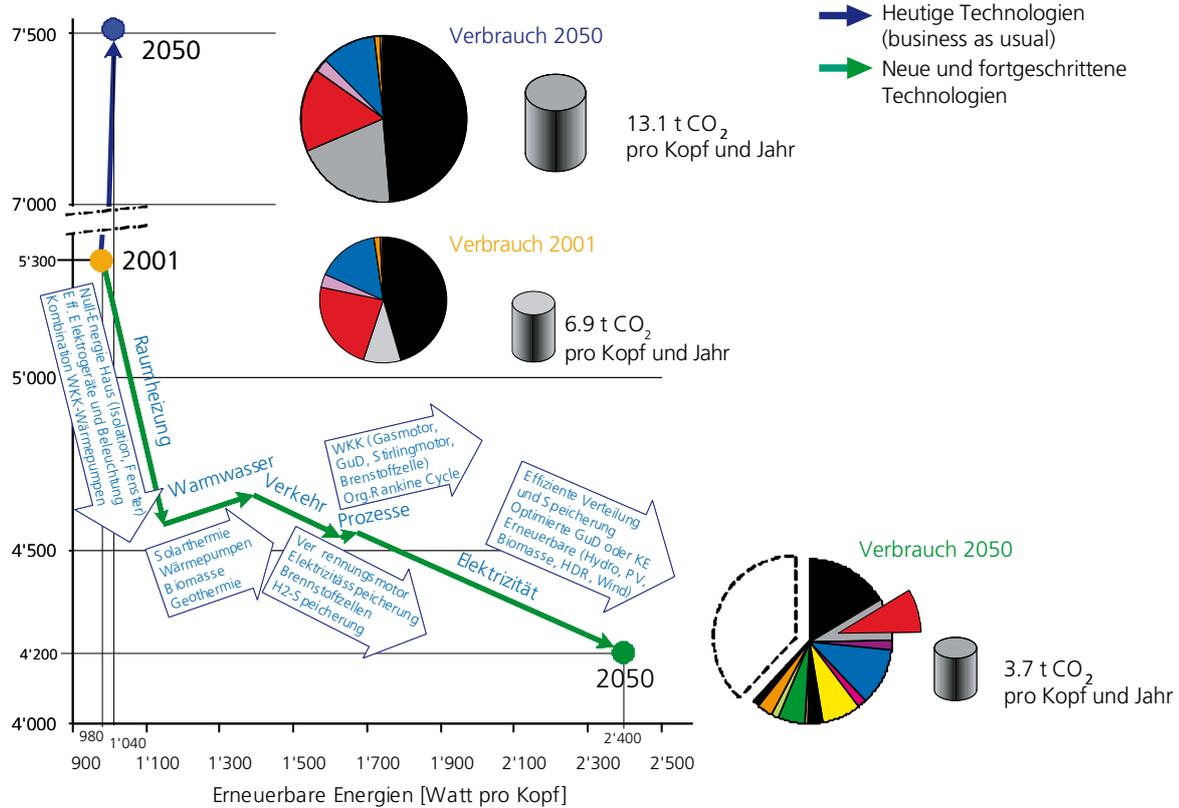


Abbildung 2

Primärenergieverbrauch [Watt pro Kopf]

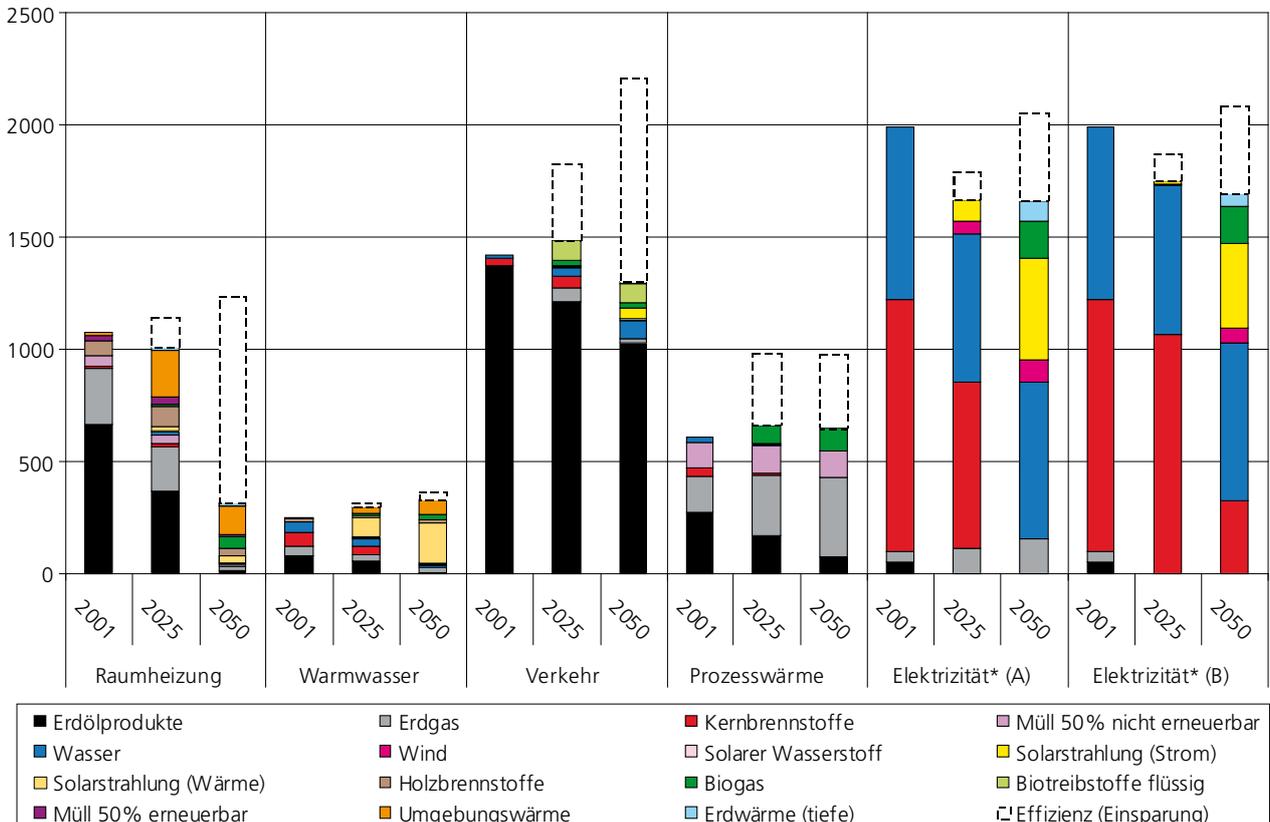


Abbildung 3

# 4. Leitsätze und Strategie

Die Mittel der öffentlichen Hand für die Energieforschung sind so effektiv wie möglich einzusetzen. Deshalb gelten – unter Berücksichtigung der energie- und forschungspolitischen Vorgaben – folgende Leitsätze:

## 1. Nachhaltigkeit und ganzheitliches Denken und Handeln

Die globale Ressourcen- und Bevölkerungsentwicklung machen eine Energieversorgung und Energienutzung, welche dem Pfad einer nachhaltigen Entwicklung folgt, unerlässlich. Die Energieforschung soll von einer ganzheitlichen Denkweise getragen werden. Insbesondere ist den Beziehungen zwischen Technik und Umwelt sowie gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Aspekten Beachtung zu schenken. Inter- und transdisziplinäre Vorhaben sind zu fördern.

## 2. Art der Forschung

Energieforschung ist primär zweckgerichtete, angewandte Forschung. Anzustreben ist die Schaffung von Kompetenzzentren, die technologische zweckorientierte Forschung im ständigen Kontakt mit der Industrie betreiben. Bei zukunfts-trächtigen Themen, die von der Privatwirtschaft nicht aufgegriffen werden, muss sich die öffentliche Hand engagieren.

## 3. Zeithorizont

Die Energieforschung hat kurzfristige wie langfristige Aspekte zu berücksichtigen, ihre Prioritäten richten sich jedoch nach den längerfristigen energiepolitischen Perspektiven. Zugleich ist sie mit den europäischen und weltweiten Bestrebungen zu harmonisieren.

## 4. Priorisierung und Vernetzung

Die schweizerische Energieforschung fokussiert sich auf die Gebiete mit den grössten Zielbeiträgen und den günstigsten personellen und wirtschaftlichen Voraussetzungen. Vorrang ist Forschungsgebieten zu geben, die von kompetenten Forschergruppen bearbeitet werden, eine hohe Wertschöpfung für die Schweiz erwarten lassen und signifikante Beiträge zur nationalen und globalen Nachhaltigkeit liefern. In Forschungsgebieten hoher Priorität ist zur Wahrung der Kontinuität die Bildung und der Erhalt personell und materiell gut dotierter Forschungsgruppen sicherzustellen. Die Vernetzung von Forschungs- und Lehrinstitutionen, welche fachspezifische und international anerkannte Kompetenzzentren bilden, wird gefördert.

## 5. Parallele Entwicklungen zulassen

Bei den wichtigsten Forschungszielen ist es sinnvoll, technische und institutionelle Alternativen zu verfolgen (auch im Rahmen internationaler Zusammenarbeit), um Fehlschläge aufzufangen und Verzögerungen möglichst zu vermeiden, aber auch um eine förderliche Wettbewerbssituation zu schaffen.

## 6. Internationale Zusammenarbeit

Gute Forschung hat immer eine internationale Ausrichtung. Internationale Zusammenarbeit und Kommunikation verstärkt die Effizienz der eingesetzten Forschungsmittel. Voraussetzungen für eine erfolgreiche Zusammenarbeit (insbesondere im Rahmen von IEA- und EU-Projekten) sind aktive Teilnahme und anerkannte, qualitativ hochwertige Beiträge der Schweiz. Die internationale Zusammenarbeit muss über den Kreis der Industriestaaten hinausgehen und sich entwickelnde Staaten einbeziehen.

## 7. Finanzierung an Private

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

## 8. Forschung im Ausland

Im Ausland durchgeführte Forschungsprojekte werden nur unterstützt, wenn dadurch auch eine Wertschöpfung für die Schweiz erfolgt.

## 9. Von der Forschung in den Markt

Der Transfer der Ergebnisse von der Forschung in den Markt ist integrale Aufgabe der Forschungsförderung. Die Unterstützung von Pilot- und Demonstrationsprojekten sowie die enge Zusammenarbeit mit der Privatwirtschaft sind dabei unabdingbar. Zur Umsetzung im Markt dient auch das Programm EnergieSchweiz. Es wird eine beschleunigte Einführung nachhaltiger Energietechniken angestrebt, denn es gilt zu berücksichtigen, dass der Zeitraum für die Entwicklung einer neuen Energietechnik von der Grundlagenforschung bis zur technischen Reife oft in der Grössenordnung von Jahrzehnten liegt. Die Forschung muss diese langen Einführungszeiten im Auge behalten und zugleich flexibel genug sein, rasch auf Erfolg versprechende Neuentdeckungen zu reagieren.

## 10. Ausbildung

Die öffentliche Energieforschung hat ihre Verantwortung auch wahrzunehmen in bezug auf die Aus- und Weiterbildung von wissenschaftlichem und technischem Personal. Die breite Weitergabe neuer Erkenntnisse ist zu unterstützen.

## 11. Information

Die Öffentlichkeit ist über Energieforschungs- und Entwicklungsarbeiten, Zeithorizonte neuer Produkte, Kosten-, Nutzen- und Umweltrelevanz breit zu informieren. Es sind dabei die Zusammenhänge im Sinne der langfristigen Vision (Kapitel 3) aufzuzeigen.

Zur Zielerreichung sieht die öffentliche Energieforschung folgende **strategische Massnahmen** vor:

- eine gut koordinierte nationale Aufgabenteilung
- nachvollziehbare und transparente Kriterien für die Förderung der Energieforschung
- einen regen Austausch zwischen der Grundlagenforschung und der Energieforschung
- eine wirksame Umsetzung der Forschungsergebnisse in Produkte und Dienstleistungen
- gute Rahmenbedingungen für Firmen und Forschungsinstitutionen
- eine weitestgehende internationale Zusammenarbeit in der Forschung
- eine griffige Kontrolle der Zielerreichung

Eine Erläuterung dieser Massnahmen findet sich in Anhang A.2.

# 5. Schwerpunkte der Energieforschung 2008 bis 2011

Es ist Aufgabe der Energieforschung, insbesondere diejenigen Technologien zu entwickeln, welche mit einem **hohen Potenzial zur Erreichung der in Kapitel 3 aufgeführten Ziele** beitragen können. Unter Berücksichtigung der evaluierten Pfade ergeben sich folgende Schwerpunkte:

- **Technologien und Systemlösungen mit den höchsten Wirkungsgraden bei tiefsten Emissionen quer durch die Bereiche Transport, Gebäude und Elektrizität.**
- **Technologien zur Nutzung von Umgebungs- und Solarwärme sowie von Biomasse.**
- **Technologien zur maximalen, kürzerfristigen Nutzung des Wasser- und Geothermie-Kraftpotenzials.**
- **Technologien zur längerfristigen Reduktion der Abhängigkeit von fossilen Energien (Photovoltaik, Wasserstoff, IV Generation Nuklear).**

Diese generellen Schwerpunkte sind insofern zu relativieren, als es jeweils zu berücksichtigen gilt:

- die schweizerischen akademischen und industriellen Expertisen und Aktivitäten
- den Entwicklungsstand der einzelnen Technologien
- die mögliche internationale Zusammenarbeit
- die Akzeptanz der jeweiligen Technologie in der Schweiz
- den nationalen und internationalen Markt sowie die Exportmöglichkeiten
- das Potenzial für Arbeitsplätze, Spin-offs und Start-ups
- Nutzen-Risiken-Betrachtungen.

Für die einzelnen Bereiche sind auf den folgenden Seiten je eine kurze **Standortbestimmung**, die mittel- und längerfristigen **Zielsetzungen** sowie die **Forschungsschwerpunkte 2008 bis 2011** zusammengestellt. Sie bilden die Grundlage für die Detailplanung der zuständigen Programmleiter.

Die **Mittelzuteilung** auf die einzelnen Bereiche ist im Kapitel 6 zusammengefasst.

Die Forschungsschwerpunkte beinhalten immer auch entsprechende Aufwendungen für die Umsetzung, insbesondere für **Pilot- und Demonstrations-Projekte (P+D)**. Diesen kommt zur Erhaltung und Förderung des Wirtschaftsstandorts Schweiz, als Kitt von Wissenschaft und Wirtschaft und als Ausbildungselement entscheidende Bedeutung zu. Als Teil der ganzen Förderkette im Energiebereich machen P+D-Projekte die Umsetzung der Forschungsergebnisse respektive eine Verstärkung der Marktanstrengungen für neue Produkte erst möglich. Sie bilden auch das unverzichtbare Bindeglied zwischen dem schweizerischen Energieforschungsprogramm und dem Aktionsprogramm EnergieSchweiz. Deshalb sind die – infolge von Sparbemühungen bei Bund und Kantonen – stark reduzierten Budgets im P+D-Bereich möglichst schnell wieder anzuheben (siehe auch Anhänge 1.1, 2.2 und 2.4).

# 5.1 Effiziente Energienutzung

## GEBÄUDE

### Ausgangslage

Die Hälfte des schweizerischen Primärenergieverbrauchs fällt auf die Gebäude: 27 % für Heizung, Raumklima und Warmwasser, 15 % für Elektrizität und etwa 8 % für die Herstellung und den Unterhalt. Der Anteil der Wohnbauten am Energieverbrauch der Schweiz beträgt rund 27 % (inkl. Elektrizität).

Durch die Anwendung neuester technologischer Entwicklungen (hocheffiziente Wärmedämmung, Komfortlüftung und thermoaktive Bauteile für die Heizung und Kühlung) konnte in den letzten Jahren – vor allem bei neuen Gebäuden – der Primärenergieverbrauch deutlich gesenkt werden. Dennoch sind bei Neubauten weitere energetische Optimierungen mit einem geringeren CO<sub>2</sub>-Ausstoss möglich. Das grosse Energiesparpotenzial liegt jedoch bei der Erneuerung der bestehenden Gebäude.

Die schweizerischen Forschungsarbeiten im Gebäudebereich sind oft Teil internationaler Projekte im Rahmen der IEA oder europäischer Netzwerke, in denen sie einen wichtigen Stellenwert einnehmen.

### Technische und ökonomische Ziele

Die Forschungsaktivitäten sind so auszurichten, dass deren Ergebnisse massgeblich zur Erreichung der angestrebten 2000-Watt-Gesellschaft beitragen. Ein geeignetes Instrument für die Zieldefinition nachhaltiger Bauweisen bildet der Effizienzpfad Energie des SIA. Die graue Energie und der Aufwand für die Mobilität sind darin berücksichtigt.

Durch weiterführende Forschung kann der Energiebedarf – unter Beibehaltung eines hohen Nutzerkomforts und optimierter Technikausstattung – weiter verringert werden. Wichtig dazu sind insbesondere verbesserte Wärmedämm-,

Fenster- und Lüftungstechniken sowie die Steigerung der Energieeffizienz elektrischer Anwendungen. Beim Raumklima liegt – vor allem bei der Kühlung von Gebäuden – noch Forschungsbedarf vor. Ein weiteres Thema ist der Einbezug von neuen Baumaterialien zur Senkung der grauen Energie.

In enger Zusammenarbeit mit EnergieSchweiz sind die Forschungsergebnisse überzuführen in Methoden und Standards für Betriebsoptimierungen sowie bauliche Qualitätssicherungsmaßnahmen.

Wohnen		Büro		Schulen	
MJ/m <sup>2</sup> a	Watt/Person	MJ/m <sup>2</sup> a	Watt/Person	MJ/m <sup>2</sup> a	Watt/Person
440	840	480	75	350	35

**Tabelle:** Zielwerte für Primärenergie von Heizung, Warmwasser, Elektrizität nach «SIA-Effizienzpfad Energie D0216 (2006)».

### Mittelbedarf bis 2011

Seit Sommer 2006 stehen mit dem Klimarappen Mittel für die energetische Sanierung von Gebäuden zur Verfügung. Zudem hat der Bundesrat eine Lenkungsabgabe (CO<sub>2</sub>-Abgabe) auf Brennstoffen beschlossen, deren Mittel an die Haushalte und die Wirtschaft zurückverteilt werden. Dies wird zu neuen Impulsen auf dem Markt führen. Gelder aus diesen Gefässen stehen für Forschungsarbeiten jedoch nicht zur Verfügung.

Die Forschungsmittel können auf dem Stand von 6 Mio. Fr. pro Jahr gehalten werden. Zur beschleunigten Umsetzung der gewonnen Erkenntnisse sind die P+D-Mittel jedoch auf mindestens 3 Mio. Fr. pro Jahr anzuheben, wobei dem Gebäudeprogramm für den zunehmend wichtigen Know-how Transfer explizite P+D-Mittel zugeordnet werden müssen.

### SCHWERPUNKTE DER FORSCHUNG 2008 BIS 2011

- Optimierte Gebäudekonzepte für eine 2000-Watt-Gesellschaft (Erhaltung der architektonischen Gestaltungsvielfalt, passive Sonnenenergie- und Tageslichtnutzung).
- Hocheffiziente Wärmedämmungen unter Einbezug von Vakuumisolation und Holzkonstruktionen für Neubauten und Sanierungen. Berücksichtigung des Energiebedarfs bei der Herstellung.
- Verglasungen mit optimierter Energie- und Lichttransmission, Vakuumverglasung etc. (Advanced glazing technology)
- Alternative Kühlkonzepte für Niedrigenergiebauten (sanfte Kühlung, erdgekoppelte Wärmepumpen etc.).
- Steigerung der Energieeffizienz von Stromverbrauchern in Gebäuden (Haustechnik, Gebäudeautomation, etc.).
- Wärme- und Feuchte-Rückgewinnung in Gebäuden.
- Konzepte zur Integration von Solarenergie für die Wassererwärmung, Heizung und Kühlung).
- Konzepte, Technologien und Planungswerkzeuge für die energietechnische Gebäudesanierung

# VERKEHR

## Ausgangslage

Mit einem Drittel belegt der Verkehr den höchsten Anteil am Gesamtenergieverbrauch. Innerhalb dieser Verbrauchergruppe ist der motorisierte Individualverkehr, insbesondere mit Personenwagen, der grösste Verbraucher. Der Durchschnittsverbrauch der Neuwagenflotte betrug 2005 7,67 Liter auf 100 km. Der technische Fortschritt zu geringerem Energieverbrauch wird aber durch das Kaufverhalten hin zu schwereren (Komfort, Sicherheit und Luxus) und leistungstärkeren Fahrzeugen zu einem Grossteil wieder aufgehoben. So sind moderne Personenwagen mit einem Wirkungsgrad (Tank to Wheel) von nur 20 % unterwegs. Demgegenüber erzielt beispielsweise das Hy-Light-Fahrzeug einen Wirkungsgrad von 51 %.

Die Schweizer Automobilzulieferindustrie umfasst ca. 150 Firmen mit 15 000 Beschäftigten und realisiert einen Umsatz von insgesamt gegen 8 Mia. Franken pro Jahr. Die öffentlich geförderten Forschungsarbeiten sind gut verknüpft mit den internationalen Tätigkeiten der IEA und der EU.

## Technische und ökonomische Ziele

Die Senkung des spezifischen Treibstoffverbrauchs durch antriebstechnische Effizienzmassnahmen und die Absenkung der Fahrzeugmasse und des Luftwiderstandes sind die Hauptstossrichtungen der Forschung. Kleine effiziente und insbesondere effektivere Nahverkehrsmittel (immer unter Berücksichtigung der Umweltfreundlichkeit) und das Kaufverhalten, respektive das Verkaufsverhalten sind weitere wichtige Forschungsthemen. Die Nutzung von Möglichkeiten der aktuellen und künftigen Informationstechnologie für eine sparsame Fahrstrategie sowie Akzeptanzfragen sind Gebiete, welche weiterer Abklärungen bedürfen.

Eine Verlagerung von motorisiertem Individualverkehr auf den öffentlichen Verkehr vermag massgeblich Ressourcen zu schonen. Um diese Verlagerung zu unterstützen, sind Massnahmen bereitzustellen, die den Komfort und die Akzeptanz des öffentlichen Verkehrs steigern, respektive den Energieverbrauch desselben senken.

	2005	2025	2050
<b>Spezifischer Treibstoffverbrauch [Liter/100 km]</b>			
Familientauglicher Personenwagen, bestes Fahrzeug	4,3	2,5	2,0
Mittelwert Neuwagenflotte	7,67	4,5	2,5
Pilot-Personenwagen	3,0	2,0	1,7
Motorrad, Mittelwert	5	1,5	1,2
Pilot-Motorrad	2	1,2	1,0
<b>Reichweite [km]</b>			
Elektrofahrrad	80	200	250

**Tabelle:** Kennzahlen zur angestrebten Entwicklungen bei individuellen Verkehrsmitteln

## Mittelbedarf

Gegenwärtig beträgt der Forschungsaufwand im Bereich Verkehr knapp 4 Mio. Franken pro Jahr. Die energiepolitische Bedeutung und die wirtschaftlichen Chancen rechtfertigen es, diesen Betrag auf 6 Mio. Fr. pro Jahr, mit einem P+D Anteil von 3 Mio. Fr. pro Jahr, zu erhöhen. Für die effiziente Umsetzung ist eng mit den Anwendern zusammenzuarbeiten.

## SCHWERPUNKTE DER FORSCHUNG 2008 BIS 2011

### Leichtbau

- Entwicklung eines Leichtbau-Personenwagens mit 30 % reduzierter Masse (entsprechend 20 % weniger Energieverbrauch).
- Entwicklung eines ultraleichten 2-Rad-Fahrzeugs mit einem umgerechneten Energie-Verbrauch von weniger als 1 Liter je 100 km.
- Massnahmen zur Beibehaltung oder Steigerung von Sicherheit und Komfort im Leichtbau

### Antrieb

- Entwicklung von Antriebssystemen mit einem Wirkungsgrad (Tank to Wheel) von über 30 %.
- Optimierung von Hybridsystemen

### Öffentlicher Verkehr

- Entwicklung von Baugruppen und Komponenten, welche die Attraktivität des ÖV erhöhen

### Akzeptanzfragen

- Autokauf und Systemnutzung
- Aufnahme des Leichtbaus bei Autoherstellern

## BATTERIEN UND SUPERCAPS

### Ausgangslage

Akkumulatoren und Ultrakondensatoren (Supercaps) eignen sich zur chemischen und elektrostatischen Energiespeicherung. In diesen Technologien verfügt die Schweiz durch die ansässige Industrie und durch die Forschungslabors über strategische Erfolgspositionen.

Die Zebra-Batterie, bestehend aus einem Elektrolytsystem aus Natrium und Nickelchlorid, verkörpert einen Akkumulator mit sehr hoher Energiedichte und einer sehr hohen Anzahl an möglichen Ladezyklen, der im Vergleich zu Lithiumakkumulatoren zudem ein wesentlich geringeres Störfallrisiko beinhaltet. Lithiumakkumulatoren unterliegen deshalb im Verkehrsbereich auch der UN-Norm «für Transport gefährlicher Güter».

Die elektrostatische Energiespeicherung mittels Ultrakondensatoren ist eine weitere Technik, bei der die Schweizer Industrie an der Weltspitze mitwirkt und die ein hohes jährliches Wachstum aufweist.

Daneben etablieren sich die ehemaligen Schweizer Hersteller von Bleibatterien zunehmend als erfolgreiche Entwickler von Batteriesystemen und deren Produktion in Kleinserien. Die Schweizer Batterieindustrie umfasst ca. 10 Firmen mit rund 150 Mio. Gesamtumsatz und etwa 400 Angestellten. Die Forschungsarbeiten sind, wo sinnvoll, mit den internationalen Tätigkeiten der IEA und der EU vernetzt.

### Technische und ökonomische Ziele

Angestrebt werden:

- **Senkung der Betriebstemperatur** der Zebra-Batterie
- **Verbesserung der Zyklenfestigkeit** bei allen Batterietypen durch vertieftes Verständnis der Chemie (inkl. Vorgänge im Sub-Nanobereich).
- **Erhöhung der spezifischen Energie** der Ultrakondensatoren
- **Wirksame Kombination** von Ultra-Kondensatoren mit Akkulatoren respektive Brennstoffzellen.

	2005	2025	2050
Batterie [Wh/kg]	185	280	400
Batterieladezyklen	2000	3000	4000
Ultra Cap [Wh/kg]	10	100	200
Ultra Cap Toxizität	vorhanden (Dielektrikum)	ungiftig	ungiftig

**Tabelle:** Kennzahlen zur angestrebten Entwicklung von Batterien und Super-Caps.

### Mittelbedarf

Gegenwärtig verfügt der Technologiebereich Akkulatoren über ein Jahresbudget von rund 9 Mio. Fr. pro Jahr. Angesichts der Bedeutung der Akkulatoren und Ultrakondensatoren in vielen Anwendungen, insbesondere in Fahrzeugen, ist ein Anstieg der öffentlichen Mittel auf 10 Mio. Fr. pro Jahr anzustreben, mit einem P+D-Anteil von 2 Mio. Fr. pro Jahr.

### SCHWERPUNKTE DER FORSCHUNG 2008 BIS 2011

#### Batterien

- Entwicklung einer Niedertemperatur-Zebra-Batterie mit Betriebstemperatur unter 200 °C.
- Erhöhung der Lebensdauer bei gleichzeitiger Senkung der Kosten von Lithiumakkumulatoren und des Wirkungsgrades von Metall-Luft-Batteriesystemen.
- Integration von Akkulatoren und Ultrakondensatoren in Systemen zur Wandlung erneuerbarer Energie (Wind, PV).
- Verbesserung der Zyklenfestigkeit

#### Supercaps

- Kombination Ultra-Kondensatoren mit Batterien und Brennstoffzellen (Verbesserungen der Lebensdauer von Batterie oder Brennstoffzellen).
- Entwicklung eines integrierten micro-supercaps, der zum Start oder zur Pufferung anderer Systeme verwendet werden kann.

# ELEKTRIZITÄSTECHNOLOGIEN UND -ANWENDUNGEN

## Ausgangslage

Mit neuartigen Technologien sowie effizienten Anwendungen wird ein Beitrag zur Verminderung des jährlich steigenden Stromverbrauchs geleistet. Alle Aktivitäten sind – soweit zweckmässig – international abgestimmt. Die erarbeiteten Forschungsergebnisse im Anwendungsbereich werden zur Umsetzung EnergieSchweiz zur Verfügung gestellt.

## Technische und ökonomische Ziele

### Technologiebereich

- **Effiziente Druckluftspeicherung:** Eine effiziente Energiespeicherung ist für mobile Anwendungen (z. B. Auto) und für die stochastische Stromerzeugung durch erneuerbare Energien erforderlich. Theoretische Berechnungen zeigen bei der Druckluftspeicherung eine Zyklus-Effizienz von bis zu 70 %. Deshalb ist die Erforschung der praktischen Machbarkeit mit Funktionsmustern des neuartigen, isothermen Speicherkonzepts ein Thema.

Langfristiges Ziel	2010	2020	2030
Wirkungsgrad (Zyklus)	Machbarkeit	50 %	70 %

- **Energiekonversion Wärme–Elektrizität:** Die Schweiz hat in der Thermoelktrik-Materialforschung eine gute Position. Neuartige Anwendungen dieser Wärmenutzung sollen modelliert und deren Machbarkeit geprüft werden. Damit ist der Beitrag zur jährlichen Stromproduktion zu quantifizieren.

Langfristiges Ziel	2010	2020	2030
Applikationen	Modellierung / Potential	Machbarkeit	Applikationen

- **Hochtemperatursupraleitung (HTSL):** Das Potential mit HTSL-Technologie beträgt ca. 1–2 % des Stromverbrauchs. Die Leiterentwicklung macht Fortschritte, wobei die Wissenserhaltung und Verfolgung der Materialforschung wichtig ist, um den schnellen Einstieg beim Entwicklungsdurchbruch zu gewährleisten.

## SCHWERPUNKTE DER FORSCHUNG 2008 BIS 2011

### Effiziente Anwendungen

- Technische Grundlagen für die Effizienzsteigerung elektrischer Antriebe, Geräte und Anlagen. Ziel: In internationaler Zusammenarbeit technische Grundlagen zur Umsetzung bereitstellen.
- Erforschung effizienter Home-Automation-Geräte. Ziel: Verminderung des Stromanstiegs durch Home-Automation.

## Anwendungsbereich

- **Effiziente Motoren und Antriebe:** Von der Forschung für effizientere Motoren- und Antriebssysteme kann ein Einsparpotential von 20–25 % (5000 GWh) des motorischen Stromverbrauchs erwartet werden. Der integrale Permanentmagnet-Motor verspricht dabei ein Sparpotential von 75 GWh und bei einem neuartigen Schrittmotor wird dieses auf 100 GWh geschätzt.
- **Diverse, effiziente Geräte:** Auf der ganzen Breite sind technische Grundlagen zur Effizienzsteigerung zu erarbeiten: Mess- und Kriteriengrundlagen für USV-Anlagen < 10 kVA als Basis für europäische Energie-Etikette; technische Analyse und Untersuchungen von effizienten Kühlgeräten, Server, Kommunikationseinrichtungen etc. als Basis für freiwillige und/oder regulatorische Massnahmen; neuartige, technische Konzepte zur Verminderung des Verbrauchs im Standby- und On-Betrieb von Haushaltsgeräten wie Tumbler, Kühlschrank, Minibar, etc. unter Einbezug der Industrie.

Mittelfristige Ziele	2008	2010	2015
<b>Effiziente Anwendungen (Auszug)</b>			
Neuartiger Tumbler (Energieklasse-A-Gerät zu wirtschaftlicherem Preis)	Prototyp	Feldgerät	Vorserie
Minibar (Einsparpotential 12 GWh)	Techn. Analyse	Prototyp	Vorserie

- **Stromsparende Home-Automation:** Es sind technische Grundlagen für effiziente Home-Automation-Systeme im privaten Bereich zu erarbeiten.

### Mittelbedarf bis 2011

Angesichts des breiten Forschungsfeldes, der guten Ausgangslage der Schweizer Forschung und des grossen Einsparpotenzials sollten die Forschungsanstrengungen von heute 7 Mio. Fr./Jahr mindestens gehalten werden. Für P+D-Projekte sind zusätzlich 2 Mio.Fr./Jahr zu budgetieren.

### Technologien

- Untersuchung des Druckluftspeicherprinzips BOP (BOP = Batterien mit Oelhydraulik und Pneumatik). Ziel: Nachweis der technischen Machbarkeit.
- Materialforschung und Identifikation geeigneter Anwendungen für die direkte Energiekonversion Wärme – Strom. Ziel: Funktionsmuster inkl. Nachweis von konkreten Anwendungen und Potentialabschätzung.
- Aktive Mitarbeit an den internationalen Aktivitäten zur Hochtemperatursupraleitung. Ziel: Internationalen Anschluss sicherstellen.

## NETZE

### Ausgangslage

Dem Schweizer Elektrizitätsnetz kommt hinsichtlich seiner zentralen Lage in Mitteleuropa als auch der Vermaschung mit den Nachbarstaaten die Funktion einer Stromdrehscheibe zu. Zieht man die ebenfalls stark genutzten Gaspipelines in Betracht, kann durchaus von einer «Energiedrehscheibe» gesprochen werden. Sowohl ändernde gesetzliche Bestimmungen innerhalb der Schweiz als auch die von der EU lancierte Förderung eines europäischen Energiebinnenmarktes beeinflussen die Rahmenbedingungen für Energieerzeugung, -übertragung und -verteilung nachhaltig und stellen neue Ansprüche insbesondere im Netzbereich. Komplementär zum Wandel des legislativen Umfelds tragen auch technologische Entwicklungen und die drohende Verknappung von einzelnen Energieträgern zu den folgenden Entwicklungen im Netzinfrastrukturbereich bei:

- Auf Stromverteilnetzebene fortschreitende Durchdringung von dezentralen Energieeinspeisungen (Sonnenenergie, Geothermie, Windenergie, Biomasse, Kleinwasserkraft, Wärme-Kraft-Kopplung, etc.).
- Im Übertragungsbereich Zunahme der Energieflüsse infolge grenzüberschreitenden Stromhandels, daraus resultierend verstärkte Engpasshäufigkeit.
- Zunehmende Alterung der bestehenden Netzinfrastuktur.
- Wechselseitige Abhängigkeit von Netzbetrieb und Ausgestaltung offener Märkte.
- Übertragung, Verteilung und Konversion verschiedener Energieträger in parallelen Energieträgernetzen.
- Vermehrter Einsatz von verschiedenen Energiespeichern (Druckluftsysteme, Supercaps, etc.).
- Erhöhte Sensibilisierung von Stakeholdern für ökologische, ökonomische und soziale Aspekte.

### Technische und ökonomische Ziele

Im Zusammenhang mit obigen Entwicklungen sind nicht nur die Auswirkungen des sich verändernden technologischen, ökonomischen und legislativen Umfelds auf Netzbetrieb und Versorgungszuverlässigkeit zu untersuchen, angestrebt wird auch die Konzeption von neuartigen Netzinfrastrukturen (transnational bis regional) unter Einbezug von vermehrter dezentraler Erzeugung und von Energiespeichern. Einen weiteren Schwerpunkt bildet die Erarbeitung von Konzepten zu effizientem Design und Management der Energiedrehscheibe «Schweiz». Dabei sind Fragen zu Netzregulierung, Engpassmanagement, langfristigem Netzausbau und der Abhängigkeit von Gas-, Strom- und Wärmenetzen zu bearbeiten. Die Forschung ist an den Kriterien Versorgungszuverlässigkeit, Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit auszurichten, um die verschiedenen Stakeholderansprüche zu repräsentieren. Sozioökonomische Fragestellungen wie Preisgerechtigkeit sind zu berücksichtigen. Um die starke Verknüpfung mit dem europäischen Ausland zu repräsentieren, wurden internationale Forschungsprogramme lanciert (EU-SmartGrids, IEA-ENARD). Eine aktive Teilnahme der Schweiz ist weiterhin unabdingbar.

### Mittelbedarf bis 2011

Die bisherige staatliche Forschungsförderung auf diesem Gebiet beträgt rund 3 Mio. Franken pro Jahr. Sie ist auf ca. 5 Mio. Franken zu erhöhen, wobei eng mit der Elektrizitätswirtschaft zusammen zu arbeiten ist.

## SCHWERPUNKTE DER FORSCHUNG 2008 BIS 2011

### Elektrizitätsnetze

- Modellierung und Evaluation von Wechselwirkungen hinsichtlich Netzbetrieb und -design, Versorgungszuverlässigkeit und Organisation des Elektrizitätsmarktes.
- Praxisnahe Bewertung von ökonomischen und technischen Wechselwirkungen bei marktbasierter Engpassmanagementsystemen und beim Netzausbau.
- Analyse der Versorgungszuverlässigkeit mit Berücksichtigung liberalisierter Marktarchitekturen.
- Systemkonzeption für effizientes und sicheres Netzmanagement (auch für gestörte/gefährdete Betriebszustände).

### Gekoppelte Energienetze (Elektrizität, Gas, Wärme)

- Entwurf und Analyse von zukunftsweisenden Energienetzarchitekturen unter Ausnutzung von Synergieeffekten (Verteilung, Übertragung, Konversion, Speicherung).
- Bewertung der Versorgungssicherheit bei Multi-Energieinfrastrukturen.
- Abschätzung der sozialen, ökonomischen und ökologischen Auswirkungen.

### Technologien für Energienetze

- Flexible Energieflusssteuerungen (FACTS).
- Effizienzsteigernde Verteil- und Übertragungsnetzelemente.

## WÄRME-KRAFT-KOPPLUNG

### Ausgangslage

Heute wird in der Schweiz nur ein kleiner Teil des Stroms mit fossilen Energieträgern erzeugt. Eine Erhöhung verursacht zusätzliche Schadstoffemissionen (relevant: CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) und steigert die Auslandabhängigkeit. Um diese Nachteile zu vermindern, sind Systeme mit möglichst hoher Energieeffizienz und geringen Schadstoffemissionen einzusetzen und neben den gängigen fossilen Brennstoffen vermehrt erneuerbare Quellen wie Biogas, Klärgas, Holz zu nutzen. Die besten Kessel erreichen Nutzungsgrade von 100 %. Mit der Kombination WKK–Wärmepumpe wird der Brennstoffverbrauch für die gleiche Nutzwärme mehr als halbiert.

Die Forschung muss sich auf diese Vorgaben konzentrieren und Energiequellen, Energieumwandler sowie Systemkombinationen dahingehend verbessern. Ziel muss die effiziente Erzeugung von Nutzwärme zur Raumheizung und Wassererwärmung sein, damit – verglichen mit dem Ausgangswert – CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Gebäudeheizung reduziert und zusätzlich Strom produziert werden kann, der nicht mehr in Wärmepumpen genutzt werden muss, sondern frei zur Verfügung steht. Je besser die Energiewandler und die kombinierten Systeme sind, desto höher kann entweder die CO<sub>2</sub>-Minderung oder die Stromproduktion sein. Die schweizerischen Forschungsarbeiten im Bereich WKK sind hochstehend und berücksichtigen die internationalen Fortschritte. Sie werden in enger Zusammenarbeit mit der Privatwirtschaft durchgeführt.

### Technische und ökonomische Ziele

- **Erhöhung des Wirkungsgrades der Stromerzeugung:** Es sind vor allem kleinere Einheiten erheblich zu verbessern. Der Wirkungsgrad mit der Nutzung von fossilen Energieträgern muss mindestens 40 % erreichen. Im Fokus stehen die Verbrennungsmotoren (spezifische Ziele siehe Tabelle) aber auch die Gasturbinen und die damit realisierten Kombikraftwerke. Stark zu verbessern ist gemäss heutigem Stand der Technik die Wirtschaftlichkeit der Brennstoffzellen.
- **Verbessern der Arbeitszahl der Wärmepumpen:** Neben der Verbesserung des Maschinenwirkungsgrades müssen auch die Einsatzbedingungen (Temperaturen der Wärmequellen und der Wärmesenke) berücksichtigt werden.

den. Sie bestimmen die Arbeitszahl massgebend.

- **Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen:** Einzelne motorische Systeme erreichen bereits sehr gute Werte und sind mit den Gaskombikraftwerken vergleichbar. Generell besteht aber noch ein deutlicher Verbesserungsbedarf um eine nutzbare Differenz zu den Gasheizkesseln zu erreichen.
- **Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen:** Primär sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen von mit fossilen Energieträgern betriebenen Stromerzeugern durch den Wirkungsgrad bestimmt. Darüber hinausgehende Reduktionen erfordern den Ersatz fossiler Energieträger durch erneuerbare und speziell durch biogene.
- **Optimierung und Konzepte von Gesamtsystemen:** Neben der Verbesserung der einzelnen Komponenten zur fossilen Stromerzeugung sind auch Gesamtsysteme zu optimieren. Dazu gehören alle Kombination von WKK und WP und die Nutzung von biogenen Brennstoffen und Abwärme.
- **Koordination mit anderen beteiligten Forschungsprogrammen:** Teilbereiche werden in den Programmen Verbrennung, Brennstoffzellen, KW2020, Umgebungs- und Abwärme sowie Biomasse behandelt. Im Programm WKK gilt es diese Aktivitäten zu koordinieren und die Voraussetzungen für die optimale Konzeption von Gesamtsystemen zu schaffen.

	2008	2025	2050
<b>Elektrische Leistung bis 100 kW</b>			
Elektrischer Wirkungsgrad	35 %	40 %	50 %
Gesamtwirkungsgrad	85 %	90 %	90 %
<b>Elektrische Leistung ab 100 kW bis 1000 kW</b>			
Elektrischer Wirkungsgrad	40 %	45 %	50 %
Gesamtwirkungsgrad	90 %	90 %	95 %
<b>Elektrische Leistung über 1000 kW</b>			
Elektrischer Wirkungsgrad	45 %	50 %	55 %
Gesamtwirkungsgrad	90 %	90 %	95 %
Unterhaltskosten für den ganzen Leistungsbereich (Rp. pro kWh Strom)	3	2	1

**Tabelle:** Kennzahlen zur angestrebten Entwicklung der motorischen Wärme-Kraft-Kopplung

### Mittelbedarf bis 2011

Angesichts der guten Ausgangslage der Schweizer Forschung und Umsetzung und des grossen Potenzials ist es angezeigt, die Forschungsanstrengungen der öffentlichen Hand im Bereich motorische WKK von heute. 1,5 Mio. Fr. pro Jahr bis 2011 auf 2 Mio. Fr. pro Jahr zu steigern.

### SCHWERPUNKTE DER FORSCHUNG 2008 BIS 2011

#### Motorische WKK

- Steigern der Effizienz um rund 10%
- Reduktion von Schadstoffemissionen, insbesondere von NO<sub>x</sub> auf Werte von Heizkesseln.
- Erhöhung der Zuverlässigkeit, insbesondere durch Steuerung und Diagnose.

- Senkung der Kosten, insbesondere der Wartungskosten während des Betriebs um den Faktor 3.

**Die übrigen WKK-Systeme** in den Programmen Kraftwerk 2020, Verbrennung, Brennstoffzellen, Umgebungs- und Biomasse sind optimal auf die beschriebenen Ziele auszurichten und zu vernetzen.

# VERBRENNUNG

## Ausgangslage

Die Energieumwandlung chemischer Energieträger durch Verbrennung dominiert weiter die Energieversorgung. Neben fossilen Energieträgern werden künftig synthetische Brennstoffe, Biomasse und Wasserstoff an Bedeutung gewinnen. Treiber für diese Entwicklung sind die CO<sub>2</sub>-Problematik und erheblich gestiegene Energiepreise. Die Konkurrenzfähigkeit neuer Brenn- und Treibstoffe hat sich dadurch verbessert. Forderungen nach höherem Gesamtwirkungsgrad werden durch die veränderten ökonomischen Gegebenheiten marktrelevant verstärkt. Durch die negativen Auswirkungen der Feinstaubemissionen werden in Zukunft höhere Anforderungen an eine russfreie Verbrennung oder zumindest eine gesicherte Abgasnachbehandlung gestellt. Die Schweizer Verbrennungsforschung ist international anerkannt. In der Schweiz sind Motorenhersteller, Zulieferer der Verbrennungsindustrie und Entwicklungszentren mit rund 5000 Mitarbeitern und einem Umsatz von ca. 2 Mia. Fr. aktiv. In den sich öffnenden Nischenmärkten entstehen auch neue Chancen für die Schweizer Industrie und Forschungsinstitutionen.

## Technische und ökonomische Ziele

Es stellen sich folgende Herausforderungen (mit fallender Gewichtung):

- Reduktion des spezifischen CO<sub>2</sub>-Ausstosses
- Erhöhung des (System-)Wirkungsgrades zur Reduktion des spezifischen Energieverbrauchs (Ressourcenschonung, Ökonomie)
- Fähigkeit, verschiedene Energieträger und vor allem auch biogene zu nutzen
- Reduktion der Schadstoffemissionen (u. a. Feinstaub) zur Erfüllung der kontinuierlich schärferen Vorschriften, inklusive Feuerungen in taktendem Betrieb
- Verbessern der Konkurrenzfähigkeit von Verbrennungssystemen für biogene Energieträger.

### SCHWERPUNKTE DER FORSCHUNG 2008 BIS 2011

- Darstellung von «Null-Emissions-Systemen» für die kleinskalige (10kW bis 100 kW) kombinierte Strom-Wärme-Kälte-Erzeugung (inkl. Wärmepumpe und Biomasse).
- Integration der Erkenntnisse aus experimentellen Grundlagenprojekten (Laserdiagnostik) in die Entwicklung miniaturisierter, nicht-invasiver Sensoren für den realen Einsatz in Verbrennungsmaschinen.
- Optimierung der Gemischaufbereitung und Verbrennung sowie Minimierung von Schadstoffemissionen beim (Teil-)Einsatz von biogenen Kraftstoffen.

	2010		2015		2020	
<b>Diesel LKW</b>						
NO <sub>x</sub> [g/kWh]	2		0,5		0,1	
Russ [mg/kWh]	20		5		1	
η Fahrzyklus [%]	38		41		45	
<b>Stationärer Gas- motor [kW]</b>	<b>100</b>	<b>10</b>	<b>100</b>	<b>10</b>	<b>100</b>	<b>10</b>
NO <sub>x</sub> [mg/Nm <sup>3</sup> ] bei 5 % O <sub>2</sub>	2	5	0,5	1	0,1	0,2
CO [mg/Nm <sup>3</sup> ] bei 5 % O <sub>2</sub>	20	30	5	10	1	2
η <sub>ei</sub> in %	42	30	45	33	50	35

**Tabelle:** Kennzahlen zur angestrebten Technologieentwicklung für Diesel- und Gasmotoren

Massnahmen zur Zielerreichung sind die Erhöhung der thermodynamischen Systemeffizienz, die Systemoptimierung zwischen Energiewandlern (z. B. Verbrennungsmotor) und Abgasnachbehandlung sowie weitere Verbesserungen des Verbrennungsprozesses. Der Einsatz von Biomasse leistet einen Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Reduktion und zur Ressourcenschonung, erfordert aber zusätzliche Anstrengungen, um die gleiche Effizienz und Emissionsqualität wie bei den konventionellen Energieträgern zu erreichen. Forschung im Bereich Verfeuerung von Biomasse obliegt dem Programm Biomasse.

### Mittelbedarf bis 2011

Die fundierte Kompetenz und die Instrumente in der Verbrennungsforschung sollten in Zukunft vermehrt für andere Verbrennungssysteme und den Einsatz verschiedener Energieträger genutzt werden. Dafür ist eine gute Koordination mit anderen Forschungsprogrammen (WKK, Kraftwerk 2020, Holz, Biomasse) erforderlich. Um längerfristig das Know-how zu halten, zu stärken und für weitere Verbrennungssysteme und Energieträger anzuwenden sind die Mittel auf 12 Mio. Fr. pro Jahr zu erhöhen, wobei der Anteil für P+D-Vorhaben 20 % betragen sollte.

- Umsetzung von Grundlagenkenntnissen für die Darstellung von Technologien zur Erfüllung zukünftiger Emissionsvorschriften (EURO 6, USA 2010/14) mit Schwerpunkt mittlerer und grösserer Dieselmotoren
- Entwicklung robuster Modelle (Schwerpunkt CRFD) für den Einsatz in der Entwicklung, Optimierung und Diagnose von neuen Verbrennungssystemen, von verbesserungsbedürftigen Grundlagen bis hin zu Anwendungen.
- Stärkere Vernetzung der experimentellen und numerischen Methoden für die Optimierung des Gesamtsystems Motor-Abgas-Nachbehandlung.

## KRAFTWERK 2020

### Ausgangslage

Um die sich für das Jahr 2020 abzeichnende Stromversorgungslücke zu schliessen, sind Kraftwerkstechnologien, die innerhalb dieses knappen Zeitraums weiter entwickelt und umgesetzt werden können, auch für die Schweiz von besonderer Bedeutung. Gasbefeuerte Kombi-Kraftwerke erfüllen diese Voraussetzung.

Zudem ist die schweizerische Kraftwerkindustrie, inklusive der Zuliefer-Firmen und dem unterstützenden, akademischen Umfeld, international führend und hat eine starke Marktstellung. Diese gilt es zu erhalten, was durch die Bündelung der bisher zerstreuten Projekte in dem 2006 neu geschaffenen Programm erzielt werden soll.

### Technische und ökonomische Ziele

Um die Erfüllung der klimapolitischen Zielsetzungen zu unterstützen, gilt es insbesondere auch die Prozessführung der Gas- und Dampfturbinen-Technik so zu gestalten, dass alternative Brennstoffe eingesetzt werden können und CO<sub>2</sub> ganz oder teilweise abgeschieden werden kann. Die Hauptforschungsziele sind:

- **Steigerung des elektrischen Wirkungsgrades**
- **Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen**
- **Flexibler Betrieb**

In Anbetracht der grossen Anforderungen ist eine starke Fokussierung auf Schlüsselkomponenten unabdingbar.

### Mittelbedarf bis 2011

Die Schweizer Industrie ist im Kraftwerksbereich enormer internationaler Konkurrenz ausgesetzt, die stark von staatlicher Seite unterstützt wird. Es geht nicht nur darum, die dafür angewendeten öffentlichen Mittel auch in der Schweiz zu erhöhen, sondern auch die bereits laufenden Arbeiten in einem zielgerechten Vorhaben zusammenzufassen und grössere Mittel aus privaten Förderungsfonds einzubinden.

Der jährliche Aufwand der staatlichen Förderung ist jedoch angesichts der Bedeutung für die Schweizer Wirtschaft von heute 2 auf 3 Mio. Franken anzuheben.

	2006	2015	2020
Gesamt-Wirkungsgrad (netto ab Generator)	58 %	61 %	62 %
Wirkungsgrad Luftverdichter	89 %	91 %	92 %
Wirkungsgrad Heissgasturbine	86 %	87 %	88 %
Wirkungsgrad Generator	98,5 %	98,8 %	99,0 %
Wirkungsgrad Wasser-Dampf-Kreislauf	67 %	69 %	70 %
Steigerung des Brennkammerdrucks	30 bar	33 bar	35 bar
<b>Steigerung vom gesamten Wirkungsgrad durch</b>			
Brennstoffvorwärmung	0,2 %	0,7 %	1 %
Kühlluft-Reduktion in Heissgasturbine und Generator	0,5 %	0,7 %	1 %
Steigerung der Druckverhältnisse und der Heissgas-Temperatur	0,8 %	1,5 %	2 %
<b>CO<sub>2</sub>-Minderung durch</b>			
Steigerung Wirkungsgrad	0 %	-3 %	-4 %
Zuführung von Gasen aus Biomasse oder Pyrolyse-Ölen	0	-5 %	-15 %
Prozess-Modifikation (Brennstoff-Reformierung und CO <sub>2</sub> -Abscheidung)	0 %	-80 %	-90 %

**Tabelle:** Kennzahlen zur angestrebten Entwicklung bei Kombikraftwerken

### SCHWERPUNKTE DER FORSCHUNG 2008 BIS 2011

#### Steigerung des elektrischen Wirkungsgrades auf 62 %

- Durch Steigerung der Komponenten-Wirkungsgrade (Verdichter, Gasturbine, Dampfturbine, Generator), durch Reduzierung des Kühlluftbedarfes und durch Steigerung der Prozess-Parameter (Drücke und Temperaturen).

#### Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 15 %

- Einsatz CO<sub>2</sub>-neutraler Brennstoffe, insbesondere biogene Gase sowie Prozess-Modifikationen. Ziel: Senkung um 50 g CO<sub>2</sub> pro kWh<sub>el</sub>.

#### Flexibler Betrieb

- Verbesserung der zyklischen Belastbarkeit der Komponenten, Verbesserung der Dynamik und neue Generator-Technologien.

# BRENNSTOFFZELLEN

## Ausgangslage

Die Brennstoffzellen-Technologie hat aufgrund tiefer Emissionen und hohem Wirkungsgrad ein hohes Potenzial zur ökologischen und ökonomischen Ressourcen-Nutzung. Anwendungen – autonom, portabel oder stationär – zum saubereren Ersatz von Batterien und zur Strom-Wärme-Versorgung werden langfristig gute Marktchancen eingeräumt. Die Prognose zu deren Realisierung liegt bei 10 bis 20 Jahren, da zur Zeit vor allem (material-)technische Hindernisse eine genügend hohe Zuverlässigkeit und Lebensdauer sowie konkurrenzfähige Investitionskosten verhindern.

Besonders in den USA und Japan, aber auch in Europa laufen starke Forschungsanstrengungen. Die Schwerpunkte liegen in den Bereichen Transport-Anwendungen und Grundlagen, Komponenten-Entwicklung, Modellierung, Standards.

Die Schweizer Brennstoffzellen-Gemeinschaft ist kompakt, international vernetzt und ihre Stärke in der Forschung und Entwicklung anerkannt. Der Fokus liegt in der Schweiz auf der Polymer- (PEFC) und der Festoxyd-Technologie (SOFC) für Mikro- (Batterieersatz) respektive portable Hilfsstromaggregate (APU), stationäre Hausenergie, unterbrechungslose Strom-Versorgung (USV) und Transport-Anwendungen (Fahrzeuge, Schiffe).

## Technische und ökonomische Ziele

Auf der Basis einer anhaltend hohen Forschungsqualität ist das langfristige ökonomische Ziel der Aufbau einer flexiblen, wettbewerbsstarken Zulieferindustrie für (Kern-)Komponenten wie Membranen, Zellen, Stacks und integrationsfähige Brennstoffzellen-(Mikro-)Systeme. Daraus ergeben sich als generelle Forschungsschwerpunkte:

- Steigerung der Lebensdauer und Zuverlässigkeit der Zellen und Stacks und damit der Systeme.
- Systemintegration in Nischenmarkt-Anwendungen mit dem Ziel: Ausbau des erforderlichen Know-hows, Abstimmung der Komponenten auf Produkte und Proof of Concept.

### SCHWERPUNKTE DER FORSCHUNG 2008 BIS 2011

#### Lebensdauer und Zuverlässigkeit

- Verbesserung von Materialeigenschaften und neue Materialien – nanostrukturierte Oberflächen, Membranen, Keramik, Modellierung und Validierung sowie Dauertests zur Erreichung der in der Tabelle angestrebten Werte.

#### Systemintegration

- Aufbau von Nischenmarktprodukten, mit vorzugsweise Schweizer Zellen und Stacks zur Anpassung der Technologie an die Marktbedürfnisse. Zielanwendungen sind USV, APU, Notstromversorgung, allgemein der Batterieersatz sowie mobile und stationäre Strom-Wärme-Versorgung.

- Verfügbarkeit, resp. Lieferbarkeit der spezifizierten, leading-edge-Kernkomponenten für verschiedenste Anwendungen zu konkurrenzfähigen Preisen, um u. a. auch in internationalen Projekten als Top-Provider zu agieren.
- Kostensenkungen in der ganzen Wertschöpfungskette vom Ausgangsmaterial über die Komponenten bis hin zum System.

	2008	2025	2050
<b>Zuverlässigkeit: Unterbrechungsfreier Betrieb [h]</b>			
PEFC/SOFC	1–200	20–900	1000–30 000
Batterie	0,5–500	→ = ✓	
ICE	2000–50 000		→ = ✓
Ölbrenner	1000–8000		→ = ✓
<b>Lebensdauer: Degradation auf 80 % [h]</b>			
PEFC/SOFC	250–1500	4000–>12 000	10 000–40 000
Mob.-Stat.			
Batterie	6000–25 000	→ = ✓	
ICE	2000–70 000		→ = ✓
Ölbrenner	12 000–80 000		→ = ✓
<b>Investitionskosten für BZ in [EURO/kW]</b>			
PEFC/SOFC	5000–15 000	60–1800	10–200
Batterie	500–5000	→ = ✓	
ICE	120–900		→ = ✓
Ölbrenner	500–2000	→ = ✓	

**Tabelle:** Angestrebte Entwicklung für Brennstoffzellen (→ = ✓: Konkurrenztechnologien eingeholt und ablösbar = Ziel erreicht)

## Mittelbedarf bis 2011

Um längerfristig bei der wirtschaftlichen Nutzung des hohen ökologischen und ökonomischen Potenzials der Brennstoffzellen die Beteiligungschance zu wahren, ist das Halten des Know-hows und der schmalen industriellen Basis ein Minimum. Hierfür ist das Budget von heute 6 Mio. Fr. pro Jahr bis im Jahr 2011 auf 10 Mio. Fr. pro Jahr zu erhöhen, wovon für P+D-Projekte wieder 2 Mio. Fr. pro Jahr bereitzustellen sind. Der Ausbau von Synergien mit anderen Technologien besonders im WKK-, und Transportbereich ist zwingend.

## Verfügbarkeit von (Kern-)Komponenten

- Optimierung der System- und Prozesstechnik zum Erreichung von flexiblen, industriellen Zellen- und Stack-Fertigungen und damit einer hohen Verfügbarkeit.

## Kostensenkung

- Querschnittsaufgabe über alle Forschungsschwerpunkte, d.h. Suche nach günstigeren Materialien, geringerer Materialeinsatz und massentaugliche Bearbeitung, wie Druck- und Spritzguss, Stanzen, etc. sowie Abstimmung und Vereinfachungen in Prozess- und Systemtechnik.

## VERFAHRENSTECHNISCHE PROZESSE

### Ausgangslage

Die Sektoren Industrie und Dienstleistungen beanspruchen in der Schweiz über 35 % der Endenergie (Brennstoffe 60 %, Strom 40 %). Durch Optimierung des Energieeinsatzes konnte in den letzten Jahren in vielen Betrieben vor allem der Verbrauch an fossilen Energien gesenkt werden. Im Rahmen der Zielvereinbarungen mit der EnergieAgentur der Wirtschaft (EnAW) werden rund 80 Zielvereinbarungsgruppen mit über 1200 Unternehmen bis 2010 ihre Energieeffizienz weiter steigern und ihren CO<sub>2</sub>-Ausstoss aus fossilen Brennstoffen um rund 7 %, das heisst um ca. 210 000 t CO<sub>2</sub> gegenüber dem Ausgangsjahr 2000 (Wirtschaftswachstum berücksichtigt) senken. Die relative Reduktionswirkung aller bereits umgesetzten und geplanten, wirtschaftlichen Massnahmen bis 2010 beträgt gegenüber der unbeeinflussten Entwicklung 18 %. Damit dürfte das technisch realisierbare Reduktionspotenzial in den energieintensiven Unternehmen im thermischen Prozessbereich etwa zu 50 % ausgeschöpft sein. Etwa die Hälfte des verbleibenden Reduktionspotenzials muss durch effizientere Prozesstechnologien, besseres Prozess Know-how (Simulation), Prozessführung und -optimierung und durch Prozessintegration (Minimieren des Energieinputs durch geschickte energetische Verknüpfung der Subsysteme) erschlossen werden. Die andere Hälfte des verbleibenden Reduktionspotenzials kann nur durch den Einsatz von CO<sub>2</sub>-ärmeren Energieträgern realisiert werden. D. h., dass Prozesswärme und -kälte aus nicht vermeidbarer Abwärme und möglichst aus erneuerbaren Energien bereit gestellt werden muss. Dem ebenfalls grossen Stromverbrauch – der Industriesektor ist grösster Stromverbraucher – muss mit besserer Regeltechnik und besseren Regelstrategien, sowie mit konsequentem Einsatz hocheffizienter Motoren und Antriebe zu Leibe gerückt werden.

Die mit öffentlichen Mitteln geförderte Forschung wird branchenspezifisch durchgeführt und orientiert sich in erster Linie an den Bedürfnissen der Schweizer Industrie. Internationale Fortschritte werden dabei berücksichtigt und eingebracht.

### Technische und ökonomische Ziele

Ziele im technischen und im planerischen Bereich:

- Die Entwicklung verlässlicher Wärmeübertragungssysteme mit geringer Verschmutzung (Nanotechnologie) respektive einfacher Reinigung.
- Systeme zur Abwärmenutzung inkl. industrieller Abgase (u.a. wirtschaftliche Stromproduktion).
- Untersuchungen betreffend Tauglichkeit und Einbindung von alternativen Prozesswärme-Erzeugungssystemen für thermische Verfahren und Prozesse (Sicherheit betreffend thermischer Leistungsbereitstellung, Funktion, Betrieb, Unterhalt).
- Kostensenkung bei Prozessanalyse und -integration.
- Erarbeiten von Grundlagen und Beschreibung der «bestmöglichen Energietechnik» für energieintensive Fertigungsverfahren.
- Entwicklung und Erprobung CO<sub>2</sub>-freier Prozesstechnologien zur Substitution thermischer Verfahren.
- Bereitstellen von Grundlagen und Entscheidungswerkzeugen zur nachhaltigen industriellen Produktion.

### Mittelbedarf bis 2011

Der heutige Forschungsumfang von 4 Mio. Franken pro Jahr ist auf 5 Mio. Franken zu erhöhen. Zusätzlich ist der Aufwand für P+D-Anlagen auf 1 Mio. Franken pro Jahr zu erhöhen. Eine industrielle Beteiligung von über 50 % ist bei allen Projekten in diesem Bereich Grundvoraussetzung.

### SCHWERPUNKTE DER FORSCHUNG 2008 BIS 2011

#### Bessere Wärmeübertragungstechnologie

- Abwärme in verschmutzten Umfeld (Brüden) mittels schmutzabweisender Wärmetauschoberflächen (Nanotechnologie) nutzbar machen.

#### Kostengünstigere Prozessintegration

- Pinch-Methode: Pinch-Light für KMU und Standardlösungen entwickeln.

#### Energieeffizienz in der thermischen Verfahrenstechnik

- Erarbeiten von Grundlagen und Darstellung der besten verfügbaren Technologie für die wichtigsten thermischen Prozesse.

#### Energieeffiziente und CO<sub>2</sub>-arme Verfahrenstechnik

- Entwicklung und Analyse fortschrittlicher Technologien für energieintensive industrielle Produktionsverfahren.
- Erarbeitung und Erprobung CO<sub>2</sub>-freier Verfahren zur Substitution herkömmlicher thermischer Verfahren (insb. Trocknungs- und Trennprozesse).

#### Prozessenergie aus Abwärme und erneuerbaren Energiequellen

- Förderung der Einbindung von alternativen Energiesystemen in bestehende Prozessketten; Qualitätssicherung durch Erprobung und Ausmessung im Feld.

## 5.2 Erneuerbare Energien

### SOLARWÄRME

#### Ausgangslage

In Europa sind 2005 etwa 16 Millionen m<sup>2</sup> Kollektoren installiert, mit einer thermischen Leistung von 11 GW! Und China rüstet auf im Rhythmus von 10 Millionen m<sup>2</sup> pro Jahr gegenüber bescheidenen 30 Tausend m<sup>2</sup> pro Jahr in der Schweiz. Bei den Niedertemperatur-Kollektoren, wo die Schweiz besonders aktiv ist und die internationale Zusammenarbeit gut etabliert ist, gilt es zwei Schwierigkeiten zu beheben: Den 1- bis 2-mal höheren Preis gegenüber den fossilen Konkurrenzprodukten und die Notwendigkeit einer weiteren Wärmequelle für sonnenarme Zeiten. Der entscheidende Punkt ist deshalb eine effiziente Speicherung der an sonnigen Tagen anfallenden Wärme.

#### Technische und ökonomische Ziele

Die Niedertemperaturanwendungen sind in den sonnenreichen Ländern seit Jahren äusserst rentabel. Die Schweiz verfolgt für die Sonnenwärme (bis 100 °C) folgende Forschungs- und Entwicklungslinien:

- Eine **Langzeit-Speicherung ohne Verluste**; dies ist die grosse Herausforderung um eine 100 %ige Solardeckung zu erreichen.
- Als Zwischenziel gilt es, in Gebäuden einen solaren Deckungsgrad von 50 % zu erreichen, sodass die **Sonnenenergie zur Hauptquelle** wird und der Markt sich schneller öffnet (Solaranlagen decken heute 60 bis 70 % des Brauchwarmwassers, aber lediglich 20 bis 30 % der Heizwärme).
- **Entwicklung von Techniken zur solaren Kühlung** für alle Gebäudetypen und für Einfamilienhäuser ein einfaches, standardisiertes System in Kombination mit den Kollektoren für Warmwasser-Heizung-System.

- **Verbesserung der Leistung und Lebensdauer von Kollektoren und Komponenten.** Die Kollektoren, die Wärmetransportmedien und Speicher müssen systematisch getestet und der Einsatz neuer Materialien soll geprüft werden.
- **Standardisierung schlüsselfertiger Systeme** um Produktionsvolumina zu erreichen, welche es ermöglichen, die Kosten pro Einheit zu senken und die Risiken schlechter Installationen zu vermindern.

	2008	2025	2050
<b>Kollektortechnologie (Koeffizienten A0/A1 in W/m<sup>2</sup>K)</b>			
unverglast	0,90/15,0	0,95/10,0	0,97/5,0
verglast	0,85/4,0	0,88/3,0	0,90/2,5
Vakuurröhren	0,75/2,0	0,80/1,5	0,88/1,0
mit Konzentration C100	0,65/1,0	0,70/0,9	0,85/0,5
<b>Kosten für Solarwärme bzw. solarthermische Elektrizität (Rp./kWh, resp. Rp./kWh<sub>e</sub>)</b>			
Schwimmbad	5–15	5–10	5–10
Warmwasser, 70 % solar	20–30	15–20	10–15
Heizung, 40 % solar, 10kW	25–40	20–30	15–20
Heizung, 100 % solar, 10kW	40–100	25–35	15–20
Solarthermische Elektrizität, 10MW <sub>e</sub>	25–50	15–35	10–20

**Tabelle:** Ziele für die Solarwärme

#### Mittelbedarf bis 2011

Die Schweiz investierte 2005 ca. 8 Mio. Franken in die Forschung für Solarwärme und Wärmespeicherung. Angesichts des Potenzials der Solartechnik ist es angebracht, diesen Betrag beizubehalten. Wie die Vergangenheit gezeigt hat, ist jedoch ein P+D-Programm notwendig, um die Umsetzung der Ergebnisse zu beschleunigen; dafür sollte die öffentliche Hand etwa 4 Mio. Franken pro Jahr aufbringen.

#### SCHWERPUNKTE DER FORSCHUNG 2008 BIS 2011

##### Kollektoren

- Erhöhung der Lebensdauer, besseres Verständnis und entsprechende Anpassung der Simulation.
- Möglicher Einsatz von Polymeren zur Kosten- und Gewichtsreduktion (einfachere Montage).
- Dünne Kollektoren mit hoher Leistung, die sich leicht in Fassaden und Dächer integrieren lassen.
- Ersatz von Kupfer durch andere Materialien
- Farbige Gläser oder Absorber

##### Speicherung

- Materialien mit Phasenänderung, kombiniert mit und ohne Wasser.
- Sorptions-Speicherung
- Thermochemische Speicherung in der Temperaturspanne von 60–250 °C.

- Verbesserung der durch Speicher lieferbaren Exergie.
- P+D-Projekte von unterirdischen diffusiven Saisonspeichern für grosse Einheiten.

##### Systeme

- Verbesserung der Produktivität und der Reproduktion der Leistung (Vereinfachungen und Standardisierungen)
- Möglichkeiten der Vormontage
- Systeme ohne Glykol
- Telecontrolling
- Integration der Anlagen
- Massenproduktion

##### Planungswerkzeuge, Software

- Polysun 5.0 soll Optimierungen an Solaranlagen mittels automatischer Parametervariation erlauben.

# PHOTOVOLTAIK

## Ausgangslage

Die Stromerzeugung mit Solarzellen hat weltweit einen mittleren jährlichen Zuwachs von 35 % zu verzeichnen und bildet 2005 einen Markt von ca. 8 Mia. Euro. Im Jahr 2005 wurden weltweit gegen 1,5 GW Solarmodule produziert, insgesamt sind rund 4,5 GW installiert. Photovoltaiksysteme sind technisch ausgereift und produzieren zuverlässig elektrische Energie. Die Photovoltaik-Forschung erfährt weltweit einen Aufschwung. Die Schweiz belegt in der Forschung und Entwicklung international einen Spitzenrang und hat grosse Erfahrung in der Anwendung der Photovoltaik. In den vergangenen Jahren konnte die Industriebasis stark ausgebaut werden. Der Umsatz der Schweizer Photovoltaik erreichte 2005 mindestens 250 Mio. Fr., 80 % davon im Export. Ende 2005 waren Photovoltaikanlagen mit einer Gesamtleistung von über 25 MW installiert, deren Jahresproduktion rund 20 Mio. kWh erreicht.

## Technische und ökonomische Ziele

Strom aus Photovoltaikmodulen ist noch immer rund dreibis fünfmal teurer als konventionell erzeugte Elektrizität, folgt aber einer Kostenlernkurve von ca. 20 % (20 % Kostenreduktion bei Verdoppelung des kumulierten Volumens). In den nächsten zehn bis zwanzig Jahren gilt es deshalb, technische und wirtschaftliche Herausforderungen mit Nachdruck anzugehen. Photovoltaikanlagen müssen zu wettbewerbsfähigen Systemen in breiteren Marktsegmenten entwickelt werden, in der Schweiz allen voran für netzgekoppelte, gebäudeintegrierte Anwendungen. Die generellen Ziele für die Forschung sind daher:

- Senkung der Kosten der Solarzellen und -module
- **Kostenziel** 2011 Modul: 3 Fr./W, System: 5 Fr./W
- **Steigerung des Wirkungsgrads** (Solarzellen)
- **Senkung des Material- und Energieeinsatzes**
- **Vereinfachung und Standardisierung** der elektrischen Systemtechnik, Steigerung der Lebensdauer und Zuverlässigkeit von Wechselrichtern.
- **Erhöhung der Verfügbarkeit und der Vielfalt** industrieller Produkte.

	2008	2025	2050
<b>Zell-Technologie – Wirkungsgrade in der Produktion</b>			
Kristalline Zellen [%]	14 – 18	22	25
Dünnschichtzellen [%]	7 – 10	12 – 17	20
Organische Zellen-polymere Zellen [%]	-	10	15
<b>Solarmodule und Gebäudeintegration</b>			
Kosten Elektrizitäts-erzeugung [Rp./kWh]	30 – 80	15 – 30	10 – 20
<b>Elektrische Systemtechnik; Wechselrichter</b>			
Kosten [Fr./W]	0,7	0,3	0,2
Lebensdauer [Jahre]	10 – 20	25	30

**Tabelle:** Kennzahlen zur angestrebten Entwicklung der Photovoltaik

## Mittelbedarf bis 2011

Angesichts der starken Ausgangslage der Schweizer Forschung und Umsetzung (Industriebasis) und des grossen Potenzials der Photovoltaik wird der Forschung weiterhin hohe Priorität eingeräumt. Es wird angestrebt, die Forschungsanstrengungen bis im Jahr 2011 auf 12 Mio. Fr. je Jahr anzuheben. Zusätzlich müssen die stark gesunkenen P+D-Mittel der öffentlichen Hand wieder auf 3 Mio. Fr. pro Jahr aufgebaut werden.

## SCHWERPUNKTE DER FORSCHUNG 2008 BIS 2011

### Zell-Technologie

- Industrielle Fertigung von Solarzellen und -modulen auf Basis von Dünnschichttechnologien. Ziel: Industriell wettbewerbsfähige Herstellungsprozesse und Produkte (Zellen, Module).
- Materialoptionen für Solarzellen der übernächsten Generation (z. B. organische und polymere Zellen). Ziel: Internationale Zusammenarbeit im Rahmen der EU Photovoltaik-Technologie-Plattform ausbauen.
- Fertigungsprozesse für dünnere Wafer. Ziel: Waferdicke 150 µm.

### Solarmodule und Gebäudeintegration

- Echte Integration von Dünnschichtsolarzellen in neue Produkte für Gebäudeintegration. Ziel: Industrielle Fertigung neuer PV-Gebäude-Komponenten mit Dünnschichttechnologie.

- Produktsynergien mit Gebäudetechnik (green buildings) und Brennstoffzellen (mittelfristig). Ziel: Neue Lösungsansätze für Optimierung der Energieproduktion und -nutzung im Gebäude.

### Elektrische Systemtechnik

- Neue Systemkomponenten für netzgekoppelte Anlagen, Insel- und Hybridsysteme. Ziel: Integrierte Produktlösungen für kombinierten Netz-, Insel- und Hybridbetrieb.
- Dezentrale Energieerzeugungssysteme, Energiespeicherung und Energienutzung. Ziel: Lösungsansätze für aktive Verbrauchssteuerung.

# INDUSTRIELLE SOLARENERGIENUTZUNG

## Ausgangslage

Die Schweizer Forschung und Industrie war vor 25 Jahren eines der führenden Länder bei der Entwicklung von solarthermischen Kraftwerken. Da kein Kraftwerk in den Alpen verwirklicht werden konnte und sich kürzerfristig kein Exportmarkt auftat, hat die Schweiz ihr Schwergewicht auf solarthermo- und -photochemische Umwandlungen gelegt. Erst in den letzten Jahren haben solarthermische Kraftwerke auf dem Markt Fuss gefasst. Dies aber markant: Rund 600 MW<sub>e</sub> sind Ende 2007 in Betrieb. Bis 2012 wird erwartet, dass im Sonnengürtel rund um die Welt 5000 MW<sub>e</sub> installiert sein werden, was einem Investitionsaufwand von 20 Milliarden Franken entspricht. Zukunftsträchtig ist aber auch die in der Schweiz entwickelte Brennstoffproduktion (Wasserstoff) mittels dem thermochemischen ZnO/Zn-Zyklus. Kürzlich ist am PSI ein 10-kW-Prototyp zur thermischen Spaltung von ZnO in Betrieb genommen worden. Und ein entsprechender Pilot-Reaktor von 300 kW wird – unter Beigabe von Kohlenstoff oder Methan – durch das PSI erprobt. Es ist zu beachten, dass nur die Reduktion von ZnO → Zn im Forschungsprogramm «industrielle Solarenergienutzung» behandelt wird; mit der Wasserstoffproduktion ( $Zn + H_2O \rightarrow ZnO + H_2$ ) befasst sich das Programm «Wasserstoff».

## Technische und ökonomische Ziele

Aktueller Schwerpunkt des Forschungsprogramms sind die thermochemischen Prozesse, die den Weg zu nachhaltigen Material- und Energietechnologien vorbereiten. Das Potenzial ist aufgrund der zur Verfügung stehenden Sonneneinstrahlung hoch, die wissenschaftlichen Herausforderungen sind jedoch enorm. In Berücksichtigung der kürzlich erfolgten Programmevaluation ist eine Konzentration der Projekte mit den Kriterien: Verfügbarkeit von Kompetenzen, längerfristig grosse Potenziale und Interesse der Wirtschaft vorzunehmen. Randthemen sind aufzugeben und Erfolg versprechende Projektlinien aufzunehmen, resp. weiterzuführen. Unverzichtbar sind materialwissenschaftliche Ar-

beiten, um den hohen und schwankenden Temperaturen begegnen zu können.

Die industrielle Solarenergienutzung umfasst die Segmente Photochemie, Thermochemie und thermodynamische Prozesse. Prüfungswerte Anwendungsgebiete der industriellen Solarenergienutzung sind:

- **Solare Thermochemie:** Sie befasst sich mit der Metallproduktion (z. B. dem ZnO/Zn-Zyklus) und den verschiedenen damit verknüpften Prozessen, mit der Brennstoffproduktion mittels thermischer Prozesse (z. B. aus Ölschiefer) und mit Rezyklierung gefährlicher Abfälle (z. B. zur Rückgewinnung wertvoller Materialien).

- **Hochtemperaturwärme für industrielle Prozesse und solarthermische Anlagen:** Die Schweiz kann und muss sich hier profilieren (z. B. nach dem Muster Deutschlands, welches beachtenswerte Mittel in diese Technologien investiert). Exportmöglichkeiten eröffnen sich für Turbinen, Heliostaten, Wärmetauscher und Ingenieurleistungen.

	2008	2025	2050
<b>Brennstoff-Produktion – Wirkungsgrad der Thermo-Dissoziation</b>			
ZnO/Zn-Zyklus	10 %	25 %*	

Tabelle: Angestrebtes Ziel für den ZnO/Zn-Zyklus

\*inklusive optischer Verluste

## Mittelbedarf bis 2011

2005 wurden rund 5 Mio. Franken für die Forschung im Gebiet «industrielle Solarenergienutzung» aufgewendet. Die Industrie muss künftig verstärkt in diese Forschungsarbeiten integriert werden. Die damit freiwerdenden öffentlichen Mittel sind für neue Konzepte zu verwenden, welche auch die Industrie als erfolgversprechend erachtet. Für den Transfer der Ergebnisse in die Anwendung ist ein Budget für P+D-Projekte von etwa 1 Mio. Franken pro Jahr vorzusehen.

## SCHWERPUNKTE DER FORSCHUNG 2008 BIS 2011

### Solare Thermochemie

- Abschluss der Forschung für den ZnO/Zn-Zyklus
- Optimierung des Reaktors für die Thermo-Dissoziation
- Carbothermische Reduktion von ZnO
- Abklärung von Möglichkeiten für die thermochemische Produktion von Brennstoff
- Rezyklierung von gefährlichen Abfällen

### Hochtemperaturwärme für industrielle Prozesse und solarthermische Anlagen

- Hochtemperaturmaterialien für solare Anwendungen
- Entwicklung von Projekten gemäss den Ergebnissen der Erhebung der Industriebedürfnisse in den Bereichen: Heliostaten, Turbinen, Wärmetauscher, Rechenmodelle und Pilotanlagen.

## WASSERSTOFF

### Ausgangslage

Wasserstoff hat ein breites Ersatzpotenzial für die stetig zunehmende, aber langfristig auf konventioneller Fossilenergiebasis nicht abdeckbare Nachfrage nach Energiedienstleistungen. Weltweit wird daher Wasserstoff als wichtiger synthetischer Treib- sowie Brennstoff der nachfossilen Ära betrachtet. Zu erreichen sind eine nachhaltige Wasserstoffproduktion über erneuerbare Energien, innovative Speicher- und Verteiltechnologien sowie effiziente, vornehmlich elektrochemische Umwandlungsverfahren. Diese Aufgabenstellungen sind komplex und daher auch als langfristiger gesellschaftlicher Gesamtauftrag allseits erkannt.

Trotz der Vision von Wasserstoff als bedeutender Energieträger der Zukunft, betrug die Wasserstoff-Weltjahresproduktion bereits 2004 über 62 Millionen Tonnen. Die Düngemittelproduktion und die Petrochemie sind die Haupteinsatzgebiete. Dies entspricht einem Äquivalent von mehr als 4 % der Weltjahreserdölproduktion.

Auf der Verbraucherseite spielt der Mobilitätsbereich die Schlüsselrolle für die energierelevante Anwendung. Gemäss der Umsetzungsstrategie der EU-Technologieplattform für Wasserstoff und Brennstoffzellen sollen Einstiegsmärkte bei portablen Anwendungen bis 2010, bei stationären Anwendungen bis 2015 und in der Mobilität bis 2020 geschaffen werden.

In der Schweiz befasst sich die Energieforschung seit über 30 Jahren mit Wasserstoff und ist massgebend in internationale Projekte eingebunden. Neben den hohen Kompetenzen in der Forschung sind Schweizer KMU weltweit führend als OEM im Spezialitätenmarkt der nicht-energierelevanten Wasserstoff-Anwendung (Cryotechnik, Diamantveredelung, Elektrolyse, Ammoniakproduktion, Mikroelektronik).

### Technische und ökonomische Ziele

Die Hauptziele der Schweizer Wasserstoff-Forschung sind:  
1. Produktionsmethoden auf der Basis von erneuerbaren Energien wie Wasserkraft und Sonnenenergie, insbesondere:

- Optimierung der Hochdruckelektrolyse im Hinblick auf die Stärken der Schweiz in der Wasserkraftnutzung.
  - Weiterentwicklung der in der Schweiz patentierten Tandemzellen-Photoelektrolyse.
  - Grosstechnische Demonstration der Wasserstoffproduktion mittels solarthermochemisch hergestellten Metalloxiden (s. Programm industrielle Solarenergienutzung).
2. Entwicklung von Methoden zur Wasserstoff-Speicherung im Mobilitäts- und Elektrizitätsbereich.

	2008	2025	2050
<b>H<sub>2</sub>-Produktion; Realisierung und Kosten [Euro/kg H<sub>2</sub>]</b>			
Wasserkraft-elektrolyse	20 – 35		
Tandemzellen-photoelektrolyse	Funktionsmuster	< 10	< 5
Wasserstoffproduktion auf Basis von Metalloxiden	Demonstrator		
<b>H<sub>2</sub>-Speicherung; Realisierungs- und Speicherkosten [Euro/kg H<sub>2</sub>]</b>			
Materialien	3 neue Materialien	< 10	< 5
<b>Nischenmarktanwendung; Realisierung und Lebensdauer [h]</b>			
Mobile Systeme	2 Demonstratoren	45 000	
Stationäre Systeme	5 Demonstratoren	500 000	

**Tab.1:** Angestrebte Entwicklung und Ziele im Wasserstoff-Bereich [Quelle: Implementation Plan der EU-Technologieplattform für Wasserstoff und Brennstoffzellen, IEA Hydrogen Implementing Agreement]

### Mittelbedarf bis 2011

Die kumulativen F+E-Investitionen der OECD im H<sub>2</sub>-Bereich betragen derzeit jährlich über 400 Mio. Euro. Um bei internationalen Projekten weiterhin als voll integrierter Partner teilnehmen zu können und um die Fachkompetenzen auf dem erreichten hohen Niveau zu halten, sind die Mittel auf 3 Mio. Fr. pro Jahr zu erhöhen. Für die Realisierung der angestrebten Demonstratoren und Systeme sind zusätzlich P+D-Mittel von 1 Mio. Fr. anzustreben. Eine Zusammenarbeit mit Forschung, Anwendungsentwickler, Förderer im EU-Raum zur Erreichung erfolgsversprechender Forschungs- und Realisierungskonsortien ist unabdingbar.

### SCHWERPUNKTE DER FORSCHUNG 2008 BIS 2011

#### Materialwissenschaftliche Grundlagenforschung für die Herstellung und Speicherung von Wasserstoff, d. h. Entwicklung von:

- neuen, auf Dünnschichten basierenden funktionalen Materialien sowie Dünnschicht-Herstellungsmethoden
- korrosionsresistenten Katalysatoren
- neuen Hochtemperatur-Keramiken
- neuen metallischen Mischoxiden

Praktische Anwendung der Erfolg versprechenden Ergebnisse in **Demonstrations- und Industrieanlagen zur Wasserstoff-Produktion.**

**Entwicklung neuer Konzepte und gezielte Systemintegration neuer Optionen zur Wasserstoff-Speicherung** für Funktionsmuster und Nischenmarktprodukte (wie zum Beispiel Leistungselektronik, Automobilzulieferindustrien, etc.).

# UMGEBUNGSWÄRME

## Ausgangslage

Die Schweiz hält bei der Forschung und Entwicklung weltweit an der Spitze mit. So hat die Wärmepumpe (WP) zur Erzeugung von Raumwärme respektive für die Aufbereitung von Warmwasser einen hohen Stand der Technik erreicht. Die Zuverlässigkeit und die Verfügbarkeit sind mindestens so gut wie diejenigen von Öl- und Gaskesseln. 2005 war die Wärmebereitstellung mittels WP in der Schweiz mit einem Marktanteil von 25 % Nr. 3 nach Gas- (35 %) und Ölkessel (38 %). In der Schweiz waren Ende 2004 rund 87 000 WP mit einer thermischen Leistung von 1 335 MW in Betrieb, deren Jahresproduktion rund 2 200 GWh Nutzwärme erreicht. Der Stromverbrauch lag bei 700 GWh, was 1,3 % des Landesverbrauches entspricht oder 5-mal weniger als Elektro-Widerstandsheizungen. Das Potenzial bleibt aber weiterhin bedeutend: gemäss Volkszählung 2000 sind rund 800 000 Ölkessel, 200 000 Gaskessel und 170 000 Elektro-Heizungen in Betrieb. Weltweit sind über 100 Millionen Heizungen durch Wärmepumpen ersetzbar.

## Technische und ökonomische Ziele

Grundsätzlich basieren heute alle WP auf der gleichen Technologie. Um das Potenzial auszuschöpfen, braucht es verschiedene Technologien, welche den Bedürfnissen der weiteren Marktsegmente entsprechen. Beispiel: Der neue Scroll-Kompressor mit Zwischeneinspritzung (von Copeland im Jahre 2005) ist heute Teil des Sanierungsmarkts. Das Projekt wurde durch das BFE initiiert und mitfinanziert.

Für bestehende Gebäude muss die Erschliessung von Wärmequellen einfacher, schneller und günstiger werden. Für Sanierungen müssen innert 10 Jahre die Kosten des gesamten Systems halbiert werden. Für die zukunftsfähigen Gebäude (Minergie-P, Passivhaus) fehlen zum Teil noch optimale

neue Systeme, insbesondere für kontrollierte Lüftungen. Die Mehrfach-Nutzungen (Heizen, Kühlen, Warmwasser, Wärmerückgewinnung, Entfeuchten) nehmen an Bedeutung zu und brauchen entsprechende neue, kompakte und optimierte Systeme.

Die Forschungsschwerpunkte bis 2011 lauten daher: Steigerung der Effizienz, Systemoptimierung und Standardisierung. Die quantitativen Ziele sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

	1985	1995	2008	2025	2050
<b>Wärmequelle Luft; Jahresarbeitszahl im Feldbetrieb</b>					
Neubau	2,0	2,5	3,2	5,0	7
Sanierung	1,5	2,2	3,0	4,0	6
Warmwasser	1,5	2,0	2,7	4,0	6
<b>Wärmequelle Erdreich und Gewässer; Jahresarbeitszahl im Feldbetrieb</b>					
Neubau	2,2	3,0	4,5	6,0	8
Sanierung	2,0	2,8	3,5	5,0	7
Warmwasser	1,5	2,5	3,0	5,0	6

Tabelle: Kennzahlen zur angestrebten Effizienzsteigerung von Wärmepumpen

## Mittelbedarf bis 2011

Die heutigen Forschungsanstrengungen von rund 2 Mio. Fr. sind angesichts der Bedeutung und des Potenzials bescheiden und daher bis im Jahr 2011 auf 6 Mio. Fr. jährlich zu steigern. Zudem müssen die P+D-Mittel im Bereich von 3 Mio. Fr. gehalten werden.

## SCHWERPUNKTE DER FORSCHUNG 2008 BIS 2011

### Steigerung der Effizienz

- Übergang zu neuen Technologien: neue Kreisprozesse (überkritisch, mehrstufig, lastabhängig), neue Kältemittel, magneto-kalorischer Effekt.
- Entwicklung von Schlüssel-Komponenten, insbesondere für hohe Temperaturen (Kompressor, Expansionsventil, Verdampfer).
- Grundlagen für den Einsatz zweiphasiger Stoffe in der Wärmespeicherung und -verteilung.

### Systemoptimierung

- Ganzheitliche Betrachtung vom System Wärmequelle – Wärmepumpe – Wärmespeicherung – Wärmeabgabe zusammen mit dem Gebäude und dessen Nutzung.

- Entwicklung von Systemen für Mehrfach-Nutzung (Heizen, Warmwasser, Kühlen, Wärmerückgewinnung, Entfeuchten).

- Anpassungsfähige, auf Prognosen basierte Regelung

### Standardisierung zur Senkung der Kosten

- Erschliessung von Wärmequellen
- Neue Wege für den Einbau des Heizungssystems (plug and play). Dies gilt insbesondere für Systeme mit Mehrfach-Nutzung.
- Miniaturisierung mittels Kleinst-Kompressoren (high speed) und Mikro-Wärmetauschern (micro-channels, nano-tubes) unter 5 kW thermischer Leistung zwecks Integration in Gebäude-Elementen.

# BIOMASSE

## Ausgangslage

Die Komplexität des Bereichs Biomasse zeigt sich einerseits an der breiten Palette des Angebots von Biomasse, der Vielfalt an Umwandlungstechnologien und der Flexibilität bei den Energieprodukten (Wärme, Strom und Treibstoff). Dadurch entstehen Konkurrenz, aber auch Synergien bei der Nutzung. Das unter Berücksichtigung ökologischer Aspekte energetisch nutzbare Langfristpotenzial (bis 2040) der Biomasse liegt bei rund 126 PJ pro Jahr (Primärenergie). Heute wird jedoch lediglich knapp ein Drittel (38 PJ pro Jahr) energetisch genutzt, was einem Anteil am schweizerischen Endverbrauch von rund 4,1 % entspricht. Davon werden 92 % für Wärme, 7 % für Strom und 1 % für Treibstoffe verwendet. Die Schweizer Forschung ist sehr umsetzungsorientiert und vor allem auf den Gebieten Verbrennung, Vergasung und Vergärung international vernetzt. Die internationale Zusammenarbeit wird in Zukunft noch mehr an Bedeutung gewinnen.

## Technische und ökonomische Ziele

Schwerpunkte im Forschungsprogramm werden dort gesetzt, wo grosse ungenutzte Biomassepotenziale (Forst- und Landwirtschaft), grosse Optimierungspotenziale und bestehende Fachkompetenz genutzt und weiterentwickelt werden können. Die Biomasse soll mit maximaler Substitutionswirkung – bezüglich nicht erneuerbarer Energien – und minimaler Umweltbelastung genutzt werden. Die Weiterentwicklung heutiger und die Forschung im Bereich neuer Technologien für die effiziente, kostengünstige und umweltschonende Nutzung von Biomasse ist entsprechend voranzutreiben. Dazu sind Grundlagen für die Entwicklung von Strategien und die Identifizierung von Konkurrenz- und Synergieeffekten zwischen den verschiedenen Arten der Biomassenutzung unerlässlich. Die Biomasseforschung orientiert sich an folgenden Leitlinien:

- Maximale Ausnutzung der Primärenergie, bezogen auf die Nutzenergie

- Reduktion von Emissionen, insbesondere Luftschadstoffe
- Bereitstellung von Nutzenergie mit hoher Wertigkeit (Exergie), wo möglich und sinnvoll.
- Förderung von möglichst einfachen und kostengünstigen Technologien mit hoher Verfügbarkeit.
- Schliessen von Stoffkreisläufen

Das Vorantreiben der Forschung bei den entsprechenden Konversionstechnologien ist in folgender Tabelle dargestellt.

	2008	2025	2050
Wärme	↗	→	↘
Strom	↗	↗	↗
Treibstoff	↗	↗	↗
Konversionstechnologien			
	Wärme	Strom	Treibstoff
Verbrennung	✓	✓	
Vergasung	✓	✓	✓
Pyrolyse			✓
Abpressen/Extraktion/ (Veresterung)	(✓)	(✓)	✓
Alkoholische Fermentation			✓
Anaerobe Vergärung	✓	✓	✓

**Tabelle:** Angestrebte Entwicklung bei der Nutzung von Biomasse und dazugehörige Konversionstechnologien

## Mittelbedarf bis 2011

Das Programm konzentriert sich auf die effiziente Umwandlung von Biomasse zu Wärme, Strom und Treibstoff. Es soll dazu beitragen, das mittelfristige Ziel einer Verdoppelung der heutigen energetischen Nutzung von Biomasse in der Schweiz zu erreichen. Es ist angezeigt, die Forschungsanstrengungen von heute rund 5 Mio. Fr. bis im Jahr 2011 auf 11 Mio. Fr. pro Jahr zu steigern. Angemessen ist es, davon 3 Mio. Fr. pro Jahr in die Umsetzung (P+D-Anlagen) fliessen zu lassen. Die Zusammenarbeit mit den umliegenden Ländern ist zu verstärken.

## SCHWERPUNKTE DER FORSCHUNG 2008 BIS 2011

### Systemoptimierung und -integration

- Verbesserung der Effizienz des Gesamtsystems (Wirkungsgrade, Ausnutzung der Biomasse).
- Reduktion von Emissionen (z. B. Partikel, NO<sub>x</sub>, Ammoniak etc.).
- Kostensenkung (z. B. durch Systemintegration oder Nutzung von Synergien).
- Umfassende Bewertung der Wertschöpfungskette von Biomassepfaden

### Qualitätssicherung

- Grundlagen für Massnahmen zur Qualitätssicherung marktreifer Verfahren und Technologien.
- Standardisierungen

### Neue Verfahren und Technologien

- Entwicklung neuer Verfahren und Technologien
- Erprobung im Labor und Upscaling
- Umsetzung, wissenschaftliche Begleitung, Messung und Auswertung.

# WASSERKRAFT

## Ausgangslage

Gemäss international gebräuchlicher Definition liegt die Grenze zwischen Klein- und Grosswasserkraft bei 10 MW. Öffentliche Forschung auf dem Gebiet der Grosswasserkraftwerke wird heute im Rahmen von Innovationsprojekten (KTI) oder für sicherheitsrelevante Fragen (BFE) betrieben. Kleinwasserkraftwerke fördert der Bund seit 1992 und seither wächst deren Beitrag zur Stromproduktion stetig. Über 1000 Anlagen produzieren jährlich 3400 GWh Strom, das sind gut 5 % der Schweizer Stromproduktion. Weltweit steigt die installierte Leistung jährlich um ca. 10000 MW und hat gegenwärtig 760 TW erreicht.

Die Wasserkraft-Industrie war über Jahrzehnte eine wichtige Exportbranche mit klingenden Namen wie Bell, Escher-Wyss, Ateliers mécaniques de Vevey, BBC und Sulzer. Nach deren Niedergang bleibt der Schweiz ein eigentlicher Cluster von kleinen und grösseren Firmen in den Bereichen Planung, Engineering, Turn-Key-Anlagen, Trinkwasserkraftwerke, Rehabilitierungen, Laufradbeschichtungen und Stahlwasserbau erhalten.

Angesichts der Lage der Schweiz als Alpen- und Wasserkraftland par excellence muss es neben der Erschliessung der noch vorhandenen Potenziale ein wichtiges Anliegen sein, diesen Cluster zu stärken. Bei der Grosswasserkraft ist es notwendig, das Know-how zu erhalten und noch mögliche Verbesserungen im Kraftwerkpark vorzunehmen. Auch werden Projekte mit sich entwickelnden Ländern durchgeführt, was für die Forschung neue Fragestellungen aufwirft.

## Technische und ökonomische Ziele

Da die Standorte für grosse Wasserkraftwerke in der Schweiz schon sehr gut genutzt sind, muss das Produktionswachstum zunehmend durch Betriebsoptimierungen so-

wie kleinere Anlagen, die höherem Kostendruck ausgesetzt sind, getragen werden.

**Schlanke, manchmal auch unkonventionelle Lösungen** machen viele Projekte erst möglich oder können die Wirtschaftlichkeit bestehender Anlagen verbessern, besonders bei den kostensensitiven Niederdruckkraftwerken.

Auch im weit erforschten Gebiet der hydraulischen Maschinen sind **Innovationen** möglich, beispielsweise durch vereinfachte Bauweisen, wesentlich bessere Simulationsmöglichkeiten und teilweise auch neue Materialien.

Für die **Akzeptanz** von neuen Anlagen oder von Anlagen, die wieder in Betrieb genommen werden, sind neue und wirkungsvolle ökologische Begleitmassnahmen zu untersuchen.

	2008	2025	2050
Trinkwasserkraftwerke, Infrastruktur-, Industrieanlagen	12	10	9
Erneuerung Kleinstkraftwerke	14 – 22	12 – 15	11 – 13
Erneuerungen 1 bis 10 MW	10	10	10
Bau neuer Anlagen	15	22	30

**Tabelle:** Gestehungskosten in Rp./kWh, Basis 2007

## Mittelbedarf bis 2011

Um bei den Kleinkraftwerken innovative Lösungen zur Erschliessung der noch vorhandenen Potenziale zu entwickeln und bei Grosskraftwerken die Kenntnisse weiter auszubauen, ist eine Erhöhung der Mittel von heute 3,5 Mio. Franken auf 7 Mio. Franken pro Jahr seitens der öffentlichen Hand gerechtfertigt. Ein Drittel davon sollte mit Pilot- und Demonstrationsprojekten verknüpft sein.

## SCHWERPUNKTE DER FORSCHUNG 2008 BIS 2011

### Wasserbau, Maschinenbau

- Optimierte Turbinenkonzepte: Standardbauarten, Ein-fachbauarten, Lösungen für geschlossene Systeme (Trinkwasser und Industrieanlagen).
- Offene Niederdruckmaschinen, überflutete Anlagen, Freiluftanlagen, Containerkraftwerke, Lösungen mit minimalen Tiefbaueingriffen.

### Systemoptimierung und -Integration

- Simulationstools
- Lösungen und Standards für Betriebsoptimierung und Fernbetrieb, integrierte Leitsysteme.
- Methoden zur Druckstossprävention
- Neue Komponenten wie Umrichter, wartungsfreie Aktuatoren und Rechen, ausfallsichere Sensoren.

- Pumpspeicherkraftwerke zur Betriebsoptimierung und Nutzung von Synergieeffekten mit andern (regenerativen) Energieträgern.

### Ökologische Begleitmassnahmen

- Optimierte Fischaufstiege
- Integration in Renaturierungsprojekte
- Schwall-, Sunk- und Restwasserproblematik

### Rahmenbedingungen

- Verfeinerung der Bestandes- und Potenzialdaten
- Einfluss des Klimawandels

### Qualitätssicherung

- Risikobeurteilungen
- Best Practice Leitlinien

# GEOHERMIE

## Ausgangslage

Der Begriff geothermische Energie umfasst mehrere Ressourcen, welche sich bezüglich Nutzung und Entwicklungsstand stark unterscheiden. Die Technik der **Erdwärmesondenanlagen (EWS)** ist heute ausgereift und die Systeme können sich am Markt behaupten. Im Jahr 2005 wurden rund 800 000 m Erdwärmesonden abgeteuft. Der Markterfolg der EWS zeigt, dass die Forschungsbedürfnisse dieser Technik weitgehend abgedeckt sind. Die Unterstützung zielt deshalb primär auf grosse und komplexe Anlagen, insbesondere für kombiniertes Heizen und Kühlen.

Die **hydrothermalen Quellen** sind im Gegensatz zu den EWS nur in speziellen Gebieten verfügbar. Je nach Temperatur des Wassers kann die Wärme direkt zu Heizzwecken genutzt werden, bei sehr günstigen Verhältnissen ist auch eine Stromproduktion möglich. Wegen der geringen Zahl bisher realisierter Projekte besteht für die Forschung sowie auch für Pilotanlagen ein substantieller Bedarf.

Die dritte grosse Kategorie, die **Enhanced Geothermal Systems (EGS)** hat in der Schweiz und weltweit ein sehr grosses Potenzial. Deshalb wird bereits seit mehreren Jahren geforscht, was nun zu einem ersten Pilotprojekt – Deep Heat Mining (DHM) in Basel – geführt hat. Wichtig ist auch die internationale Vernetzung beispielsweise durch die Mitwirkung von Schweizer Forschern am europäischen EGS-Projekt in Soultz-sous-fôrets (F). Die Gewinnung von Wärme aus einem in 5000 m Tiefe liegenden Felsvolumen ist eine enorme Herausforderung und erfordert Kenntnisse aus den verschiedensten Disziplinen.

## Technische und ökonomische Ziele

Markterfolg und Kostendruck bei den EWS bedingen Instrumente zur **Qualitätssicherung**. Bei komplexen EWS-Anla-

gen zum Heizen und Kühlen sind **Verbesserungen der Effizienz und Wirtschaftlichkeit** ein wichtiges Ziel.

Bei hydrothermalen Quellen soll eine **Verbesserung der Datenbasis** zu einer Reduktion des Fündigkeitsrisikos führen. Neue Nutzungsprojekte sollen Erfahrungen erweitern. Bei der Stromproduktion aus geothermischer Niedertemperatur-Wärme birgt die **Umwandlungstechnologie** ein grosses Optimierungspotenzial (Effizienz (+ 15 %) und Wirtschaftlichkeit).

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

	2008	2025	2050
Bohrkosten für untiefe EWS [Fr./m]	70	50	35
Stromgestehungskosten EGS [Rp./kWh]	25	15	<10
(Pilot-)Anlagen EGS und hydrothermal [-]	(1), [1] beide in Vorbereitung	5 [4]	> 50 [10]
Stromproduktion EGS und hydrothermal [GWh/a]	0	250	> 5000
Status EGS-Technologie	F+E, P+D-Anlagen	Markteinführung	Grossanlagen

**Tabelle:** Angestrebte Entwicklung der Geothermie

## Mittelbedarf bis 2011

Das Potenzial der tiefen geothermischen Energie (EGS und hydrothermale Quellen) muss mit Hilfe von Pilotanlagen verifiziert werden. Für Vor- und Machbarkeitsstudien sowie für die wissenschaftliche Begleitung dieser Pilotanlagen sind die Forschungsmittel auf 2 Mio Fr. pro Jahr aufzustocken und die Mittel für P+D-Projekte wieder auf 2 Mio. Franken jährlich auszubauen.

## SCHWERPUNKTE DER FORSCHUNG 2008 BIS 2011

### Erdwärmesonden und Geostrukturen

- Verfahren zur Beurteilung von Anlagen (z. B. Response tests, Validierung von Modellen).
- Untersuchungen über langfristiges Verhalten von EWS, Betriebserfahrungen, Erfolgskontrollen.
- Unterstützende Untersuchungen zur Verbesserung von Effizienz und Wirtschaftlichkeit von Anlagen.

### Enhanced Geothermal Systems (EGS)

- Reservoir-Engineering: Stimulationsverfahren, Verbesserung des Massenflusses, Analyseverfahren (Mikroseismik), Reservoir-Modellierung.
- Wissenschaftliche Auswertung von Erfahrungen und Messergebnissen des Pilotprojekts DHM Basel, insbesondere auch der durch Aufbrechen induzierten seismischen Ereignisse.

- Systemtechnik: optimierte thermodynamische Prozesse, Kombi- und Hybridsysteme, innovative, effiziente Pumpverfahren.

- Hochtemperatur-Messinstrumente
- Prozesse mit direkter Wärmenutzung
- Evaluation zukünftiger Anlagestandorte

### Hydrothermale Quellen und Tunnelwässer

- Bestandesaufnahme und Analyse von verfügbaren Daten über Aquifere mit geothermischem Potenzial.
- Evaluation möglicher Projektstandorte
- Optimierung von Niedertemperatur-Prozessen für die Stromerzeugung.
- Untersuchen neuer Nutzungsmöglichkeiten von Niedertemperatur-Wärme (z. B. Tunnelwasser).
- Auswertung von Betriebserfahrungen

# WINDENERGIE

## Ausgangslage

Weltweit hat sich die installierte Leistung von Windenergieanlagen zwischen Ende 1999 und Ende 2004 von 13 000 auf 47 317 MW mehr als verdreifacht. Diese Anlagen liefern 91,7 TWh Elektrizität bei gleichzeitiger Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen um jährlich über 68 Mio. t. Die Windenergie-Industrie setzt rund 8 Mrd. Euro um, 84 % davon in Europa. Ende 2005 waren in der Schweiz 31 Windkraftanlagen installiert mit einer Gesamtleistung von 11,59 MW, welche rund 13 GWh pro Jahr erzeugen. In der Schweiz hat sich eine Zulieferindustrie entwickelt, welche international agiert und jährlich ca. 170 Mio. Franken umsetzt. Die Schweizer Forschung ist vor allem auf dem Gebiet von Anlagen im Gebirge und an unzugänglichen Standorten international vernetzt.

## Technische und ökonomische Ziele

Heute sind technisch ausgereifte Windkraftanlagen mit Leistungen von 500 W bis 5 MW für Standardbedingungen auf dem Markt. Im Vordergrund der Forschung stehen daher:

- **Erhöhung der Akzeptanz** für Windenergie unter Einbezug sozial- und umweltwissenschaftlicher Kompetenz und damit Verkürzung der Projektrealisierungsdauer.
- **Erhöhung der Verfügbarkeit und des Energieertrages** von Windkraftanlagen an extremen Standorten (Klima, Turbulenzen, Logistik).
- **Entwickeln von Anlagekomponenten** (Sensorik, Nano-Technologie) für die Nutzung von Windenergie unter spezifisch schweizerischen Verhältnissen durch einheimische Industrie.
- **Erhöhung des «Wertes» der Windenergie**, Optimierung der Integration von Windkraftanlagen in die Stromversorgung (Forecasting, Regelenergie).

	2008	2025	2050
<b>Planungszeit/Akzeptanz</b>			
Projektierung (Jahre)	2–7	1–2	< 1
<b>Verfügbarkeit/Energieertrag</b>			
Verfügbarkeit	95 %	98 %	> 98 %
Vollaststunden [h] für Anlagen > 100 kW an Standorten > 5 m/s	1100	1300	1600
<b>Gestehungskosten [Rp./kWh]</b>			
Kosten Elektrizitätserzeugung in CH	12–20	12–15	11–13
Kosten Elektrizitätserzeugung in der EU	6–12	4–10	3–9

**Tabelle:** Kennzahlen zur angestrebten Entwicklung der Windenergie

Ergänzend sollen mit Pilot- und Demonstrationsprojekten die nichttechnischen Hemmnisse zur stärkeren Marktdurchdringung der Windenergie reduziert und die Lücke zwischen eigentlichen Forschungsaktivitäten und der Anwendung in der Praxis geschlossen werden.

## Mittelbedarf bis 2011

Vor dem Hintergrund des grossen Marktes und der intakten Geschäftsmöglichkeiten für schweizerische Unternehmen sind die Forschungsaufwendungen auf 2 Mio. Franken pro Jahr zu erhöhen und Mittel für P+D-Projekte von rund 1 Mio. Fr. pro Jahr bereitzustellen. Eine Reihe von Aspekten (z.B. in den Bereichen Akzeptanz und Energiewirtschaft) sind zusammen mit dem Programm Energiewirtschaftliche Grundlagen zu behandeln.

## SCHWERPUNKTE DER FORSCHUNG 2008 BIS 2011

### Anlagen(-komponenten)

- Reduktion der Lasten mit neuen Werkstoffen und «intelligenten» Rotorblättern.
- Erhöhung des Energieertrags bei tiefen Windgeschwindigkeiten.
- Verbesserung der Leistungselektronik/Sensorik.
- Einsatz der Nano-Technologie gegen Verschmutzung und Vereisung.

### Kompetenzausbau «Windenergie in kaltem Klima»

- Erarbeiten Planungs-Know-how für Standorte mit höherer Turbulenzintensität, tiefen Temperaturen und aufwendiger Logistik (u. a. im Gebirge).
- Optimierung der Windmodellierung in komplexen Terrain respektive bei hoher Bodenrauigkeit.
- Tests an extremen Standorten.

- Auswertung von Betriebserfahrungen, Empfehlungen
- Entwicklung von Risk-Management-Standards für Windenergieprojekte.

### Energiewirtschaft

- Fore- und Nowcasting der Energieproduktion aus Wind zur optimalen Netzbewirtschaftung.
- Netzregulierung mit hohem Anteil an Windenergie – im Zusammenspiel mit Wasserkraft.
- Optimierung der Bedingungen für intermittierende Produktionsanlagen im Netz.

### Akzeptanz

- Ermitteln von Erfolgsfaktoren und -strategien, unter Berücksichtigung von Landschafts- und Umweltschutz.
- Lokale Planungsprozesse, soziale Akzeptanz.
- Öffentliche Beteiligungsmodelle.

## 5.3 Kernenergie

### KERNTECHNIK UND NUKLEARE SICHERHEIT

#### Ausgangslage

Nukleare Energieforschung in der Schweiz (Kernspaltung) findet praktisch ausschliesslich am Paul Scherrer Institut (PSI) statt. Erarbeitet werden Beiträge zum sicheren Betrieb der heutigen schweizerischen Kernkraftwerke, innovative Sicherheitskonzepte, optimale Nutzung der Kernbrennstoffe und langfristige Lösungen für die Entsorgung radioaktiver Abfälle. Dies wird ergänzt durch exploratorische Forschung für Hochtemperatur-Materialien und Neutronik schneller Reaktoren, welche für zukünftige, nachhaltige Kernkraftwerke wichtig sind, wie jene, die im Rahmen der internationalen Generation-IV-Initiative angegangen werden. Dieses Programm in Richtung effizienter und sicherer Energiesysteme verlangt langfristig gesicherte Expertise zu Fragen komplexer, grossmassstäblicher Systeme. Es basiert wesentlich auf den Grossanlagen des PSI.

#### Technische und ökonomische Ziele

Auf dem Gebiet der **Sicherheit heutiger Kernkraftwerke** hat die Alterungsfrage der Schweizer Kernanlagen Untersuchungen angestossen, welche auf die Entdeckung von ermüdungs- und korrosionsinduzierten Rissen in einem frühen Stadium ihrer Entstehung zielen. Ferner stellt sich die Fra-

ge der Bestimmung von Spannungsrissskorrosion unter Betriebsbedingungen von Kernkraftwerken. Wichtig sind auch Untersuchungen des Verhaltens von Kernmaterialien.

Auf dem Gebiet der **Entsorgung radioaktiver Abfälle** gilt es, die wissenschaftliche Basis zu stärken. Dies beinhaltet auch Arbeiten auf dem Gebiet der Transmutation.

Auf dem Gebiet **zukünftiger Reaktorsysteme** geht es um die Bestätigung von Auslegungsmerkmalen passiver Sicherheitssysteme für fortgeschrittene Leichtwasser-Reaktoren sowie von inhärent sicheren gasgekühlten Reaktoren.

#### Mittelbedarf bis 2011

Kernenergie bleibt eine Option in der schweizerischen Energieversorgung. Die Forschung des PSI soll weiterhin im Konzept des sogenannten schweizerischen nuklearen Dreibeins, welches die Sicherheitsbehörde, die Kernkraftwerksbetreiber und die PSI-Forscher umfasst, weitergeführt werden. Die Mittel der öffentlichen Hand von heute 16 Mio. Fr. pro Jahr (ohne Anteil für regulatorische Forschung) sind in der gleichen Grösse weiterzuführen.

#### SCHWERPUNKTE DER FORSCHUNG 2008 BIS 2011

##### Sicherheit heutiger Kernkraftwerke

- Nachbestrahlungsuntersuchungen nuklearer Brennstoffe (Keramiken und Brennstoffhüllen).
- Analyse von Schäden und Identifikation der Versagensursachen.
- Messung reaktorphysikalischer Grunddaten von modernen, komplexen Brennstoffbündeln für Validierung von Neutronik-Codes und Reduktion von Rechenunsicherheiten.
- Entwicklung, Betrieb und Unterhalt kompletter Codesysteme (Neutronik gekoppelt mit Thermohydraulik und Brennstoffverhalten).
- Aufstellung einer Datenbank für Sicherheitsanalysen (Transientenanalysen, Modellierung des Brennstoffverhaltens) aller Schweizer Kernkraftwerke.
- Verhalten von Aerosolen und Jodchemie (z.B. nach schweren Unfällen).
- Erhalt der Expertise zu probabilistischen Sicherheitsanalysen (PSA), und genauer zur Analyse menschlicher Zuverlässigkeit.

##### Entsorgung radioaktiver Abfälle

- Studium fundamentaler Chemiefragen unter Endlagerbedingungen, Chemie und Physik der Radionuklide an geologischen Schnittflächen sowie Transport von Radionukliden.
- Analysen zur Lösung grundlegender geochemischer Probleme.
- Charakterisierung der chemische Bindung von Radionukliden an natürliche Mineralien.

##### Zukünftige Reaktorsysteme (Generation III und IV)

- Grossmassstäbliche Tests und Separateffekt-Tests zu Containment-Phänomenen (Blasenströmungen, Mischung, Stratifizierung etc.).
- Implementierung von Computer Fluid Dynamics (CFD) Codes.
- Anwendung heutiger experimenteller Möglichkeiten auf Transienten und Containment-Fragen in gasgekühlten Reaktorsystemen.
- Charakterisierung geeigneter Werkstoffe für den Einsatz unter hohen Temperaturen und Neutronenfluenzen in zukünftigen Reaktorsystemen.
- Kompetenz bezüglich Sicherheitsanalysen von nuklearen Systemen mit schnellen Neutronenspektren reaktivieren.

## REGULATORISCHE SICHERHEITSFORSCHUNG (RESSORTFORSCHUNG)

### Ausgangslage

Im Rahmen der regulatorischen Sicherheitsforschung ver- gibt und koordiniert die Hauptabteilung zur Sicherheit von Kernanlagen (HSK) Forschungsaufträge, um im öffentlichen Interesse den aktuellen wissenschaftlich-technischen Kenntnisstand zu ermitteln, zu erweitern und für die Aufgaben der Aufsicht verfügbar zu machen. Als Auslöser für Forschungsprojekte kommen konkrete sicherheitstechnische Fragestellungen aus bestehenden Anlagen sowie generische sicherheitsrelevante Probleme und Phänomene der nuklearen Sicherheit in Frage. Die regulatorische Sicherheitsforschung deckt so die spezifischen Bedürfnisse der gesetzlichen Aufsicht ab und grenzt sich von der Sicherheitsforschung ab, welche daneben auch rein wissenschaftliche und kommerzielle Zielsetzungen verfolgt.

Bei der Konkretisierung der Forschungsvorhaben setzt die HSK auf die internationale Zusammenarbeit und nutzt mögliche Synergien. Ein gegenseitiger Austausch von Erfahrung und Wissen schafft auch hierzulande die notwendigen Kompetenzen, um die Sicherheitsaufsicht auf hohem Niveau wahrzunehmen. Die regulatorische Sicherheitsforschung wird zum Grossteil verknüpft mit den Arbeiten zur Kerntechnik und nuklearen Sicherheit des PSI.

### Technische und ökonomische Ziele

Trotz des Verzichts auf die Festlegung von Restbetriebszeiten im Kernenergiegesetz wird die Stilllegung der heute bestehenden Kernanlagen in absehbarer Zeit erfolgen. Die HSK muss in diesem Umfeld die Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben für den Betrieb überwachen, das Alterungsverhalten der schweizerischen Kernanlagen bewerten und die Stilllegung begleiten. Insbesondere die Festlegung des Zeitpunktes der Ausserbetriebnahme und der Umgang mit Sicherheitsfragen und Investitionen während den letzten Betriebsjahren werden die HSK in Zukunft vermehrt beschäftigen. Aufgrund dieser Herausforderungen liegen die Schwerpunkte in folgenden Forschungsthemenbereichen:

**Werkstoffforschung:** Der Reaktordruckbehälter und das Containment eines bestehenden Kernkraftwerks können nicht ausgetauscht werden. Ihr Zustand ist demnach der aus

sicherheitstechnischer Sicht wichtigste limitierende Faktor für die Gesamtlebensdauer des Kraftwerkes. Mit Nachweismethoden soll gezeigt werden, ob in sämtlichen Betriebsarten jederzeit ausreichende Sicherheitsmargen bestehen.

**Zusammenwirken von Mensch, Organisation und Technik:** Es ist der HSK im Rahmen ihrer integrierten Aufsichtsstrategie wichtig, Kernanlagen als Systeme zu betrachten und neben den technischen Sicherheitsvoraussetzungen auch den menschlichen und organisatorischen Voraussetzungen die erforderliche Aufmerksamkeit zu schenken. Die Schwierigkeit besteht darin, dass nur wenige harte Anforderungen und klare Bewertungsmaßstäbe existieren.

**Fragestellungen im Zusammenhang mit der Entsorgung der radioaktiven Abfälle:** Der Bund hat sich das strategische Ziel gesetzt, für die Entsorgung politisch tragfähige Lösungen zu suchen. Die Aufgabe der HSK in diesem Prozess besteht darin, die vorgeschlagenen Lösungen auf ihre Sicherheit hin zu bewerten.

**Sicherheitstechnologie neuer Kernreaktoren:** Die Inbetriebsetzung neuer Kernreaktoren der Generation III+ ist in Europa innert weniger Jahre zu erwarten. Neue Konzepte wie passive Sicherheitssysteme und neue Technologie wie der Core Catcher zur Rückhaltung eines geschmolzenen Kerns im Containment kommen bereits bei dem in Finnland im Bau befindlichen und in Frankreich geplanten fortschrittlichen Druckwasserreaktor European Pressurized Reactor (EPR) zur Anwendung. Die HSK hat die Sicherheit neuer Reaktoren, aber auch für die Verwendung neuer Sicherheitstechnologien zur Verbesserung bestehender Kernanlagen zu bewerten.

### Mittelbedarf bis 2011

Von der regulatorischen Sicherheitsforschung profitiert auch die Elektrizitätswirtschaft (Verlängerung der Laufzeiten, Verringerung der Sicherheitsmargen). Sie ist denn in der Regel auch Mitfinanziererin der Projekte. Um die Unabhängigkeit der Forschung zu gewährleisten, sind adäquate Bundesmittel jedoch unabdingbar. Der gegenwärtige Aufwand von 7 Mio. Fr. pro Jahr ist deshalb beizubehalten.

### SCHWERPUNKTE DER FORSCHUNG 2008 BIS 2011

#### Werkstoffe in Primärkreislauf und Containment

- Verhalten unter extremen Bedingungen
- Früherkennung von Materialfehlern

#### Mensch, Organisation, Technik

- Studien zur Festsetzung von Anforderungen und Bewertungsmaßstäben

#### Entsorgung radioaktiver Abfälle

- Entwicklung von verbesserten Methoden für die Analyse von Sicherheit und Szenarien

#### Neue Kernreaktoren

- Entwicklung von Analysemethoden neuer Sicherheitstechnologien

# KERNFUSION

## Ausgangslage

Mit ITER will die internationale Fusionsforschung die technologische Machbarkeit der Fusionsenergienutzung unter Beweis stellen. Anschliessend soll DEMO bis spätestens Mitte des Jahrhunderts die kommerzielle Nutzbarkeit belegen. Parallel zum Bau von ITER soll die Versuchsanlage der EPFL bis mindestens 2013 genutzt werden, um Konzepte, Komponenten und Systeme hinsichtlich einer ITER respektive DEMO-Nutzung zu prüfen und weiter zu optimieren. Insbesondere im Bereich der Untersuchung des magnetischen Plasmaeinschlusses sowie gewisser Kerntechnologien (Energieeinkoppelung, Supraleitung und Materialwissenschaften) ist die Schweizer Fusionsforschung tätig.

## Technische und ökonomische Ziele

Mit dem Bau von ITER wird ein konstruktiver und technologischer Scale-up realisiert. Die rund 20-jährige Betriebszeit soll zur wissenschaftlichen und technologischen Optimierungen im Hinblick auf DEMO genutzt werden. Die technischen Meilensteine in der Realisierung von ITER umfassen fast alle Komponenten eines Fusionsreaktors, so z. B. Plasmavolumen, Energieeinkopplung, Supraleitung inkl. Kryotechnik, ferngesteuerte Wartung, Mess- und Regeltechnik und Materialien. Die Schweiz wird vor allem die Erzeugung und Steuerung des Plasmas, die Supraleitung sowie die notwendigen Materialien weiter erforschen. Mit den Beiträgen in diesen hochtechnologischen Nischen wird auch die Schweizer Industrie in der Mitarbeit an ITER einen nicht unerheblichen Technologietransfer erfahren. Die spezifischen Schwerpunkte der Forschung in der Schweiz sind:

- **Theoretische Arbeiten** zum Verständnis von Turbulenzen und Störungen im TOKAMAK-Plasma.
- **Materialforschung** für die Ausstattung der strukturellen und strahlungsbelasteten Komponenten.

- **Magnetischer Einschluss** (Supraleiter inklusive Kryotechnik).
- **Heizung des Plasmas** mit Hilfe externer Energieeinkoppelung.
- **Mess- und Regeltechnologie** für den kontinuierlichen Betrieb eines Fusionsreaktors.

Meilensteine in der Fusionsforschung [ $P_{FUS}$ ]	
1991	1,7 MW
1994	10 MW
1997	16 MW
2015–2020 (ITER)	500–700 MW
2035–(DEMO)	2000–2500 MW ( $P_{elektrisch} = 750–1000$ MW)

**Tabelle:** Fortschritte der Fusionsforschung.

Wichtigste Kennzahlen von ITER	
Totale Fusionleistung $P_{FUS}$	500 MW
Leistungsverstärkung Q (= $P_{FUS}/P_{Heizung}$ )	> 10
Reaktorhöhe x Reaktordurchmesser	26 x 29 m
Plasmavolumen	837 m <sup>3</sup>

**Tabelle:** ITER stellt einen Quantensprung aus technischer wie auch physikalischer Sicht dar.

## Mittelbedarf bis 2011

Dank der bisher erarbeiteten Erfolge kann sich die Schweiz auch weiterhin in signifikanter Weise in die europäische Fusionsforschung einbringen. ITER stellt eine einmalige Möglichkeit für die Schweizer Industrie dar, ihre Kompetenzen über Auftragsvergaben und Technologietransfer zu stärken. Auf Grund der angestrebten Ziele sollten die finanziellen Mittel von heute 25 Mio. Fr. pro Jahr beibehalten werden, wobei der Rückfluss von Mitteln aus der EU zu maximieren ist.

## SCHWERPUNKTE DER FORSCHUNG 2008 BIS 2011

### Grundlagen

- Arbeiten zur Vertiefung der Kenntnisse in der Plasma-physik. Aktive Teilnahme an JET-Studien sowie Optimierung des japanischen supraleitenden TOKAMAK. Ziel: Vorbereitung des ITER-Betriebes.

### Technologie

- Weiterentwicklung der externen Energieeinkopplung über Electron Cyclotron Radiation Heating (ECRH) und Entwicklung eines Prototyps des so genannten Upper Launcher. Ziel: Bereitstellung der ECRH inkl. Antennen gemäss ITER-Spezifikationen.
- Prüfverfahren für die ITER-Supraleiter. Ziel: Vollständige

Qualitätssicherung der ITER-Supraleiter sowie Entwicklung von Supraleiter für DEMO.

- Weiterentwicklung von Regelmechanismen und Diagnosekomponenten für ITER. Ziel: Mess- und Regelsystem für quasikontinuierlichen Betrieb.
- Untersuchung von Oberflächen betreffend Plasmaresistenz. Ziel: Entwicklung von plasmaresistenten Oberflächen (wichtig im Betrieb).
- Materialien, welche den strukturellen und strahlungsbedingten Anforderungen eines Fusionsreaktors standhalten; Mitarbeit an Konzeption und Realisierung der International Fusion Material Irradiation Facility (IFMIF). Ziel: Grundlagen für die Small Sample Test Prozedur.

## 5.4 Energiewirtschaftliche Grundlagen

### Ausgangslage

Im Bereich Energiewirtschaftliche Grundlagen wird aufgezeigt, mit welchen energiepolitischen Instrumenten und mit welchen volkswirtschaftlichen Konsequenzen eine sichere und nachhaltige Energieversorgung im Sinne der 2000-Watt-Gesellschaft erreicht werden kann. Das Forschungsprogramm ist in die beiden Bereiche Ressort- und Grundlagenforschung aufgeteilt, wobei der Übergang zwischen beiden Bereichen fließend ist.

Die energiepolitische Ressortforschung befasst sich insbesondere mit den wirtschaftlichen und sozialen Fragen der Gewinnung, Verteilung und Nutzung von Energie, welche das Bundesamt für Energie bei der Ausgestaltung seiner Massnahmen berücksichtigen muss.

### Zielsetzungen der Grundlagenforschung

Die Methodenentwicklung für die Modellierung, die Frage des individuellen und gesellschaftlichen Verhaltens und der Wirkung von energiepolitischen Massnahmen, sowie das bessere Verständnis der Innovationsprozesse im Energiebereich sind Ziele der Schweizer Grundlagenforschung im Bereich EWG, die international abgestimmt bearbeitet werden. Konkret stehen folgende Forschungsthemen an:

Die bestehenden **Modelle** sind zu hinterfragen und deren Aussagekraft gezielt zu verbessern. Dazu sollen die Modelle gezielt weiter entwickelt werden: einerseits sollen neue Faktoren wie Technologiefortschritt eingebaut werden (Endogenisierung); andererseits sollen die technischen Energiesystemmodelle (bottom-up Modelle) mit den ökonomischen Gleichgewichtsmodellen zusammengeführt werden. Zudem sind neue Modelle, beispielsweise für Forschungsprognosen, zu erstellen, welche den volkswirtschaftlichen Nutzen (Beschäftigungseffekte etc.) von Innovation bei Energietechnologien berücksichtigen und zu quantifizieren erlauben. Darauf basierend soll eine Methode zur volkswirtschaftlich optimalen Bewertung von Forschungsvorhaben entwickelt werden, Vorhaben welche sich an den Zielen der 2000-Watt-Gesellschaft orientieren.

#### SCHWERPUNKTE DER FORSCHUNG 2008 BIS 2011

##### Weiterentwicklung der Perspektiven-Modelle

- Kritische Hinterfragung, Verbesserung der Aussagekraft
- Verknüpfung von bottom-up und top-down Modellen
- Methode zur Bewertung von Forschungsvorhaben
- Beiträge (und Einbezug) an Ökoinventare

##### Methoden zur Prüfung der Wirksamkeit politischer Instrumente

- Akzeptanz, individuelle und gesellschaftliche Reaktion auf Instrumente und neue Technologien

Das **individuelle und gesellschaftliche Verhalten** soll zur Entwicklung neuer energiepolitischer Instrumente untersucht und bei der Gestaltung neuer Instrumente und Massnahmen gezielt berücksichtigt werden. Dabei ist auch die Beeinflussung der Akzeptanz von Instrumenten oder Technologien zu untersuchen. Neben ökonomischen Theorien spielen in diesem Bereich die Soziopsychologie sowie politologische Überlegungen eine immer grössere Rolle.

Dem so genannten Rebound-Effekt soll vermehrt Rechnung getragen werden. Unter Rebound-Effekt versteht man das Einsparen von Energie bei einer Anwendung oder Energiedienstleistung und dafür ein Mehrverbrauch bei einer zweiten Anwendung. Dies kann entweder wirtschaftliche oder soziopsychologische Gründe haben: durch Energieeinsparungen steht dem Haushalt mehr Geld für andere (Energie-)Anwendungen zur Verfügung, oder dank dem besseren Umweltbewusstsein bezüglich der ersten Anwendung darf man dafür bei der zweiten mehr «sündigen» (Gewissenskompensation).

Der **Prozess der Innovation** von der Forschung bis hin zur Etablierung im Markt soll analysiert und positiv beeinflusst werden. Dabei sind Hemmnisse zu identifizieren und Konzepte zu deren Behebung zu entwickeln. Die volkswirtschaftliche Optik steht dabei im Vordergrund. Insbesondere ist die Frage zu beantworten, unter welchen Bedingungen aus Forschungsergebnissen eine «success story» wird, welche Hemmnisse dazu führen, dass Forschungsergebnisse nicht zu Marktergebnissen führen und wie diese beeinflusst werden können. Welche Aufgabe übernehmen die privaten Akteure (Industrie, Finanzunternehmen etc.) im Innovationsprozess und welche Rolle haben dabei die staatlichen Institutionen zu spielen, um geeignete Rahmenbedingungen für Innovation und deren erfolgreiche Umsetzung zu schaffen?

#### Mittelbedarf bis 2011

Um längerfristig die notwendigen sozioökonomischen Entscheidungsgrundlagen für die Energiepolitik bereitzustellen, ist der Erhalt der jährlichen Aufwendungen von 9 Mio. Franken für die energiewirtschaftlichen Grundlagen unerlässlich.

- Soziopsychologie, Beeinflussung des individuellen und gesellschaftlichen Verhaltens (Förderung von Umweltbewusstsein, Umweltmoral; Rebound-Effekte)
- Nachhaltigkeitsbeurteilung energiepolitischer Massnahmen

##### Analyse des Umsetzungsprozesses von Forschungsergebnissen in den Markt

- Barrieren im Prozess, Massnahmen dagegen
- Rahmenbedingungen für erfolgreiche Umsetzung von Forschungsergebnissen und Verbesserung derselben.

# 6. Mittelzuteilung 2008 bis 2011

Für die Zuteilung der Mittel auf die einzelnen Forschungsgebiete, wie sie im Kapitel 5 beschrieben sind, liegen die folgenden Annahmen zugrunde (wobei das Jahr 2005 die Basis bildet):

- Trotz der angespannten Finanzlage aller Förderstellen konnte der seit 1992 anhaltende Rückgang der Mittel bei 180 Mio. Franken pro Jahr vorerst gestoppt werden. Infolge Wegfall des Grossteils der P+D-Mittel beim BFE (Sparprogramme des Bundes) ist seit 2004 erneut ein Budgeteinbruch zu verzeichnen. Durch erhöhte Anstrengungen im ETH-Bereich zeichnet sich allerdings wieder ein Anstieg ab. **Um im Jahr 2011 den Stand von 200 Mio. Franken zu erreichen, ist somit eine Erhöhung von rund 25 % der heutigen öffentlichen Fördermittel vorzusehen.** Dies entspricht einem jährlichen Anstieg von 6 %, wie er auch in der bundesrätlichen BFI-Botschaft 2008–2011 für die Forschung in der Schweiz geplant ist.
- Die bisherigen Geldgeber für die Energieforschung führen ihre Unterstützung weiter und tragen den Ausbau der Aktivitäten mit.
- Die Rückflüsse aus EU-Mitteln werden auch zukünftig mindestens den heutigen Umfang erreichen (d.h. mindestens 20 Mio. Franken pro Jahr).
- Die enge Zusammenarbeit zwischen den Förderorganen der öffentlichen Hand mit jenen der Energiewirtschaft bleibt bestehen. Die Unterstützung der Forschung durch die Programme und Fonds der Privatwirtschaft nimmt zu.
- Wie bisher wird in der Energieforschung ein **Anteil von ca. 20 % für orientierte Grundlagenforschung** als angemessen erachtet.
- Ebenfalls ein **Anteil von ca. 20 % wird für die Förderung und für die begleitende Forschung von Pilot- und Demonstrationsprojekten** angestrebt. Die BFE-Gelder werden kontinuierlich wieder aufgestockt, zudem wird ein höherer Einsatz seitens der Kantone, Gemeinden und der Privatwirtschaft erwartet. Ein Wiederaufbau der koordinierenden BFE-Tätigkeiten im P+D-Bereich ist jedoch unverzichtbar.

Die Tabelle auf Seite 37 zeigt die Zielwerte für die Mittelzuteilung im Jahre 2011 (siehe dazu auch die Figur in der Zusammenfassung Seite 5). Diese Tabelle enthält auch Vorschläge für den Fall, dass Budgetkürzungen unumgänglich sein sollten, bzw. mehr Mittel bereitgestellt werden können. Es gilt **bezüglich der Richtwerte 2011:**

Für Budgeterhöhungen:

→ Keine Erhöhung der geplanten Beiträge

↗ Mässige Zusatzfinanzierung

Für Budgetkürzungen:

→ Keine Senkung der geplanten Beiträge

↘ Massvolle Herabsetzung der Planungswerte

Diese Mehr- bzw. Minderzusagen sind keine Aussagen über die Prioritäten der Forschungsgebiete, denn sie berücksichtigen die Leistungsfähigkeit bestehender Forschungsgruppen in den entsprechenden Bereichen.

In den Aufwendungen des BFE sind auch die Mittel für **Resortforschung im engeren Sinn** enthalten. Dies betrifft rund 5 Mio. Franken pro Jahr, die zu etwa 40 % dem Gebiet Energiewirtschaftliche Grundlagen und zu etwa 60 % der Regulatorischen Sicherheitsforschung in den Bereichen Kernenergie und Wasserkraftnutzung zuzuordnen sind.

Forschungsgebiete und ihre Unterteilung	Mittelzuteilung				Anpassung der Mittel <sup>1)</sup> bei genereller			
	2005 (Mio. Fr.)		2011 (Mio. Fr.)		Budgetreduktion		Budgeterhöhung	
	F+E	P+D	F+E	P+D	F+E	P+D	F+E	P+D
<b>Effiziente Energienutzung</b>	<b>50,7</b>	<b>3,5</b>	<b>56</b>	<b>16</b>				
Gebäude	5,4	1,7	6	3	→	→	→	↗
Verkehr	3,1	0,7	3	3	→	→	↗	→
Batterien und Supercaps	8,9	0,1	8	2	→	↘	→	→
Elektrizitätstechnologien und -anwendungen	7,3	0,1	7	2	→	→	↗	↗
Netze	2,7	–	5	–	↘		→	
Wärme-Kraft-Kopplung	1,3	0,3	1	1	→	→	→	→
Verbrennung	10,4	0,5	10	2	↘	→	→	→
Kraftwerk 2020	1,7	–	3	–	→		→	
Brennstoffzellen	6,1	0,1	8	2	→	→	→	→
Verfahrenstechnische Prozesse	3,9	0,1	5	1	→	→	↗	↗
<b>Erneuerbare Energien</b>	<b>34,4</b>	<b>8,4</b>	<b>50</b>	<b>20</b>				
Solarwärme (inkl. Speicherung)	7,3	0,5	7	4	→	↘	→	→
Photovoltaik	10,6	0,8	12	3	↘	→	→	→
Industrielle Solarenergienutzung	4,8	0,0	5	1	→	→	↗	↗
Wasserstoff	2,1	0,4	3	1	→	→	→	↗
Umgebungswärme (Wärmepumpen)	1,8	3,7	6	3	→	→	→	↗
Biomasse (Holz, Abfälle, Klärschlamm)	4,2	1,0	8	3	→	→	↗	↗
Geothermie	0,8	0,9	2	2	→	→	→	↗
Wind	0,3	0,3	2	1	↘	→	→	→
Wasser	2,4	0,8	5	2	→	→	→	↗
<b>Kernenergie</b>	<b>47,2</b>	<b>0,6</b>	<b>47</b>	<b>–</b>				
Kernspaltung	21,9	0,6	22		↘		→	
Kerntechnik und nukleare Sicherheit	15,0	0,6						
(wovon Radioaktive Abfälle)	(5,1)	(0,1)						
Regulatorische Sicherheitsforschung	6,9	–						
Kernfusion <sup>2)</sup>	25,2	–	25		↘		→	
(wovon Plasmaphysik, Heizmethoden, Technologie)	(23,4)	–						
Nettobeiträge für internationale Einbin- dung)	(1,8)	–						
<b>Energiewirtschaftliche Grundlagen</b>	<b>10,9</b>	<b>0,1</b>	<b>11</b>	<b>1</b>				
Energiewirtschaftliche Grundlagen (Ökono- mie, Gesellschaft, Umwelt)	9,1	–	9		→		→	
Technologie-Transfer	1,8	0,1	2	1	→	→	→	→
<b>Totale</b>	<b>143,2</b>	<b>12,6</b>	<b>164</b>	<b>37</b>				
	<b>155,9</b>		<b>201</b>					

F+E: Forschung und Entwicklung

P+D: Pilot- und Demonstrationsprojekte

1) Bezüglich der Planungswerte für 2011

2) Die Arbeiten im Fusionsbereich gehören weitgehend zur Grundlagenforschung. In Anlehnung an die internationale Praxis werden sie jedoch auch in der Schweiz zur Energieforschung gezählt.

**Tabelle:** Mittelzuteilung für die Energieforschung der öffentlichen Hand (Aufwand 2005 und Richtwerte für 2011) sowie Anpassung derselben bei eventueller Budgetänderung.



# Anhänge

## A.1 Situierung der Energieforschung

### A.1.1 WAS IST ENERGIEFORSCHUNG?

Energieforschung umfasst im weitesten Sinn die Erarbeitung und Umsetzung technischer, wirtschaftlicher und gesellschaftspolitischer Erkenntnisse auf wissenschaftlicher Basis, welche dazu dienen können, den heutigen und zukünftigen Energiebedarf einerseits möglichst tief zu halten und diesen andererseits auf wirtschaftliche, umweltverträgliche und effiziente Weise zu decken.

Die Förderung der Energieforschung durch die öffentliche Hand überdeckt nahezu das gesamte Spektrum von der Grundlagenforschung bis zur Markteinführung. Der Schwerpunkt liegt jedoch bei der anwendungsorientierten Forschung: **Die Ergebnisse sollen sich in Produkten und Anlagen, in Materialien und Verfahren, etc. niederschlagen.** Energieforschung beginnt dort, wo sich bei der Grundlagenforschung Aspekte abzeichnen, welche eine gewisse Chance beinhalten, dereinst für die Energietechnik relevant zu werden. In diesem Sinn können sich auch Demonstration und Entwicklung von Verfahren und Anlagen mit der Grundlagenforschung überlappen. Beispiele sind Kernfusion und Solarchemie, deren Endergebnisse noch weitgehend ungewiss sind, die aber nur anhand von Pilotprojekten Fortschritte versprechen. Auf anderen Gebieten, etwa der Entwicklung von Solarzellen, bestehen zwischen der Weiterentwicklung bestehender Produkte und der begleitenden orientierten Grundlagenforschung enge Wechselwirkungen.

**Ein unverzichtbarer Teil der Energieforschung sind Pilot- und Demonstrationsprojekte;** sie beschleunigen die Umsetzung von Forschungsergebnissen in die praktische Anwendung. Wegen ihrer Marktnähe ist die finanzielle Beteiligung der Industrie und des Gewerbes eine notwendige Voraussetzung für die Gewährung von Mitteln der öffent-

lichen Hand. Dieses Engagement veranlasst die Unternehmen zur kritischen Auseinandersetzung mit dem Vorhaben und erhöht somit die Aussichten auf eine selbständige Weiterführung des Technologietransfers durch die Wirtschaft. Dasselbe gilt grundsätzlich auch für Beiträge zur forschungsnahen Produktentwicklung.

Schliesslich **beinhaltet auch die Markteinführung oft Forschungsaspekte.** Vor allem sind es Fragen zu Akzeptanz, Umwelteinflüssen und wirtschaftlicher Einbettung sowie sozialwissenschaftliche Probleme, welche die technischen Aspekte ergänzen müssen.

Technische Fortschritte allein genügen aber nicht, um energiepolitische Ziele zu erreichen. Vielmehr bedarf es dazu unternehmerischer und privater Entscheidungen, die auch von andern politischen und wirtschaftlichen Faktoren beeinflusst werden. Die Energieforschung **muss deshalb auch gegenseitige Abhängigkeiten in unserer Gesellschaft mitberücksichtigen.** Beispiele sind der Energiebedarf und die Umweltbelastungen des Strassenverkehrs und der Landwirtschaft oder Auswirkungen der Raumplanung auf den Energiebedarf.

**Energieforschung ist ihrer Natur nach inter- und transdisziplinär.** Sie vereint Ingenieurdisziplinen wie Maschinenbau und Elektrotechnik mit Physik, Chemie, Werkstoffwissenschaften, Biologie, Systemtheorie und Informatik sowie Ökonomie, Ökologie, Politologie und Soziologie. Daraus resultieren oft Synergien zum Nutzen der Energieforschung – insbesondere in der Schweiz, weil sich hier in Anbetracht der beschränkten Mittel vielfach nicht nur dieselben Institute, sondern auch dieselben Personen mit Energieforschung und zugleich mit Forschung in anderen Gebieten befassen.

### A.1.2 RECHTLICHE GRUNDLAGEN

Der Bund stützt sich bei der direkten Förderung von Energieforschung auf folgende Gesetze:

- **Kernenergiegesetz** (Art. 86) vom 21. 3. 2003;
- **Forschungsgesetz** vom 7. 10. 1983;
- **Energiegesetz** (Art. 12) vom 26. 6. 1998;
- **CO<sub>2</sub>-Gesetz** vom 8. 10. 1999.

Daneben bestehen auf Verfassungs- und Gesetzesebene zahlreiche Sachkompetenzen des Bundes, die für den Ener-

giebereich relevant sind und eine Förderung der Forschung erlauben (z. B. Umweltschutzgesetzgebung, Landesversorgungsgesetz).

Die Förderung der Energieforschung durch den **Bund** erfolgt zum grossen Teil indirekt durch Beiträge an den Schweizerischen Nationalfonds, an kantonale Hochschulen, an Forschungsprogramme der Europäischen Union sowie durch die Finanzierung von Forschungsprojekten des ETH-

Bereichs. Gezielte direkte Unterstützung gewähren gewisse Bundesämter, vorab das BFE, das zugleich Steuerungsfunktion hat.

Der Energieartikel in der Verfassung erlaubt dem Bund auch die Förderung der **Entwicklung von Energietechniken und von Pilot- und Demonstrationsanlagen**, dies insbesondere in den Bereichen effiziente Energienutzung und Nutzung erneuerbarer Energien. Das Energiegesetz und die

### A.1.3 RAHMENBEDINGUNGEN

Den energiepolitischen Rahmen für die öffentliche Energieforschung setzt übergeordnet der Energieartikel der Bundesverfassung, nämlich **Voraussetzungen zu schaffen für eine ausreichende und sichere, wirtschaftliche und umweltschonende Energieversorgung sowie für eine sparsame und rationelle Energieverwendung**.

Zudem gilt die bundesrätliche **Strategie Nachhaltige Entwicklung 2002**, wonach die Energie- und Klimapolitik auf eine 2000-Watt-Gesellschaft und einen Pro-Kopf-Ausstoss von 1 Tonne CO<sub>2</sub> pro Jahr auszurichten ist.

Weiter hat der Bundesrat 2007 neue **energiepolitische Grundsätze** festgelegt. Sie basieren auf vier Säulen:

- **Energieeffizienz:** Der sparsame Umgang mit der Ressource Energie soll dank neuer Technologien und einem energiebewussten Konsumverhalten ohne Komforteinbussen möglich sein. Die Verstärkung der Energieeffizienz soll zudem zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit und zur Entwicklung eines Marktes für Effizienztechnologien beitragen.
- **Erneuerbare Energien:** Die Wasserkraft soll langfristig als wichtigste einheimische erneuerbare Energie zur Stromversorgung erhalten bleiben und unter Berücksichtigung der Umwelt- und Gewässerschutzziele massiv ausgebaut werden. Der Anteil der übrigen erneuerbaren Energien im Strombereich soll so ausgebaut werden, dass ein breit diversifizierter, wirtschaftlicher Energiemix sowohl im Strombereich als auch im Wärme- und Mobilitätsbereich zur Verfügung steht.
- **Grosskraftwerke:** Als Übergangslösung zur Deckung der Stromlücke dienen Gaskombikraftwerke. Der Ersatz der bestehenden oder der Neubau von Kernkraftwerken ist als notwendige Option offen zu halten.
- **Energieaussenpolitik:** Die internationale Zusammenarbeit im Energiebereich, insbesondere mit der EU, ist zu verstärken.

zugehörigen Verordnungen haben dazu eine klare Rechtsgrundlage geschaffen.

Über die an den Universitäten und Fachhochschulen durchgeführten Arbeiten tragen auch die **Kantone** massgeblich zur Energieforschung bei. Verschiedene Kantone haben zudem die Möglichkeit zur Unterstützung von Pilot- und Demonstrationsanlagen in ihren Gesetzen verankert

Eine feste Vorgabe ist des weiteren eine enge Zusammenarbeit zwischen Forschung und dem **Programm EnergieSchweiz** zur Erreichung der dort gesetzten konkreten Ziele.

Der **forschungspolitische Rahmen** ist festgelegt in der **Botschaft über die Förderung von Bildung, Forschung und Technologie in den Jahren 2008–2011**. Danach sind folgende Ziele anzustreben:

- Weltweit anerkannter Denk- und Werkplatz
- Spitzenstellung der Forschung in zukunftssträchtigen Bereichen
- Sicherung des wissenschaftlichen Nachwuchses
- Hochschulen als internationale Spitzeninstitutionen der Forschungslandschaft
- Berufsbildung und Fachhochschulen für eine starke praxisorientierte fachliche Basis
- Internationale Zusammenarbeit zur Öffnung und Qualitätssicherung

**Die Verwirklichung eines nachhaltigen Energiesystems Schweiz ist ein langwieriger Prozess.** Er wird mehrere Generationen dauern und steht damit ausserhalb des typischen politischen bzw. gesellschaftlichen Planungsrahmens. Energieforschung bedarf deshalb einer langfristigen, von den kurzfristigen politischen Stimmungen unabhängigen Strategie. Die dem vorliegenden Konzept zu Grunde liegenden langfristigen Ziele und die daraus abgeleitete Strategie sind in den Kapiteln 3 und 4 bzw. im Anhang A.2 umschrieben.

**Die Energieforschung – und sei sie noch so gut – kann diese Ziele nicht allein erreichen.** Vielmehr hängt die zukünftige Entwicklung des Energiebedarfs und des relativen Beitrags der verschiedenen Energieressourcen von verschiedenen Faktoren ab, insbesondere sind dies:

1. Naturwissenschaftliche technische Forschung und Entwicklung

2. Die Umsetzung der Resultate und deren Markteinführung (unter Berücksichtigung sozio-ökonomischer Forschung)
3. Ökonomische Faktoren, insbesondere Preise von Ressourcen und von Arbeit
4. Ökologische Rahmenbedingungen
5. Ordnungspolitische Rahmenbedingungen (Gesetze, Verordnungen, Steuern und Abgaben)
6. Gesellschaftliche Wertvorstellungen (Lifestyle)

Das Energieforschungskonzept setzt vor allem bei Punkt 1 an, zum Teil auch bei Punkt 2. Dennoch wäre es Ausdruck einer falschen Selbstbeschränkung, die andern Punkte ganz ausser Acht zu lassen. Denn es ist nicht zutreffend, dass der Markt nur dem Gesetz minimaler Kosten folgt: In vielen Fällen werden bereits bestehende Kostenvorteile (z.B. bei Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz) nicht wahrgenommen und damit nicht genutzt. Vielfach lassen sich auch durch Berücksichtigung eines immateriellen Zusatznutzen auf ökonomischen Überlegungen basierende

#### A.1.4 AKTEURE UND ORGANISATION

Es ist die Aufgabe des BFE – zusammen mit der Eidgenössischen Energieforschungskommission CORE – in rollender Planung **Energieforschungskonzepte** zu erarbeiten, die **Forschung** gemäss Konzept **steuernd zu begleiten und zu fördern**, die **Programme und Projekte** der Energieforschung mit andern Forschungsarbeiten zu **koordinieren und international einzubetten** sowie die **Ergebnisse in die Praxis zu überführen**. Dazu hat das BFE die Energieforschung in **neunzehn technische Fachbereiche eingeteilt**. Ein **weiterer Fachbereich befasst sich mit sozio-ökonomischen Fragestellungen**. Jeder dieser Bereiche wird **von einem Bereichsleiter betreut und umfasst Forschungs- und Pilot-/Demonstrations-Programme sowie Umsetzungs-/Marketing-Programme** (siehe Anhang A.5). Für jedes Programm ist ein Programmleiter verantwortlich; oft übernimmt auch der Bereichsleiter selbst die Leitung seiner Programme.

Dem Bereichsleiter stehen neben den Programmleitern Experten zur Seite (Begleitgruppen). Zusammen erarbeiten sie – gestützt auf das vorliegende Konzept der Energieforschung und unter Berücksichtigung der staats- und wirtschaftspolitischen Randbedingungen – einen **detaillierten Ausführungsplan für ihren Bereich**. Die Bereichsleiter sind nebst der Forschung auch für die anschliessende Markteinführung und die Marktbetreuung verantwortlich. Die Aktivitäten im Markt, welche hauptsächlich eine Steigerung der Nachfrage

Entscheide zugunsten einer grösseren Nachhaltigkeit verschieben. Damit rücken ökonomische Faktoren (Punkte 3 und 4) ebenfalls in den Bereich der Energieforschung.

Weiter sind ordnungspolitische Rahmenbedingungen (Punkt 5) zu beachten. Sie sind die Folge eines politischen Willens, der sich wiederum durch den Nachweis guter technischer Lösungen stärken lässt. Schliesslich orientieren sich gesellschaftliche Wertvorstellungen (Punkt 6) an Informationen und an gemachten Themen, welche oft innert kürzester Zeit ändern. Einerseits verläuft dieser Wandel oft viel rascher als entsprechende Veränderungen bei Technologien; andererseits ist der gesellschaftliche Wandel nur schlecht steuer- bzw. prognostizierbar, was dessen Nutzung für die Entwicklung eines nachhaltigen Energiesystems kompliziert. Aus diesen Gründen ist es ein wichtiges Ziel, über die Forschung und Umsetzung hinaus die gesellschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen im Auge zu behalten und diese durch eine entsprechende **offensive Informationspolitik** positiv zu beeinflussen.

als Ziel haben, geschehen vorwiegend über das **Programm EnergieSchweiz**. Dieses arbeitet eng mit (in Agenturen zusammengefassten) privaten Organisationen zusammen. Beispiele solcher Agenturen sind die Energieagentur der Wirtschaft (EnAW), die Agentur für erneuerbare Energien und Energieeffizienz (AEE), die Energieagentur für Elektrogeräte (eae) und die Schweizerische Agentur für Energieeffizienz (S.A.F.E.). EnergieSchweiz unterstützt auch indirekte Fördermassnahmen wie Aus- und Weiterbildung, Beratung, Planung, Erarbeiten von Entscheidungsgrundlagen und Massnahmen zur Qualitätssteigerung. Das Aktionsprogramm unterstützt die Umsetzung nachhaltiger Energietechniken aber auch durch Vereinbarungen, Verbrauchszielwerte, Zertifikate und Vorschriften. Für direkte Förderprogramme in den Bereichen erneuerbare Energien und rationelle Energienutzung sind in erster Linie die Kantone zuständig. Sie erhalten dafür vom Bund Unterstützung durch Globalbeiträge.

Das BFE koordiniert die Energieforschung in enger **Zusammenarbeit mit den öffentlichen Forschungsförderungsstellen**, insbesondere dem ETH-Rat, dem Staatssekretariat für Bildung und Forschung (SBF), den Bundesämtern für Umwelt (BAFU), für Landwirtschaft (BLW), für Raumentwicklung (ARE), für Strassen (ASTRA), der Kommission für Technologie und Innovation (KTI), dem Schweizerischen Nationalfonds (SNF), sowie den kantonalen Energiefachstellen. Gute Kontakte bestehen auch zu Forschungsprogrammen

der Energiewirtschaft: swisselectric research, Forschungs-, Entwicklungs- und Förderungsfonds der Schweizerischen Gasindustrie (FOGA), Forschungs- und Förderungsfonds der Erdöl-Vereinigung (FEV).

Den Grossteil der **Projekte bearbeiten öffentliche Forschungsstellen**. Auf Seiten des Bundes sind dies hauptsächlich die ETH Zürich und die ETH Lausanne, das Paul Scherrer Institut und die Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt und auf Seiten der Kantone die Universitäten und Fachhochschulen. Diese Stellen verfügen über eigene Mittel, profitieren aber auch von Drittfinanzierungen über die oben genannten Förder-Institutionen.

### A.1.5. FINANZMITTEL

Die Forschungsaufwendungen der öffentlichen Hand für Energie haben sich gegenüber der Situation anfangs der 90er Jahre in allen Gebieten verringert. Nach 2000 begannen sie sich zu erholen; die Sparprogramme des Bundes und der Kantone haben aber 2004/5 zu neuen markanten Einbrüchen geführt. CORE und BFE erachten ein Wiederaufbau der Energieforschung als dringend notwendig, weshalb für 2011 ein Anstieg der Mittel auf rund 200 Mio Franken angestrebt wird. Eine detaillierte Zusammenstellung ist im Kapitel 5 gegeben.

**Die Energieforschung wird dezentral an vielen Forschungsstätten durchgeführt.** Dies ist einer trans- und multidisziplinären Zusammenarbeit förderlich. Damit ist aber auch die **Herkunft der Mittel entsprechend verschieden**, wie die Zusammenstellung auf Seite 43 zeigt.

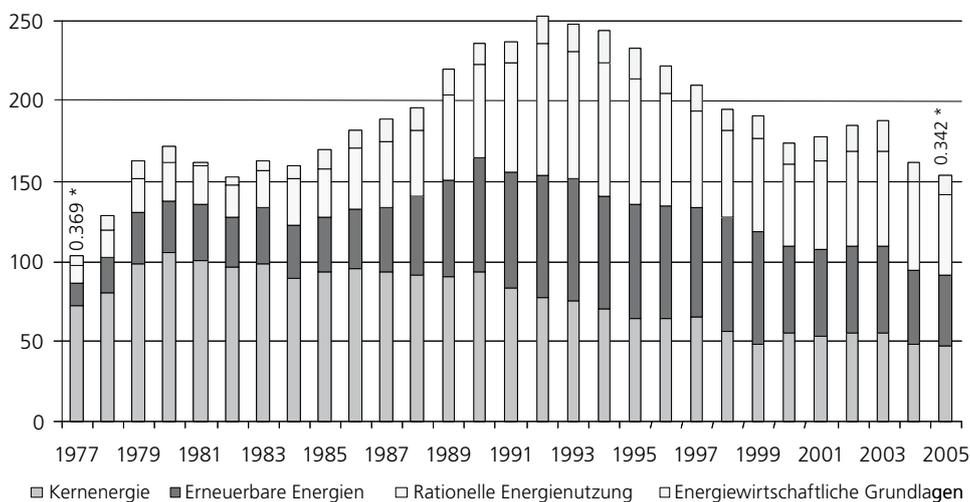
Auch an **Industrie, Ingenieurbüros und Einzelpersonen** vergeben Bund und Kantone Forschungsbeiträge. Nach Möglichkeit werden die Forschungsprojekte mit Partnern aus Hochschule und Industrie gemeinsam durchgeführt. Dabei gilt das Prinzip der Subsidiarität, d. h. die Förderung durch die öffentliche Hand dient nur zur zwingend notwendigen Ergänzung der eigenen Mittel. Die Gelder des BFE werden zudem als Steuerungsinstrument eingesetzt. Bei den öffentlichen Forschungsstellen wird die Bildung von Kompetenzzentren gefördert.

Aus der Tabelle sind auch die Beiträge an die einzelnen Forschungsgebiete ersichtlich. Es gilt zu beachten, dass in den Zahlenangaben – mit Ausnahme der Beiträge an die Privatwirtschaft – alle Infrastrukturkosten (Overheads) und Intramuros-Aufwendungen enthalten sind.

Die prozentualen Anteile der Geldquellen sowie der Forschungsstätten haben sich in den letzten Jahren wenig verändert. Die Finanzzuwendungen der Kantone und des BFE an die Privatwirtschaft beziehen sich hauptsächlich auf die Förderung von Pilot- und Demonstrationsprojekten (bei den Kantonen: fast zu 100 %; beim BFE zu ca. 50 %).

**Detaillierte Angaben** über die Forschungsaktivitäten im Energiebereich sind in der Broschüre **Projektliste der Energieforschung des Bundes** enthalten (Bezugsquelle: BFE-Publikationsdienst, download: [www.energieforschung.ch](http://www.energieforschung.ch)). Dasselbst findet sich auch eine Schätzung der Aufwendungen der Privatwirtschaft für Energieforschungstätigkeiten; Sie belaufen sich für 2005 auf rund 740 Mio. Franken.

Millionen Franken (Realwerte 2005)



**Abbildung 4:** Aufwendungen für die Energieforschung seit Beginn der Erhebungen 1977.

\* Aufwand in Promillen des Bruttoinlandsprodukts

	Herkunft der Mittel								Totale
	ETH-Rat	SNF	KTI	BFE	SBF <sup>1)</sup>	EU <sup>1)</sup>	Div, <sup>3)</sup>	Kantone, Gemeinden	
<b>Effiziente Energienutzung</b>	<b>29,25</b>	<b>1,76</b>	<b>3,51</b>	<b>10,25</b>	<b>4,44</b>	<b>0,70</b>	<b>0,73</b>	<b>4,85</b>	<b>55,5</b>
Gebäude	1,92	0,15	0,57	2,76	0,16	-	0,06	1,68	7,3
Verkehr	9,21	0,17	0,07	2,62	0,57	0,06	0,24	0,59	13,5
Batterien und Supercaps	8,45	0,08	0,07	0,20	0,40	-	0,06	0,08	9,3
Elektrizität: Technologien/Anwendungen	2,25	1,06	0,63	1,16	0,50	-	0,04	1,01	6,6
Netze	1,59	0,09	0,15	0,27	0,28	-	0,03	0,10	2,5
Wärme-Kraft-Kopplung	3,36	0,12	0,82	1,66	0,77	0,11	0,00	0,89	7,7
Brennstoffzellen	2,53	0,12	0,66	1,18	0,75	0,22	0,01	0,81	6,3
Verbrennung	7,09	0,17	0,95	1,32	1,15	0,28	0,27	0,40	11,6
Kraftwerk 2020	0,78	-	0,32	0,13	0,81	0,25	-	0,13	2,4
Verfahrenstechnische Prozesse	3,06	-	-	0,34	0,19	-	0,09	0,06	3,7
<b>Erneuerbare Energien</b>	<b>10,97</b>	<b>1,39</b>	<b>2,96</b>	<b>12,33</b>	<b>3,22</b>	<b>0,67</b>	<b>1,20</b>	<b>11,11</b>	<b>43,9</b>
Solarwärme	0,66	0,05	0,31	2,40	0,35	-	-	4,13	7,9
Photovoltaik	2,28	0,94	1,60	2,04	1,49	0,21	0,03	2,93	11,5
Industrielle Solarenergienutzung	4,18	-	-	0,86	0,00	-	-	-	5,0
Wasserstoff	0,90	0,13	-	0,65	0,13	0,28	0,01	0,39	2,5
Umgebungswärme	-	-	-	2,66	0,01	-	0,07	2,24	5,0
Biomasse	1,18	0,18	0,26	2,08	0,47	0,02	0,73	0,50	5,4
Geothermie	0,08	-	-	0,86	0,39	0,00	0,02	0,50	1,9
Windenergie	-	-	-	0,48	0,09	0,03	-	0,03	0,6
Wasserkraft	1,69	0,09	0,79	0,31	0,29	0,13	0,34	0,39	4,0
<b>Kernenergie</b>	<b>31,96</b>	<b>1,76</b>	<b>-</b>	<b>3,07</b>	<b>2,95</b>	<b>7,42</b>	<b>0,34</b>	<b>0,49</b>	<b>48,0</b>
Kernspaltung und nukleare Sicherheit	17,76	0,21	-	2,87	1,29	0,63	0,34	0,32	23,4
Kernfusion	14,20	1,54	-	0,20	1,66	6,79	-	0,17	24,6
<b>Energiewirtschaftliche Grundlagen</b>	<b>7,57</b>	<b>0,03</b>	<b>-</b>	<b>2,56</b>	<b>0,24</b>	<b>0,19</b>	<b>0,41</b>	<b>0,16</b>	<b>11,2</b>
Energiewirtschaftliche Grundlagen	7,57	0,03	-	2,56	0,24	0,19	0,41	0,16	11,2
ETHZ	9,01	0,50	1,12	1,67	0,67	0,30	0,15	0,03	13,4
EPFL	22,70	2,32	2,01	0,77	1,35	6,96	0,46	0,11	36,7
EMPA	3,02	-	0,31	0,88	0,37	0,08	-	0,03	4,7
PSI	44,77	0,19	0,00	3,70	1,47	0,41	0,12	-	50,7
Andere Bundesstellen	0,09	-	-	2,86	0,23	-	0,82	0,08	4,1
Ausland <sup>2)</sup>	-	-	-	0,95	1,42	-	0,07	-	2,4
Uni	-	1,94	0,94	1,98	0,26	0,11	0,02	3,97	9,2
FH	0,01	-	1,90	3,62	0,24	0,01	0,28	7,43	13,5
Andere kant, Stellen	-	-	-	0,26	0,00	-	-	1,37	1,6
Privatwirtschaft	0,15	-	0,19	11,52	4,85	1,11	0,76	3,60	22,2
<b>Totale</b>	<b>79,8</b>	<b>4,9</b>	<b>6,5</b>	<b>28,2</b>	<b>10,9</b>	<b>9,0</b>	<b>2,7</b>	<b>16,6</b>	<b>158,5</b>

1) Die damaligen SBF-Aufwendungen waren mehrheitlich Beiträge an EU-Projekte. Diese Mittel kommen heute direkt von Brüssel

2) Beiträge ins Ausland sind im Wesentlichen Nettobeiträge an EURATOM und JET

3) Übrige Bundesämter (BAFU, BLW, ARE, ASTRA, DEZA)

**Tabelle:** Herkunft der Fördermittel der Energieforschung als Mittelwert der Jahre 2004 und 2005 (in Mio. Fr.) sowie Verteilung auf die Forschungsgebiete (inkl. P+D) und auf die Forschungsstellen. Die Zahlenangaben sind lediglich als Grössenordnung zu betrachten. Sie können – aus finanztechnischen Gründen der Förderstellen – von Jahr zu Jahr erheblich schwanken.

## A.1.6 BISHER ERREICHTES

Durch das Engagement der öffentlichen Hand ist es gelungen, in angestammten und neuen Gebieten der Energieforschung **anerkannte Kompetenzen** zu erhalten bzw. zu erwerben. Die Schweiz verfügt über eine motivierte Forschergemeinde und über Institutionen mit einem **hohen Ausrüstungs- und Ausbildungsniveau**.

**Die Forschungsergebnisse finden**, trotz eines Umfeldes, das Innovationen nicht gerade ermutigt, **wachsenden Eingang in den Markt**. Es ist zu berücksichtigen, dass Produkte im Energiesektor in der Regel für lange Lebensdauern ausgelegt sind; entsprechend lange dauert es, bis Umsetzungen von Forschungsergebnissen den Weg in den Markt schaffen. Für jedermann wird jedoch zunehmend sichtbar, dass sich das Marktangebot im Energiebereich – aufgrund von Ergebnissen der Forschung und der folgenden Umsetzungen durch die Wirtschaft – geändert hat. Beispiele sind: **Möglichkeiten für energieeffizienteres Bauen** (bessere Fenster, wirksamere Wärmedämmung, Minergie-Bauten, etc.), **ein breiteres Angebot von Heizungstechniken** (Solarwärme, Wärmepumpen, Holz(pellet)heizungen, sauberere Öl- und Gasbrenner), **sparsamere Haushalt- und Bürogeräte, neue bzw. verbesserte Techniken zur Stromerzeugung** (Photovoltaik, Wärme-Kraft-Kopplung, Biogasanlagen, Kombi-Kraftwerke, effiziente Kleinwasserkraftwerke, Windkraftanlagen, Brennstoffzellen), **neue Speichertechniken** (fortgeschrittene Batterietypen, Kurz- und Langzeit-Wärmespeicher, chemische Energieträger wie Wasserstoff oder Methanol), **sparsamere Automobile** (effizientere und schadstoffärmere Motoren, Hybrid-Autos, Leicht- und Elektromobile).

**Die Erfolge im Technologietransfer belegen zudem, dass die Forschungsförderung der öffentlichen Hand in guter Kooperation mit der Industrie erfolgt**. Etablierte Firmen konnten mit neuen Produkten ihr Angebot erweitern und damit Arbeitsplätze erhalten oder schaffen. Zum Beispiel die Firma **Jäggi/Güntner** mit der Entwicklung der hybriden Trockenkühlung zusammen mit der Fachhochschule Brugg oder das Unternehmen **Unaxis Balzer**, mit der Übernahme von Ergebnissen der Solarzellenforschung der Universität Neuenburg.

Die Energieforschung hat auch zu einer ganzen Reihe von Gründungen neuer Firmen geführt. Als Beispiel seien erwähnt: **Sputnik Engineering**, Biel, gegründet 1991 (Wechselrichter), **enecolo**, Mönchaltorf, gegründet 1996 (Solaranlagen), **VHF-Technologies**, Le Locle, gegründet 2000 (Dünnschicht-Solarzellen) oder **Ecospeed**, Zürich, gegründet 2002 (Software für Stoffflüsse).

Die **internationale Forschungszusammenarbeit** wird zum Erreichen der anvisierten Ziele durch Mitwirken an Forschungsprogrammen der IEA und zunehmend auch der EU **intensiv genutzt**. Wie regelmässig durchgeführte Evaluationen zeigen, schneidet die Schweizer Energieforschung im internationalen Vergleich sehr gut ab, nicht nur betreffend Qualität, sondern auch bezüglich Originalität.

Die weitverzweigten Beziehungen des **Bundesamts für Energie (BFE)** erleichtern sowohl die nationale wie auch die internationale Zusammenarbeit. Dabei kann das BFE auch **Finanzierungslücken zwischen der orientierten Grundlagenforschung und der Produktentwicklung überbrücken**. Bewährt hat sich insbesondere auch die klar geregelte Kooperation mit der Kommission für Technik und Innovation (KTI). Durch die Verknüpfung mit Energie-Schweiz fördert das BFE zudem – in enger Zusammenarbeit mit den Kantonen und diversen Verbänden – auch die **Marktbearbeitung**.

Die Projekte werden mit einem **Minimum an administrativen Umtrieben** gestartet, begleitet und abgeschlossen. Die BFE-Programmlenker sorgen für einen zielgerichteten und effizienten Einsatz der finanziellen Mittel.

Verbesserungspotenzial besteht jedoch weiterhin, insbesondere bei der wirkungsvollen Information über die Forschungsfortschritte. Gilt es doch, die **Industrie stärker für Neuentwicklungen zu motivieren** und allen Bevölkerungskreisen aufzuzeigen, wie sie durch den Einsatz neuer Techniken zu einer nachhaltigen Energieversorgung beitragen können. Dazu ist ein Wiederaufbau einer gezielten Förderung von Pilot- und Demonstrationsprojekten unabdingbar.

## A.2 Detaillierung der Strategie

### A.2.1 NATIONALE AUFGABENTEILUNG UND KOORDINATION

Förderbeiträge richten folgende Institutionen aus:

- Auf **Bundesebene** wird die Energieforschung zur Hauptsache durch den ETH-Rat (CCEM), das BFE, die KTI, das SBF und den SNF gefördert.
- Die **Kantone** unterstützen die Energieforschung an den Universitäten, Fachhochschulen und bei P+D-Projekten.
- Bedeutende **private Förderinstitutionen** im Energiebereich sind die Elektrizitätswirtschaft (swisselectric research), die Gaswirtschaft (FOGA) und die Erdölwirtschaft (FEV). Sie sind schwerpunktmässig auf Untersuchungen in ihrem Energiegebiet ausgerichtet.

Eine **zentrale Rolle spielt das BFE**. Es unterstützt die Forschung **subsidiär** in der ganzen Breite von der orientierten Grundlagenforschung bis zur Markteinführung der Produkte. Gleichzeitig setzt das BFE sein Budget auch als Steuerungsinstrument ein, um die Forschung gemäss Konzeptvorgaben voranzutreiben. Die BFE-Programmlenker kennen die verschiedenen Anforderungen, Hauptzielrichtungen,

Vorgehensweisen und Besonderheiten der Förderinstitutionen, und können damit helfen, die Projekte bei den jeweils zuständigen Stellen zu platzieren.

Das BFE ist bei ca. 65 % aller öffentlich finanzierten Energieforschungsprojekte finanziell beteiligt und kann dadurch bei diesen direkt lenkend eingreifen. Bei weiteren rund 25 % der Projekte macht das BFE seinen Einfluss durch Einsitz in Fördergremien und in Begleitgruppen und durch Begutachtungstätigkeiten geltend. Durch die zweijährlichen Erhebungen aller öffentlich finanzierten Energieforschungsprojekte erhält das BFE auch von den restlichen rund 10 % der Projekte Kenntnis. Doppelspurigkeiten können somit weitgehend ausgeschlossen und Vernetzungen einfach in die Wege geleitet werden. Die **zielgerichtete Koordination**, Beeinflussung und Überwachung der Forschungsprojekte durch die Programmlenker des BFE ist damit gewährleistet (siehe Kapitel A 1.4 zur Koordination mit EnergieSchweiz).

### A.2.2 KRITERIEN ZUR FÖRDERUNG VON PROJEKTEN

Forschungsprojekte im Energiebereich, welche durch die öffentliche Hand gefördert werden, müssen die **grundlegenden Voraussetzungen** gemäss Abschnitt A 1.3 erfüllen und zudem zu den strategischen Zielen nach Kapitel 4 beitragen. Des Weiteren müssen sie den Schwerpunkten 2008 bis 2011 gemäss Kapitel 5 entsprechen.

Bei Forschungsarbeiten in Gebieten mit hoher Priorität ist es sinnvoll, **technische und institutionelle Alternativen** (auch über internationale Zusammenarbeit) zu verfolgen, um Schwankungen und Fehlschläge aufzufangen und um nicht Opfer von Stop-and-go-Effekten zu werden.

Generell gilt folgender **Kriterienkatalog** für die Unterstützung von F-, E&D-Projekten:

- Das Endprodukt des Vorhabens ist im öffentlichen Interesse, das heisst es lässt im Vergleich zu den bisherigen Lösungen eindeutige **ökologische und volkswirtschaftliche Vorteile** erwarten. Die potenziellen Einsparungen an Energie, CO<sub>2</sub>-Ausstoss und Schadstoffemissionen sind aufgrund der Markterwartungen quantifiziert.
- Das Vorhaben verspricht eine hohe **technisch-wissenschaftliche Qualität**. Die kritischen Punkte werden erkannt und ein zweckmässiger Lösungsweg zu deren Überwindung wird aufgezeigt. Die beteiligten Forschungsinstitutionen und Forscher sind für die Durchführung des Vorhabens geeignet und genügend kompetent.

- Literatur- und Patentrecherchen zeigen **keine Doppelspurigkeiten** oder problematische Konkurrenzsituationen. Das Vorhaben berücksichtigt auch internationale Arbeiten. Falls Konkurrenzprojekte oder bereits ähnliche Produkte bestehen, führt das Ergebnis des Vorhabens zu einem bedeutenden **Konkurrenzvorteil**.
- Das Projekt muss ein genügend **grosses Anwendungspotenzial** besitzen.
- Die Situation im Marktumfeld wird analysiert. Die **Markchancen** des Endprodukts des Vorhabens werden nachvollziehbar beurteilt. Sie sind kurz-, mittel- oder langfristige aussichtsreich und die Akzeptanz beim Konsumenten ist vorhanden. Je näher ein Vorhaben am Markt ist, umso detaillierter sind die Marktabklärungen.
- Für die **Umsetzung der Forschungsergebnisse** besteht ein Konzept. (Wer macht was bis wann? Wie erfolgt die Markteinführung?) Je näher ein Vorhaben am Markt ist, umso detaillierter ist dieses Umsetzungskonzept.
- **P+D-Anlagen** müssen hinreichend instrumentiert und ausgemessen werden und die Auswertung der Messdaten muss sichergestellt sein. Bei standortgebundenen Anlagen dürfen keine Konflikte mit Vorgaben von Standortgemeinde, -region und -kanton auftreten.
- Die **zielgerichtete Abwicklung** des Projekts wird durch eine klare Etappierung sichergestellt. Jede Projektetappe wird durch überprüfbare Meilensteine und definierte abzuliefernde Produkte (Deliverables) abgeschlossen. Der

termingerechte Projektfortschritt wird durch einen realistischen Forschungszeitplan unterstützt. Wo sinnvoll, fördern Projektbegleitgruppen aus interessierten Kreisen die Anwendungsnähe der Forschungsarbeiten.

- Die **Projektfinanzierung** erfolgt nach den BFE-Ansätzen. Der budgetierte Aufwand wird detailliert begründet. Er erscheint zum Erreichen der Projektziele angemessen. Die Eigenleistungen der Projektpartner werden nachge-

wiesen. Sie sind umso höher, je näher ein Vorhaben am Markt ist. Auch die zur Umsetzung nötigen Mittel werden aufgeführt. Bei umfangreicheren Projekten erfolgt eine separate Budgetierung für die einzelnen Projektetappen mit der Möglichkeit zur Anpassung respektive Sistierung nach jeder Etappe.

## A.2.3 ORIENTIERTE GRUNDLAGENFORSCHUNG

Die orientierte Grundlagenforschung dient der Gewinnung einer breiten Basis von Wissen, welches den Hintergrund für die Lösung von anerkannten oder erwarteten, gegenwärtigen oder zukünftigen Problemen oder Möglichkeiten bildet (vgl. Frascati Manual 2002 – proposed standard practice for surveys on research and experimental development, OECD, ISBN 92-64-19903-9, No. 52703, Paris 2002). Im Gegensatz dazu dienen die in der angewandten Forschung erarbeiteten Erkenntnisse primär der Entwicklung neuer oder besserer energietechnischer Produkte und Verfahren. In der experimentellen Entwicklung werden schliesslich aufgrund der Erkenntnisse aus der Forschung und der Praxis erste Funktionsmuster neuer energietechnischer Produkte realisiert und getestet. Die Energieforschung in der Schweiz fördert in erster Linie angewandte Forschung und Entwicklung.

**Wo sie für die Entwicklung einer nachhaltigen Energieversorgung relevant ist, soll jedoch die orientierte Grundlagenforschung durch öffentliche Energieforschungsmittel unterstützt werden.** Damit können Anreize für die Grundlagenforschung geschaffen werden, sich mit potentiell energierelevanten Aspekten der Forschung zu beschäftigen.

**Aus den Erkenntnissen der orientierten Grundlagenforschung können sich für die Energietechnik interessante Anwendungen abzeichnen** (Beispiel: Metallhydride für die Wasserstoffspeicherung). **Umgekehrt wird**

**oft auch durch bisher unbekannte Phänomene in der angewandten Forschung** und Entwicklung sowie bei der Realisierung und dem Betrieb energietechnischer Anlagen **orientierte Grundlagenforschung ausgelöst** (Beispiel: thermoakustische Schwingungen in Gasturbinen).

Nebst chemischen, physikalischen und technischen Grundlagen werden in der orientierten Grundlagenforschung auch ökologische und sozioökonomische Grundlagen erforscht. Im Vordergrund stehen auch hier allgemeine Erkenntnisse. Sie schliessen aber Wissenslücken **in energierelevanten ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Bereichen**. Diese Forschungsarbeiten führen nicht zu neuen Produkten oder Verfahren, sondern zu einer besseren Akzeptanz neuer Lösungen und zur Erfassung ihrer Auswirkungen auf die Umwelt, die Wirtschaft und die Gesellschaft.

Der Übergang von der orientierten Grundlagenforschung zu anderen Stufen der Energieforschung ist fließend. Gerade für die Energieforschung gilt es, ein paralleles nebeneinander Hergehen von orientierter Grundlagenforschung, angewandter Forschung und Entwicklung und Pilot- und Demonstrationsprojekte mit gegenseitigem Austausch zu ermöglichen. Es ist wichtig, dass sich die **Programmleiter** dessen bewusst sind und **wo möglich und sinnvoll Brücken schlagen**.

## A.2.4 UMSETZUNG DER FORSCHUNGSERGEBNISSE

Der Transfer der Ergebnisse von der Forschung in den Markt ist integrierende Aufgabe der Forschungsförderung der öffentlichen Hand. Anzustreben ist insbesondere auch eine Verkürzung der Einführungszeiten nachhaltiger Energietechniken. Nebst dem **möglichst frühen direkten Einbezug von Industriepartnern in die Forschungsarbeit** ist die analysierende **Unterstützung von Pilot- und Demonstrationsprojekten** eines der wichtigsten Instrumente, das zur Umsetzung der Energieforschung zur Verfügung steht. Die enge Zusammenarbeit mit der Privatwirtschaft und deren Hauptfinanzierung sind dabei unabdingbar. Durch die Umsetzung der schweizerischen Energie- und Klimapolitik setzt sich das Programm **EnergieSchweiz** zudem ein, die Marktbedingungen für die Einführung neuer Energie-Technologien von der Nachfrageseite her zu verbessern (Subventionen der Kantone, freiwillige Massnahmen, Marketing, Vorschriften).

Bei der **Auswahl von P+D-Projekten** haben jene Gebiete Priorität, in denen schweizerische Wirtschaftspartner bereits tätig sind oder die in ihrem Kompetenzbereich liegen. In gut begründeten Fällen (z. B. zur Beeinflussung internationaler Grosskonzerne mit grossem Multiplikationsfaktor, oder wenn die Forschung genügend generisch ist, sodass das Know-how in der Schweiz bleibt) können ausnahmsweise auch P+D-Projekte auf Gebieten gefördert werden, in denen die ausländische Wirtschaft eine starke Stellung einnimmt.

Für die Umsetzung von Forschungsergebnissen ist einerseits die jeweilige **Fachwelt** und andererseits die **breite Öffentlichkeit** über Energieforschungs- und Entwicklungsarbeiten, Zeithorizonte neuer Produkte, Kosten-, Nutzen- und

Umweltrelevanz umfassend zu informieren. Über die Fortschritte in den vom BFE direkt betreuten Programmen und Projekten wird bereits **in ausführlichen Jahresberichten, in der Fachliteratur, im Internet (www.energieforschung.ch) sowie auf speziell organisierten Tagungen und Seminaren berichtet**. Des Weiteren bietet es Hilfe für die Exportanstrengungen der Privatwirtschaft, insbesondere der KMU, an. Alle zwei Jahre veröffentlicht das BFE zudem eine **Liste der Energieforschungsprojekte in der Schweiz**.

Ein weiteres Standbein der Umsetzung ist die Vermittlung neuer Erkenntnisse der Energieforschung und die Sensibilisierung für Anliegen einer nachhaltigen Energieversorgung in der **Aus- und Weiterbildung**. Gemäss Energiegesetz besteht für das BFE ein Auftrag für die Aus- und Weiterbildung von Fachleuten im Energiebereich. Eine angemessene Ausweitung auf andere Anspruchsgruppen (Grund- und Mittelschulen, Berufsschulen generell) wird angestrebt.

Der Abklärung von Bedürfnissen sowie der Suche nach neuen Lösungen mit allen Beteiligten beim Transfer der Ergebnisse von der Forschung in den Markt dienen auch die **Kontakte** mit den Wirtschaftspartnern, Informationen aus Fachzeitschriften und dem Internet sowie diverse Veranstaltungen wie Workshops und Tagungen. Die BFE-Programmleiter sind angehalten, diese Möglichkeiten weitestgehend zu nutzen. Die **Schweizerischen Energieforschungskonferenzen** (ca. alle 4 Jahre) erweisen sich zudem als gut geeignetes Forum, gemeinsam mit allen beteiligten Interessengruppen des Landes deren Bedürfnisse abzuklären und Lösungswege aufzuzeigen.

## A.2.5 RAHMENBEDINGUNGEN FÜR DIE PRIVATWIRTSCHAFT

Der Einsatz von öffentlichen Mitteln für die **Energieforschung in der Privatwirtschaft erfolgt nach dem Prinzip der Subsidiarität**. D. h. es wird nur dort gefördert, wo prioritäre Gebiete von der Privatwirtschaft vernachlässigt werden (weil zu risikoreich), wo andererseits aber gute Perspektiven zur Umsetzung bestehen.

Bei der öffentlichen Forschungsförderung – insbesondere bei der Produktentwicklung – können sich **Interessenskonflikte** ergeben. Einerseits haben die beteiligten Unternehmen ein legitimes Interesse, die neuen Forschungsergebnisse für sich zu bewahren, um ihre Wettbewerbsfähigkeit nicht aufs Spiel zu setzen. Andererseits setzt die Förderung

mit öffentlichen Mitteln voraus, dass die erarbeiteten Forschungserkenntnisse der gesamten Branche zugänglich sein müssen. Immerhin erlangen die Unternehmen dank ihrer geförderten Projekte einen Wissensvorsprung. Zudem kann bei hoher Eigenbeteiligung der Unternehmen eine angemessene Schutzfrist für neue Ergebnisse eingeräumt werden.

Bei der Markteinführung profitiert die Privatwirtschaft von der direkten und indirekten Förderung durch **EnergieSchweiz**. Im Rahmen dieses Programms werden auch Verbrauchszielwerte, Zertifikate und Vorschriften erarbeitet, welche die Rahmenbedingungen für die betroffenen Firmen weiter verbessern.

**Patente** spielen bei der Zusammenarbeit öffentliche Hand und Privatwirtschaft eine wichtige Rolle. In der schweizerischen Hochschulforschung herrschen diesbezüglich unterschiedliche Vorgehen. Vorläufig gilt die Regelung der KTI auch für die Energieforschung: Übernimmt der private Projektpartner einen Finanzierungsanteil von mehr als 50 % und finanziert die öffentliche Förderungsstelle ausschliesslich die im Projekt involvierten öffentlichen Forschungsinstitutionen, hat der private Projektpartner das Recht zur Anmeldung von Patenten und zu deren uneingeschränkter Nutzung. Die Schlussberichte können dann vertraulich erklärt werden. Das Recht zur Patentanmeldung und der sich aus den Patenten ergebenden Entschädigungsansprüche haben die Partner unter sich zu regeln. Die öffentliche Förderungsstelle ist über die Patentanmeldung zu informieren. Falls Patente oder Patentlizenzen ohne Nutzung durch die Projektpartner veräussert werden, sind die gewährten Bundesbeiträge ganz oder teilweise zurückzuzahlen. An ausländische Interessenten dürfen Patente oder Patentlizenzen nur nach Bewilligung durch die öffentliche Förderungsstelle übertragen werden.

Der Schweizer Markt ist für die wirtschaftliche Produktion von energieeffizienten Produkten und von Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energie oft zu klein. Dadurch wird auch die Umsetzung der Energieforschung beeinträchtigt.

## A.2.6 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT

Die Schweiz kann ebensowenig Energiepolitik und Energieforschung isoliert betreiben wie sie im Alleingang ihre Wirtschaft zu entwickeln und in Gang zu halten oder ihre Umwelt hinreichend zu schützen vermag – internationale Zusammenarbeit wird darum zur Pflicht.

**Partnerschaftliche, grenzüberschreitende Zusammenarbeit bringt allen Mitwirkenden Gewinn.** Sie erzeugt Synergien, hilft Doppelspurigkeiten zu vermeiden und die Forschungseffizienz zu steigern und kann auch die beteiligte Industrie stärken. Schliesslich fördert internationale Zusammenarbeit die Harmonisierung von Regelwerken und Gesetzen.

**Internationale Projekte haben in der schweizerischen Energieforschung bereits gute Tradition.** Beispielsweise werden die Möglichkeiten **im Rahmen der Internationalen Energie-Agentur (IEA) und der Nuklear-Energie-Agentur der OECD (NEA)** voll genutzt. Die IEA ermöglicht auch Kontakte zu aussereuropäischen Ländern und

Eine wichtige Massnahme zur Verbesserung dieser Rahmenbedingung ist daher die Ausrichtung der Technologieentwicklung an die Anforderungen der **internationalen Märkte**. Im Energiebereich wird innerhalb der nächsten 5 Jahre mindestens eine Verdoppelung des heutigen Exportvolumens der Schweiz als realistisch eingestuft (vgl. Förderung des Exports im Bereich der Energietechnologien, 2001, zu beziehen unter [www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch), unter Datenbank Energieforschung, Publikationsnummer 210121). Grosse Unternehmen haben die Möglichkeit, über Vertretungen im Ausland ihre Produkte in einem grösseren Markt zu vertreiben. Kleine und mittlere Unternehmen benötigen dazu die Unterstützung der öffentlichen Hand. Der Bund sieht dafür insbesondere die Instrumente des Business Network Switzerland vor, die über dessen Eingangsportale, das Service Center, genutzt werden können ([www.businessnetwork.ch/servicecenter](http://www.businessnetwork.ch/servicecenter)). Diese Instrumente sind von der Energieforschung konsequent zu nutzen und deren Erfahrungen in die Planung der Forschung und Umsetzung einzubeziehen.

erleichtert die Realisierung von bilateralen Projekten mit den IEA-Mitgliedstaaten. Eine steigende Beteiligung ist bei den Energieforschungsprojekten **im Rahmen der EU-Forschung** anzustreben, in der bereits seit mehreren Jahren die Forschung im Bereich der Kernfusion europaweit koordiniert wird. Seit der Inkraftsetzung des bilateralen Abkommens im Forschungsbereich zwischen der EU und der Schweiz (6. und 7. Forschungsrahmenprogramm) ist die Mitbestimmung und der Zugang der Schweiz zu solchen Projekten wesentlich verbessert worden. Es ist eine deutliche Steigerung der Teilnahme von Schweizer Partnern in EU-Forschungsprojekten zu verzeichnen.

**Aber nicht in allen Fällen ist eine internationale Zusammenarbeit angebracht oder von Nutzen.** Beispielsweise lassen sich spezifisch schweizerische Fragestellungen nur auf nationaler Ebene lösen. Auch werden innovative Ansätze, zu deren Lösung und Verwertung die Schweizer Industrie besonders gut positioniert ist, mit Vorteil im Alleingang verfolgt. Dies verbessert die Wettbewerbsfähigkeit

von Branchen und Betrieben. Ganz generell eignen sich Forschungsprojekte, bei denen kurzfristig mit patentierbaren Ergebnissen gerechnet werden kann, für ein kleines, auf Export angewiesenes Land wie die Schweiz wenig zur Zusammenarbeit mit anderen Staaten, weil bei internationalen Projekten in der Regel nur eine nationale Patentierung möglich ist. **Vor- und Nachteile einer internationalen Einbettung von Energieforschungsprojekten müssen daher von Fall zu Fall gut abgewogen werden.**

Im Ausland durchgeführte Forschungsprojekte sind nur zu unterstützen, wenn dadurch eine Wertschöpfung für die Schweiz initiiert wird. Daneben kann sich die Schweiz an internationalen Forschungsprojekten in ausländischen

Grossanlagen beteiligen, deren Betrieb die Möglichkeiten einzelner Staaten übersteigt.

**Eine weltweite Zusammenarbeit mit und ein verstärktes Engagement in sich entwickelnden Ländern wird langfristig und insbesondere im Problemkreis Energie und Umwelt als wichtig eingestuft.** Solidarität nützt letztlich auch der Schweiz. Dazu soll, neben gemeinsamen konkreten Projekten, auch am Aufbau eigener Forschungsstrukturen mitgearbeitet werden. Eine aktive Zusammenarbeit mit diesbezüglichen Institutionen (DEZA, SECO, KFPE, REPIC) ist unerlässlich.

## A.2.7 KONTROLLE DER ZIELERREICHUNG

Controlling und Qualitätssicherung der Energieforschung geschieht heute durch die Projektbegleitung der Programm- und Bereichsleiter sowie der Begleitgruppen. Die CORE kontrolliert das Geschehen durch je einen den einzelnen Programmen zugeteilten Paten sowie die Jahresüberblicksberichte der Programmleiter. Zudem haben die Programmleiter ihre Forschungsprogramme mit Ergebnissen, Zukunftsplänen und der Beurteilung der Umsetzung regelmässig der Kommission vorzustellen.

Die CORE achtet bei der Programm-Vorstellung auf die Definition überprüfbarer und realistischer, quantitativer Zielsetzungen in den einzelnen Forschungsprogrammen und die Einhaltung der dafür gesetzten Termine. Sie verlangt in den Jahresübersichten der Programmleiter für F+E und P+D einen jährlichen Vergleich zwischen den Zielsetzungen und dem im Berichtsjahr tatsächlich Erreichten. Die Abweichungen von den Sollwerten sind unter Berücksichtigung unvorhersehbarer Ereignisse und Schwierigkeiten, der finanziellen Mittel, der verfügbaren Institutionen und Mitarbeiter kurz zu begründen. Neben der Zielerreichung werden auch Termine, Meilensteine, Energiewirkung und Marktnähe überprüft. Nicht Bestandteil des Controllings der CORE sind die Finanzen, welche nach wie vor direkt von den

Förderungsstellen wahrgenommen werden sowie auch die interne Organisation innerhalb der Forschungsbereiche. Die Beurteilung der jährlichen Programmfortschritte geschieht besonders durch die entsprechenden CORE-Paten, gemeinsam mit den Programmleitern. Dadurch ist die Kommission über die Aktivitäten und den Erfolg in den einzelnen Bereichen gut informiert und kann nach Bedarf steuernd eingreifen.

Die Energieforschung wird regelmässig **durch international zusammengesetzte Expertengruppen evaluiert.** Dies zum einen, indem Forschungsinstitutionen ihre Arbeiten auf eigene Initiative prüfen lassen. Zum anderen lässt das BFE bereichsweise die Forschungs- und Umsetzungsarbeiten bewerten. Dabei wird beurteilt, was diese Forschungsprogramme zum Erreichen der Vision 2050 und den übergeordneten Zielen (Kapitel 3) beitragen und welche Qualität die Schweizer Energieforschung im internationalen Vergleich aufweist. Weiter werden seitens der IEA Tiefenprüfungen der Länder durchgeführt, welche die Forschung und Entwicklung als wichtiges Thema mit beinhalten. Geäusserte Kritik wird ernst genommen und – unter der Obhut der CORE – weitmöglichst umgesetzt.

## A.3 Prozess der Schwerpunktsetzung

Zur Schwerpunktsetzung hat die CORE abklären lassen, wie sich der Technologiemarkt in den kommenden Jahrzehnten verändern müsste, um der langfristigen Vision und den quantitativen Zielen für 2050, wie sie im Kapitel 3 dargelegt sind, weitestgehend zu genügen (M. Burer, E4tech, und C. Bremer, CEPE/ETHZ: **A contribution to the identification of promising technologies for the 2050 Swiss Energy R&D policy vision**; siehe [www.bfe.admin.ch/dokumentation/energieforschung](http://www.bfe.admin.ch/dokumentation/energieforschung)). Dabei wurden vier Szenarien untersucht, die sich im Grad der Dezentralisierung und im Substitutionsgrad für fossile Brenn- und Treibstoffe unterscheiden. Als weitere Randbedingung wurden die Wachstumsprognosen des Seco verwendet. Die Modellrechnungen berücksichtigten die Investitionszeiträume oder sozioökonomische Faktoren nicht, welche für eine Einführung neuer Technologien nötig sind; sie beruhen auf Energiebilanzen, Potenzialen der Energiequellen und den zu erwartenden Wirkungsgraden der neuen Technologien. Die Ergebnisse sind jedoch in erklärbarer Übereinstimmung mit dem Szenario IV der BFE-Energieperspektiven ([www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)).

Die Resultate sind im Wesentlichen:

- Die postulierten Ziele sind grundsätzlich mit allen vier Szenarien erreichbar; die nötigen Technologien werden bei entsprechender Forschungsaktivität 2050 vorhanden sein.
- Wenn nur nicht erneuerbare Energien gezählt werden, ist mit allen vier Szenarien ein Energiekonsum pro Kopf der Bevölkerung von 2000 Watt erreichbar. Wird es unter dem Blickwinkel der «kommerziellen» Energie betrachtet (wie es im Modell der 2000-Watt-Gesellschaft der Fall ist),

führt das Erreichen der Zielvorgaben zu einer **3000- bis 4000-Watt-Gesellschaft**.

- Die CO<sub>2</sub>-Emissionen sinken bis 2050 von heute rund 6 auf jährlich 4,1 bis 2,4 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Kopf, je nach Szenario. In einem nächsten Schritt wurde analysiert, welche Rolle die verschiedenen Technologien in den untersuchten Szenarien spielen. Schwerpunkte wurden dann bei denjenigen Technologien gesetzt, die in allen Szenarien massgebend sind und denjenigen im Szenarium mit höchster Substitution fossiler Energieträger (mit und ohne Kernenergie). Eine weitere Gewichtung wurde anschliessend vorgenommen durch die Abwägung, welche Technologien in Zukunft sowohl national wie auch global wesentliche Beiträge zu einer nachhaltigeren und sicheren Energieversorgung und gleichzeitig zu einem wesentlichen volkswirtschaftlichen Nutzen liefern werden (siehe Kapitel 5).

Die Ergebnisse der CORE-Roadmap wurden zur Prüfung der Belastbarkeit vom PSI ins Markal-Modell eingegeben, welches Optimierungen nach volkswirtschaftlichem Nutzen ermöglicht. Die Ergebnisse bestätigen die von der CORE vorgenommenen Schwerpunktsetzungen. Die Ziele lassen sich zu vertretbaren Mehrkosten (weniger als 5 %) erreichen. Wirkungsvoll zeigen sich insbesondere die kombinierten Massnahmen. Der Mehraufwand ist umso mehr gerechtfertigt, als durch die getroffenen Massnahmen wesentliche Kosten als Folge der negativen Klimaauswirkungen vermieden werden (siehe z. B. «Stern-Bericht»).

Eine Reihe von Forschungszielen betreffen mehrere Energietechnologien; diese sind in nachfolgender Tabelle zusammengestellt.

	Gebäudedämmung	kontrollierte Lüftung	Personenwagen	Zweiradsysteme	Effiziente Elektrizitätsanwendungen	Druckluftspeicherung	direkte Konversion Wärme-Strom	Hochtemperatur-Supraleitung	Akkumulatoren und Supercaps	elektrische Netze	Verbrennungsmotoren	Gasturbinen	Dampfturbinen	Mikroturbinen	Brennstoffzellen	Verfahrenstechnische Prozesse	Solarthermie	Photovoltaik	Solarchemie	Wasserstoffherstellung	Wasserstoffspeicherung	Umgebungswärme	Biomassevergärung	Biomasseverbrennung	Kleinwasserkraftwerke	Tiefe Geothermie	Windenergie	Kerntechnik und nukleare Sicherheit	Entsorgung radioaktiver Abfälle	Kernfusion
<b>Kostenreduktion</b>																														
<b>Erhöhung Effizienz</b>																														
<b>Erhöhung Lebensdauer</b>																														
<b>Erhöhung Zuverlässigkeit</b>																														
<b>Vergrößerung des Betriebsbereichs</b>																														
<b>Erhöhung Leistungsdichte</b>																														
<b>Systemintegration</b>																														
<b>Reduktion von (potentiellen) langfristigen Umweltschäden</b>																														
<b>Diversifizierung der Energiequellen</b>																														
<b>Vergrößerung des Anwendungsbereichs</b>																														
<b>Gewichtsreduktion</b>																														
<b>Verringerung Materialverbrauch</b>																														
<b>Recycling</b>																														
<b>Erhöhung der Akzeptanz</b>																														

## A.4 Die Eidgenössische Energieforschungskommission CORE

Mitglieder	Vertreter von
Dr. Kaiser Tony, Präsident Alstom Power, Future Technologies, Direktor	Grossindustrie
Prof. Dr. Favrat Daniel EPFL, directeur du Laboratoire d'énergétique industrielle	ETH Lausanne, Alliance for Global Sustainability
Regierungsrat Freitag Pankraz Baudirektion Kt. Glarus, Vorsteher	Kantonale Energiedirektoren
Jakob Ernst Amt für Umweltkoordination und Energie des Kantons Bern	Kantonale Energiefachstellen
Prof. Dr. Kunze Christian École d'Ingénieurs du Canton du Vaud, Directeur	Fachhochschulen, Schweizerischer Nationalfonds
Dr. Leutenegger Hajo Wasserwerke Zug AG, Direktor	Energiewirtschaft (Wasser und Gas)
Prof. Dr. Lux-Steiner Martha Christina Hahn-Meitner-Institut, Bereichsleiterin Solarenergieforschung	Universitäten, internationale Beziehungen
Rohrbach Kurt BKW-FMB Energie AG, Direktionspräsident	Energiewirtschaft (Elektrizität)
Prof. Dr. Schlapbach Louis EMPA, Gesamtleiter	EMPA, Kommission für Technologie und Innovation
Togni Giuseppina eTeam TOGNI ENERGIE GmbH, Mitinhaberin	Ingenieurbüros, KMU
Prof. Dr. Wavre Nicolas Management Consultant	KMU, Fachhochschulen
Prof. Dr. Wokaun Alexander Paul Scherrer Institut Leiter Forschungsbereich allgemeine Energie	PSI, ETH Zürich, Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften, Novatlantis
Dr. Wüstenhagen Rolf HSG, Vizedirektor Institut für Wirtschaft und Ökologie	Universitäten, Ökonomie, Entrepreneurship, VentureCapital
Beobachter	Amt
Dr. Schriber Gerhard Leiter Sektion Forschung und Ausbildung	Bundesamt für Energie BFE
Zürcher Daniel Leiter Sektion Innovation	Bundesamt für Umwelt BAFU
Dr. Zinsli Paul-Erich Stellvertretender Direktor	Staatssekretariat für Bildung und Forschung SBF
Sekretariat	Adresse
Dr. Gut Andreas BFE, Sektion Forschung und Ausbildung	Tel. 031 322 53 24, Fax 031 323 25 00 E-Mail: andreas.gut@bfe.admin.ch

## A.5 BFE-Bereiche und Verantwortliche

	BFE-Bereiche	Bereichsleiter	Programmleiter F,E+D
Effiziente Energienutzung	Gebäude (inkl. Solararchitektur)	Andreas Eckmanns	Charles Filleux
	Verkehr	Martin Pulfer	Martin Pulfer
	Batterien, Supercaps		
	Elektrizitätstechnologien und -anwendungen	Felix Frey	Roland Brüniger
	Netze	Rainer Bacher	Thilo Krause
	Wärme-Kraft-Kopplung	Fabrice Rognon	Thomas Kopp
	Verbrennung		Stephan Renz
	Kraftwerk 2020		Peter Jansohn
	Brennstoffzellen	Andreas Gut	Andreas Luzzi
	Verfahrenstechnische Prozesse	Martin Stettler	Martin Stettler
Erneuerbare Energien	Solarwärme (inkl. Speicherung)	Urs Wolfer	Jean-Christophe Hadorn
	Photovoltaik		Stefan Nowak
	Industrielle Solarenergienutzung		Pierre Renaud
	Wasserstoff	Andreas Gut	Andreas Luzzi
	Umgebungswärme (Wärmepumpen)	Fabrice Rognon	Thomas Kopp
	Holz	Daniel Binggeli	Daniel Binggeli
	Biomasse (ohne Holz)	Bruno Guggisberg	Bruno Guggisberg
	Kleinwasserkraftwerke		Manuel Buser
	Wasserkraft (grosse Werke)	Georges Darbre	Manuel Buser
	Geothermie	Markus Geissmann	Rudolf Minder
	Wind		Robert Horbaty
Kernenergie	Kernspaltung und nukleare Sicherheit	Christophe de Reyff <sup>1)</sup>	Konstantin Foskolos
	Regulatorische Sicherheitsforschung		Thomas Bigler
	Kernfusion		Andreas Werthmüller
Energiewirtschaftliche Grundlagen	Energiepolitik, Ökonomie, Gesellschaft, Umwelt	Lukas Gutzwiller	Lukas Gutzwiller
	Technologie-Transfer	Andreas Gut, Yasmine Calisesi, Christophe de Reyff	

1) Das BFE hat hier hauptsächlich die Rolle der Auskunftsstelle

Adressen der BFE-Bereichsleiter	
Rainer Bacher, Tel. 031 322 56 15	Andreas Gut, Tel. 031 322 53 24
Daniel Binggeli, Tel. 031 322 68 23	Lukas Gutzwiller, Tel. 031 322 56 79
Yasmine Calisesi, Tel. 031 322 53 21	Thilo Krause, Tel. 031 322 56 63
Georges Darbre, Tel. 031 325 54 91	Martin Pulfer, Tel. 031 322 49 06
Andreas Eckmanns, Tel. 031 322 54 61	Christophe de Reyff, Tel. 031 322 56 66
Felix Frey, Tel. 031 322 56 44	Fabrice Rognon, Tel. 031 322 47 56
Markus Geissmann, Tel. 031 322 56 10	Martin Stettler, Tel. 031 322 55 53
Bruno Guggisberg, Tel. 031 322 56 40	Urs Wolfer, Tel. 031 322 56 39
Die folgende Adresse ist für alle Obengenannten gültig : BFE, 3003 Bern, Fax: 031/323 25 00 E-Mail: Vorname.Name@bfe.admin.ch	

Adressen der Programmleiter ausserhalb des BFE	
Roland Brüniger R. Brüniger AG Zwillikerstr. 8, 8913 Ottenbach Tel. 044 760 00 66 – Fax: 044 760 00 68 E-Mail: roland.brueiniger@r-brueniger-ag.ch	Thomas Kopp HSR, Hochschule für Technik Rapperswil Oberseestr. 10, 8640 Rapperswil Tel. 055 222 49 23 – Fax: 055 222 44 00 E-Mail: thomas.kopp@hsr.ch
Manuel Buser entec AG Consulting & Engineering Bahnhofstr. 4, 9000 St. Gallen Tel. 071 228 10 20 – Fax: 071 228 10 30 E-Mail: pl@smallhydro.ch	Andreas Luzzi HSR, Hochschule für Technik Rapperswil Oberseestr. 10, 8640 Rapperswil Tel. 055 222 48 22 – Fax: 055 222 48 44 E-Mail: andreas.luzzi@hsr.ch
Thomas Bigler HSK 5232 Villigen-HSK Tel. 056 310 39 19 – Fax: 056 310 39 95 E-Mail: thomas.bigler@hsk.ch	Rudolf Minder Minder Energy Consulting Ruchweid 22, 8917 Oberlunkhofen Tel. 056 640 14 64 – Fax: 056 640 14 62 E-Mail: rudolf.minder@bluewin.ch
Charles Filleux Basler & Hofmann AG Forchstr. 395, 8032 Zürich Tel. 044 387 11 22 – Fax: 044 387 11 00 E-Mail: charles.filleux@bhz.ch	Stefan Nowak Nowak Energie & Technologie AG Waldweg 8, 1717 St. Ursen Tel. 026 494 00 30 – Fax: 026 494 00 34 E-Mail: stefan.nowak@netenergy.ch
Konstantin Foskolos PSI 5232 Villigen-PSI Tel. 056 310 26 92 – Fax: 056 310 44 11 E-Mail: konstantin.foskolos@psi.ch	Pierre Renaud Planair SA Crêt 108 a, 2314 La Sagne NE Tel. 032 933 88 40 – Fax: 032 933 88 50 E-Mail: pierre.renaud@planair.ch
Jean-Christophe Hadorn Base Consultants SA 51, ch. du Devin 1012 Lausanne Tel. 021 651 42 82 – Fax: 021 651 42 83 E-Mail: jchadorn@baseconsultants.com	Stephan Renz Beratung Thoma & Renz Elisabethenstr. 44, Postfach, 4010 Basel Tel. 061 271 76 36 – Fax: 061 272 57 95 E-Mail: renz.btr@swissonline.ch
Robert Horbaty ENCO AG Wattwerkstrasse 1, 4416 Bubendorf Tel. 061 965 99 00 – Fax: 061 965 99 01 E-Mail: robert.horbaty@enco-ag.ch	Andreas Werthmüller SBF, Staatssekretariat für Bildung und Forschung Hallwylstrasse 4, 3003 Bern Tel. 031 323 35 95 – Fax: 031 322 78 54 E-Mail: andreas.werthmueller@sbf.admin.ch
Peter Jansohn PSI 5232 Villigen-PSI Tel. 056 310 28 71 – Fax: 056 310 26 24 E-Mail: peter.jansohn@psi.ch	

## A.6 Abkürzungen

AGS	Alliance for Global Sustainability
BBT	Bundesamt für Berufsbildung und Technologie
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BFE	Bundesamt für Energie
BFI-Botschaft	Botschaft über die Förderung von Bildung, Forschung und Innovation
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxyd
COP	Coefficient of Performance (Leistungszahl)
CORE	Eidg. Energieforschungskommission
CRPP	Centre de Recherches en Physique des Plasmas, ETH-Lausanne
DEZA	Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit
EMPA	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Dübendorf
EPF	Ecole Polytechnique Fédérale
ETH	Eidg. Technische Hochschule
EU	Europäische Union
EURATOM	Europäische Atomgemeinschaft
F,E&D	Forschung, Entwicklung und Demonstration
FEV	Forschungsfonds der Erdöl-Vereinigung
FOGA	Forschungsfonds der Gaswirtschaft
HSG	Hochschule St. Gallen
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IEA	Internationale Energie-Agentur
ITER	International Thermonuclear Experimental Reactor
KFPE	Kommission für Forschungspartnerschaften mit Entwicklungsländern
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KTI	Kommission für Technologie und Innovation beim BBT
LWR	Leichtwasserreaktor
MOX	Misch-Oxyd (Brennstoff)
NAGRA	Nationale Genossenschaft zur Lagerung von radioaktiven Abfällen
NEA	Nuklear-Energie-Agentur
P+D	Pilot- und Demonstrationsprojekte
PSI	Paul Scherrer Institut
REPIC	Interdepartementale Plattform zur Förderung der Erneuerbaren Energien in der internationalen Zusammenarbeit
SAM	Sustainable Asset Management
SATW	Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften
SBF	Staatssekretariat für Bildung und Forschung
SECO	Staatssekretariat für Wirtschaft
SNF	Schweizerischer Nationalfonds
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
WKK	Wärme-Kraft-Kopplung

