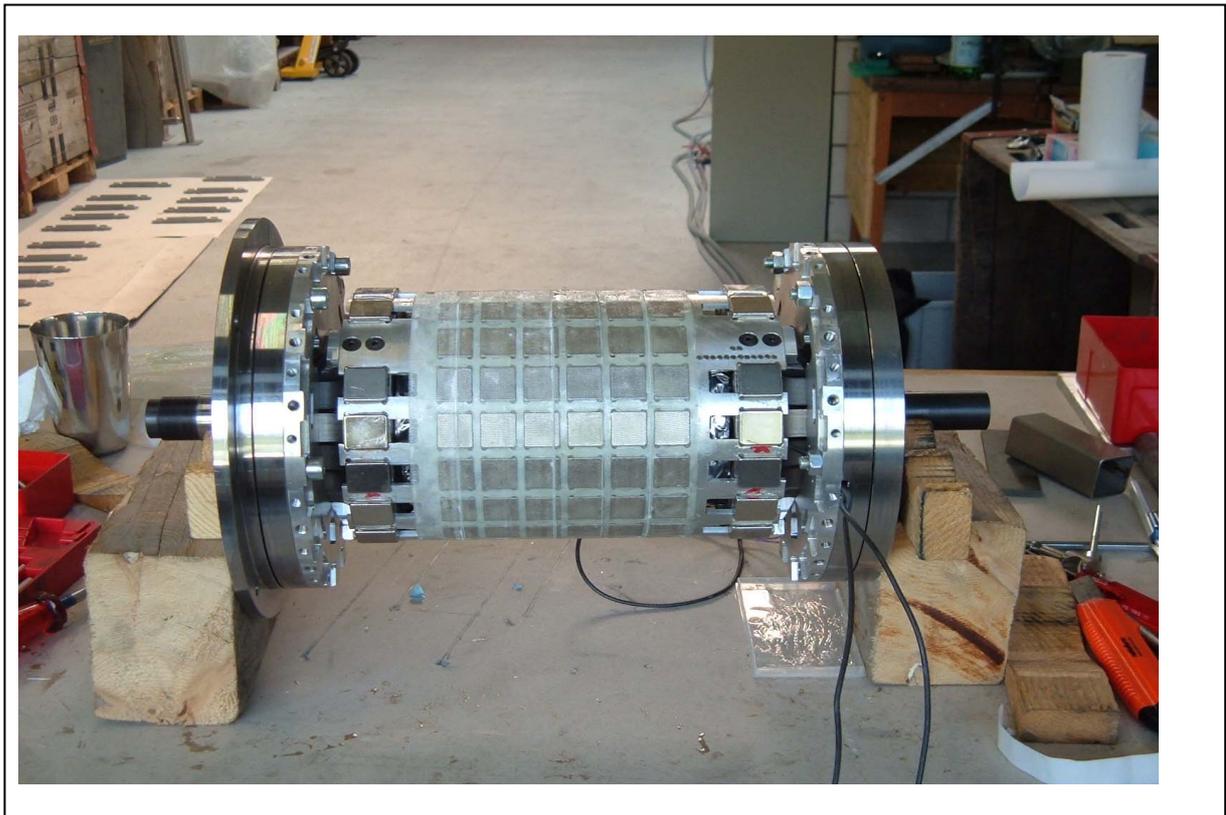




ENERGIEFORSCHUNGSPROGRAMM 2008 - 2011

ELEKTRIZITÄSTECHNOLOGIEN UND -ANWENDUNGEN



Verdankungen

Es sei an dieser Stelle allen Personen bestens gedankt, die einen Beitrag zum vorliegenden Konzept geleistet und damit zur Entstehung beigetragen haben. Spezieller Dank gebührt allen Mitgliedern der verschiedenen Begleitgruppen (ca. 60 Personen), dem CORE-Paten Herrn Christian Kunze und Herrn Felix Frey vom BFE (Leiter Technologiebereich Elektrizität / Marktbereich Elektrogeräte).

Dokumenten-Status

Das vorliegende Konzept wurde im Herbst 2007 mit dem Bundesamt für Energie und den verschiedenen Begleitgruppen anlässlich mehrerer Sitzungen ausführlich diskutiert. Die entsprechenden Anregungen sind eingeflossen und in der vorliegenden, bereinigten Version berücksichtigt. Das Konzept wurde am 16. November 2007 der CORE (Eidg. Energieforschungskommission) präsentiert und durch diese genehmigt. Die dabei gemachten Auflagen sind in der vorliegenden Version berücksichtigt.

Impressum

Datum: Mai 2008

Autor: Roland Brüniger, R. Brüniger AG, Zwillikerstrasse 8, CH-8913 Ottenbach

Im Auftrag des Bundesamts für Energie, CH-3003 Bern, Tel. 031 322 56 11, www.bfe.admin.ch

Bezugsort der Publikation: www.energieforschung.ch (www.electricity-research.ch)

Titelbild: Läufer mit eingelegten Magneten des neuartigen Linear-Motors (Circle Motor AG)

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG	5
SUMMARY	6
RESUME	7
1. EINLEITUNG	8
Uebergeordnete Zielsetzung.....	8
Programmstruktur	8
2. TECHNOLOGIE: ENERGIEKONVERSION	9
Stand der Technologie international und in der Schweiz.....	9
Weltweiter und Schweizer Markt.....	10
Potential in der Schweiz.....	11
Nationale Akteure.....	13
Internationale Zusammenarbeit	14
Zielsetzungen.....	14
3. TECHNOLOGIE: SPEICHERUNG (DRUCKLUFT)	16
Bedeutung und Stand der Technologie	16
Weltweiter und Schweizer Markt.....	17
Potentiale in der Schweiz.....	18
Nationale Akteure.....	18
Internationale Zusammenarbeit	18
Zielsetzungen.....	18
4. TECHNOLOGIE: HOCHTEMPERATURSUPRALEITUNG (HTSL)	20
Stand der Technologie international und in der Schweiz.....	20
Weltweiter und Schweizer Markt.....	21
Potentiale in der Schweiz.....	21
Nationale Akteure.....	21
Internationale Zusammenarbeit	22
Zielsetzungen.....	22
5. ANWENDUNG: ELEKTRISCHE MOTOREN / ANTRIEBE	24
Stand der Technologie international und in der Schweiz.....	24
Weltweiter und Schweizer Markt.....	26
Potentiale in der Schweiz.....	27
Nationale Akteure.....	27
Internationale Zusammenarbeit	27
Zielsetzungen.....	28
6. ANWENDUNG: INFORMATIONS- UND KOMMUNIKATIONSTECHNIK	29
Stand der Technologie international und in der Schweiz.....	29
Weltweiter und Schweizer Markt.....	30
Potentiale in der Schweiz.....	31
Nationale und internationale Akteure	31
Internationale Zusammenarbeit	31

Zielsetzungen.....	32
7. ANWENDUNG: GERÄTE (HAUSHALT UND GEWERBE)	33
Stand der Technologie und potential in der Schweiz.....	33
Nationale Akteure und Internationale Zusammenarbeit	34
Zielsetzungen.....	34
8. ANWENDUNG: LICHT / DIVERSES	35
Stand der Technologie international und in der Schweiz.....	35
Potentiale international und in der Schweiz.....	35
Nationale Akteure.....	36
Internationale Zusammenarbeit	36
Technische und wirtschaftliche Zielsetzungen.....	36
9. ANWENDUNG: DIVERSES	37
Generell.....	37
10. MITTELEINSATZ IM FORSCHUNGSPROGRAMM.....	38
11. FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE IN DEN JAHREN 2008 – 2011	39
Generelle Umsetzung und Kommunikation	39
Thematisch gegliederte Schwerpunkte.....	39
Elektrizitätsanwendung Schwerpunkt A-1: Elektr. Antriebe / Motoren.....	40
Elektrizitätsanwendung Schwerpunkt A-2: Informations- und Kommunikationstechnik (IKT).....	41
Elektrizitätsanwendung Schwerpunkt A-3: Geräte (Haushalt und Gewerbe).....	42
Elektrizitätstechnologie Schwerpunkt T-1: Energiekonversion, Thermoelektrik	43
Elektrizitätstechnologie Schwerpunkt T-2: Energiekonversion, magnetokalorik	44
Elektrizitätstechnologie Schwerpunkt T-3: Speicherung (Druckluft).....	45
Elektrizitätstechnologie Schwerpunkt T-4: Hochtemperatursupraleitung	46
REFERENZEN	47
ANHANG	47
Interessante Links	48
Verzeichnis der ETH-Institute und FH mit Forschung im Elektrizitätsbereich	49
Verzeichnis Trendwatching-Gruppen-Mitglieder (Stand 2007).....	50

ZUSAMMENFASSUNG

Mit neuartigen Technologien sowie effizienten Anwendungen wird mit dem vorliegenden Forschungsprogramm 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. Das Programm ist unterteilt in einen **Technologiebereich** und einen **Anwendungsbereich**.

Im **Technologiebereich** stehen die folgenden Themen und Zielsetzungen im Vordergrund:

- **Energiekonversion Wärme–Elektrizität:** Die Schweiz hat in der *Thermoelektrik-Materialforschung* eine Spitzenposition. Neuartige Anwendungen der Wärmenutzung sollen modelliert und deren Machbarkeit geprüft werden. Die Effizienz definierende *Figure of Merit* soll mit neuen Materialien von heute $ZT=1$ auf $ZT=2$ weiter entwickelt werden. Ebenfalls wird die *magnetokalorische Konversion* auf mögliche Anwendungen untersucht.

Langfristiges Ziel Thermoelektrik	2010	2020	2030
Applikationen	Modellierung / Potential	Machbarkeit	Applikationen

- **Effiziente Druckluftspeicherung:** Eine effiziente Energiespeicherung ist für mobile Anwendungen und für die stochastische Stromerzeugung durch erneuerbare Energien erforderlich. Theoretische Berechnungen zeigen bei der Druckluftspeicherung eine Zyklus-Effizienz von bis zu 70%. Die Erforschung der praktischen Machbarkeit mit Funktionsmustern eines neuartigen, isothermen Speicherkonzepts wird deshalb strategisch verfolgt, wobei der Einbezug eines Industriepartners zwingend ist. Es werden folgende quantitative Ziele verfolgt:

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

- **Hochtemperatursupraleitung (HTSL):** Das Einsparpotential mit HTSL-Technologie beträgt ca. 1-3% des Stromverbrauchs. Die Leiterentwicklung macht Fortschritte und die Wissenserhaltung und Verfolgung der Materialforschung ist wichtig, um den Einstieg beim Entwicklungsdurchbruch in der Leitertechnologie zu gewährleisten.

Im **Anwendungsbereich** stehen die folgenden Themen und Zielsetzungen im Vordergrund:

- **Effiziente Motoren, Antriebe:** Forschung effizienter Motoren- und Antriebssysteme zur Umsetzung des Einsparpotentials von 20-25% (5'000GWh) des motorischen Stromverbrauchs. Der integrale Permanentmagnet-Motor verspricht allein ein Einsparpotential von jährlich 75GWh und bei einem neuartigen Schrittmotor wird dieses auf 100GWh geschätzt.
- **Informatik/Kommunikation:** Technische Grundlagen zur Effizienzsteigerung diverser Kommunikationsgeräte. Technische Analyse und Untersuchungen einer effizienten Kühlung von Rechenzentren, Servern, VDSL-Modems, Settop-Boxen, etc. als Basis für effizienzsteigernde Massnahmen.
- **Geräte:** Neuartige, technische Konzepte zur Verminderung des Verbrauchs im Standby- und On-Betrieb von Haushaltsgeräten wie Tumbler, Kühlschrank, Minibar, etc. unter Einbezug der Industrie. Mess- und Kriteriengrundlagen für USV-Anlagen (< 10kVA) als Basis für eine europäische Energie-Etikette. Technische Grundlagen für effiziente *Home Automation Systeme* im privaten Bereich.

Mittelfristige Ziele	2008	2010	2015
Neuartiger Wäschetrockner (Energieklasse-A-Gerät zu wirtschaftlicherem Preis)	Prototyp	Feldgerät	Vorserie
Minibar (Einsparpotential 12GWh/Jahr)	Techn. Analyse	Prototyp	Vorserie

Angesichts des breiten Forschungsfeldes, der guten Ausgangslage der Schweizer Forschung und des grossen Einsparpotentials sollen die Forschungsanstrengungen von heute knapp 7 Mio. Fr./Jahr (Anteil BFE: Fr. 1,2 Mio./Jahr) mindestens gehalten werden. Für P+D-Projekte sind zusätzlich 2 Mio.Fr./Jahr zu budgetieren.

SUMMARY

The programme makes a valuable contribution towards the reduction of the annually increasing consumption of electricity by researching new technologies and efficient applications. All activities are internationally coordinated wherever this is practical and purposeful. The results of research in the area of applications are placed at the disposal of *SwissEnergy* for implementation. The programme is divided into two segments: **Technologies** and **Applications**.

In the **Technologies segment** the focus is on the following topics and objectives:

- **Conversion of heat into electricity:** Switzerland is a leader in the field of thermoelectric materials research. The aim here is to define new models for the utilisation of heat and examine their feasibility. The *Figure of Merit* that is used for defining thermoelectric efficiency is to be further developed from the present-day $ZT=1$ to $ZT=2$ with new materials. And *magnetocalorific conversion* is also to be studied from the point of view of identifying new applications.

Thermoelectricity: long-term objectives	2010	2020	2030
Applications	Modelling / potential	Feasibility	Applications

- **Efficient compressed-air storage:** Efficient energy storage is required for mobile applications (e.g. motor cars) and for stochastic electricity production from renewable energy. Theoretical calculations indicate a cycle efficiency of up to 70 percent for compressed-air storage. Research into the practical feasibility with functional models of a new type of isothermal storage concept is thus being strategically pursued. The incorporation of an industrial partner is essential here. The quantitative objectives are as follows:

Compressed-air storage: long-term objectives	2010	2020	2030
Efficiency (cycle)	Feasibility	50%	70%

- **High-temperature superconductivity:** The potential with high-temperature superconductivity is approximately 1 to 3 percent of overall electricity consumption. Progress is being made with the development of superconductors. Here it is essential to preserve scientific findings and continue with materials research so that the use of this technology can be assured once the breakthrough has been achieved.

In the **Applications segment** the focus is on the following topics and objectives:

- **Efficient drives and motors:** Research into efficient motors and drive systems for utilising the savings potential of between 20 and 25 percent of electricity consumption (5,000 GWh) in this area. The integral permanent magnet motor promises an annual savings potential of 75 GWh, and with a new type of stepper motor this figure raises to an estimated 100 GWh.
- **IT/communication:** Technical bases for enhancing the efficiency of various communication devices. Technical evaluation and studies of efficient cooling appliances of computer rooms, servers, VDSL modems, set-top boxes, etc., as the basis for defining measures to enhance efficiency.
- **Electrical appliances:** New concepts for reducing the consumption of household appliances such as tumble dryers, refrigerators, mini-bars, etc., in stand-by and on modes, with support from the industry. Bases for measuring uninterruptible power supply devices (< 10kVA) and defining criteria for qualification for the European energy label. Technical bases for efficient *home automation systems* (private sector).

Medium-term objectives	2008	2010	2015
New type of clothes dryer (energy-class A appliance at more economical price)	Prototype	Practical tests	Pilot production
Mini-bar (savings potential, 12 GWh/year)	Techn. evaluation	Prototype	Pilot production

In view of the broad area of research, the favourable situation for Swiss research and the major efficiency potential, the funding of research activities should at least be maintained at the current level of around 7 million Swiss francs per annum (contribution from SFOE: 1.2 million Swiss francs p.a.). An additional 2 million Swiss francs p.a. should be budgeted for pilot and demonstration projects.

RESUME

Grâce à des technologies novatrices et des applications efficaces, le présent programme de recherche entend contribuer à réduire la consommation d'électricité qui ne cesse de progresser d'année en année. Toutes les activités sont harmonisées sur le plan international, dans la mesure où cela correspond au but recherché. Les résultats de recherche obtenus dans le domaine des applications sont mis à la disposition de SuisseEnergie pour mise en œuvre. Le programme comprend une partie consacrée aux **Technologies** et une autre à l'**Application**.

La partie **Technologies** se concentre sur les thèmes et objectifs suivants:

- **Conversion de l'énergie thermique en énergie électrique:** La Suisse est à la pointe concernant la *recherche sur les matériaux thermoélectriques*. De nouvelles applications relatives à l'utilisation de la chaleur doivent être modélisées et leur faisabilité étudiée. La valeur (*figure of merit*) définissant l'efficacité doit être améliorée grâce à de nouveaux matériaux pour passer de $ZT=1$ à $ZT=2$. La *conversion magnétocalorique* fait aussi l'objet de recherches, afin de trouver de possibles applications.

Objectif à long terme de la recherche thermoélectrique	2010	2020	2030
Applications	Modélisation / Potentiel	Faisabilité	Applications

- **Stockage efficace par air comprimé:** Un stockage d'énergie efficace est nécessaire dans le cadre des applications mobiles (p. ex. automobiles) ainsi que pour la production stochastique d'électricité grâce aux énergies renouvelables. Des calculs théoriques révèlent une efficacité de cycle allant jusqu'à 70% pour le stockage par air comprimé, d'où l'importance stratégique revêtue par l'étude de la faisabilité pratique, sur la base de modèles de fonction d'un nouveau concept de stockage isotherme. A cet égard, il est impératif de pouvoir collaborer avec un partenaire de l'industrie. Les objectifs quantitatifs sont les suivants:

Objectif à long terme du stockage par air comprimé	2010	2020	2030
Degré d'efficacité (cycle)	Faisabilité	50 %	70%

- **Supraconducteur à haute température (HTSL):** Le potentiel de la HTSL représente environ 1-3% de la consommation d'électricité. Le développement de conducteurs progresse et il est important de maintenir le niveau de connaissances et de poursuivre sur la voie de la recherche concernant les matériaux, afin de garantir la présence en cas de percée dans la technologie des conducteurs.

La partie relative à l'**application** se concentre sur les thèmes et objectifs suivants:

- **Moteurs et systèmes de propulsion efficaces:** Recherche de moteurs et systèmes de propulsion efficaces, afin de concrétiser le potentiel d'économie de 20-25% (5000 GWh) de la consommation d'électricité des moteurs. Le moteur intégral à aimants permanents laisse présager un potentiel d'économie de 75 GWh par an. S'agissant d'un nouveau type de moteur pas à pas, ce potentiel est même estimé à 100 GWh.
- **Informatique/communication:** Bases techniques pour améliorer l'efficacité de différents appareils de communication. Analyse technique et examens d'appareils réfrigérateurs, serveurs, modems VDSL, décodeurs, etc., comme point de départ pour des mesures d'augmentation de l'efficacité.
- **Appareils:** Nouveaux concepts techniques, afin de réduire la consommation des appareils électroménagers comme les sèche-linges, les réfrigérateurs, les minibars, etc. en mode veille et en fonctionnement (en collaboration avec l'industrie). Principes de mesure et critères fondamentaux pour les systèmes d'alimentation sans interruption (< 10 kVA), en tant que base pour une étiquette énergie européenne. Bases techniques pour des *systèmes domotiques* efficaces dans le domaine privé.

Objectif à moyen terme	2008	2010	2015
Sèche-linge novateur (catégorie énergétique A à un prix plus économique)	Prototype	Appareil de terrain	Avant série
Minibar (potentiel d'économie 12GWh/an)	Analyse techn.	Prototype	Avant série

Etant donné l'étendue du champ de recherche, la situation favorable de la recherche en Suisse et le potentiel d'économie important, les efforts de recherche doivent au moins être maintenus (actuellement, près de 7 millions de CHF/an; part de l'OFEN: 1,2 million de CHF/an). Il convient de budgéter 2 millions de CHF/an supplémentaires pour les projets P+D.

1. EINLEITUNG

UEBERGEORDNETE ZIELSETZUNG

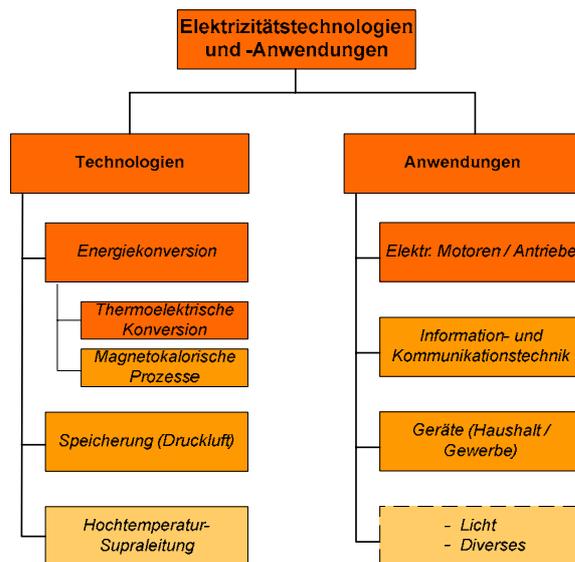
Die strategische Ausrichtung des Programms *Elektrizitätstechnologien und -Anwendungen* orientiert sich am Konzept der Energieforschung des Bundes 2008 – 2011 [1]. Die dort formulierten politischen, rechtlichen und anderweitigen Rahmenbedingungen und Zielsetzungen gelten für das vorliegende Konzept und sind entsprechend berücksichtigt.

Die übergeordnete, strategische Zielsetzung gemäss CORE-Konzept fürs 2050 besteht in der Verminderung des Treibhausgases Kohlendioxid auf einen Sechstel des heutigen Ausstosses, das heisst auf max. 1 Tonne pro Person und Jahr. Dazu ist ergänzend eine generelle Senkung des Energieverbrauchs in Richtung 2-kW-Gesellschaft anzustreben, was für die Schweiz pro Person eine Reduktion des Energieverbrauchs um den Faktor 2,5 des Primärenergiebedarfs bedeutet. Dabei wird gefordert, dass ein maximaler Anteil der noch benötigten Energie ohne Produktion von Treibhausgasen bereitgestellt werden soll.

In Übereinstimmung mit den im Programm *EnergieSchweiz* [2] formulierten quantitativen Zielsetzungen, hat die Steigerung der Energieeffizienz im Strombereich deshalb die grösste Bedeutung im Programm *Elektrizitätstechnologien und -Anwendungen*. *EnergieSchweiz* gibt als Zielsetzung vor, den Stromverbrauch nicht mehr anwachsen zu lassen. Zudem soll der Anteil des mit erneuerbaren Energien erzeugten Stroms um 500 GWh bis zum Jahr 2010 (im Vergleich zum Jahr 2000) anwachsen und der Wasserkrafterzeugungsanteil stabil bleiben. Mit dem vorliegenden Programm soll ein wesentlicher Beitrag dazu geleistet werden, wobei sich dies im *Anwendungsbereich* primär auf die Erarbeitung von Grundlagenerkenntnissen zur breitenwirksamen Umsetzung via *EnergieSchweiz* konzentriert. Ergänzend werden im Bereich *Elektrizitätstechnologien* innovative Technologien erforscht, die einerseits einen Beitrag zur Erhöhung der Elektrizitätsproduktion leisten können und/oder welche zusätzliche technische Voraussetzungen schaffen, damit der zukünftig wachsende Anteil der erneuerbaren Energien energetisch optimal genutzt werden kann. Das vorliegende Programm Elektrizität konzentriert sich dabei auf Gebiete, welche aufgrund der bisherigen Forschungsergebnisse als erfolgversprechend eingeschätzt werden.

PROGRAMMSTRUKTUR

Das Programm *Elektrizitätstechnologien und -Anwendungen* lässt sich in zwei Hauptgebiete gliedern. Dies ist in der Figur 1 graphisch aufgezeigt.



Figur 1: Programmstruktur des Forschungsprogramms

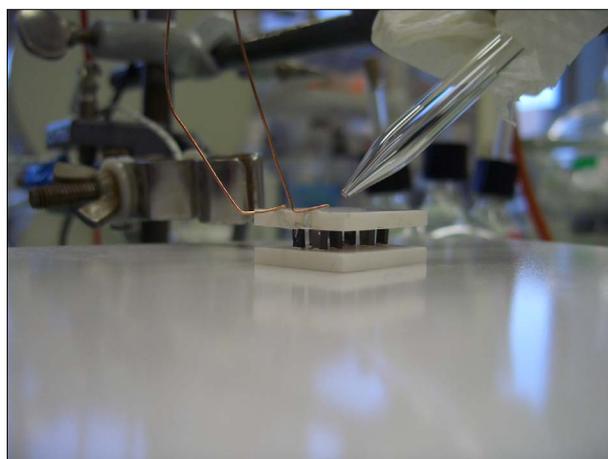
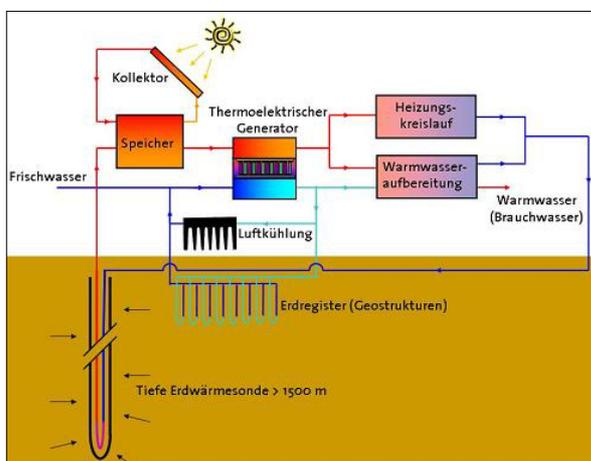
2. TECHNOLOGIE: ENERGIEKONVERSION

STAND DER TECHNOLOGIE INTERNATIONAL UND IN DER SCHWEIZ

Generell: Da Elektrizität keine primäre Energieform, sondern ein Energieträger ist, der durch Energieumwandlung erzeugt wird, kommt der effizienten Energiekonversion eine grosse Bedeutung zu. Für die Umwandlung von Energie gibt es verschiedene Technologien, denen unterschiedliche physikalische Gesetzmässigkeiten zu Grunde liegen. Die Energieumwandlung für die Stromerzeugung erfolgt einerseits durch erneuerbare Energietechnologien wie Wasserkraft, Photovoltaik, Windenergie, Biomasse etc. und andererseits durch nicht erneuerbare Kraftwerkstechniken, die entweder auf einem Verbrennungsprozess (fossile Kraftwerke) oder einem Nuklearprozess (Atomkraftwerke) basieren. Grundsätzlich handelt es sich wie erwähnt bei der Elektrizitätserzeugung um eine Energieumwandlung (Konversion), wobei neben der Umweltverträglichkeit ein möglichst hoher Wirkungsgrad oberste Zielsetzung ist. Da sich verschiedene Forschungsprogramme in unterschiedlichen Gebieten auch mit dieser Thematik beschäftigen, konzentriert sich das vorliegende Forschungsprogramm auf die beiden bis anhin nicht gezielt untersuchten Stromerzeugungstechnologien *Thermoelektrik* und *magnetokalorische Effekte*.

Thermoelektrische Konversion: Aufgrund der bis anhin sehr toxischen und nicht effizienten Materialien wurde die Umwandlung von Wärme in Strom auf der Basis der thermoelektrischen Energiekonversion (Nutzung des Peltier- resp. Seebeck-Effekts) nur in speziellen Fällen angewendet und dementsprechend erforscht. Zwar gab es weltweit verschiedene Forschergruppen, die sich mit den entsprechenden Materialien beschäftigten, aber als Anwendung wurden meist recht spezielle Nischen wie z.B. die Raumfahrt angepeilt. Als Massenprodukt ist allenfalls der geräuschfreie, thermoelektrische Kühlschrank bekannt. Dieser weist aber einen eher bescheidenen Wirkungsgrad auf und wird vor allem dort eingesetzt, wo Geräusche vermieden werden müssen (z.B. Hotelzimmer).

Neuere Entwicklungen in der Materialwissenschaft auf der Basis von Oxiden und Nanostrukturen haben dem Thema der Thermoelektrik wieder verstärkt Auftrieb gegeben. Die potentielle Nutzung ist dabei in verschiedenen Temperaturbereichen möglich, insbesondere im Niedertemperaturbereich zur Nutzung von Abfallwärme (320 – 420 K), aber auch im Hochtemperaturbereich für die solarthermische Stromerzeugung (1'200 – 1'500 K).



Figur 2: Schema einer möglichen, thermoelektrischen Energiekonversion im Gebäude (ETH Zürich)

Figur 3: Messungen an einer thermoelektrischen Materialprobe (EMPA)

Die solarthermische Stromerzeugung leidet gemäss der europäischen Studie **Energy Scientific and Technological Indicators and References** [3] vor allem darunter, dass sowohl die Investitionskosten als auch die wiederkehrenden Kosten im Moment zu hoch sind. Als erfolgsversprechende Alternative werden neben anderem die Verbesserung der verschiedenen erforderlichen Technologien und Komponenten erwähnt. Die Thermoelektrik stellt dazu eine Möglichkeit dar, müssen doch mit dieser Technologie keine bewegten Teile (Pumpe, Wärmeträgermedium) und keine Dampfturbinen eingesetzt werden, da das thermoelektrische Material unmittelbar in den solaren Brennpunkt eingesetzt und so direkt Strom produziert werden kann. Gemäss der vorerwähnten Studie liegt in der Effizienzverbesserung des Dampfszykluses das grösste Beitragspotential zur notwendigen Erhöhung

der Wirtschaftlichkeit. Es ist deshalb zweckmässig zu klären, inwiefern die Thermoelektrik dazu eine Alternative darstellen könnte.

Bei der Niedertemperatur-Thermoelektrik geht es primär um die Abwärmenutzung und/oder Nutzung der Geothermie-Wärme (siehe Figur 2). Das Anwendungsfeld ist dadurch sehr breit und ein Einsatz ist grundsätzlich überall denkbar, wo Abwärme ungenutzt in die Atmosphäre abgeführt wird. So ist zum Beispiel die Autoindustrie daran interessiert, die Abwärme des Verbrennungsmotors zusätzlich zu nutzen und zur Entlastung des Alternators und damit zur Steigerung der Effizienz mit der Abwärme Strom zu erzeugen. Auch bei verschiedenen Industrieprozessen fällt Abwärme an, die nicht genutzt wird und aus der Strom generiert werden könnte.

Im Bereich der thermoelektrischen Materialforschung hat sich die EMPA (Gruppe um Frau Dr. A. Weidenkaff) stark engagiert und nimmt weltweit eine führende, anerkannte Position ein (siehe Figur 3). Die EMPA stellt in der Schweiz die einzig namhafte Forschungsgruppe auf diesem Gebiet. Parallel dazu hat sich die ETHZ im Institut für Hochspannungstechnik (EEH) der Thematik der anwendungsorientierten Forschung im thermoelektrischen Bereich als Ergänzung zur EMPA-Materialforschung zugewandt. Diese applikatorischen Untersuchungen sollen Vorgaben an die Materialforschung machen, um damit auch die Materialforschung zielorientiert auszurichten.

Magnetokalorische Konversion: Das Grundprinzip der magnetokalorischen Konversion ist durch Emil Warburg schon 1881 entdeckt worden, wobei der technische Durchbruch aufgrund fehlender magnetokalorischer Materialien nie erzielt wurde. Erst Ende der 90-iger Jahre wurde der sogenannte *Giant Magnetocaloric Effect* entdeckt, der über die eigentliche Forschungsgemeinschaft viel Aufsehen erregte und der Hoffnung auf neue und effiziente Anwendungen der magnetischen Kühlung weckte. Da der Prozess der magnetischen Kühlung reversibel ist, besteht damit auch die Möglichkeit, bei einem Wärme-Kälteübergang Strom zu erzeugen. Neben verschiedenen internationalen Forschungsgruppen (z.B. Niederlande, Belgrader Universität, etc.) hat sich vor allem eine Schweizerische Forschergruppe bei der Fachhochschule des Kantons Waadt in Yverdon (HEIG-VD, Professor P. Egolf) hervorgetan und weltweit eine herausragende Forscherposition eingenommen.

WELTWEITER UND SCHWEIZER MARKT

Thermoelektrische Konversion: Der Markt für die neuen, thermoelektrischen Elemente im Niedertemperaturbereich ist bedeutend, da mit der Abwärmenutzung verschiedenste Anwendungen möglich sind. Die Forschung ist noch stark materialgrundlagenorientiert, was sich dadurch ausdrückt, dass sich die Industrie (zumindest in der Schweiz) noch nicht stark in diesem Bereich engagiert. Zwar ist vereinzelt Industrie-Interesse in der Schweiz vorhanden (z.B. Hersteller von Wäschetrocknern), doch müssen dem Markt vor einem stärkeren Engagement zuerst bessere Materialien zur Verfügung gestellt werden. Da die primäre Anwendung die Abwärmenutzung zur zusätzlichen Stromerzeugung darstellen dürfte, ist ein Einsatz bei allen Verbrennungsprozessen möglich, bei denen die Abwärme nicht genutzt wird oder werden kann. Diese Stossrichtung verfolgt auch als Schwerpunkt das japanische thermoelektrische Programm. Konkret werden in Japan in folgenden Bereichen thermoelektrische Anwendungen untersucht:

- Industrie-Abwärmenutzung bei Verbrennungsprozessen
- Dieselmotoren und Cogeneration
- Abwärmenutzung von grossen Transformatoren
- Abwärmenutzung bei Beamern

Daneben wird als erfolgversprechender Markt speziell die Abwärmenutzung im Automobil durch die Autoindustrie erforscht. Mit der Wärmenutzung der Abgase beim Automobil und/oder Lastwagen kann ohne bewegte Teile zusätzlich Strom erzeugt werden, was den Gesamtwirkungsgrad erhöht.

Zwar liegt der theoretische Wirkungsgrad bei der Thermoelektrik bei maximaler Leistung „lediglich“ bei $\frac{1}{2}$ des Carnot-Wirkungsgrads, doch hat der thermoelektrische Generator den Vorteil einer hohen Zuverlässigkeit, da er keine bewegten Teile aufweist und zudem bei Parallelschaltungen einzelner Elemente ein Einzelausfall zu keinem Systemausfall führt. Schliesslich kann eine Stromerzeugung auch mit einem weniger guten Wirkungsgrad einen Beitrag an die Gesamteffizienz leisten, da ansonsten die gesamte Wärme ungenutzt in die Umwelt abgegeben wird.

Im Hochtemperaturbereich ist der Markt klar auf die solarthermischen Kraftwerke ausgerichtet. Diese sind in wärmeren Ländern einzusetzen, sodass das energetische Nutzungs-Potential in der Schweiz weniger gegeben ist. Hingegen ist es für den Export durchaus von Interesse.

Magnetokalorische Konversion: Die magnetische Kühlung ist eine mögliche, zukünftige Technologie, um die konventionelle Kältetechnik – mit oftmals problematischen Kältemitteln – in mehreren Nischenmärkten oder sogar in einigen Hauptmärkten zu konkurrenzieren, oder je nachdem sogar zu verdrängen. Vor allem zwei Anwendungen stehen dabei im Vordergrund. Dabei handelt es sich einerseits um das Haushalt-Kühlgerät ohne Gefrierfach und andererseits um die zentrale Kälteeinheit für die Kühlung von Gebäuden. Diesbezügliche Untersuchungen sind noch am Laufen und stellen einen wichtigen Bestandteil der aktuellen Forschungsarbeiten dar.

POTENTIAL IN DER SCHWEIZ

Thermoelektrische Konversion: Wie bereits erwähnt, ist das nutzbare Potential im Hochtemperaturbereich in der Schweiz weniger gegeben, da sich die Anwendung primär auf die Solarthermik konzentriert und damit südliche Länder mit viel Sonneneinstrahlung die bevorzugten Nutzer sind. Es ist aber noch Gegenstand von Forschungsabklärungen, inwiefern allenfalls der Bereich zwischen der Hoch- und Niedertemperatur genutzt werden könnte.

Im Niedertemperaturbereich liegt das primäre Potential einerseits in einer möglichen Nutzung der Geothermie-Wärme und andererseits in verschiedenen Anwendungen, bei denen Wärme ungenutzt in die Umgebung abgegeben wird.

Für eine vorläufige Abschätzung des Geothermie-Potentials wurde ein Vergleich konventioneller Verfahren für die Niedertemperaturenergiekonversion mit einem thermoelektrischen Generator (TEG), basierend auf verschiedenen Gütezahlen ZT (Definition siehe Kasten, Figur 4) zu konventionellen Umwandlungsprozessen (Kalina- und ORC-Prozess, Definition siehe separaten Kasten, Figur 5, 6), vorgenommen.

$$ZT = \frac{S^2 \sigma}{\kappa} T$$

ZT = Figure of Merit
 S = Seebeck-Koeffizient
 K = elektrische Leitfähigkeit
 S = thermische Leitfähigkeit
 T = Temperatur

Figur 4: Definition der Gütezahl ZT (Figure of Merit)

Der **ORC-Prozess** („**Organic Rankine Cycle**“) basiert auf einem dem Wasser-Dampf-Prozess ähnlichen Verfahren mit dem Unterschied, dass anstelle von Wasser ein organisches Arbeitsmedium (Kohlenwasserstoffe wie Iso-Pentan, Iso-Oktan, Toluol oder Silikonöl) verwendet wird. Dieses Arbeitsmedium besitzt günstigere Verdampfungseigenschaften bei tieferen Temperaturen und Drücken. Für eine optimale Betriebsweise des ORC-Prozesses ist die richtige Arbeitsmittelwahl sehr wichtig.

Figur 5: Beschreibung des ORC-Prozesses

Unter dem **Kalina-Kreisprozess** versteht man ein vom russischen Ingenieur Alexander Kalina entwickeltes Wärmeaustauschverfahren zur Dampferzeugung auf einem niedrigen Temperaturniveau zur Energieerzeugung. Herkömmliche Wasserdampfturbinen benötigen Wasserdampf mit Temperaturen von mehreren hundert Grad Celsius, um eine rentable Energieerzeugung zu gewährleisten. Um auch Wasser mit Temperaturen um 90 Grad nutzen zu können, entwickelte Kalina einen Kreislauf, bei dem die Wärme des Wassers an ein Ammoniak-Wasser-Gemisch abgegeben wird. Der jetzt schon bei wesentlich niedrigeren Temperaturen entstehende Dampf wird zum Antrieb von Turbinen genutzt.

Figur 6: Beschreibung des Kalina-Prozesses

Die berechneten Werte in der folgenden Tabelle sind Abschätzungen, die an der ETHZ anhand eines analytischen Modells gemacht wurden. Die Ergebnisse zeigen, dass ZT-Werte von mindestens 5 erreicht werden müssten, um Generatoren mit vergleichbarer Effizienz erreichen zu können.

	Kalina-Prozess	ORC-Prozess	TEG ZT = 1	TEG ZT = 3	TEG ZT = 5
Quellentemperatur	150 °C				
Massenstrom	20 kg/s				
Kühlwassertemperatur	15 °C				
Rücklauftemperatur	86 °C	64 °C	82 °C	82 °C	82 °C
Thermische Leistung	5.35 MW _{Th}	7.19 MW _{Th}	5.69 MW _{Th}	5.69 MW _{Th}	5.69 MW _{Th}
Wirkungsgrad therm. - elektr.	11.8 %	8.8 %	2.5 %	6 %	8 %
Elektrische Leistung	629 kW _{el}	630 kW _{el}	142 kW _{el}	341 kW _{el}	455 kW _{el}

Tabelle 1: Vergleich konventioneller Verfahren der Niedertemperaturenergiekonversion mit möglichen thermoelektrischen Generatoren (ETH Zürich)

Die Vergleiche in der Tabelle zeigen, dass für ein erfolgreiches Ersetzen konventioneller Wärmekraftmaschinen Materialien benötigt würden, die im Moment nicht verfügbar sind und an denen geforscht wird. Die Aktivitäten im Bereich der Materialwissenschaften sind jedoch in den letzten Jahren weltweit sehr stark gewachsen. Mit der Aussicht auf verbesserte Materialien steigt auch die Zahl der möglichen Anwendungen. Neben der Nutzung der Geothermie sind besonders die beiden Konzepte der Abwärmenutzung und der Kraft-Wärme-Kopplung mittelfristig für neue Anwendungen erfolgversprechend. Es werden also vermehrt Anwendungen verfolgt, wo entweder der Wirkungsgrad eine untergeordnete Rolle spielt und/oder die Verlustwärme des Generators noch weiter genutzt werden kann. Konkret stehen neben anderem folgende Anwendungen zur Diskussion:

- *Abwärmenutzung (Waste Heat Recovery)*

In der Nutzung, der in Industrieprozessen oder thermischen Kraftwerken auftretenden Abwärme, spielt der Wirkungsgrad eine untergeordnete Rolle, da die Wärme „nichts kostet“. Kriterien wie Investitionskosten (Kosten des Generators) und Leistungsdichte sind entsprechend viel wichtiger. Aufgrund der Wartungsfreiheit, des einfachen Aufbaus und der Modularisierbarkeit bieten thermoelektrische Systeme in diesem Bereich enorme Vorteile. Besonders in der Nutzung der Abgaswärme von Verbrennungsprozessen (Fahrzeuge und Gaskraftwerke), der Abwärme in Industrieprozessen (besonders Stahlindustrie) oder in Müllverbrennungsanlagen liegt ein enormes Potenzial.

- *Kraft-Wärme-Kopplung (Symbiotic Generation)*

Wird das Fluid auf der kalten Seite des Generators stark erwärmt, sodass die Temperatur des Fluids einen Einsatz für Heizzwecke erlaubt, kann die Verlustleistung entsprechend genutzt werden. Als Nebenprodukt der thermischen Energie liefert der thermoelektrische Generator einen kleinen Bruchteil an elektrischer Energie dazu. Dieses Prinzip wurde in diversen Prototypen für Heizsysteme erprobt, die sich selbst mit elektrischer Energie für Pumpen und Elektronik versorgen. In naher Zukunft könnten thermoelektrische Kraft-Wärmekopplungs-Systeme in Gebäuden an Bedeutung gewinnen.

- *Thermoelektrischer Generator als „Haupt-Kraftwerk“*

Thermoelektrische Generatoren zur Energieversorgung kompletter Systeme machen bislang nur in der Raumfahrt Sinn. Radionuklidbatterien sind die einzige Möglichkeit, über sehr lange Zeit bei sehr hoher Energiedichte konstant Energie zu liefern. Wie obige Tabelle ebenfalls zeigt, ist die Effizienz des thermoelektrischen Generators für die Niedertemperatur-Energiekonversion mit heutigen Materialien noch zu klein.

- *Thermoelektrische Energie-Konversion in Gebäuden*

Im Gebäude bestehen immer wieder verschiedene Wärmequellen und -senken, mit denen elektrische Leistung mit einem thermoelektrischen Generator erzeugt werden könnte. Die Motivation dazu sind verschiedene Prototypen für Heizsysteme, wo mittels thermoelektrischer Generatoren die Pumpen und die Steuerungselektronik angetrieben werden können.

- *Peltier-Wäschetrockner*

Der Einsatz von Peltier-Elementen in Wäschetrocknern ist ebenfalls ein konkretes Einsatzgebiet. Dabei wird Kondensationswärme mit heutigen Peltierelementen gepumpt.

Magnetokalorische Konversion: Das Potential in der Schweiz kann im Moment noch nicht eingeschätzt werden und ist Gegenstand von laufenden Forschungsarbeiten.

NATIONALE AKTEURE

Thermoelektrische Konversion: National beschäftigen sich hauptsächlich die folgenden Institutionen mit der thermoelektrischen Stromerzeugung:

Materialwissenschaften:

- EMPA Dübendorf: Festkörperchemie und Analytik (Anke Weidenkaff)
- ETH Zürich: Laboratory of Inorganic Chemistry (T. Kaspar und R. Nesper)
- ETH Zürich: Laboratory for Nanometallurgy (T. Quan)

Anwendungsgebiete:

- ETH Zürich: Hochspannungslaboratorium (Klaus Fröhlich)
- ETH Zürich: Institut für Leistungselektronik und Messtechnik (J.W. Kolar)
- ETH Zürich/PSI: Institut für Energietechnik (A. Steinfeld, D. Poulikakos)

Koordination mit anderen Forschungsprogrammen:

Eine Koordination mit den beiden Forschungsprogrammen „Wärme-Kraft-Kopplung“ sowie „verfahrenstechnische Prozesse, VTP“ wird gewährleistet.

Magnetokalorische Konversion: National beschäftigt sich hauptsächlich die Fachhochschule Yverdon (Peter Egolf) mit der magnetokalorischen Konversion:

Koordination mit anderen Forschungsprogrammen:

Eine Koordination mit den beiden Forschungsprogrammen „Wärme-Kraft-Kopplung“ sowie „verfahrenstechnische Prozesse“ wird gewährleistet.

INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT

Thermoelektrische Konversion: International konzentriert sich die Zusammenarbeit primär auf dem Gebiet der Materialwissenschaften mit der EMPA-Forschungsgruppe. Speziell zu erwähnen sind dabei:

- Frankreich: Dr. A. Maignan, CRISMAT, UMR 6508 CNRS/ENSICAEN – France - Thermal properties on complex oxide structures
- Tschechische Republik, Prag: J. Hejtmanek, Institute of Physics ASCR - Thermal properties on complex oxide structures
- Deutschland, Hamburg: X-ray diffraction (XRD) and X-ray absorption spectroscopy (XAS) experiments at HASYLAB/DESY
- Deutschland, Uni Mainz: Half-Heusler compounds, Claudia Felser
- Deutschland, Uni Kiel: Selenides and Chalcogenides, Wolfgang Bensch
- Deutschland, Universität Augsburg: Armin Reller

Magnetokalorische Konversion: International erfolgt ein nicht streng koordinierter Austausch mit verschiedenen Forschungsstätten und auch Industrien.

ZIELSETZUNGEN

Thermoelektrische Konversion: Die mit dem vorliegenden Programm verfolgten Zielsetzungen lassen sich in qualitative und quantitative Ziele unterteilen. Da es sich noch um keine sehr reife Technologie handelt und die Arbeiten stark grundlagenorientiert sind, werden zum heutigen Zeitpunkt keine wirtschaftlichen Ziele formuliert. Primär ist die Zielsetzung darauf ausgerichtet, die Thermoelektrik auf der Basis der neuen Materialien auf deren Potential hin zu verifizieren.

Quantitative Zielsetzung:

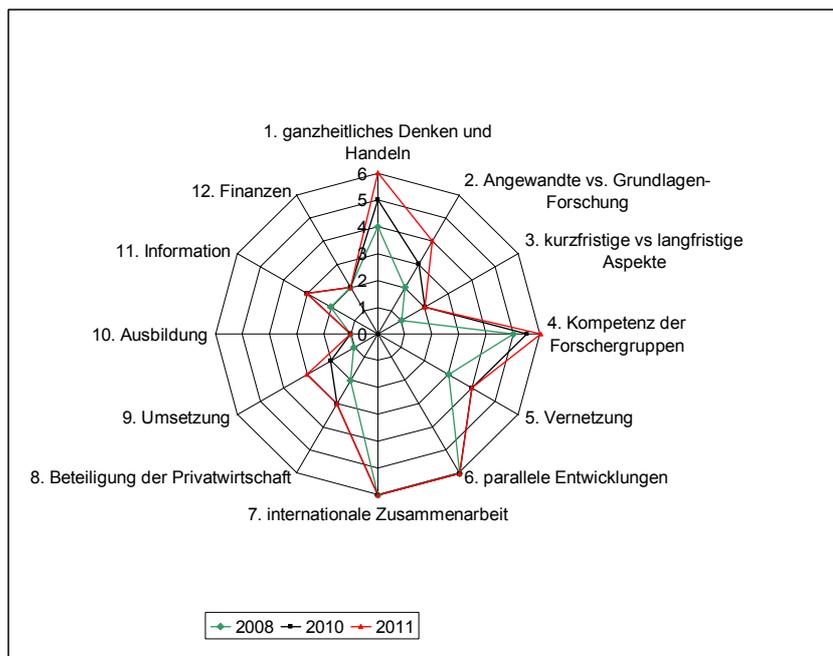
Bei der quantitativen Zielsetzung steht kurzfristig die Weiterentwicklung der Materialien und langfristig das Überführen der Thermoelektrik in entsprechende Applikationen im Vordergrund. Folgende Ziele werden angestrebt:

Kurzfristiges Ziel Thermoelektrik	2010	Langfristiges Ziel Thermoelektrik	2010	2020	2030
<i>Material</i>	<i>ZT = 2</i>	<i>Applikationen</i>	<i>Modellierung / Potential</i>	<i>Machbarkeit</i>	<i>Applikationen</i>

Tabelle 2: Quantitative Zielsetzungen im Technologiebereich Thermoelektrik

Qualitative Zielsetzung:

Die qualitativen Zielsetzungen sind in der nachfolgenden Graphik (Figur 7) dargestellt. Dabei wird aufgezeigt, welche Aspekte in welche Richtung verschoben werden sollen. Die Gewichtung von 1-6 stellt dabei keine reale Skalierung dar, sondern reflektiert die persönliche Einschätzung der Programmleitung. Ausgehend von der Einschätzung gemäss dem aktuellen Status im 2008 wird ersichtlich, in welche Richtung die Forschungsanstrengungen gehen sollen und welche Aspekte dabei speziell berücksichtigt werden sollen.



Figur 7: Qualitative Zielsetzungen im Bereich Thermoelektrik

Obwohl gemäss Graphik verschiedene Aspekte berücksichtigt werden, stehen schwerpunktmässig die folgenden Zielsetzungen im Vordergrund:

- Fördern des ganzheitlichen Denkens und Handelns
- Verstärkte Lenkung der Grundlagenforschung in Richtung angewandte Forschung
- Lenkung der langfristigen Aspekte in Richtung kurzfristigere Aspekte
- Erhöhen der Vernetzung zwischen Material- und Applikationsforschung

Magnetokalorische Konversion: Die mit dem vorliegenden Programm verfolgten Zielsetzungen lassen sich erst qualitativ formulieren. Da die Technologie mit dem neuen Effekt erst wenige Jahre alt ist, geht es in einem ersten Schritt darum, das mögliche Potential und die erfolgversprechenden Anwendungen zu identifizieren. Nach Abschluss dieser ersten Identifikationsphase werden die Ziele konkretisiert.

3. TECHNOLOGIE: SPEICHERUNG (DRUCKLUFT)

BEDEUTUNG UND STAND DER TECHNOLOGIE

Im Verbundnetz (Wechselstromnetz) muss, physikalisch bedingt, die erzeugte Energie immer exakt dem aktuellen Verbrauch entsprechen. Ein Abweichen zwischen Produktion und Strombedarf bewirkt ein Abdriften der Netzfrequenz resp. der Spannung. Diese Tatsache hat in sich den Vorteil, dass mit einer Überwachung dieser Grössen der Zustand des Gesamtnetzes beobachtet und dementsprechend eingegriffen werden kann. Die laufende Anpassung der Produktion an den Verbrauch übernehmen im europäischen Verbundnetz neben anderem fossil-betriebene, so genannte Regulierkraftwerke, welche ihrer Aufgabe entsprechend oft im Teillastbereich und damit verbunden mit unbefriedigendem Wirkungsgrad arbeiten. Je höher nun der stochastische Anteil der Erzeuger- und Verbraucherleistung ist, desto mehr Regulierleistung muss in der Regel bereitgestellt werden, um das Netz stabil zu halten (als stochastischen Anteil bezeichnet man all jene Einspeisungen oder Bezüge, welche zeitlich nicht vorhersehbar sind). Im Falle der Windkraftnutzung hat sich in jüngster Zeit gezeigt, dass der ökologische Gewinn der Windkraftwerke aufgrund der stochastischen Produktion zu einem nicht unerheblichen Teil wieder durch die Bereitstellung von Regulierleistung (z.B. durch thermische Kraftwerke) aufgehoben wird. Hier könnte eine geeignete Speichertechnik helfen, den Regulierleistungsbedarf zu senken.

Damit ist eine *effiziente Speicherung von Energie* ein Bedarf im Zusammenhang mit der Förderung von erneuerbaren Energien, welche meist stochastische Produktionen darstellen. Ferner kann ausgesagt werden, dass gespeicherte Energie auch zur Abdeckung von Spitzenbedarf oder für Notfälle (z.B. Ausfall eines Kraftwerks) eingesetzt wird, sodass Energie rasch eingespeist werden kann. Neben den vorerwähnten, meist fossilen Kraftwerken, die als Regulierkraftwerk vorgehalten werden, kommen hierfür speziell im Alpenraum Pumpspeicherwerke zum Einsatz.

Effiziente, nachhaltige und wirtschaftliche Elektrizitätsspeicher stellen somit wichtige Elemente eines sicheren Stromversorgungsnetzes dar und gehen einher mit dem vermehrten Einsatz erneuerbarer Energien. Diese Grundüberlegung ist der Hauptgrund, weshalb sich die Forschung mit effizienter Speichertechnologie und insbesondere mit der, gemäss aktuellem Wissensstand, erfolgversprechenden Drucklufttechnologie auseinandersetzt. Es sei noch anzumerken, dass es daneben weitere Einsatzgebiete der Druckluftspeicherung gibt. Zusammengefasst kann man von folgenden speicherspezifischen Anwendungen für die Druckluft ausgehen:

- Speicherung zum Ausgleich von stochastischen Netzschwankungen
- Speicherung zur Spitzenlastabdeckung / Netzunterstützung
- Speicherung in Inselnetzen mit erneuerbaren Energien (Drittweatländer, abgelegene Standorte)

Druckluftspeicher kennen praktisch keine Beschränkung in der Zyklenzahl. Der Gesteherungspreis des Speichervolumens verspricht gemäss diversen Forschungsaktivitäten nicht nur relativ tiefe Kosten, sondern erscheint auch in mehreren Anwendungen gemäss diversen Publikationen als markt-konform.

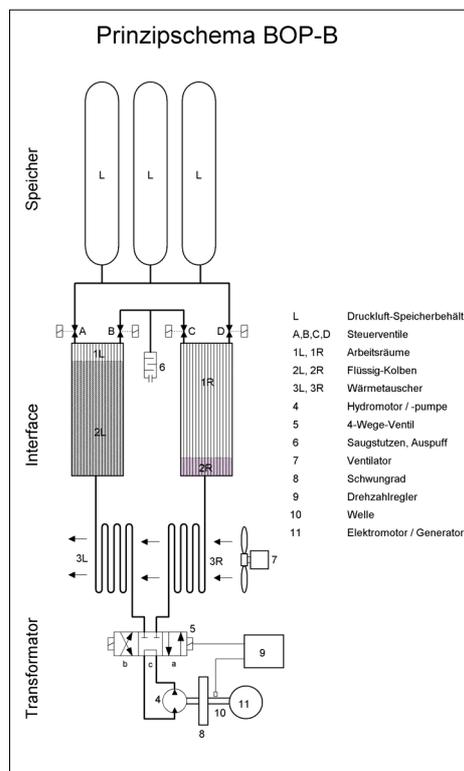
Sowohl für die **Speicherung zum Ausgleich von stochastischen Netzschwankungen**, insbesondere bei Windparks (bis zu 200 MW Leistung und 1000 MWh Energieinhalt) als auch für die **Speicherung zur Spitzenlastabdeckung / Netzunterstützung** (bis zu 100 MW Leistung und 20 MWh Energieinhalt), könnte die Druckluft eine geeignete und konkurrenzfähige Technologie zu heutigen Speichertechnologien darstellen. Vorausgesetzt wird, dass der Pumpspeicherkraftwerkspark in den Alpen nicht mehr wesentlich ausgebaut werden kann und diese Technologie damit nicht als zukünftige „Konkurrenztechnologie“ betrachtet werden muss.

Die Druckluftspeicherung als Ersatz von Bleibatterien in **kleineren Inselanlagen** (1 bis 10 KW Leistung und 10 bis 100 kWh Energieinhalt) kann erst bei grösseren Stückzahlen als Alternative zu Bleibatterien konkurrenzfähig sein, denn der Zusammenbau von Standard-Industrieelementen erlaubt vorerst keine Preisoptimierung zum Eindringen in einen Verdrängungsmarkt; allerdings könnten Anlagen mit sehr grosser Speicherung im Verhältnis zum Transformator-Leistungsteil (z.B. Wochenspeicher oder Langzeitspeicher für wissenschaftliche Messstationen) auf Anhieb günstiger als Bleibatte-

rien sein, insbesondere wenn die Lebensdauer, der Transport und die Umweltverträglichkeit/Rezyklierbarkeit mitberücksichtigt werden. Die Inselanlagen werden heute zu einem Grossteil mit Bleibatterien ausgestattet, die mit bekannten Nachteilen wie Alterung (schlechte Zyklenfestigkeit), unzuverlässige Anzeige des Energieinhaltes und unbefriedigende Umweltverträglichkeit aufwarten (die Herstellung erfordert ungefähr soviel Energie wie die Batterie in der Summe ihrer Lebenszyklen je speichern wird), was diese Technologie insbesondere für warme Länder wenig qualifiziert.

Langzeitliche Betriebserfahrungen liegen bisher nur von Bleibatterie-Anlagen vor. Deshalb kann vor allem in Bezug auf die Betriebskosten noch keine vorherrschende Speichertechnologie identifiziert werden. Es ist aber zu berücksichtigen, dass alle Speicherlösungen für die Netzunterstützung mit Ausnahme der Druckluftspeicherung auf elektrochemischen Gleichstromspeicherungen basieren und damit zusätzlich ein Wechselrichter erforderlich wird; dies im Gegensatz zur Druckluftspeicherung, welche mit einem Motor/Generator direkt ans Drehstromnetz angeschlossen werden kann.

Das bis anhin in ersten Forschungsprojekten verfolgte technische Konzept basiert auf dem isothermen Komprimieren mit einem speziellen „Interface“ (Wärmetauscher). Dabei wird bei der Komprimierung die Wärme an die Umgebung abgegeben und beim Entspannen der Luft wird die erforderliche Wärme wieder der Luft entnommen. Das entsprechende Prinzip wird durch die Erfinder BOP-B genannt (Batterien mit Oelhydraulik und Pneumatik) und ist schematisch aus der folgenden Figur 8 ersichtlich.



Figur 8: Prinzipschema der isothermen Luftkompression (Brückmann, Cyphelly)

WELTWEITER UND SCHWEIZER MARKT

Weltweit gibt es nur wenige bereits bestehende Grossspeicheranlagen. So wurden einzelne Anlagen auf *Druckluftbasis mit Brennerunterstützung* erstellt, wobei diese zur Druckluftspeicherung nur an ausgewählten Standorten mit vorhandenen, verlassenen Salinen-Kavernen erstellt wurden (z.B. Huntorf mit 290 MW und McIntosh mit 110 MW). Auf der Basis der reinen Druckluftspeicherung (autonom, ohne Brennerunterstützung) sind gemäss den Kenntnissen der Programmleitung keine kommerziell verfügbaren Druckluftspeicher auf dem Markt.

Die US-Firma General Compression (www.generalcompression.com) ist kürzlich (August 2007) mit einer Pressemeldung an die Öffentlichkeit getreten, mit der sie die Speicherung von Energie im Elektrizitätsnetz mittels Druckluft ankündigt, und zwar soll die Speicherung und das Zurückgewinnen

nahezu ohne Energieverluste erfolgen. Angepeilt werden soll dabei primär der Ausgleich im Bereich der Windenergie, was ja auch der Zielsetzung des vorliegenden Forschungsprogramms entspricht. Ein kommerziell verfügbares Produkt wird auf 2011 angekündigt.

Daneben sind weltweit etwa 20 Anlagen *Batterie-basierter Speichertechnologien* mit mehr als 1 MW erstellt worden, wobei die letzte in Golden Valley/Alaska (2003) mit 40 MW weitab die stärkste ist. Bei diesen Anlagen wurden anfangs hauptsächlich Bleibatterien verwendet. Seit 1997 werden vorwiegend Natrium-Schwefel-Batterien eingesetzt, mit Ausnahme einer betriebseigenen Vanadium-Redox 1,5 MW-Anlage bei Sumitomo SEI und der vorerwähnten Golden Valley/Alaska-Anlage mit NiCd-Zellen.

POTENTIALE IN DER SCHWEIZ

Die Anwendung zum Ausgleich der stochastischen Stromproduktion bei erneuerbaren Energien (Wind, Photovoltaik) ist zwar grundsätzlich auch in der Schweiz wünschenswert, doch ist aufgrund der bestehenden Wasserkraftwerke eine Druckluftspeicherung eine Konkurrenztechnologie, welche kaum die gleiche Effizienz und Wirtschaftlichkeitswerte erreichen dürfte. In weniger gebirgigen Ländern ist dies aber anders, womit sich die Technologie primär für den Export eignen würde.

Die kleineren Anlagen als Ersatz von Batterie-betriebenen Inselanlagen dürften am ehesten in Entwicklungsländern zum Einsatz gelangen und sind damit ebenfalls für den Export aus der Schweiz gedacht.

NATIONALE AKTEURE

Die Arbeiten wurden bis anhin von kleinen Unternehmungen durchgeführt, die nicht über das finanzielle und marktwirtschaftliche Potential für eine Industrialisierung verfügen. Zudem hat die EPFL auf diesem Gebiet Einiges an Forschungsarbeiten durchgeführt.

Im Moment laufen Kontaktaufnahmen mit verschiedenen Grossfirmen, um die Interessenslage abzuklären und ein schlagkräftiges Projektteam für die Weiterentwicklung auf die Beine zu stellen. In Absprache mit der Eidg. Energieforschungskommission wird das vorliegende Forschungsprogramm erst weitere Unterstützung gewähren, wenn ein starkes Team mit erheblicher Industriebeteiligung aufgebaut werden konnte.

INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT

Die internationale Zusammenarbeit dürfte sich mit dem Etablieren des Industrieteams erst ergeben.

ZIELSETZUNGEN

Die mit dem vorliegenden Programm verfolgten Zielsetzungen lassen sich in qualitative und quantitative Ziele unterteilen. Da es sich noch um keine sehr reife Technologie handelt und die Arbeiten noch stark grundlagenorientiert sind, werden keine wirtschaftlichen Ziele formuliert. Zudem wird davon ausgegangen, dass die Voraussetzung erfüllt werden kann, einen starken Industriepartner mit einzubeziehen. Erst mit Erfüllung dieser Voraussetzung erlangen die nachfolgenden Zielsetzungen Bedeutung.

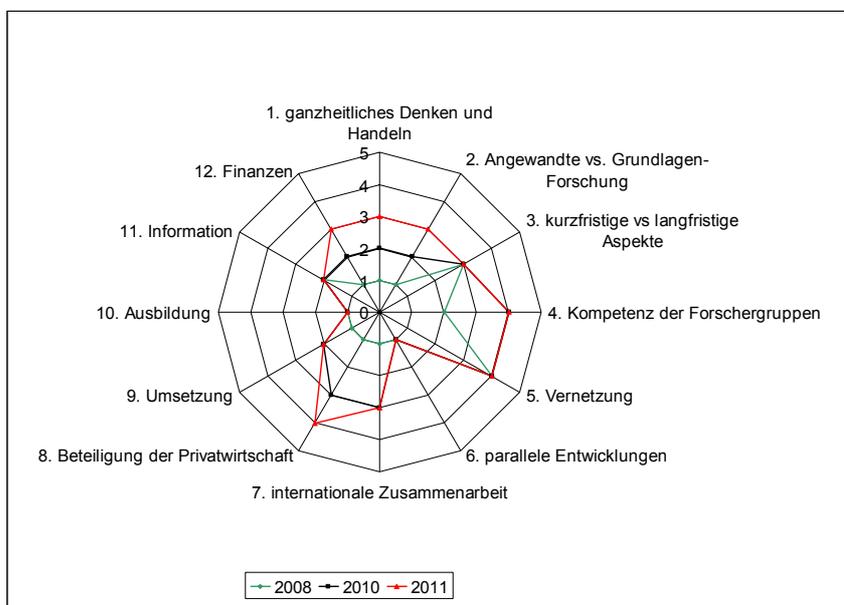
Quantitative Zielsetzung:

Vorerst wird die Erforschung der praktischen Machbarkeit mit einem Funktionsmuster eines neuartigen, isothermen Speicherkonzepts strategisch verfolgt, wobei der Einbezug eines Industriepartners zwingend ist. Es werden folgende quantitative Ziele verfolgt:

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

Qualitative Zielsetzung:

Die qualitativen Zielsetzungen sind in der nachfolgenden Graphik (Figur 9) dargestellt. Dabei wird dargestellt, welche Aspekte in welche Richtung verschoben werden sollen. Die Gewichtung von 1-5 stellt dabei keine reale Skalierung dar, sondern reflektiert die persönliche Einschätzung der Programmleitung. Ausgehend aus der Einschätzung gemäss dem aktuellen Status 2008 wird ersichtlich, in welche Richtung die Forschungsanstrengungen gehen sollen und welche Aspekte dabei speziell berücksichtigt werden sollen. Wiederum wird auch bei der qualitativen Zielsetzung vorausgesetzt, dass ein starker Industriepartner einbezogen werden kann.



Figur 9: Qualitative Zielsetzungen im Bereich Druckluft-Speicherung

Obwohl gemäss Graphik verschiedene Aspekte berücksichtigt werden, stehen schwerpunktmässig die folgenden Zielsetzungen im Vordergrund:

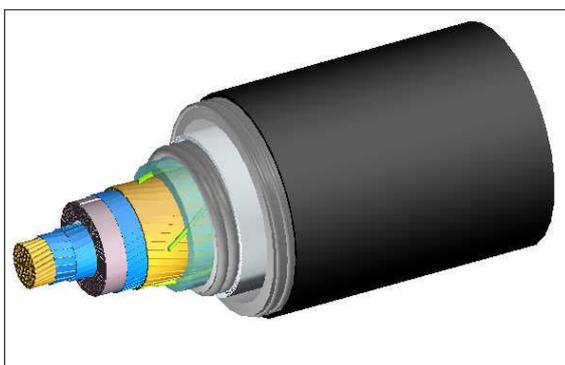
- Sicherstellung einer substantiellen Beteiligung der Privatwirtschaft
- Finanzielle Unterstützung unter Einbezug der Industrie
- Lenkung der grundlagenorientierten Forschung in Richtung angewandte Forschung
- Erhöhung der Kompetenz der Forschergruppen durch Einbezug der Industrie und damit Erweiterung der schweizerischen Wissensbasis

4. TECHNOLOGIE: HOCHTEMPERATURSUPRALEITUNG (HTSL)

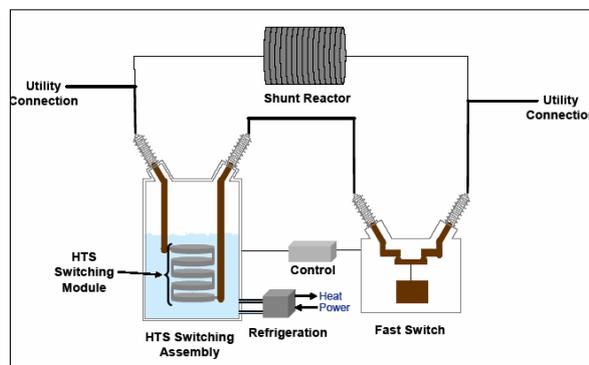
STAND DER TECHNOLOGIE INTERNATIONAL UND IN DER SCHWEIZ

Der verlustarmen Stromführung auf der Basis der Hochtemperatursupraleiter-Technologie (HTSL) wird ein grosses Zukunftspotenzial zugesprochen. Die Schweiz war Ende der 90-iger Jahre weltweit mit an der Spitze mit dem ersten, dreiphasigen Hochtemperatursupraleitungs-Transformator am Netz. Auch im Bereich des Strombegrenzers war die Schweiz weltweit führend. Aufgrund der fehlenden Verfügbarkeit von qualitativ hochwertigen Leitern und Drähten sowie aufgrund der Tatsache, dass die Schweizer Industrie im Forschungs- und Entwicklungsbereich die Prioritäten anders gelegt hatte resp. die kurzfristigen Marktchancen als relativ bescheiden eingestuft hat, wurden die industriellen Aktivitäten erheblich reduziert. Das Fachwissen steht immer noch zur Verfügung und sobald entsprechende Leiter verfügbar sind, dürfte auch die Schweizer Industrie wieder diesbezügliche Anstrengungen unternehmen.

Damit das spezifische Fachwissen auf dem erforderlichen Niveau in der Schweiz erhalten bleibt und auch der Kontakt mit der internationalen Forschergemeinschaft auf diesem Gebiet gepflegt werden kann, nimmt die Schweiz am Implementing Agreement "*Implementing Agreement for a Cooperative Programme for Assessing the Impact of High Temperature Superconductivity on the Electric Power Sector*" der IEA teil. Das Implementing Agreement wurde nach einer Dauer von über 10 Jahren Ende 2005 für weitere 5 Jahre verlängert. Die Ziele beinhalten einen umfassenden Informationsaustausch der zwölf Teilnehmerländer über die neusten Fortschritte und Anwendungen auf dem Gebiet. Dazu zählen supraleitende Kabel, Transformatoren, Strombegrenzer, Generatoren, Motoren und Schwungräder sowie magnetische Energiespeicher (zwei aktuelle Projektbeispiele aus den USA, siehe Figur 10, 11, 12). Es werden regelmässig detaillierte, technisch hochstehende Berichte erstellt, die ausser der Durchführbarkeit von neuen supraleitenden Lösungen auch Aspekte wie Umwelt und Sicherheit, auch die Durchdringung des Marktes durch HTSL-Produkte untersuchen.



Figur 10: Kabel des Long Island HTS Cable Project, mit 600 m im 2007 das längste HTS-Kabel (138 kV, 574 MVA) in der Welt (American Superconductors)



Figur 11: Konzept des neuen 115kV/1200A Strombegrenzers (American Superconductors)

ABB als mehr oder weniger einzige Schweizer Industrie verfolgt gegenwärtig den Strombegrenzer als HTSL-Projekt. Dies stellt auf der Anwendungsseite die einzige nennenswerte Schweizer Aktivität im Energiebereich dar. Die Supraleitung hat in der kürzeren Vergangenheit technisch auf den verschiedensten Gebieten substantielle Fortschritte erzielt, wird aber aus ökonomischen Gründen den Durchbruch auf dem Markt erst in einigen Jahren schaffen. Die jüngsten Fortschritte auf dem Gebiet der Coated Conductor – Bänder, vor allem was die Länge aber auch die Stromdichte betrifft, stimmen optimistisch in Bezug auf die zukünftige Entwicklung. Aufgrund des besseren Verhaltens in Magnetfeldern ist gegenwärtig eine Wende von den Bi-2223 – Bändern zu Leitern der 2. Generation Y-123 oder RE-123 Coated Conductors im Gange.



Figur 12: 4 MVA HTS-Generator für den Einsatz in einem Schiff (Siemens AG)

WELTWEITER UND SCHWEIZER MARKT

Durch die langjährige Teilnahme am IEA Implementing Agreement besteht eine gute Übersicht über die weltweiten Aktivitäten und insbesondere auch, in welche Richtung sich der HTSL-Markt bewegt. Verschiedene Länder haben eigenständige HTSL-Programme und forschen dabei sowohl auf der Material- als auch auf der Anwendungsseite. Dabei sind folgende Länder speziell hervor zu heben:

- US Department of Energy, das neben den Materialien speziell im Bereich HTSL-Kabel und Strombegrenzer aktiv ist.
- Südkorea, welches über ein eigenständiges HTSL-Programm verfügt, in dem neben den Materialien ebenfalls Strombegrenzer und Kabel entwickelt werden.
- Japan, das viel Entwicklungsaufwand in die HTSL-Forschung generell investiert.
- Deutsche Industrie, die sich auf verschiedene Nischen konzentriert. So werden einerseits supraleitende Generatoren für Schiffsantriebe erforscht. Andererseits werden ebenfalls kleinere Transformatoren mit Strombegrenzerfunktion für Lokomotiven entwickelt.

POTENTIALE IN DER SCHWEIZ

Das Potential in der Schweiz liegt einerseits bei effizienten Anwendungen im schweizerischen Netz und andererseits bei Produkten mit HTSL-Technologien für den Export.

Grobe Abschätzungen durch Arbeiten im Rahmen des Implementing Agreement haben gezeigt, dass das Einsparpotential nicht einfach zu quantifizieren ist. Bekannt ist, dass die Gesamtverluste im Netz etwa 5-7% betragen, also in der Grössenordnung von 3'000 – 4'000 GWh/Jahr liegen. Der Ersatz des CH-Verteil-Trafo-Parks zu 100% mit neuen HTSL-Trafos wurde durch ABB vor einigen Jahren berechnet und würde eine theoretische Reduzierung der Verluste um **1'500 GWh / Jahr** ergeben. Die Integration eines Strombegrenzers macht den HTSL-Trafo zusätzlich funktional attraktiv. Wie erwähnt ist die Wirtschaftlichkeit jedoch nicht ausgewiesen.

NATIONALE AKTEURE

In der Schweiz ist seit einigen Jahren eine aktive Beteiligung an HTSL-Projekten im Hinblick auf Energieanwendungen lediglich bei ABB im Gange, und zwar auf dem Gebiet der Strombegrenzer. Die Arbeiten werden in enger Zusammenarbeit mit der Universität Genf, im Rahmen des MANEP-Projekts, durchgeführt und sind zurzeit eher Material-orientiert. Alstom hat zwei Studien durchgeführt und dabei abgeklärt, ob bei Generatoren ein Einsatz der Hochtemperatursupraleitung zweckmässig wäre. Die Ergebnisse waren grundsätzlich ermutigend, doch braucht es noch bessere Drähte, weshalb Alstom

im Moment eine eher abwartende Position einnimmt. Eine weitere Firma arbeitet auf dem Gebiet der Supraleitung, aber nur für den Einsatz bei tiefen Temperaturen (4.2K: *Bruker BioSpin*, Hochfeldmagnete für Nuclear Magnetic Resonance-Spektroskopie). Hinzu kommt noch die Firma IBM in Rüschlikon, die vor allem Entwicklungen von elektronischen "devices" verfolgt. Die meisten Firmen haben Zusammenarbeitsprogramme auf dem Gebiete der Supraleitung mit den schweizerischen Hochschulen, mit dem Paul Scherrer Institut, der ETH Zürich, der EPF Lausanne (CRPP) und der Universität Genf.

In Genf hat der zweite 4-Jahreszyklus des "*National Center of Competence in Research*"-Programms des schweizerischen Nationalfonds im 2005 begonnen. Das Projekt "*Materials with Novel Electronic Properties*" (MANEP) umfasst jetzt insgesamt 19 Institute und 5 Industrien und befasst sich mit dem Studium der Grundlagen sowie der Entwicklung von Materialien. Davon befassen sich 8 theoretisch oder experimentell mit HTSL-Supraleitern. Innerhalb von MANEP sind zwei Gruppen an der Universität Genf mit Entwicklungen auf dem Magnet- und dem Energiesektor tätig.

- O. Fischer arbeitet an Strombegrenzern (mit ABB) in Zusammenarbeit mit M. Hasler und B. Dutoit (EPFL Lausanne).
- R. Flükiger arbeitet an der Charakterisierung von HTS- und LTS-Supraleitern bei Feldern bis 21 T. Es läuft ein Vertrag mit CERN im Hinblick auf 15 T- Dipole, die nach LHC in Einsatz kommen werden. Ein grösseres Projekt verfolgt das Ziel, Nb₃Sn-Leiter für Höchstfeld - NMR – Magnete bei Feldern von 22 T und mehr zu entwickeln.

INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT

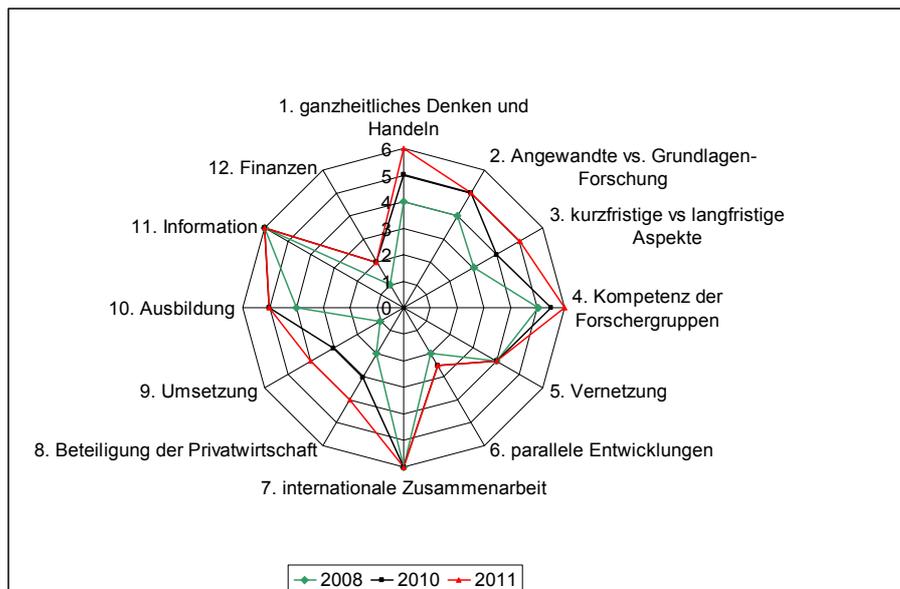
- Gezielt auf die 12 Teilnehmerländer wirkt das erwähnte „IEA Implementing Agreement for HTS Conductors“ als Plattform für einen fundierten Informationsaustausch.
- Eine internationale Zusammenarbeit ist im Rahmen des 6. EU-Rahmenprogrammes im Gange (Projekt STRP-505724-1 HIPERMAG). Dabei werden MgB₂-Bänder und -Drähte mit dem Ziel erforscht, Anwendungen bei 20 K zu entwickeln, allen voran für MRI-Spulen. Diesem Programm gehören 13 Gruppen an, wobei auch osteuropäische Länder eingebunden sind.
- Als internationale Zusammenarbeit kann ferner das Messprogramm an der Universität Genf gezählt werden, mit Messungen an Drähten und Bändern aus den USA (Y-123: American Superconductors, Nb₃Sn: Oxford Instruments), Japan (Sumitomo, NIMS) und aus Deutschland (Y-123: EHTS, Y-123: Theva).
- Eine sehr wichtige internationale Zusammenarbeit ist im Rahmen des ITER – Programmes in Villigen im Gange, wo die Gruppe von Dr. P. Bruzzone mit der Charakterisierung von Fusionsleitern in der 12 T-SULTAN-Spule beschäftigt ist. Diese Gruppe entwickelt gegenwärtig ein 12.5 Tesla Dipol, um die Fusionsleiter-Kabel für ITER zu charakterisieren.
- Informationsaustausch: Das Programm des Superconducting European Network, SCENET II (GTC1-2001-43047) ist im Sommer 2006 abgeschlossen worden. Gegenwärtig wird diese Funktion teilweise von der ESAS übernommen (European Society for Applied Superconductivity).

ZIELSETZUNGEN

Die mit dem vorliegenden Programm verfolgten Zielsetzungen lassen sich primär qualitativ umschreiben. Eine quantitative Zielsetzung ist erst zweckmässig, wenn die Schweizer Industrie konkrete Anwendungsprojekte angeht. Dies ist im Moment aber nicht der Fall.

Qualitative Zielsetzung:

Die qualitativen Zielsetzungen sind in der nachfolgenden Graphik (Figur 13) dargestellt. Dabei wird aufgezeigt, welche Aspekte in welche Richtung verschoben werden sollen. Die Gewichtung von 1-6 stellt dabei keine reale Skalierung dar, sondern reflektiert die persönliche Einschätzung der Programmleitung. Ausgehend von der Einschätzung gemäss dem aktuellen Status im 2008 wird ersichtlich, in welche Richtung die Forschungsanstrengungen gehen sollen und welche Aspekte dabei speziell berücksichtigt werden sollen.



Figur 13: Qualitative Zielsetzungen im Bereich Hochtemperatursupraleitung

Obwohl gemäss Graphik verschiedene Aspekte berücksichtigt werden, stehen schwerpunktmässig die folgenden Zielsetzungen im Vordergrund:

- Initiieren einer substantiellen Beteiligung der Privatwirtschaft und Gewinnung der Privatwirtschaft für ein anwendungsorientiertes Projekt
- Lenkung der bis anhin eher langfristigen Aspekte durch die Initiierung von anwendungsorientierten Arbeiten in Richtung kurzfristige Aspekte
- Initiierung der Umsetzung durch konkrete Projekte
- Weiterführung der nationalen und internationalen Informationsverteilung (Teilnahme IEA Implementing Agreement, Durchführung eines nationalen HTSL-Statusseminars)

5. ANWENDUNG: ELEKTRISCHE MOTOREN / ANTRIEBE

STAND DER TECHNOLOGIE INTERNATIONAL UND IN DER SCHWEIZ

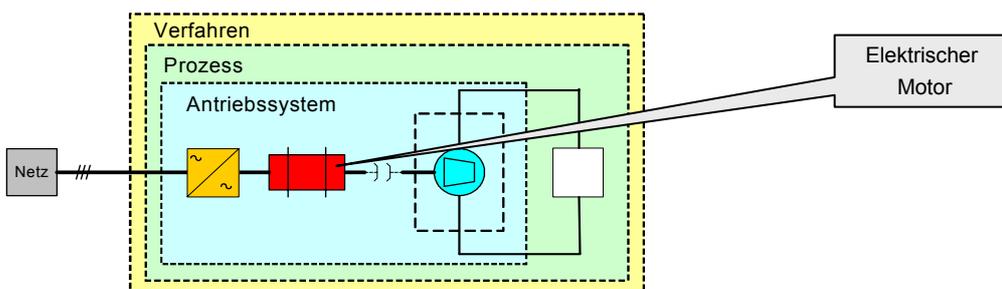
Elektrische Antriebe und Motoren sind seit vielen Jahren in verschiedensten Bereichen im Einsatz. Es erstaunt deshalb nicht, dass in der Schweiz rund 45 Prozent der elektrischen Energie in elektrischen Motoren umgesetzt wird.

Elektrische Motoren werden in der Industrie, im Dienstleistungsbereich und in der Gebäudetechnik zum Antrieb von Pumpen, Ventilatoren, Kompressoren für Kälte und Druckluft, mechanische Antriebe, etc. eingesetzt. Daneben sind viele Motoren – vor allem im kleineren Leistungsbereich – in einer Vielzahl von Elektrogeräten (z.B. Haushaltsgeräten) im Einsatz. Die nachfolgende Tabelle zeigt einige interessante Kenndaten zum Motorentema auf.

Kennwerte	Einheit		Wert
Globale Elektrizitätsproduktion (2006)	PWh/a		18.6
Globale Elektrizitätsproduktion durch fossile Energie	PWh/a (%)		12.4 (67%)
Motorischer Stromverbrauch durch Industrie (ohne Haushaltsgeräte, Büro- und Unterhaltungselektronik)	PWh/a (%)		7.4 (40%)
Geschätztes Einsparpotential durch Effizienzsteigerung in Prozenten	min.	20%	
	max.	30%	
Geschätztes Einsparpotential in absoluten Werten (Industrie und Gebäude)	PWh/a		min. 1.5
			max. 2.2
Geschätzte, durch elektrische Motoren verursachte Greenhouse Gas-Emissionen	G t CO ₂ /a		4.3
Geschätztes Reduktionspotential der durch elektrische Motoren verursachten Greenhouse-Emissionen	G t CO ₂ /a		min. 0.9
			max. 1.4

Tabelle 3: Einige Zahlen zum weltweiten Einsatz von Motoren (IEA / A+B International)

Elektrische Motoren sind immer im Zusammenhang mit dem gesamten Antriebssystem zu betrachten. Zwar wird die elektrische Energie primär vom eingesetzten Motor verbraucht, doch erst eine Betrachtung im Gesamtzusammenhang lässt Rückschlüsse über einen effizienten Einsatz zu. Aspekte wie Einsatz (Laufzeit, Auslastung, Lebensdauer, Wirkungsgrad, etc.), Miteinbezug von erforderlichen Zusatzgeräten (Getriebe, Drossel, Transmissionsriemen, Drehzahlregulierung, Spannungs- und Stromrichter, etc.) sowie die mit dem Antrieb letztendlich gewünschte Effizienz als Gesamtsystem sind bestimmende Faktoren. Die Verwendung von effizienten Motoren ist zwar wichtig, aber von Bedeutung ist vor allem, dass die anzutreibenden Pumpen-, Ventilations-, Kompressions- und Antriebs-Systeme im entsprechenden Prozess/Verfahren als Gesamtsystem ihre Aufgabe effizient erfüllen können.



Figur 14: Der Motor im Gesamtzusammenhang seiner Anwendung (Schnyder Ingenieure AG)

Drehstrom-Asynchronmotoren verursachen gegen 50 Prozent der Energieverluste und sind damit die hauptsächlichsten Verlust-verursachenden Motorentypen. Davon ist der überwiegende Anteil Normmotoren im Leistungsbereich zwischen 1 kW und 22 kW. Verschiedene Studien zeigen auf, dass sich allein durch eine Erhöhung des Wirkungsgrades der Motoren insgesamt etwa 3 Prozent einsparen lassen. Grössere Potenziale lassen sich durch Drehzahlregelungen – ca. 10 Prozent – und durch Optimierung des gesamten Antriebssystems – je nach Situation über 20 Prozent – einsparen. Die vorerwähnten Werte haben kumulativen Charakter, wodurch Gesamteinsparungen – vorsichtig geschätzt – in der Grössenordnung von durchschnittlich 20 - 25% resultieren.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die geschätzten Einspareffekte in Zuordnung zu definierten Massnahmengruppen auf.

Massnahmengruppe	Typisches relatives Sparpotential in [%]
Anpassung des Betriebs der Anlage an tatsächlichen Bedarf (ein/aus/drehzahlvariable Antriebe)	15 .. 40
Energetische Optimierung des gesamten Prozesses	5 .. 50
Richtige Dimensionierung von Motoren und Antriebsmaschinen	6 .. 9
Wirkungsgradverbesserung bei Arbeitsmaschinen (Pumpen, Ventilatoren, Kompressoren, etc.)	2 .. 20
Minimierung der mechanischen Verluste im System	3 .. 7
Wirkungsgradverbesserung beim Motor	1 .. 9
Wirkungsgradverbesserung bei der Kraftübertragung (Riemen, Getriebe)	3 .. 7
Optimierung der Stromversorgung	1 .. 5
Rückgewinnung der mechanischen Prozessenergie bei speziellen Antrieben	10 .. 50

Tabelle 4: Typisches Einsparpotential pro Massnahme (basics AG)

Obwohl der elektrische Motor als Antriebsgerät seit vielen Jahren im Einsatz steht, werden erst seit ca. 20 Jahren stark verbesserte Elektromotoren weltweit hergestellt und verwendet. Durch eine Verbindung besserer konstruktiver Merkmale und Materialien (höherer Kupfereinsatz) konnten die Verluste in allen Leistungsbereichen vermindert werden. Diese Entwicklung läuft weiter und ist noch nicht abgeschlossen, da neben anderem auch neue Motorprinzipien diskutiert und teilweise bereits eingesetzt werden.

Der amerikanische Markt für Elektromotoren weist einen überraschend hohen Anteil von etwa 70% effizienter und hocheffizienter Motoren auf. Dies ist sowohl auf eine zwingende nationale Mindestverbrauchsverordnung EPA als Zulassungsbedingung für Allgebrauchsmotoren zurückzuführen, als auch auf einen freiwillig höheren Premium-Standard, der durch nationale Beschaffungsprogramme und finanzielle Anreize gefördert wird. In Europa beträgt der Marktanteil der neu verkauften Elektromotoren in der Effizienzklasse Eff1 (entsprechend der zwingenden EPA Zulassungsverordnung in den USA) nur 8%. Erfahrungen in verschiedenen Ländern zeigen, dass ein gesamter Marktanteil von 70% für effiziente und hocheffiziente Produkte nur mit verpflichtenden Zulassungsbedingungen erreicht werden kann, wie sie im EnG resp. in der EnV für serienmässig hergestellte Produkte vorgesehen sind. Es ist deshalb beabsichtigt, auch in der Schweiz zukünftig effiziente Motoren gestützt auf das EnG verpflichtend vorzuschreiben.

Wie bereits ausgeführt, ist der Einsatz eines effizienten Motors kein Garant für die Effizienz des Gesamtsystems. Deshalb liegt im vorliegenden Forschungsprogramm der Schwerpunkt auf der Optimierung von Antriebssystemen inklusive ihrer Regelung und Steuerung, wobei die grössten Einsparungen in Industrie und Gewerbe (z.B. mit dem Einsatz von Integralantrieben mit eingebauter elektronischer Steuerung) erzielt werden dürften. Aber auch in Haustechnikkomponenten wie Pumpen, Ventilatoren, Lüftern etc. ist ein Effizienzpotenzial vorhanden.

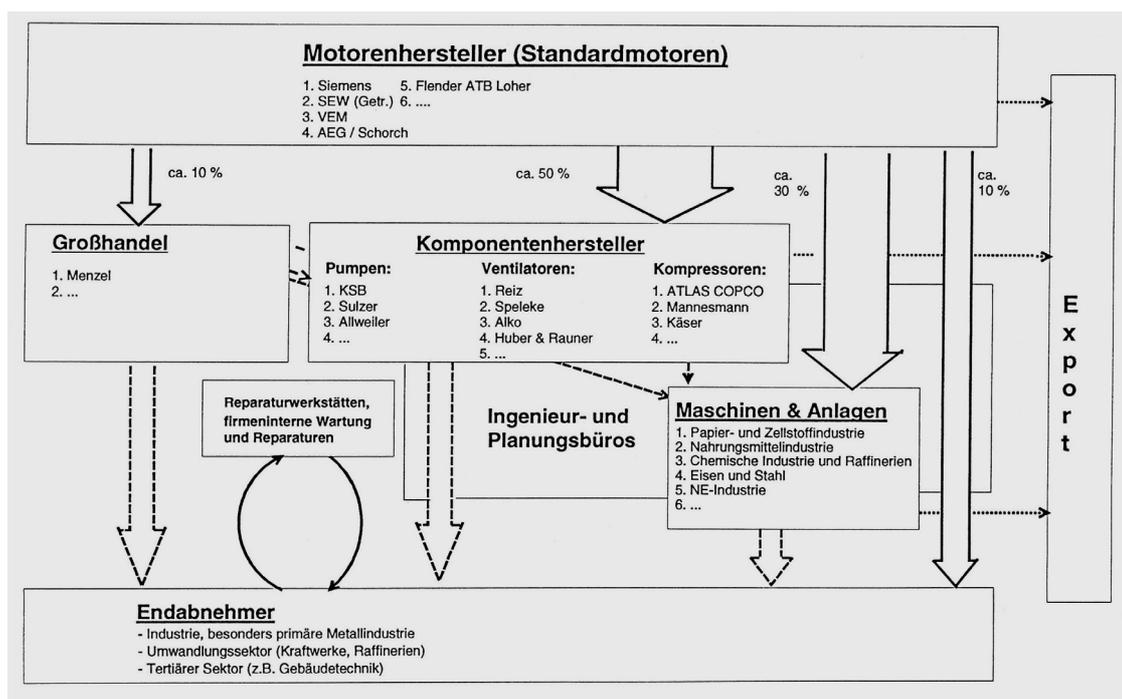
Mit der Teilnahme am europäischen „Motor Challenge Programme“, welches auf Managerebene das Energiebewusstsein unter Miteinbezug von Wirtschaftsaspekten fördert, konnten namhafte schweizerische Unternehmen zur Mitarbeit gewonnen werden. Durch verschiedene, systemorientierte Projekte in diversen Industriebereichen (ARA, Sägereien, Weberei, Schreinerei, Werkzeugmaschinenindustrie, Chemische Industrie) und entsprechender Publizierung der Ergebnisse in der einschlägigen Fachpresse, wurde dem Systemdenken stetig Nachachtung verschafft. Diese Aktivität wird unvermindert weitergeführt.

Die vorbereitenden Arbeiten im Bereich Druckluft sind seit etwa 2 Jahren abgeschlossen und die Überführung zu *EnergieSchweiz* im Rahmen der Druckluftkampagne konnte erfolgreich durchgeführt werden.

WELTWEITER UND SCHWEIZER MARKT

Der Motorenmarkt kann in einen OEM-Markt (Original Equipment Manufacturer) und einen Direktmarkt gegliedert werden. Gemäss einer Studie des Fraunhofer Instituts [4] überwiegt der OEM-Markt mit einem Anteil von etwa 70%. Aufgrund dieses grossen Anteils ist es generell schwierig, griffige Instrumentarien zur Beeinflussung der Käuferschaft zu schaffen. Denn der Endkunde beschafft sich am Ende der Produktionskette eine gesamte Anlage und/oder zumindest ein Antriebssystem in Form eines Lüfters oder einer Pumpe, worin der Motor als Einzelgerät nicht mehr direkt bewertet werden kann.

Die nachfolgende Graphik zeigt beispielhaft die Marktstruktur im Motorenbereich in Deutschland, die aber auch für die Schweiz repräsentativ ist.



Figur 15: Marktstruktur in Deutschland (Fraunhofer Institut)

Aufgrund des andauernden wirtschaftlichen Drucks sowie der tiefen Strompreise wird sowohl auf der Anbieter- wie auch auf der Käuferseite der Energieeffizienz noch zu wenig Bedeutung beigemessen. Ferner verlässt man sich weitgehend auf die Herstellerangaben bezüglich Motoren-Wirkungsgrad und es gibt keine unabhängige Instanz, die einen neutralen Vergleich der Energieeffizienz - im Zusammenhang mit sogenannten Billigprodukten - durchführen könnte.

Auch wirtschaftliche Überlegungen im Sinne einer Total Cost of Ownership (TCOS) resp. Life Cycle Costs (LCC) sind im mittleren Leistungsbereich nicht etabliert, unter anderem auch deshalb, weil bei der Käuferschaft oftmals eine Trennung zwischen den Investitionsverantwortlichen und den Betriebsverantwortlichen herrscht.

POTENTIALE IN DER SCHWEIZ

Der Gesamtverbrauch der motorischen Antriebe und Antriebssysteme wird in der Schweiz auf etwa 45% geschätzt, was in absoluten Zahlen etwa 26'000 GWh/Jahr entspricht. Das durchschnittliche Einsparpotential ist wie erwähnt in der Grössenordnung von über 20%, bzw. **5'000 GWh/Jahr**. Im Rahmen einer umfassenden Studie [5] wurde die Industrie speziell auf das motorische Einsparpotential hin untersucht. Diese Arbeiten haben ergeben, dass in der schweizerischen Industrie mehr als 2 Millionen Elektromotoren mit energetisch relevanten Laufzeiten und Leistungen installiert sind, welche zusammen jährlich mehr als 12'000 GWh Strom verbrauchen. Tatsächlich besteht für die Industrie ein **wirtschaftliches Sparpotenzial** in der Grössenordnung von schätzungsweise 15 Prozent oder rund **2'000 GWh/Jahr**. Dieses Sparpotenzial bezieht sich auf insgesamt neun unterschiedene Massnahmengruppen, die von der Optimierung der Stromversorgung, über die Wirkungsgradverbesserung des einzelnen Motors, über die Prozessoptimierung bis hin zur Rückgewinnung der Energie in speziellen Antrieben reichen.

NATIONALE AKTEURE

Die grossen Konzerne wie ABB, Siemens, Fuji, etc. betreiben in der Schweiz (mit wenigen Ausnahmen) keine eigentlichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten mehr. Dessen ungeachtet sind diese Firmen an einer Zusammenarbeit mit dem BFE-Forschungsprogramm interessiert und die entsprechenden Kontakte werden in den Trendwatching-/Begleitgruppensitzungen rege gepflegt. Daneben gibt es verschiedene schweizerische Unternehmen, die in Nischenbereichen forschen und auch bereit sind, mit dem BFE-Forschungsprogramm zusammenzuarbeiten.

Um eine grösstmögliche Breitenwirkung für die Umsetzung der erarbeiteten Ergebnisse sicherzustellen, wird eine Zusammenarbeit mit der Energieagentur der Wirtschaft (EnAW) und Schweizerischen Agentur für Energieeffizienz (SAFE) angestrebt. Zudem wird mit den einschlägigen Branchenvertretern ein Informationsaustausch im Rahmen von Abklärungen zur Förderung von effizienten Motoren gepflegt.

Bei den Fachhochschulen sind vor allem die Fachhochschulen Yverdon, Zürich-Winterthur, Sion und Luzern in unterschiedlichem Ausmass in der Motorenforschung aktiv. Der Lehrstuhl elektrische Maschinen an der ETH Zürich ist leider seit längerem nicht mehr besetzt. Bei den Hochschulen ist deshalb zurzeit nur noch die EPF Lausanne mit dem Institut des sciences de l'énergie / Lab. de Machines Electriques (ISE/LME) von Prof. J.-J. Simond aktiv. Schliesslich haben sich mehrere Ingenieurbüros auf das Engineering und das Fachwissen im Bereich von elektrischen Antrieben spezialisiert.

Der Kontakt mit *EnergieSchweiz* wird aktiv gepflegt, damit die neusten Erkenntnisse in die Aktivitäten für effiziente, elektrische Antriebe einfließen können. Ebenfalls erfolgt eine Koordination mit dem Forschungsprogramm „verfahrenstechnische Prozesse, VTP“.

INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT

Die Aktivitäten des BFE-Forschungsprogramms sind stark auf die internationalen Arbeiten abgestimmt und werden soweit zweckmässig auch in solchen integriert.

So ist z.B. die Schweiz aktiv ins europäische **Motor Challenge Programm** eingebunden. Ebenfalls nimmt die Schweiz regelmässig teil an den internationalen **Motoren-Tagungen EEMODS** (Energy Efficient Motor Driven Systems), die alle 2 – 3 Jahre stattfinden und die internationale Motorengemeinschaft zum Informationsaustausch einlädt. Zudem bringt sich die Schweiz auch aktiv an den Motorenstudien der europäischen **Energy-using-Products-Arbeiten** ein.

Die **SEEM-Initiative** (Standards for Energy efficiency of Electric Motor Systems) hat ihren Ursprung ebenfalls in der Schweiz. SEEM hat innert kürzester Zeit eine internationale Gemeinschaft etabliert, die sich um eine weltweite Verbreitung von effizienten Motoren und Motorsystemen bemüht. Das entstandene Netzwerk umfasst alle fünf Kontinente und zieht private und öffentliche Organisationen ein.

Schliesslich engagiert sich die Schweiz im **IEA Implementing Agreement 4E** (Energy Efficient End use Equipment). Dieses sich im 2007 am Entstehen befindende Agreement umfasst neben anderem einen Annex Electric Motor Systems. Dieser Annex wird durch die Schweiz vorbereitet und es ist geplant, dass die Schweiz auch den Operating Agent stellt.

ZIELSETZUNGEN

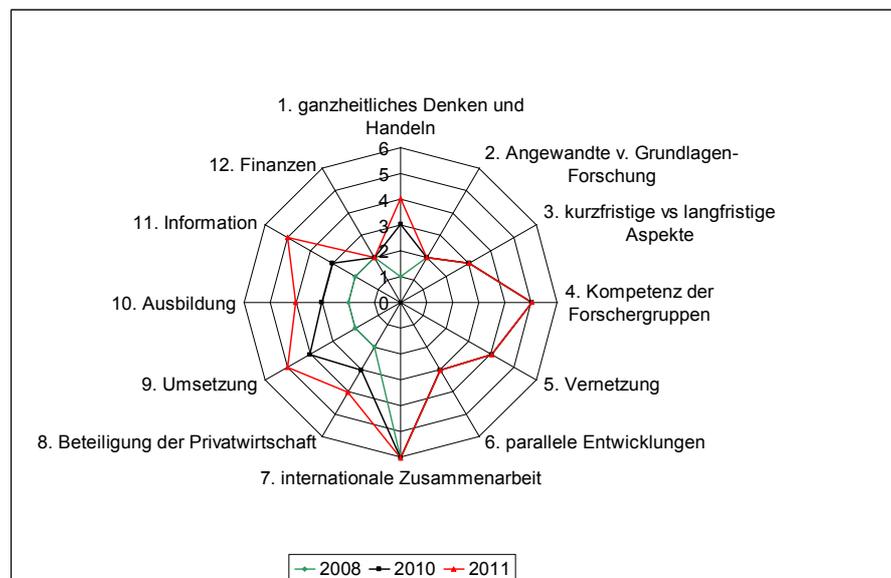
Quantitative Zielsetzung:

Die übergeordnete, quantitative Zielsetzung im Bereich der Motoren/Antriebe liegt darin, die Grundlagen zu schaffen, damit möglichst viel des geschätzten Einsparpotentials von 5'000 GWh/Jahr umgesetzt wird. Um einen möglichst grossen Multiplikationseffekt zu erzielen, wird dabei versucht, einerseits die Effizienz von Standardtechnologien zu erhöhen und andererseits in systemorientierten Ansätzen die gesamten motorischen Prozesse mit der Industrie anzugehen. Da ein Monitoring bezüglich Zielerreichung nicht vorhanden ist, wird auf eine eigentliche, quantitative Zielfestlegung verzichtet.

Im Sinne von anzustrebenden quantitativen Zielen kann festgehalten werden, dass mit dem Einsatz von Permanentmagnet-Motoren (PM-Motoren) anstelle von Asynchronmotoren ein Einsparpotential von 75 GWh/Jahr und mit dem Nutzen einer neuartigen Ansteuerung für alle bestehenden Schrittmotoren weitere 100 GWh/Jahr realisiert werden könnten. Mit der Förderung von PM-Motoren und effizienten Schrittmotoren kann damit eine quantitative Zielsetzung formuliert werden.

Qualitative Zielsetzung:

Die qualitativen Zielsetzungen sind in der nachfolgenden Graphik (siehe Figur 16) dargestellt. Dabei wird dargestellt, welche Aspekte in welche Richtung verschoben werden sollen. Die Gewichtung von 1-6 stellt dabei keine reale Skalierung dar, sondern reflektiert die persönliche Einschätzung der Programmleitung. Ausgehend von der Einschätzung gemäss dem aktuellen Status im 2008 wird ersichtlich, in welche Richtung die Forschungsanstrengungen gehen sollen und welche Aspekte dabei speziell berücksichtigt werden sollen.



Figur 16: Qualitative Zielsetzungen im Bereich Motoren/Antriebe

Obwohl gemäss Graphik verschiedene Aspekte berücksichtigt werden, stehen schwerpunktmässig die folgenden Zielsetzungen im Vordergrund:

- Fördern des ganzheitlichen Denkens und Handelns bezüglich der motorischen Nutzung
- Vermittlung der verfügbaren Informationen und Unterstützung bei der Umsetzung, wobei dies primär durch das Weiterreichen an *EnergieSchweiz* geschieht
- Initiieren und Vorbereitung der Ausbildung bezüglich dem Fachwissen effizienter Motoren und Antriebe
- Ausdehnung der Beteiligung der Privatwirtschaft und Gewinnung der Privatwirtschaft für anwendungsorientierte Projekte (gute Beispiele)

6. ANWENDUNG: INFORMATIONS- UND KOMMUNIKATIONSTECHNIK

STAND DER TECHNOLOGIE INTERNATIONAL UND IN DER SCHWEIZ

Sowohl in der Informatik und in der Kommunikationstechnik als auch im Bereich der Unterhaltungselektronik (TV, VCR, HiFi-Anlagen etc.) stellt die fortschreitende Vernetzung ein immer wichtigeres Element bezüglich Energieeffizienz dar. Die stetig besseren Kommunikationsmöglichkeiten, vornehmlich durchs Internet vorangetrieben, treiben den Markt und die entsprechenden Technologieentwicklungen unermüdlich an. Zudem ergibt sich insbesondere im Homebereich mittelfristig eine schrittweise Verschmelzung der reinen Unterhaltungsgeräte wie TV und Videorecorder mit den Kommunikations- und Informatikeinrichtungen. Sobald die notwendigen Bandbreiten zu vertretbaren Kosten im Homebereich zur Verfügung stehen, werden die Informationen für die Unterhaltung (Musik, Video, Spiele, etc.) ebenfalls vom Netz angefordert und/oder über das Netz interagiert. Damit fließen der Unterhaltungs- und der Informatikbereich endgültig zusammen. Da die Interaktion zukünftig sowohl vom Benutzer als auch vom Anbieter angestossen wird, wird der Homebereich zukünftig stets am Netz sein, was bedeutet, dass zumindest die Kommunikationseinrichtungen permanent online sind. Einem tiefen Standby-Verbrauch kommt deshalb eine eminente Bedeutung zu. Durch die fallenden Preise und die rasante Technologieentwicklung kommen auch immer mehr Geräte in Umlauf. Deshalb ist auch dem On-Mode-Verbrauch entsprechendes Gewicht einzuräumen.

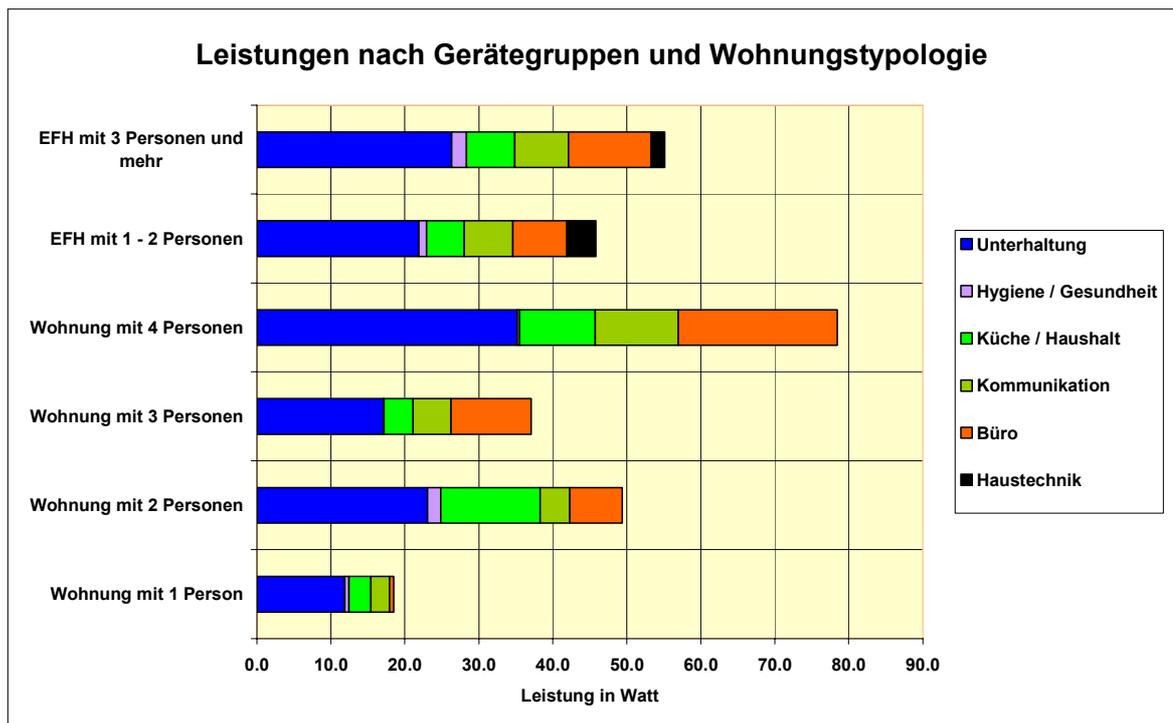
Das Thema der sogenannten Home Automation bekommt durch die Vernetzung und neue, kosteneffektive Technologie ebenfalls verstärkte Bedeutung. Zwar wird argumentiert, dass mit der Home Automation ein eigentliches Energiemanagement im Hausbereich möglich wird (Heizungsabsenkung in der Nacht, Storen bedarfsgerecht ansteuern, Licht bedarfsgerecht ein- und ausschalten, etc.) und damit sowohl Elektrizität als auch fossile Energie eingespart werden kann. Einher mit der Verbreitung von Home Automation Systemen geht aber ein Strommehrverbrauch für die Komponenten selber. Es ist deshalb wichtig, dass dabei stromeffiziente Systeme auf dem Markt verfügbar sind und auch eingesetzt werden.

International sind verschiedene Studien und Initiativen zum Stromverbrauch dieses Bereichs am Laufen oder kürzlich abgeschlossen worden. Ohne abschliessend zu sein, sei speziell auf die folgenden Publikationen und Initiativen hingewiesen:

- Die Studie von Kurt Roth et al. [6] zeigt, dass der Stromverbrauch der "übrigen" Stromverbraucher (Bürogeräte und Unterhaltungselektronik) bei rund einem Viertel des gesamten Haushaltstromverbrauchs liegt und stetig zunimmt. Die Bedeutung der „übrigen“ Geräte ist damit genau so hoch, wie diejenige der traditionellen Verbraucher Heizung/Kühlung, Beleuchtung und Haushalt-Grossgeräten (white goods). Mittels einer Befragung von 2000 repräsentativen Haushalten wurden für Bürogeräte und Unterhaltungselektronik die Nutzungszeiten dieser Geräte erhoben. Trotzdem weisen die Nutzungszeiten nach Einschätzung von Roth noch immer die grösste Unsicherheit aller energieverbrauchenden Faktoren auf.
- Der Bericht der US-EPA (Environmental Protection Agency) [7] zur Energieeffizienz von Servern und Data Centres, der von der US-Regierung verlangt wurde, schätzt den Stromverbrauch der Server und Data Centres auf 1.5% des gesamten Stromverbrauchs in den USA. Mit heutigen Technologien könnten davon bei gleich bleibender Rechenleistung innerhalb weniger Jahre rund 25% eingespart werden.
- In der Studie von Franz O. et al. [8] werden die Potenziale der Informations- und Kommunikationstechnologien zur Optimierung der Energieversorgung und des Energieverbrauchs untersucht. Eine Schlüsselrolle spielen dabei u. a. intelligente und digital vernetzte Zähler- und Messsysteme, so genannte Smart-Metering-Systeme oder virtuelle Kraftwerke, mit denen Energieerzeugung und Energieverbrauch optimal aufeinander abgestimmt und so die Versorgungssicherheit erhöht und aufwendige Regelleistung eingespart werden kann.
- Eine neuere Studie in der Schweiz hat den Standby-Verbrauch von Haushalten [9] untersucht. Für die Messungen wurden die Geräte in sechs Gruppen eingeteilt: Unterhaltung, Hygiene / Gesundheit, Küche/Haushalt, Kommunikation, Büro und Haustechnik. Gemessen wurde in 37 Wohnungen, die eine typische Wohnsituation repräsentieren, vom Einfamilienhaus bis zur 1-Personen-Mietwohnung. Bemerkenswert ist, dass die Unterhaltungselektronik immer den grössten Einzelposten am Stand-by-Verbrauch hat. Auf den nächsten Plätzen folgen Büro, Kommunikation und Küche/Haushalt. Der Bereich Hygiene/Gesundheit braucht am wenigsten.

Der hohe Anteil der Unterhaltungselektronik ist insofern erstaunlich, als gerade in diesem Bereich die Effizienz in den letzten Jahren deutlich verbessert werden konnte. Diese Fortschritte wurden

aber durch die Einführung neuer Gerätegattungen mit relativ hohen Stand-by-Verbräuchen wieder zunichte gemacht. Hierzu gehören generell Produkte, die vernetzt arbeiten oder der Vernetzung dienen – beispielsweise Settop-Boxen, Satelliten-Receiver, ADSL-Modems oder interaktive Spielkonsolen. Gemäss der Studie verbraucht ein vierköpfiger Haushalt durchschnittlich gegen 80 W Standby-Leistung (siehe Fig. 16). Aufs ganze Land hochgerechnet erreicht der Standby-Verbrauch aber eine Dimension, die nicht mehr zu vernachlässigen ist. Vorsichtig geschätzt dürfte er bei einigem über 1000 GWh im Jahr liegen, was etwa 1,7 Prozent des schweizerischen Stromverbrauchs entspricht. Davon geht ein grosser Teil auf das Konto der Heimelektronik. Wegen der grossen Zahl installierter Einheiten fallen in Haushalten besonders die externen Netzgeräte, die Breitbandgeräte (z.B. ADSL-Modems) und die Settop-Boxen ins Gewicht. Gerade Letztere sind besonders relevant, weil sie sich mit der Umstellung auf digitales Fernsehen rasant verbreiten. Sie bleiben in der Regel dauernd im Bereitschaftsmodus und beziehen entsprechend viel Standby-Strom.



Figur 17: Standby-Leistungen verschiedener Gerätegruppen und Wohnungstypen (Zero Energie Ressourcen Optimierung)

WELTWEITER UND SCHWEIZER MARKT

Der Markt ist geprägt durch eine rasant fortschreitende Technologie, eine immer stärker werdende Vernetzung sowie durch eine extrem kurzlebige Marktpräsenz der einzelnen Geräte (viele Modelle werden nach wenigen Monaten durch neuere ersetzt).

Die Geräte werden generell für den internationalen Markt produziert und weltweit angeboten. Es gibt keinen eigentlichen nationalen Markt mit nationalen Markennamen mehr. Speziell in der Schweiz werden praktisch alle Geräte importiert. Dies führt dazu, dass ein Kontakt zur Industrie nur über die entsprechenden Importeure möglich ist. Umso wichtiger ist es, dass sich die Schweiz bei den Arbeiten auf die internationalen Arbeiten und Bemühungen abstützt und zu diesen ihren Beitrag leistet.

Ohne Anspruch zu erheben abschliessend zu sein, sind die folgenden Arbeiten im Bereich des internationalen Marktes von Bedeutung:

- ENERGY STAR ist ein internationales Programm für effiziente Produkte und Gebäude und wird durch die US Environmental Protection Agency und das US Department of Energy geführt. Das Programm hat eine Vereinbarung mit der EU, Japan, Australien, Neuseeland, Kanada, Taiwan, China, und anderen Ländern. Die Vereinbarung mit der EU beschränkt sich auf Bürogeräte.
- Die europäische Richtlinie über den Eco-design von „Energy-using Products (EuP)“ trat 2005 in Kraft und deckt diverse elektrische und elektronische Geräte ab. Damit werden die Grundlagen

geschaffen, um einheitliche Massnahmen für die Effizienz dieser Geräte durch regulatorische Massnahmen zu schaffen. Dies betrifft neben anderem TV, Settop-Boxen, Ladegeräte und externe Stromversorgungsgeräte, Konsumer Elektronik, bildverarbeitende Geräte wie Drucker, Kopierer, etc.

- Die EU setzt parallel zu ihren EuP-Arbeiten immer noch auf freiwillige Vereinbarungen. Im vorliegenden Bereich sind sogenannte Code of Conduct zu den Settop-Boxen, Breitband-Kommunikationsgeräten und externen Ladegeräten aufgesetzt. Die Schweiz hat sich stark bei den beiden Ersten eingesetzt und hat diese mit Unterstützung der schweizerischen Produktvertriebenden Industrie massgebend mitbeeinflusst.
- Die IEA ist am Aufbau eines Implementing Agreement mit dem Thema „Energy Efficient End User Equipments, 4E“, in dem neben anderem Settop Boxen und generell Standby bei Geräten bearbeitet werden.
- Die internationale „Task Force for Sustainable products, ITFSP“ wurde durch das englische Departement of Environment, Food and Rural Affairs (Defra) im November 2005 etabliert, um umweltverträgliche und energieeffiziente Geräte zu fördern. ITFSP wird durch UK geführt, wobei 13 Länder daran teilnehmen und zudem die IEA und die UN.

National existieren ebenfalls verschiedene Initiativen, wobei eine grosse Fokussierung durch das nationale Programm *EnergieSchweiz* erfolgt.

POTENTIALE IN DER SCHWEIZ

Schätzungen gehen davon aus, dass die Informatik / Kommunikation in der Schweiz etwa 10% des gesamten CH-Stromverbrauchs beansprucht, was etwa 5'800 GWh entspricht. Der Trend ist dabei stark ansteigend. Das Einsparpotential wird auf etwa 10 - 15% geschätzt, also etwa **800 GWh/Jahr**.

NATIONALE UND INTERNATIONALE AKTEURE

Durch die Etablierung des *Kompetenzcenters an der ETH Zürich* ist am CEPE ein wichtiges diesbezügliches Fachwissen vorhanden. Spezifische Problemstellungen werden auch von entsprechend erfahrenen Ingenieurbüros bearbeitet. Zurzeit wird zudem angestrebt, an einer Fachhochschule ein entsprechendes Fachwissen aufzubauen.

Die relevanten Kontakte zur internationalen IT-Industrie werden über die Vertretungen in der Schweiz (meist über die Trendwatching-/Begleitgruppen-Sitzungen oder via Direktkontakt) wahrgenommen.

Um eine grösstmögliche Breitenwirkung für die Umsetzung der erarbeiteten Ergebnisse sicherzustellen, ist eine enge Zusammenarbeit mit der *Energieagentur Elektrogeräte (eae)* der *Schweizerischen Agentur für Energieeffizienz (SAFE)* und dem *Schweizerischen Wirtschaftsverband der Informations-, Kommunikations- und Organisationstechnik (SWICO)* etabliert.

Unter Mithilfe von *eae* und *SWICO* konnte die freiwillige, europäische Vereinbarung von Settop-Boxen in eine nationale Vereinbarung übergeführt werden, die von neun Schweizer Unternehmen unterzeichnet wurde.

Koordination mit anderen Forschungsprogrammen:

Wichtig ist ferner eine enge Koordination und Absprache mit dem BFE-Forschungsprogramm „Energie in Gebäuden“. Diese ist etabliert und ein regelmässiger Informationsaustausch ist sichergestellt. Teilweise werden Projekte gemeinsam begleitet und/oder finanziert.

INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT

Die Programmleitung arbeitet aktiv im Rahmen der internationalen Aktivitäten mit. So werden substantielle Beiträge an die europäischen, freiwilligen Vereinbarungen, den sogenannten Code of Conduct (CoC) geleistet. Speziell betrifft dies die beiden *CoC Settop-Boxen* und *Broadband Devices*.

Ebenfalls ist die Programmleitung beim Aufbau des IEA Implementing Agreement mit dem Thema „Energy Efficient End User Equipments, 4E“ beteiligt.

Es bestehen etablierte Kontakte zur *US-Environmental Protection Agency*, welche für den Energy Star verantwortlich zeichnet und zu den zuständigen Stellen der IEA und der EU. Auch zu internationalen Forschungsstätten (wie zum *Lawrence Berkeley National Laboratory*, der *Deutschen Energieagentur (DENA)*, dem *Fraunhofer Institut*), dem *UK Transformation Programme*, der *Dänischen Energieagentur*, *Französische Energieagentur ADEME*, etc.) bestehen direkte Kontakte.

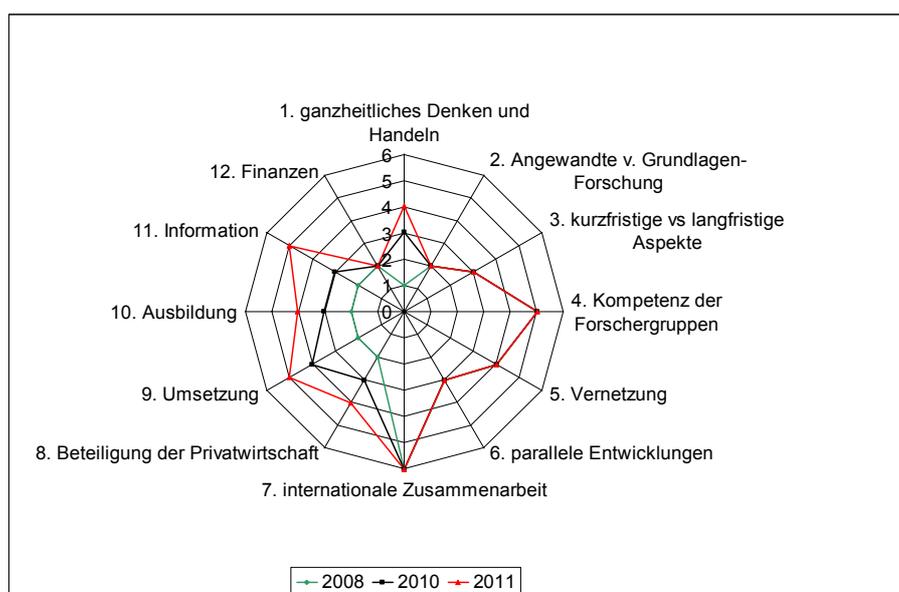
ZIELSETZUNGEN

Quantitative Zielsetzung:

Die übergeordnete, quantitative Zielsetzung im Bereich Informations- und Kommunikationstechnik liegt darin, die Grundlagen zu schaffen, damit möglichst viel des geschätzten Einsparpotentials von 800 GWh/Jahr umgesetzt wird. Um dies zu erreichen, sind die Aktivitäten auf die internationalen Anstrengungen abzustimmen.

Qualitative Zielsetzung:

Die qualitativen Zielsetzungen sind in der nachfolgenden Graphik (siehe Figur 18) dargestellt. Dabei wird dargestellt, welche Aspekte in welche Richtung verschoben werden sollen. Die Gewichtung von 1-6 stellt dabei keine reale Skalierung dar, sondern reflektiert die persönliche Einschätzung der Programmleitung. Ausgehend von der Einschätzung gemäss dem aktuellen Status im 2008 wird ersichtlich, in welche Richtung die Forschungsanstrengungen gehen sollen und welche Aspekte dabei speziell berücksichtigt werden sollen.



Figur 18: Qualitative Zielsetzungen im Bereich Informatik/Kommunikation

Obwohl gemäss Graphik verschiedene Aspekte berücksichtigt werden, stehen schwerpunktmässig die folgenden Zielsetzungen im Vordergrund:

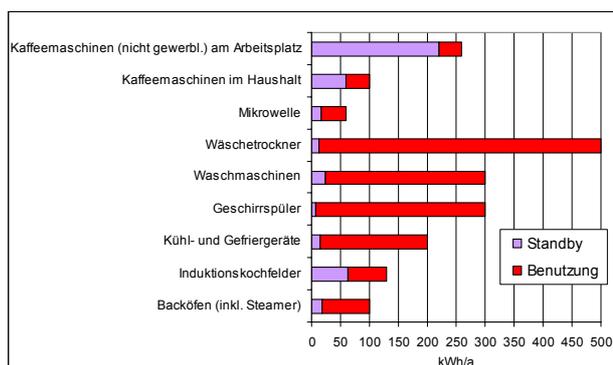
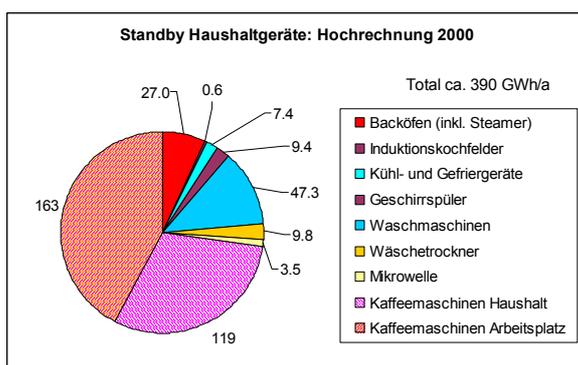
- Fördern des ganzheitlichen Denkens und Handelns
- Vermittlung der verfügbaren Informationen und Unterstützung bei der Umsetzung, wobei dies primär durch das Weiterreichen an *EnergieSchweiz* geschieht
- Weiterführung und Vertiefung der internationalen Aktivitäten. Da in der Schweiz keine massgebende Industrie in diesem Bereich vorhanden ist, ist die internationale Vernetzung wichtig

7. ANWENDUNG: GERÄTE (HAUSHALT UND GEWERBE)

STAND DER TECHNOLOGIE UND POTENTIAL IN DER SCHWEIZ

Diverse elektrische und elektronische Geräte, worunter neben Haushaltsgeräten auch gewerbliche Apparate zu verstehen sind, weisen nach wie vor ein substantielles Einsparpotential auf. Entsprechende Grundlagen gilt es unter Miteinbezug von Wirtschaftlichkeitsaspekten gemeinsam mit der Industrie zu erforschen. So brauchen die Haushaltsgeräte in der Schweiz jährlich etwa 7'200 GWh, was etwa 13% des gesamten Stromverbrauchs entspricht. Alleine die Kühl- und Gefriergeräte beanspruchen davon einen Anteil von etwa 2'000 GWh.

Neben dem Stromverbrauch während der Benutzung, ist auch dem Standby-Verbrauch entsprechende Beachtung zu schenken. Dies zeigt eine Studie [10], aus der die folgenden beiden Graphiken sind, die aufzeigen, dass je nach Gerät der Standby-Verbrauch substantiell ist.



Figur 19: Standby von Haushaltsgeräten inkl. Warmhalten der Kaffeemaschinen (SAFE)

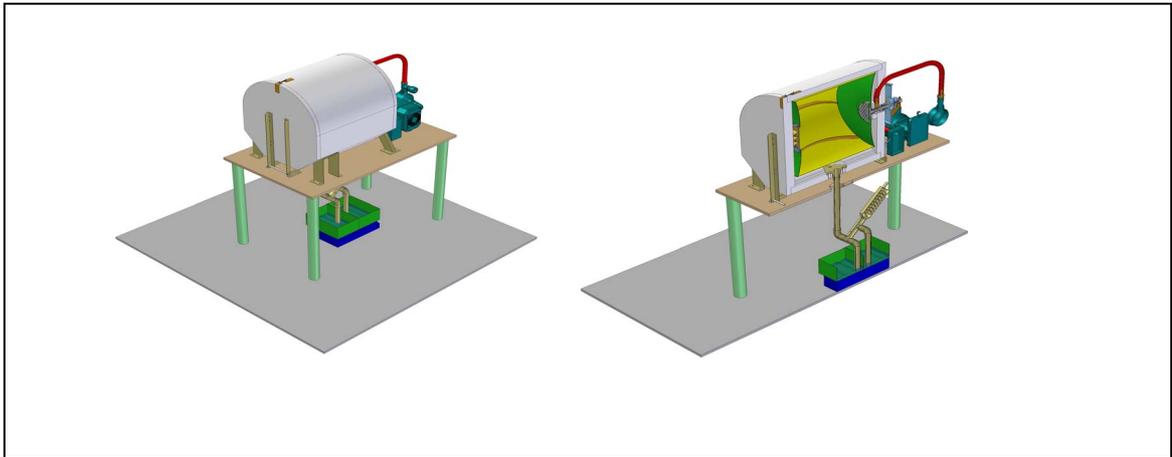
Figur 20: Vergleich Standby-Verbrauch zum Benutzungsverbrauch von Haushaltsgeräten (SAFE)

Vorläufige technische Überlegungen zeigen auf, dass bei Kühl- und Gefriergeräten des Haushalts noch ein erhebliches Einsparpotential vorhanden ist. Geht man von 20% aus, wären dies etwa 400 GWh. Eine Studie im Bereich der gewerblichen Kühlung (Detailhandel) [11] weist ein Einsparpotential von jährlich 266 GWh aus und bei Minikühlschränken wird ein Einsparpotential von etwa 18 GWh abgeschätzt [12].

Schwerpunkte werden dort gesetzt, wo die Schweiz über eine eigene Produktion verfügt (z.B. bei Haushaltsgeräten) resp. wo - in Koordination mit internationalen Partnern - eine Steigerung der Energieeffizienz durch grosse Stückzahlen erreicht werden kann. Die internationale Koordination stellt deshalb ein zentrales Element dar.

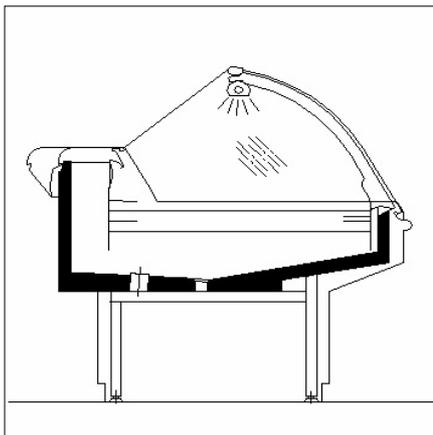
Folgende Themen sollen konkret behandelt werden:

- **Mini-Kühlschrank:** Mini-Kühlschränke in Hotels sind zwar geräuscharm, weisen jedoch einen schlechten Wirkungsgrad auf. Im Rahmen einer Vorstudie [12] sind die möglichen Alternativen ausgearbeitet und gemeinsam mit der Industrie auf wirtschaftliche Umsetzbarkeit hin geprüft worden. Da die Ergebnisse ermutigend sind, ist im Rahmen von Folgeprojekten die Umsetzung vorgesehen.
- **Kühlschränke/Gefrierschränke und -Truhen:** Obwohl die von der EU übernommene Energieetikette um die Kategorien A+ und A++ erweitert wurde, lassen vorläufige technische Analysen vermuten, dass eine weitere Effizienzsteigerung möglich ist. Verbesserte Isolationsmaterialien und der Einsatz von effizienten Kompressoren (z.B. mit Permanentmagnet-Motoren) sollten dazu führen, dass Kühlgeräte nochmals effizienter werden. In Kooperation mit der Industrie sollen Abklärungen und Analysen aufzeigen, ob weitere Effizienzsteigerungen mit zusätzlichen Massnahmen bei Kühlgeräten möglich sind.
- **Wäschetrockner:** Die heute effizientesten Wäschetrockner basieren auf dem Prinzip der Wärmepumpen-Tumbler. Die guten Eigenschaften werden aber mit erhöhten Investitionskosten erkauft, was dazu führt, dass sich diese effizienten Geräte im Markt nur relativ schwer verkaufen lassen. Eine neue Idee, einen Vakuum-Wäschetrockner auf den Markt zu bringen, verspricht Effizienzsteigerungen zu wesentlich tieferen Investitionskosten.



Figur 21: Funktionsmuster des Vakuum-Wäschetrockners (awtec AG)

- Kühlgeräte im Gewerbe:** Kühlgeräte für den Foodbereich im Verkauf weisen heute noch einen schlechten Wirkungsgrad auf. Das Einsparpotential ist substantiell und wird für den gesamten schweizerischen Detailhandel auf ca. 226 GWh/Jahr geschätzt, was in etwa ½ % des schweizerischen Stromverbrauchs entspricht. Diese Grundlagen wurden international ausgetauscht und die Schweiz bewirbt sich in 2 Intelligent Energy Europe-Projekten mit anderen europäischen Ländern, die entsprechende Umsetzung anzugehen. Von der Schweiz wurde eine der grossen Detailhandelsketten miteinbezogen.



Figur 22: Beispiel eines gewerblichen Kühlgerätes (MIGROS)

- USV-Anlagen:** Die Schweiz hat aktiv den europäischen CoC für grosse, dreiphasige USV-Anlagen ausgearbeitet und mit der EU die entsprechenden CoC-Werte entwickelt. Die Schweiz hat dabei die EU bei der Verhandlung der Werte mit der Industrie substantiell unterstützt. In einer nächsten Phase geht es nun darum, diese Effizienzwerte sukzessive zu erhöhen. Dazu sind die fachlichen Grundlagen zu schaffen. Gleichzeitig haben Messungen bei kleinen, einphasigen USV-Anlagen gezeigt, dass diese relativ effizient arbeiten. Hier geht es darum, dass diese Information der EU für die Umsetzung vermittelt wird. Zudem ist zu prüfen, ob für kleine USV-Anlagen eine Energieetikette oder ein anderes, adäquates Deklarationsblatt einzuführen ist.

NATIONALE AKTEURE UND INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT

Die nationalen Akteure sind je nach Produkt unterschiedlich. Es wird angestrebt, dass bei entsprechenden Arbeiten die produzierende und/oder die nutzende Industrie mit eingebunden werden.

ZIELSETZUNGEN

Das Ziel bei den Geräten ist trotz unterschiedlichen Einsatzgebieten stets das Gleiche. Minimierung des Energieverbrauchs im Standby- und On-Mode.

8. ANWENDUNG: LICHT / DIVERSES

STAND DER TECHNOLOGIE INTERNATIONAL UND IN DER SCHWEIZ

Die internationale Lichtindustrie ist intensiv am Forschen und die internationale Entwicklung in Richtung effizienter Lichtquellen ist sehr gross. Erfolgversprechend sind z.B. die (O)LED-Technologien, die eine substantielle Effizienzsteigerung erreichen sollen. Leider sind die im Moment auf dem Markt erhältlichen LED-Leuchtmittel noch nicht in vergleichbarer Qualität mit existierenden Technologien verfügbar und die effiziente OLED-Technologie ist praktisch noch nicht auf dem Markt.

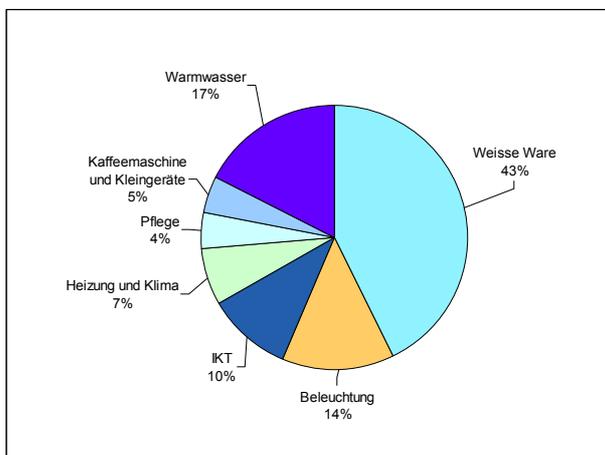
Politisch ist die Thematik der effizienten Beleuchtung durch die Tatsache, dass ein Verbot der ineffizienten klassischen Glühlampe in verschiedenen Ländern (u.a. auch in der Schweiz) in Erwägung gezogen wird, stark in den Vordergrund gerückt. Zudem gibt es verschiedene nationale und internationale Programme, die die effiziente Beleuchtung auf Strassen und in Gebäuden propagieren. Das EuP-Programm der EU untersucht sowohl Strassenbeleuchtungen wie auch Gebäudebeleuchtungen und in der Schweiz wird im Rahmen von EnergieSchweiz die effiziente öffentliche Beleuchtung propagiert.

Forschungsmässig ist die Industrie zwar sehr aktiv, jedoch ist anzumerken, dass in der Schweiz praktisch keine forschende Industrie angesiedelt ist. Konzerne wie Osram und Philips sind wohl in der Schweiz vertreten, dabei handelt es sich aber primär um Vertriebsgesellschaften.

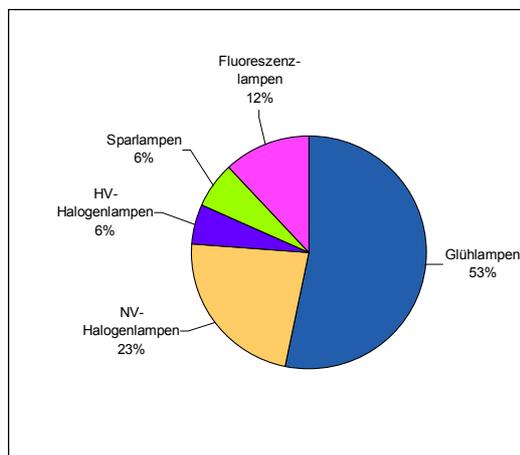
POTENTIALE INTERNATIONAL UND IN DER SCHWEIZ

Europaweit (EU-27) wird der jährliche Strombedarf für die Beleuchtung auf etwa 96'000 GWh geschätzt und das mutmassliche Einsparpotential beträgt etwa 20%, also etwas mehr als 18'000 GWh/a. Dies entspricht knapp einem Drittel des gesamten schweizerischen Stromverbrauchs.

Eine VSE-Studie [13] ist zum Schluss gekommen, dass der jährliche Stromverbrauch der Haushalte etwa 13'000 GWh beträgt (Werte 2005, ohne Anteil Elektroheizungen und Wärmepumpen) und der Anteil der Beleuchtung etwa 14% umfasst. Der Beleuchtungsanteil der Haushalte in der Schweiz beträgt damit etwas mehr als 1'800 GWh/Jahr.



Figur 23: Stromaufteilung im Haushalt (VSE-Artikel)



Figur 24: Stromaufteilung der verschiedenen Leuchtmittel (VSE-Artikel)

Eine etwas generelle Abschätzung aus dem Jahr 2000 im Rahmen von zwei Studien [14 und 15] weist einen jährlichen Stromverbrauch für die Beleuchtung im Haushalt von etwa 1'600 GWh aus, was unter Berücksichtigung eines Wachstums relativ gut mit den neueren Zahlen der VSE-Studie korrespondiert. Diesen älteren Studien haben zudem den gesamten Strombedarf für die Beleuchtung auf ca. 6'700 GWh/Jahr geschätzt. Geht man davon aus, dass im „Nicht-Haushaltsmarkt“ ein analoges Wachstum wie im Haushaltsbereich erfolgte, dürfte der Gesamtstromverbrauch in der Schweiz für die Beleuchtung auf jährlich etwas mehr als 7'600 GWh kommen. Nimmt man ferner als Grundlage ein ähnliches Einsparpotential von etwa 20% wie bei der EU, könnten in der Schweiz im Beleuchtungsbe- reich jährlich etwa 1'500 GWh eingespart werden.

Es sei an dieser Stelle vermerkt, dass andere Erhebungen und Statistiken nicht die gleichen Werte für den Stromanteil der Beleuchtung ausweisen. Da für die Ermittlung des Stromanteils bei der Bottom-

Up-Berechnung die geschätzte Brenndauer der einzelnen Lampen von grosser Relevanz ist und dazu wenig verlässliches Zahlenmaterial vorhanden ist, läuft zur Zeit ein Forschungsprojekt, um dieses Thema aufzuarbeiten und aussagekräftigere Grundlagen für die Abschätzung zu erhalten. Die erwähnten Werte geben aber gleichermassen die Grössenordnung wider, was im vorliegenden Kontext ausreichen dürfte.

NATIONALE AKTEURE

Im Bereich Licht sind national verschiedene Akteure von Bedeutung. Einerseits sicher die vertreibende Industrie von Beleuchtungskörpern und Leuchtmitteln. Andererseits nimmt die Schweizer Licht Gesellschaft (SLG) eine aktive Rolle ein. Lichttechnische Arbeiten, vorzugsweise im Messbereich, werden durch das eidgenössische *Amt für Messwesen* (METAS) durchgeführt.

In der Umsetzung ist vor allem *EnergieSchweiz* mit der Schweizerischen Agentur für Energieeffizienz (SAFE) und der Energieagentur Elektrogeräte (eae) sowie die *Topten-Initiative* zu erwähnen.

INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT

Zur internationalen Zusammenarbeit können die folgenden Aspekte erwähnt werden:

- Im Rahmen des eher umsetzungsorientierten EU-Programms „Greenlight“ wurden die Grundlagen für die Teilnahme der Schweiz ausgearbeitet.
- Die IEA ist am Aufbau eines Implementing Agreements mit dem Thema „Energy Efficient End Use Equipments, 4E“, in dem neben anderem auch das Gebiet „Beleuchtung“ bearbeitet wird.
- Die europäische Richtlinie über den Eco-design von „Energy-using Products (EuP)“ trat 2005 in Kraft und deckt diverse elektrische und elektronische Geräte ab. Damit werden die Grundlagen geschaffen, um einheitliche Massnahmen für die Effizienz dieser Geräte durch regulatorische Massnahmen zu schaffen. Licht ist dabei auch ein Thema.
- Auch für die EU ist Lichteffizienz ein Traktandum und die Schweiz wird dabei aufgrund der guten Kontakte begrüsst.

TECHNISCHE UND WIRTSCHAFTLICHE ZIELSETZUNGEN

Wie erwähnt, existiert keine eigentliche Forschung im technologie-orientierten Lichtbereich. Deshalb wird das Thema Licht auch nicht als Schwerpunkt verfolgt. Aufgrund des doch beachtlichen Einsparpotentials und der grossen technologischen Vielfalt wird aber angestrebt, Themen, die für die Umsetzung einer effizienten Beleuchtung anstehen, zu bearbeiten.

Folgende Aspekte sollen konkret behandelt werden:

- **T5-Adapter:** Immer wieder tauchen auf dem Markt sogenannte T5-Adapter auf. Deren Qualität ist je nach Produkt sehr unterschiedlich und auch der Einsatz dieser T5-Adapter ist umstritten. Es sollen deshalb wissenschaftliche Grundlagen geschaffen werden, um eine neutrale Aussage zu den T5-Adaptoren machen zu können.
- **Oberwellen/EMV bei Sparlampen:** Durch die verstärkte Durchdringung der Energiesparlampe können vermehrt Probleme mit Oberwellen auftreten. Dazu sind entsprechende Grundlagen zu schaffen, um verbessernde Massnahmen auf allen Ebenen zu definieren, um dies zu vermeiden resp. einzudämmen.
- **Qualität von Energiesparlampen:** Die Qualität von Energiesparlampen variiert extrem, wie eine neue Untersuchung vom November 2007 - beauftragt durch den Kassensturz und den WWF - zeigt. Es ist zu prüfen, ob Grundlagen geschaffen werden sollen, damit auf dieser Basis allenfalls ein erweitertes Label oder Deklarationen erstellt werden können.
- **IEA-Mitarbeit 4E (Annex Beleuchtung):** Sobald der Annex „Beleuchtung“ beim Implementing Agreement 4E aktiv wird, ist eine Teilnahme der Schweiz zu prüfen. Dazu sind die nationalen Akteure miteinzubeziehen.

EuP Ecodesign Aktivitäten der EU: Diese europäische Richtlinie trat 2005 in Kraft und deckt diverse elektrische und elektronische Geräte ab. Damit werden die Grundlagen geschaffen, um einheitliche Massnahmen für die Effizienz dieser Geräte durch regulatorische Massnahmen zu schaffen. Die laufend publizierten Resultate sind zu verfolgen und auf die Übertragbarkeit auf die Schweiz zu analysieren.

9. ANWENDUNG: DIVERSES

GENERELL

Durch die Tatsache, dass Elektrizität sehr universell einsetzbar und ein extrem flexibler Energieträger ist, sind auch die Einsatzgebiete sehr breit.

Es ist deshalb im Rahmen des vorliegenden Forschungsprogramms vorgesehen, in Bereichen, die ein hohes Einsparpotential und/oder einen substantiellen Beitrag für die effiziente Nutzung der Elektrizität versprechen, diesbezüglich Unterstützungsaktivitäten durchzuführen.

Bei diesen Arbeiten wird zudem fallweise geprüft, mit welchen Forschungsprogrammleitern entsprechende Koordinationen vorzunehmen sind.

10. MITTELEINSATZ IM FORSCHUNGSPROGRAMM

Angesichts des breiten Forschungsfeldes, der guten Ausgangslage der Schweizer Forschung und des grossen Einsparpotenzials sollen bis 2011 die Forschungsanstrengungen von heute etwa 7 Mio. Fr./Jahr (Anteil BFE: Fr. 1,2 Mio./Jahr) mindestens gehalten werden. Für P+D-Projekte werden zusätzlich 2 Mio.Fr./Jahr budgetiert.

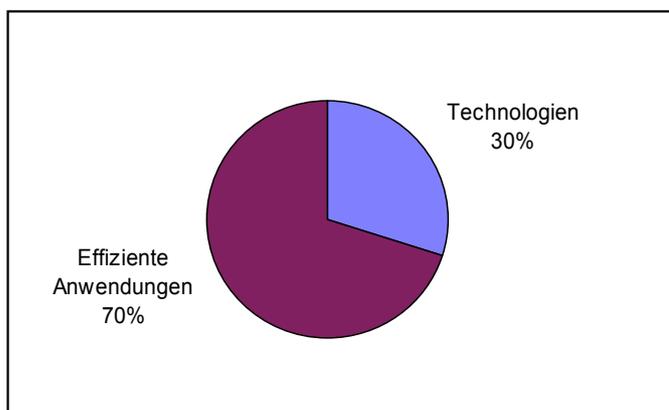
Mit dem jährlichen BFE-Budget von Fr. 1,2 Mio. für das vorliegende Forschungsprogramm werden im Rahmen der bearbeiteten Projekte Drittmittel in der Grössenordnung von Fr. 3,8 Mio. akquiriert, was mit anderen Worten bedeutet, dass mit einem BFE-Fr. drei Franken Drittmittel generiert werden. Es wird angestrebt, dieses Verhältnis in den kommenden Jahren weiter in Richtung Faktor 4 zu erhöhen.

Von den heute insgesamt von der öffentlichen Hand investierten Fr. 7 Mio. in den Bereichen *Elektrizitätstechnologien und -Anwendungen* werden über das BFE-Programm wie erwähnt Mittel in der Grössenordnung von Fr. 5 Mio. direkt beeinflusst. Die nachfolgende Tabelle zeigt dies auf, in dem dargelegt ist, welche Anzahl Projekte in den einzelnen Bereichen durch das BFE mitfinanziert werden.

Forschungsgebiete	Anzahl CH-Projekte (Basis ist Liste der Projekte 04/05)	davon durch BFE unterstützt	Durchgeführt durch		Durchgeführt durch	
			Hochschulen / Fachhochschulen / EMPA / Uni / PSI		Privatwirtschaft	
Energiekonversion - Thermoelektrik - Magnetokalorik	7	6	7	100%	0	0%
Speicherung	7	3	3	42%	4	58%
Supraleitung	7	2	6	85%	1	15%
Motoren/Antriebe	21	21	2	9%	19	91%
Informatik/Komm.	14	13	2	14%	12	86%
Geräte / Licht	13	9	3	23%	10	77%

Tabelle 5: Anzahl Projekte in den einzelnen Bereichen (Stand 2007)

Wie nachfolgende Graphik aufzeigt, erfolgt die Budgetzuteilung der verfügbaren BFE-Mittel zwischen dem Bereich Technologien und dem Bereich Anwendungen in etwa im Verhältnis 3:7.

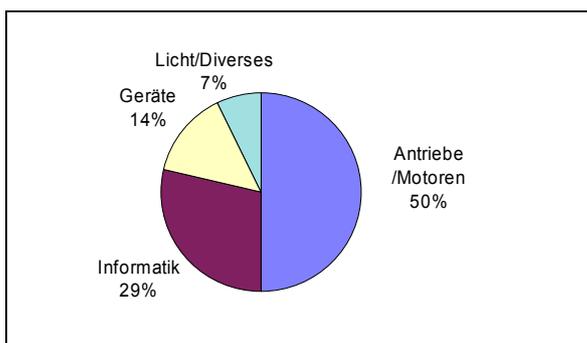


Anteil Technologien: ca. Fr. 300'000.--

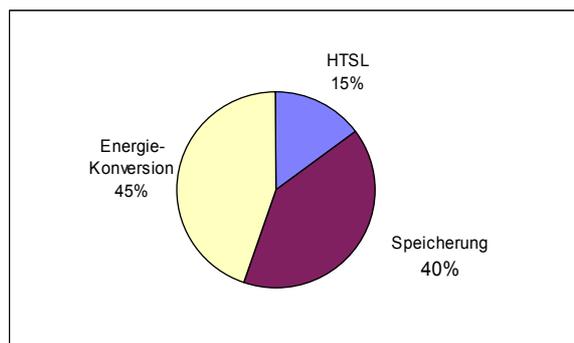
Anteil Anwendungen: ca. Fr. 900'000.--

Figur 25: Budgetaufteilung zwischen Technologie und Anwendung

Die weitere Unterteilung des Budgets in die einzelnen Subbereiche orientiert sich primär am eingeschätzten Einsparpotential und ist bis 2011 wie folgt vorgesehen.



Figur 26: Budgetaufteilung innerhalb des Bereichs Elektrizitätsanwendungen



Figur 27: Budgetaufteilung innerhalb des Bereichs Elektrizitätstechnologien

Bei einer allfälligen Budgeterhöhung während der Periode 2008 bis 2011 würden insbesondere die Aktivitäten im Bereich Antriebe/Motoren forciert.

11. FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE IN DEN JAHREN 2008 – 2011

Die vorliegenden Forschungsschwerpunkte sind primär aufgrund des zugrunde liegenden Potentials bestimmt worden. Die verfügbaren Mittel werden entsprechend der eingestufteten Wichtigkeit aufgeteilt.

GENERELLE UMSETZUNG UND KOMMUNIKATION

Neben einer individuellen und schwerpunkt-spezifischen Kommunikation und Wissensverbreitung - die nachfolgend pro Schwerpunkt erläutert wird - haben sich im Programm zwei allgemeine Umsetzungswege etabliert, die in allen relevanten Bereichen zur Anwendung kommen:

Einerseits werden alle Publikationen online der Öffentlichkeit über die Homepage www.electricity-research.ch verfügbar gemacht. Aktuelle Statistiken zeigen, dass jährlich über 7'500 Sessions auf dieser Homepage registriert werden und gegen 6'000 Downloads erfolgen. Der Pflege und Aktualität wird deshalb grosses Gewicht beigemessen.

Andererseits sind - wo zweckmässig und sinnvoll - in relevanten Bereichen seit langem sogenannte Trendwatching-Gruppen für die Themen *Hochtemperatursupraleitung*, *USV*, *elektrische Antriebe/Motoren* und *Informations- und Kommunikationstechnologien* etabliert worden. Diese Gruppen bestehen aus Vertretern der Industrie, der Hochschule und Ingenieurbüros. Sie treffen sich halbjährlich zum Gedanken- und Informationsaustausch. Damit wird ein stetiger Informationsaustausch zwischen den verschiedenen Akteuren sichergestellt. Die Gruppen sind grundsätzlich offen für interessierte Fachpersonen, wobei jedoch auf eine gewisse Ausgewogenheit geachtet wird. Die im vorliegenden Konzept integrierten Teilkonzepte und Schwerpunkte wurden im Rahmen der periodischen Sitzungen mit den jeweiligen Begleitgruppen diskutiert und entsprechende Anregungen und Ergänzungen werden aufgenommen. Die Liste der etablierten Trendwatching-Gruppen ist im Anhang ersichtlich.

In Ergänzung dazu werden periodisch Besuche bei Industrien und Forschungsstätten durchgeführt, um interessante Forschungsthemen zu erörtern und evtl. aufzugreifen. Schliesslich wird an nationalen und internationalen Tagungen und Konferenzen soweit möglich durch Referate das aufgearbeitete Wissen Dritten zugänglich gemacht.

THEMATISCH GEGLIEDERTE SCHWERPUNKTE

Im Folgenden sind die Schwerpunkte thematisch zusammengefasst:

ELEKTRIZITÄTSANWENDUNG

SCHWERPUNKT A-1: ELEKTR. ANTRIEBE / MOTOREN

Ausgangslage: Elektrische Antriebe / Motoren brauchen etwa 45 % des gesamten CH-Stromverbrauchs, also ca. 26'000 GWh. Davon wird etwa 12'000 GWh in der Industrie verwendet.

Das *Einsparpotential* wird auf etwa 20 % geschätzt, also etwa 5'000 GWh/Jahr. Die Industrie könnte dabei wirtschaftliche Einsparungen von 2'000 GWh/Jahr umsetzen.

Zielsetzungen: *Optimierung von in sich definierten Antriebssystemen*
Effizienzprojekte mit der Industrie zum Nachweis der Wirtschaftlichkeit
Technische Innovationen zur Effizienzverbesserung
Systemerkenntnisse und Auslege-Tool für die Umsetzung
Grundlagen für Wissensvermittlung in der Ausbildung
Internationale Kooperationen

Stossrichtung: *Optimierung von in sich definierten Antriebssystemen*
Effizienzprojekte mit der Industrie zum Nachweis der Wirtschaftlichkeit

- Traktion bei/mit der SBB
- In sich geschlossene motorische Industrie-Prozesse (z.B. Aufzüge)

Technische Innovationen zur Effizienzverbesserung

- Integraldrive / Frequenzumrichter
- Permanentmagnet-Motor
- Effizienter Schrittmotor
- Neuartige Motorentechniken durch die Verschmelzung der Mechanik mit der Elektronik (Mechatronik) wie z.B. effizienter Linearmotor, Radnabenmotor
- Effiziente Lüfter / Pumpen

Systemerkenntnisse und Auslege-Tools für Umsetzung

- Ersatz von Getriebemotoren
- Analyse/Optimierung der mechanischen Teile eines Antriebssystems
- Ersatz von pneumatischen/hydraulischen Antrieben
- Life-Cycle-Cost-Betrachtungen / Auslege-/Dimensionierungs-Tool
- Online-Monitoring für vorausschauende Wartung und Betriebsoptimierungen
- Projektierungs-Tool für optimierte Motoren-Auslegung

Grundlagen für Wissensvermittlung in der Ausbildung

- Grundlagen für Ausbildung von Lehrlingen, TS, Studenten
- Grundlagen für Erwachsenen-Bildung (Fachweiterbildung, Berufsbildung)

Internationale Kooperationen (EU/IEA/EuP/SEEEM)

- Teilnahme am europäischen Motor Challenge Programm
- Teilnahme und Führung des IEA IA „Antriebe/Motoren“
- Verfolgen der EuP-Ergebnisse bezüglich Motoren/Antriebe

Akteure: Industrie mit hohem Anteil an Motoren / Antrieben
Motorenhersteller
Trendwatching-Begleitgruppe
Motor Challenge Programm der EU
IEA Implementing Agreement 4E (Motor-Annex)

ELEKTRIZITÄTSANWENDUNG

SCHWERPUNKT A-2: INFORMATIONS- UND KOMMUNIKATIONSTECHNIK (IKT)

Ausgangslage: Die in der Schweiz benutzten Geräte im Informations- und Kommunikationsbereich brauchen etwa *10% des gesamten CH-Stromverbrauchs*, also ca. 5'800 GWh.

Das *Einsparpotential* wird übereinstimmend auf etwa 10 - 15% geschätzt, also etwa 800 GWh/Jahr.

Zielsetzungen: *Reduktion des Standby- und On-Mode-Verbrauchs*
Erforschung effizienter Home Automation Systeme
Internationale Unterstützungs- und Kooperationsarbeiten

Stossrichtung: *Reduktion des Standby- und On-Mode-Verbrauchs*

- Optimierung des bestehenden Ecoman-Gerätes zur zusätzlichen Nutzung
- Untersuchung des Energie-Einflusses neuer Kommunikationstechnologien (UMTS)
- Analyse und Messungen an ausgewählten IKT-Geräten als Grundlage für allfällige regulatorische Massnahmen
- Unterstützung des Kompetenzzentrums „Energie und IKT“ an der ETHZ
- Grundlagen des Vermeidens/Verminderns von Standby
- Unterstützung und Initiierung von Entwicklungen effizienter IKT-Geräte (z.B. Settop-Boxen und/oder VDSL-Modem, um der Branche die technischen Möglichkeiten vorzuführen)

Erforschung effizienter Home Automation Systeme

- Entwicklung von technischen Grundlagen für effiziente Home Automation-Anlagen
- Analyse neuer Technologien und Systeme Bereich Home Automation (z.B. Analyse der lancierten Initiative Digitalstrom)
- Pilotprojekte im Bereich Home Automation
- Grundlagen für die Verbreitung des aktuellen Wissens bezüglich effizienter Home Automation

Internationale Unterstützungs- und Kooperationsarbeiten

- Mitarbeit / Unterstützung bei Code of Conduct (Settop-Boxen, external Power Supplies, Data Centers, Broadband Devices)
- Teilnahme am EU-Projekt über Server / EuP
- Aktive Teilnahme am IEA Implementing Agreement 4E „Efficient Electrical End Use Equipment“

Akteure: EnergieSchweiz
CH-Energieagenturen eae, SAFE
SWICO
Trendwatching-Begleitgruppe
IEA Implementing Agreement 4E
EU mit EuP
EPA mit Energy Star

ELEKTRIZITÄTSANWENDUNG SCHWERPUNKT A-3: GERÄTE (HAUSHALT UND GEWERBE)

Ausgangslage: Die Haushalte in der Schweiz konsumieren etwa 30% des schweizerischen Stromverbrauchs. Ein Grossteil dieses Stroms wird durch Haushaltgeräte verbraucht. Trotz substantiellen Entwicklungsanstrengungen der Industrie gibt es in verschiedenen Bereichen Effizienzpotentiale, die zu erschliessen sind.

Eine detaillierte Analyse gewerbliche Kühlung im Detailhandel hat ein Einsparpotential bei Kühlgeräten in der Grössenordnung von 266GWh aufgezeigt. Aufgrund der internationalen Anbieter und des kleinen Schweizermarktes ist dieses Einsparpotential durch internationale Projekte anzugehen.

Zielsetzungen: *Erforschung effizienter Technologien bei ausgewählten Geräten*
Abgestimmte, internationale Unterstützungs- und Umsetzungsprojekte

Stossrichtung: *Erforschung effizienter Technologien bei ausgewählten Geräten*

- Optimierung des Minikühlschranks
- neuartiger Vakuum-Wäschetrockner
- effiziente Haushaltskühlgeräte
- weitere Geräte, die über ein Effizienzpotential verfügen

Abgestimmte, internationale Unterstützungs- und Umsetzungsprojekte

- effiziente USV-Anlagen (grosse 3-phasige und kleinere 1-phasige Anlagen)
- Kühlgeräte im Gewerbe (Initiierung und Teilnahme an internationalen Projekten)
- Initiierung und Grundlagenbearbeitung für die Deklaration (Label) ausgewählter Geräte (USV, gewerbliche Kühlgeräte, Wasserdispenser, etc.)

Akteure: Produzierende Industrie
Intelligent Energy Europe (IEE), EU
EnergieSchweiz

ELEKTRIZITÄSTECHNOLOGIE SCHWERPUNKT T-1: ENERGIEKONVERSION, THERMOELEKTRIK

Ausgangslage: Die Thermoelektrik verspricht aufgrund neuer Materialien eine interessante Technologie im Nieder- und Hochtemperaturbereich zur Stromerzeugung.

Im Niedertemperaturbereich steht primär die Abwärmenutzung im Vordergrund, während im Hochtemperaturbereich die Solarnutzung angepeilt wird.

Zielsetzungen: *Verbesserung der Materialeigenschaften; Erzielung einer Figure of Merit von $ZT=2$
Analyse des Applikationspotentials / Modellierung
Bau eines Demonstrators zur Verifizierung der Modellierung
Förderung von Kooperationen*

Stossrichtung: *Verbesserung der Materialeigenschaften*

- Materialien im Bereich Niedertemperaturbereich
- Materialien im Bereich Hochtemperaturbereich

Analyse des Applikationspotentials / Modellierung

- Energieeffiziente Einsatzmöglichkeiten in allen Temperaturbereichen
- Modellierung des thermischen Verhaltens

Bau eines Demonstrators zur Verifizierung der Modellierung

- Entwicklung eines Demonstrators, um die entwickelten Modelle zu verifizieren

Förderung von Kooperationen

- Sicherstellung der Koordination internationaler Aktivitäten in diesem Bereich
- Kontaktaufnahme zu interessierter Industrie

Akteure: Forschungsgruppen (EMPA, ETH, PSI)
Interessierte Industrie

ELEKTRIZITÄSTECHNOLOGIE

SCHWERPUNKT T-2: ENERGIEKONVERSION, MAGNETOKALORIK

Ausgangslage: Die Magnetokalorik könnte aufgrund neuer Materialien eine interessante Technologie für die Kühlung und zur Stromerzeugung werden.

Entsprechende Abklärungen sind am Laufen und werden die Basis für die weiteren, konkreten Schritte darstellen.

Zielsetzungen: *Identifikation effizienter Anwendungen / Applikationspotential
(auf diesen Erkenntnissen werden die weiteren Schritte präzisiert und ausgerichtet)
Machbarkeitsstudien / Testen mittels Prototypen
Analyse/Bearbeitung technischer Aspekte
Kooperationen*

Stossrichtung: *Identifikation effizienter Anwendungen / Applikationspotential*

- Kühlung
- Stromerzeugung

Machbarkeitsstudien / Testen mittels Prototypen

- Bei erfolgsversprechenden Anwendungen ist gemeinsam mit der Industrie die Entwicklung voranzutreiben

Analyse/Bearbeitung technischer Aspekte

- Bearbeitung von technischen Aspekten / Themen im Zusammenhang mit der magnetokalorischen Kühlung / Stromerzeugung

Kooperationen

- Kontaktaufnahme zu interessierter Industrie

Akteure: Forschungsgruppen (HEIG-VD)
Interessierte Industrie

ELEKTRIZITÄSTECHNOLOGIE

SCHWERPUNKT T-3: SPEICHERUNG (DRUCKLUFT)

Ausgangslage: Basierend auf ersten Forschungsanalysen verspricht die Druckluftspeicherung mit direktem Netzanschluss über einen Generator/Motor eine interessante Technologie zur Stromspeicherung zu werden.

Es sind im Moment keine entsprechenden kommerziellen Produkte bekannt (nur Ankündigung).

Zielsetzungen: *Oberste Zielsetzung stellt das Etablieren eines schlagkräftigen Industrieteams dar, welches die Druckluftspeicher-Technologie weiter entwickelt.*

Falls diese Voraussetzung erfüllt ist, soll die Machbarkeit anhand einer Pilotanlage, ergänzt um allfällige Analyse-Studien, nachgewiesen werden.

Ebenfalls ist anzustreben, dass in Ergänzung zum Industrie-Team eine Hochschule oder Fachhochschule miteinbezogen wird.

Stossrichtung: *Aufbau eines ersten Prototypen*

- Bau und Prüfen der kritischen Anlagenteile
- Untersuchung von kritischen, technischen Aspekten
- Zusammensetzung zu einem Gesamtspeichersystem
- Energetisches Messen des Prototypen

Anwendungsabklärungen

- Vertieftes Abklären der potentiellen Anwendungen und deren spezifischen Eigenheiten zur Identifikation von erfolgversprechenden Anwendungen

Akteure: Interessierte Industrie

Forschungsgruppen einer Hochschule/Fachhochschule

ELEKTRIZITÄSTECHNOLOGIE SCHWERPUNKT T-4: HOCHTEMPERATURSUPRALEITUNG

Ausgangslage: Es existieren verschiedene Anwendungen im Bereich der Hochtemperatursupraleitung. Die Schweizer Industrie ist u.a. aufgrund der noch beschränkten HTSL-Leiterqualitäten ziemlich zurückhaltend. Verschiedene Studien zeigen aber, dass eine Effizienzsteigerung in diversen Anwendungen möglich ist.

Durch die Teilnahme am IEA Implementing Agreement über die HTSL-Technologie im Energiebereich wird der internationale Informationsaustausch seit langem erfolgreich in der Schweiz sichergestellt.

Zielsetzungen: *Sicherstellen des internationalen Informationsflusses in die Schweiz und nationale Verbreitung dieses Fachwissens an Interessierte.*

Sicherstellung des Anschlusses an die internationalen Forschungsarbeiten.

Unter der Voraussetzung eines starken industriellen Engagements sind erfolgversprechende Anwendungsprojekte zu unterstützen.

Stossrichtung: *Sicherstellen des internationalen Informationsflusses sowie der potentiellen Anwendungen.*

- Teilnahme am IEA IA für HTSL in der Energietechnik
- Periodische Literaturrecherche / Publikationsanalyse

Nationale Informations-Drehscheibe

- CH-Status-Seminar für HTSL
- Periodischer Austausch mit CH-Interessenten / CH-Industrie

Anwendungsprojekte

- Punktuelle Studien / Abklärungen bezüglich nationalen Anwendungen mit HTSL-Komponenten (oder anderen, an denen die CH-Industrie interessiert ist)
- Bei substantieller Beteiligung der Industrie, Unterstützung bei der Erforschung von HTSL-Komponenten (oder anderen, an denen die CH-Industrie interessiert ist)

Akteure: Interessierte Industrie
Hochschule/Fachhochschule/Universität Genf

REFERENZEN

- [1] Bundesamt für Energie: **Konzept der Energieforschung des Bundes 2008 – 2011**, Eidg. Energieforschungskommission CORE, 2007
- [2] Bundesamt für Energie: **EnergieSchweiz: 6. Jahresbericht EnergieSchweiz 2006/2007**, BFE, 8. Oktober 2007
- [3] European Commission: **Energy Scientific and Technological Indicators and References**, Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research, 2005
- [4] Deutsches Bundesministerium für Wirtschaft: **Massnahme zur Förderung der rationellen Energienutzung bei elektrischen Antrieben**, Fraunhofer Institut (Institut Systemtechnik und Innovationsforschung) und ebök Ingenieurbüro für Energieberatung, Mai 1999
- [5] Bundesamt für Energie: **Massnahmen zum Stromsparen bei elektrischen Antrieben**, basics AG, 2006
- [6] University of Cambridge: **Residential Miscellaneous Electric Load Energy Consumption: Energy Consumption Characterization and Savings Potential**, Roth, K. et al, Cambridge, US, July 2007
- [7] Environmental Protection and Agency ENERGY STAR Program: **Report to Congress on Server and Data Center Energy Efficiency**. Public Law 109-431. 2. August 2007
- [8] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMW): **Potenziale der Informations- und Kommunikationstechnologien zur Optimierung der Energieversorgung und des Energieverbrauchs (Energy)**, Franz, O. et al, Bad Honnef, 21. Dezember 2007
- [9] Bundesamt für Energie: **Standby-Verbrauch im Haushalt**, Zero Energie Ressourcen Optimierung, 2006
- [10] Bundesamt für Energie: **Standby-Verbrauch von Haushaltgeräten**; SAFE, 2003
- [11] Bundesamt für Energie: **Potentialabschätzung, Effizienzklassen für Kühlmöbel im Detailhandel**, Migros-Genossenschafts-Bund, 2006
- [12] Bundesamt für Energie: **Energieoptimierter Minikühlschrank**, awtec AG, 2007
- [13] VSE-Bulletin 4/06: **Geräteausstattung und Stromverbrauch von Schweizer Haushalten**, K. Wiederkehr (VSE), A. Huser, T. Grieder (Encontrol GmbH), Sommer 2006
- [14] Bundesamt für Energie: **Machbarkeitsstudie Datenerhebung im Programm „Elektrizität“**, ARENA, CUB, e-team, Gloor-Engineering, e-viva, Ing.-Büro US, 2000
- [15] Bundesamt für Energie: **Machbarkeitsstudie Datenerhebung im Elektrizitätsbereich**, Encontrol GmbH, Meyer & Schaltegger, basics AG., 2001
- [16] **Internetseite des Forschungsprogramms: www.electricity-research.ch**

ANHANG

- Interessante Links
- Verzeichnis der ETH-Institute und FH mit Forschung im Elektrizitätsbereich
- Liste der Mitglieder der Trendwatching-Gruppen

INTERESSANTE LINKS

Im Folgenden ist eine kleine Auswahl bekannter und interessanter Internet-Links aufgelistet, welche in der Forschung und Umsetzung im Elektrizitätsbereich eine gewisse Bedeutung haben. Die Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und soll auch keine Präferenzen des Autors implizieren. Zudem wird auf Links zu Unternehmen verzichtet; die Auflistung beschränkt sich auf öffentliche Organisationen.

Generell:

<http://www.electricity-research.ch>

<http://www.energieschweiz.ch>

<http://www.energie-energy.ch>

<http://www.worldenergy.ch>

<http://www.energy-research.ch>

<http://www.iea.org>

<http://www.deutsche-energie-agentur.de>

<http://www.aramis-research.ch>

<http://www.eurosearch.ch>

Elektrizitätsnutzung:

http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/html/standby_initiative_digital%20tv%20services.htm

<http://www.ademe.fr>

<http://www.blauer-engel.de>

<http://www.ecomotors.org>

<http://www.ecocomputers.org>

<http://www.ecostb.org>

<http://www.ecocomplexstb.org>

<http://www.energielabel.ch>

<http://www.epa.gov>

<http://www.eren.doe.gov>

<http://www.eus.de>

<http://www.mtprog.com>

<http://www.senternovem.nl/senternovem/>

<http://www.oee.nrcan.gc.ca>

<http://www.motorchallenge.ch>

<http://www.eae-geraete.ch>

<http://www.energybrain.ch>

<http://www.energieeffizienz.ch>

<http://www.energieagentur.ch>

<http://www.energie-agentur.ch>

<http://www.standby.lbl.gov>

Energiekonversion:

<http://www.its.org/>

<http://ect2007.thermion-company.com/proc-contents>

VERZEICHNIS DER ETH-INSTITUTE UND FH MIT FORSCHUNG IM ELEKTRIZITÄTSBEREICH

- EMPA, Abt. Festkörperchemie und Analytik
- ETH Zürich, Professur für Leistungselektronik und Messtechnik
- ETH Zürich, Institut für elektrische Energieübertragung
- ETH Zürich, Centre for Energy Policy and Economics (CEPE)
- EPFL, Lausanne, Laboratoire d'électronique industrielle
- EPFL, Lausanne, Laboratoire de machines électriques
- EPFL, Lausanne, Laboratoire de systèmes non linéaires
- Universität von Genf, Genf
- Fachhochschule Nordwestschweiz, FHNW
- Fachhochschule Chur, Chur
- Fachhochschule Luzern, Technik und Architektur, Horw
- Zürcher Hochschule Winterthur, Winterthur
- Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud
- Ingenieurschule Wallis (ISW), Sion

VERZEICHNIS TRENDWATCHING-GRUPPEN-MITGLIEDER (STAND 2007)

Trendwatching-Gruppe „Informations- und Kommunikationstechnik“

Industrie / Ingenieurbüro:

M. Bänninger;	Telekurs Services AG
A. Huser;	Encontrol GmbH
H. Beer;	SWICO / EICTA
A. Haug;	UBS
A. Müller;	Siemens Schweiz AG
B. Schmieder;	Canon (Schweiz) AG
M. von Arx;	Canon (Schweiz) AG
D. Singy;	Swisscom AG
R. Staub;	BUS-House, GNI

Hochschulen:

B. Aebischer;	CEPE, ETH Zürich
---------------	------------------

Bundesamt für Energie:

F. Frey;	Leiter Technologiebereich Elektrizität / Marktbereich Elektrogeräte
R. Brüniger;	Programmleiter Elektrizitätstechnologien und -Anwendungen

Trendwatching-Gruppe „Elektrische Motoren/Antriebe“

Industrie / Ingenieurbüro:

L. Axelsson;	ABB Schweiz AG, Normelec
S. Berchten;	Berchten Engineering
A. Colotti;	Landert Motoren AG
R. Gloor;	Gloor Engineering
H. Menzi;	Siemens Schweiz AG
J. Nipkow;	ARENA
G. Schnyder;	Schnyder Ingenieure AG
A. Stoev;	IDS AG
M. Thalmann;	Fuji Electric GmbH
R. Tanner;	Semafor AG
M. Lindegger	Circle Motoren AG

Hochschulen:

H.W. van de Venn;	Zürcher Hochschule Winterthur, Inst. f. Mechatr. Systeme IMS
K. Reichert;	ETZ Zürich (emeritiert)
L. Chabloz;	Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud
I. Vaclavik;	Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud
R. Wetter;	EPF Lausanne, Laboratoire de machines électriques

Bundesamt für Energie:

F. Frey;	Leiter Technologiebereich Elektrizität / Marktbereich Elektrogeräte
R. Brüniger;	Programmleiter Elektrizitätstechnologien und -Anwendungen

Trendwatching-Gruppe „USV-Anlagen“

Industrie / Ingenieurbüro:

P. Niggli;	Service Net AG
V. Garapic;	ATC Advanced Technology Center
M. Werner;	Rotronic AG
O. Saladin;	Sicon Socomec AG
J. Ruders;	APC / GUTOR Electronic
B. Kessler;	Almat AG
L. Racciatti;	UPS Technologies AG
D. Gaia;	GE Digital Energy
Ch. Appert;	Amstein + Walthert AG
G. Schnyder;	Schnyder Ingenieure AG
P. Mauchle;	Schnyder Ingenieure AG

Bundesamt für Energie:

F. Frey;	Leiter Technologiebereich Elektrizität / Marktbereich Elektrogeräte
R. Brüniger	Programmleiter Elektrizitätstechnologien und -Anwendungen

Statusseminar-Teilnehmer „Hochtemperatursupraleitung in der Energietechnik“

Industrie / Ingenieurbüro:

H.W. Neumüller;	Siemens Corporate Technology, Erlangen
G. Klaus;	Siemens Corporate Technology, Erlangen
W. Portmann;	Siemens Schweiz AG
M. Lakner;	ABB Forschungszentrum
M. Abplanalp;	ABB Forschungszentrum
W. Portmann;	Siemens Schweiz AG
H.W. Neumüller;	Siemens Corporate Technology, Erlangen
R. Joho;	Alstom Power
J. Haldemann;	Alstom Power
H. Zueger;	ABB Sécheron SA

Hochschulen:

B. Dutoit;	EPFL, Laboratoire de systèmes non linéaires
R. Flükiger;	Universität Genf
K. Fröhlich;	ETH Zürich, Institut für elektrische Energieübertragung
P. Bruzzone;	CRPP-FT
M.Q. Tran;	EPFL, CRPP
R. Wesche;	CRPP-FT

Bundesamt für Energie:

F. Frey;	Leiter Technologiebereich Elektrizität / Marktbereich Elektrogeräte
R. Brüniger;	Programmleiter Elektrizitätstechnologien und -Anwendungen

.....