



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung

15. Januar 2010

Forschungsprogramm

Elektrizitätstechnologien und -anwendungen

Synthesebericht 2009 des BFE-Programmleiters

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE

CH-3003 Bern

www.bfe.admin.ch

Autor:

Roland Brüniger, Roland Brüniger AG, roland.brueeniger@r-brueniger-ag.ch

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Programmschwerpunkte und anvisierte Ziele

Im Jahr 2010 treten verschiedene Verbrauchsvorschriften für Elektrogeräte in Kraft. Dieser regulative Schritt geht weitgehend mit den EU-Vorschriften einher. Trotzdem waren dazu diverse Grundlagenkenntnisse erforderlich, die teilweise im Rahmen von Forschungsprojekten erarbeitet wurden. Das Forschungsprogramm **Elektrizitätstechnologien und -anwendungen** hat als primäres Ziel die Schaffung von Grundlagen für eine effiziente Elektrizitätsnutzung. Das Programm gliedert sich in die beiden Hauptbereiche **Technologien** und **effiziente Anwendungen**.

Im Bereich der **Technologien** bestand die Zielsetzung bei der *thermoelektrischen Energiekonversion* darin, neben der Verbesserung der Effizienz im Materialbereich (ausgedrückt durch die *Figure of Merit*), ein P+D-Projekt zur Erarbeitung von applikatorischem Fachwissen zu initiieren. Im Bereich des *magnetokalorischen Effekts* galt es, die praktischen Grenzen dieser Technologie in einer Machbarkeitsstudie auszuloten. Bei der *Hochtemperatursupraleitung* sind die internationalen Aktivitäten aufmerksam zu verfolgen und die Industrie zum Start eines Projekts zu ermuntern. Die Zielsetzung der *Druckluftspeicherung* bestand unverändert darin, die bisher erarbeiteten fachtechnischen Grundlagen in einem Industrieprojekt fortzusetzen.

Trotz ersten regulatorischen Vorschriften sind noch grosse Einsparungen im Bereich der **effizienten Anwendungen** möglich. Da Haushaltsgeräte einen grossen Verbrauchsanteil aufweisen, bestand eine der Zielsetzungen in der Erforschung neuartiger und hocheffizienter Technologien für verschiedene Haushaltsgeräte. Ebenfalls galt es, durch Fortführung der internationalen Aktivitäten im Rahmen des Programms *Energy Efficient End use Equipment (4E)* der IEA neues und bestehendes Wissen zur Energieeffizienz aufzubereiten und zu verbreiten. Bei den *elektrischen Antrieben* lag das Ziel in der Aufarbeitung technischer Grundlagen zur Umsetzung des grossen, bestehenden Effizienzpotenzials. Im Bereich der *Informations- und Kommunikationstechnik* bestand die Zielsetzung darin, Grundlagen und Erkenntnisse bezüglich dem Thema *Smart Metering* und *Smart Home* auszuarbeiten. Schliesslich bestand im Bereich *Licht* das Bedürfnis, Fakten und Erkenntnisse zum aktuellen Stand der LED-Technologie zu erarbeiten. Auch galt es, Hemmnissen zur Verbreitung von Energiesparlampen mit Grundlagenkenntnissen zu begegnen.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse 2009

Technologien

Speicherung

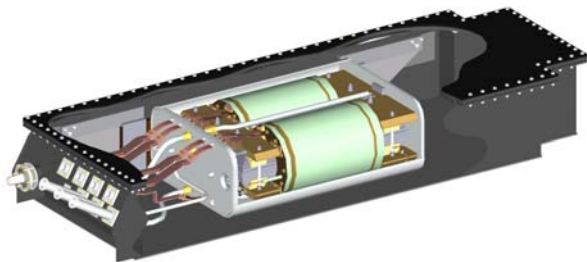
Durch die Förderung erneuerbarer Energien und der damit verbundenen Zunahme stochastischer Stromeinspeisungen nimmt die Energiespeicherung eine zunehmend wichtige Stellung ein. Nach diversen Abklärungen und Industriekontakten konnte nach mehreren Jahren ein Industriepartner gefunden werden, der im Projekt *Réalisation d'un Prototype de Système de Stockage hydropneumatique d'Energie* [1] die in diversen vorangegangenen Projekten gewonnenen Erkenntnisse mit einem Prototypenbau prüft. Das Ziel dabei ist, mit dem Bau einer Anlage zu beweisen, dass Energie mit einer isothermen Verdichtung von Luft auf 250 bar effizient gespeichert und ebenfalls mit der isothermen Entspannung wieder zur Verfügung ge-

stellt werden kann. Während die gesamte Steuereinheit im Jahr 2009 fertig gestellt werden konnte, verzögerte sich der Bau des Wärmetauschers. Anfang 2010 sollte aber auch dieser Teil fertig gestellt sein, so dass dann ein funktionsfähiger Prototyp verfügbar ist.

Energiekonversion

Im Projekt *Zentrale magnetische Kühl- und Kältemaschinen und ihre Bewertung* [2] wurde im Jahr 2009 anhand eines mathematisch-physikalischen Modells mit numerischen Simulationen beurteilt, welche konventionellen Kühlanlagen sich am besten eignen, um durch magnetische Kältemaschinen ersetzt zu werden. Dabei wurde festgestellt, dass aufgrund der verfügbaren Materialien magnetische Chiller mit Permanentmagneten bis ungefähr 100 kW Kühlleistung eingesetzt werden kön-

nen. Zudem besteht eine technische Beschränkung bezüglich der erreichbaren Kühltemperatur, was die möglichen Anwendungsgebiete einschränkt. Diverse Kontakte mit der interessierten Industrie wurden geknüpft, was dazu führen soll, dass im Jahr 2010 nach Abschluss der Auslegung und dem Vorliegen des Designs für eine zentrale magnetische Kühl- und Kältemaschine ein Prototyp mit Industrie-Beteiligung gebaut werden kann.



Figur 1: HTSL-Bahntransformator mit einer Wirkungsgradverbesserung von 92 % auf über 99 % (Quelle: Siemens).

Unter Ausnützung des thermoelektrischen Effekts kann Wärme direkt in Elektrizität gewandelt werden. Die derzeit verfügbaren thermoelektrischen Materialien weisen aber noch einen schlechten Wirkungsgrad auf, so dass deren Anwendungen deshalb bis anhin eher in Nischenbereichen liegen. Mit den Projekten *Erstellen und Modellierung eines thermoelektrischen oxidischen Moduls (TOM) als Demonstrator* [3a] und *Layered Thermoelectric Converters (LTEC)* [3b] werden die bisherigen Anstrengungen zur Effizienzsteigerung von thermoelektrischen Materialien mit geschichteten Strukturen fortgesetzt. Mit dem Bau eines Demonstrators soll in einem P&D-Projekt an der ETH Zürich die Nutzung von Abwärme mit thermoelektrischen Elementen gezeigt werden.

Hochtemperatursupraleitung (HTSL)

Mit der Teilnahme am *IEA Programme for Assessing the Impact of High Temperature Superconductivity on the Electric Power Sector* [4] wird ein umfassender Überblick über die internationalen Aktivitäten auf dem HTSL-Gebiet geschaffen. Obwohl weltweit immer wieder verschiedene HTSL-Anwendungen wie Strombegrenzer, Transformator (Fig. 1), Kabel und Motoren (Fig. 2) gebaut werden, bleibt der Marktdurchbruch, primär aufgrund der noch hohen Leiterkosten und der fehlenden Leiterqualität, aus. Die industriellen Entwicklungen von Supraleitermaterialien mit hohen Stromdichten

und niedrigen Wechselstromverlusten werden deshalb besonders aufmerksam verfolgt und stellten einen Schwerpunkt im Jahr 2009 dar. Nach 2010 wird angestrebt, die Schweizer Beteiligung bei den IEA-Aktivitäten fortzuführen und das IEA-Programm um eine weitere Periode bis 2013 zu verlängern.

Effiziente Anwendungen

Informations- und Kommunikationstechnik (IKT)

Eine kürzlich publizierte Schätzung geht davon aus, dass der jährliche Energiebedarf alleine in Rechenzentren in Europa bis 2012 von etwa 37 TWh (Stand 2006) auf ca. 77 TWh steigen wird, sofern keine Effizienzmassnahmen getroffen werden. Diese Tendenz zeichnet sich in allen Bereichen der IKT ab. Weltweit werden deshalb viele Untersuchungen für einen effizienten Elektrizitätseinsatz bei Büro- und Unterhaltungselektronikgeräten durchgeführt und umfangreiche Massnahmen ergriffen, um die Effizienz im IKT-Bereich zu erhöhen. Die Schweiz spielt dabei international eine massgebende Rolle und hat Einfluss auf die Ausgestaltung internationaler und globaler Energiedeklarationen, freiwillige Vereinbarungen und Labels genommen.



Figur 2: Rotor eines neuartigen 4000-kW-HTSL-Schiffsmotors (Quelle: Siemens).

Das Kompetenzzentrum *Energie und Informationstechnik* [5] leistet einen wichtigen Beitrag zu einem effizienten Energieeinsatz bei der Informationstechnik/Unterhaltungselektronik. Dazu werden relevante Informationen im In- und Ausland gesammelt, aufbereitet und verbreitet. Verstärkt lag das Schwergewicht der Aktivitäten im Jahre 2009 bei Arbeiten zur Förderung der Energieeffizienz in Rechenzentren. Neu wurde vom Kompetenzzent-

rum verstärkt der Bereich «Energiesparen mit IT» beobachtet und bearbeitet.

Im Rahmen des EU-Programms *Intelligent Energy Europe (IEE)* konnte die Schweiz im Projekt *Development of the Market for Energy efficient Servers* [6a] aktiv mitarbeiten. Dieses zielte darauf ab, die beträchtlichen Potenziale für Energieeinsparungen und Kostensenkungen bei Servern in der Praxis zu demonstrieren und die Marktentwicklung für energieeffiziente Server zu unterstützen. Von 2007 bis 2009 arbeiteten Energieexperten und IT-Fachleute aus der Industrie und Forschung von verschiedenen europäischen Ländern zusammen und publizierten Empfehlungen für eine verbesserte Energieeffizienz bei der Nutzung von Servern. Mehrere durchgeführte Fallbeispiele demonstrieren, dass – in erster Linie durch Konsolidierung und Virtualisierung von Server-Farmen – der Energieverbrauch von Servern um 50 % bis 80 % gesenkt werden kann.

In einschlägigen Fachkreisen hat sich in letzter Zeit das Wort «smart» etabliert und zu einem Modewort entwickelt. «Smart Grid», «Smart Metering» und «Smart Home» suggerieren das Vorhandensein von uneingeschränkten, intelligenten Technologien. Aber sind diese «Smart Technologies» selber auch effizient und/oder unterstützen sie auch die Energieeffizienz? Diesem Thema und der objektiven Einschätzung der verschiedenen «Smart Technologies» stehen verschiedene Forschungsprojekte Pate.

So wird im Projekt *Effizienzsteigerung im Haushalt durch Digitalstrom* [6b] untersucht, welchen Beitrag digitalStrom-Komponenten zur Reduktion des Haushaltsstromverbrauchs leisten könnten. Von Interesse sind insbesondere der zusätzliche Strombezug der Komponenten und das Sparpotenzial durch intelligente Steuerungsfunktionen. Drei Wohnobjekte wurden für eine Versuchsinstallation identifiziert, mit 15-Minuten-Lastgangmessungen ausgerüstet und die Installationsplanung abgeschlossen. Messungen an den digitalStrom-Komponenten und Installationen bei den Wohnobjekten konnten leider nicht durchgeführt werden, weil noch keine entsprechenden digitalStrom-Komponenten geliefert wurden. Im Herbst 2009 wurde daher beschlossen, das Projekt wegen der andauernden Lieferschwierigkeiten zu sistieren. Sobald die Komponenten in der notwendigen Anzahl zur Verfügung stehen, wird das Projekt wieder aufge-

nommen. Mit der Kleinstudie *Vergleich verschiedener Effizienzlösungen mit Einzelverbrauchsmessungen für Haushalte* [7a] werden zwischenzeitlich Abklärungen bezüglich der Verfügbarkeit von alternativen Komponenten durchgeführt.

Der *Überblick internationaler Forschungsaktivitäten im Bereich Home Automation* [8] zeigt auf, in welchen Bereichen zu diesem Thema primär im deutschsprachigen Raum geforscht wird, inwiefern sich diese Ergebnisse auf die Schweiz übertragen lassen und wo noch Forschungsbedarf besteht. Die recherchierten Tendenzen und Entwicklungen werden 2010 analysiert und je nachdem werden entsprechende nationale Forschungsprojekte initiiert.

Mit dem Projekt *MEGA (Mehr Energieeffizienz durch gezielte Anwenderinformation)* [7b] soll die Energieeffizienz in privaten Haushalten gesteigert werden, indem den Bewohnern ihr Energieverbrauch geeignet visualisiert wird. Im Jahr 2009 wurde die begonnene Recherche vertieft. Die Liste der bereits zum Thema Energieeffizienz in Privathaushalten und Feedbacksystemen durchgeführten Projekte und Studien ist damit substantiell gewachsen. Zudem ist eine umfangreiche Liste an existierenden Technologien, Produkten und Systemen entstanden, die zur Problemlösung beitragen können. Es wurden ferner weitere Grundlagen zum Thema «Energie und Motivation» erarbeitet. Dabei ging es in erster Linie darum, Erkenntnisse darüber zu gewinnen, wie man die Zielgruppe der Bewohner eines Haushalts nachhaltig dazu bewegen kann, Energie zu sparen. Die Erkenntnisse sind in die Konzeptionsphase eingeflossen, in der verschiedene Architekturen für ein Feedback-System erarbeitet, evaluiert und ein ansprechendes Visualisierungskonzept erstellt wurde. Schliesslich wurden vier verschiedene Umsetzungsszenarien entwickelt, von denen eines nun im *iHomeLab* umgesetzt wird. 2010 dürfte ein entsprechender Prototyp fertig gestellt werden.

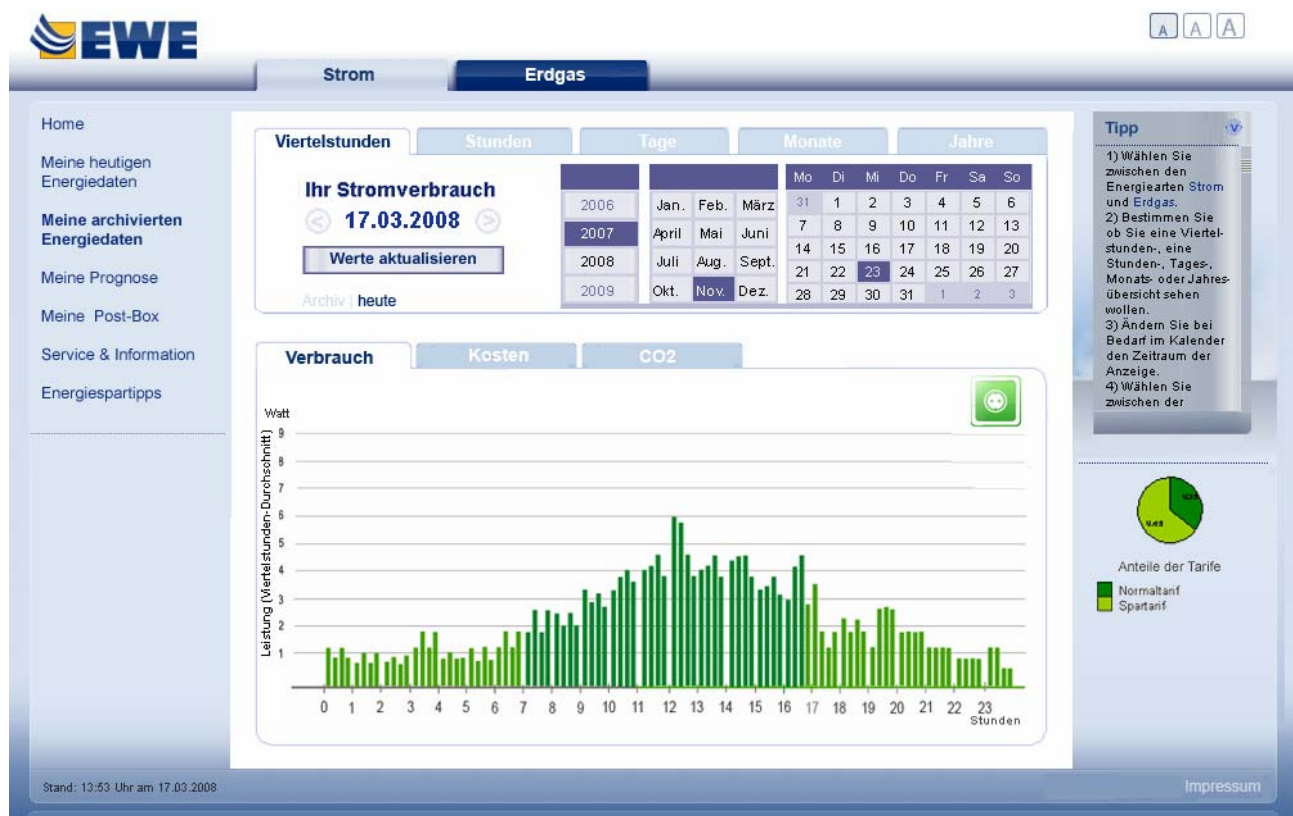
Das Projekt *Smart Metering für die Schweiz – Potenziale, Erfolgsfaktoren und Massnahmen für die Steigerung der Energieeffizienz* [9] untersucht, welche Steigerung der Stromeffizienz mit Smart Metering bei einer breiten Einführung dieser Technologie in der Schweiz zu erwarten ist. Es werden hierfür die Wirkungen von Feedback-Anwendungen (Fig. 3) und von variablen Tarifen betrachtet, welche mit der Smart Meter-Technologie ermög-

licht werden. Das energetische Einsparpotenzial durch Feedback schwankt gemäss den internationalen Erfahrungen stark. Für die Schweizer Haushalte kann von einem Einsparpotenzial in der Grössenordnung von 5 % bis 6 % (oder rund 1000 GWh/a) gemessen am Stromverbrauch der Schweizer Haushalte ausgegangen werden. Damit verbunden sind zusätzliche Nutzen im Abrechnungswesen und bei der Netzbewirtschaftung, die aber noch unbetrachtet blieben. Aufbauend auf einem Überblick aktueller Systemkonzepte und Technologien sowie einer Literaturrecherche über weltweite Erfahrungen mit Feedback und variablen Tarifen, werden Massnahmen zu Handen von Zählerherstellern, Energielieferanten, Verteilnetzbetreibern sowie Bund und Kantonen formuliert. Damit soll das mit der Smart Meter-Technologie verbun-

Motoren / elektrische Antriebe

Der Anteil der motorischen Antriebe und Antriebssysteme am gesamtschweizerischen Stromverbrauch beträgt ca. 45 %, was ungefähr 26'000 GWh/Jahr entspricht. Das geschätzte Einsparpotenzial beträgt über 20 %, was einer Grössenordnung von 5000 GWh/a gleichkommt. Dieses Potenzial gilt es zu erschliessen.

Der BFE-Forschungsbericht *Elektrizitätsverbrauch und Einsparpotential bei Aufzügen* [33] hat aufgezeigt, dass die etwa 180'000 Aufzüge in der Schweiz jährlich knapp 300 GWh verbrauchen, also etwa 0,5 % des schweizerischen Strombedarfs. Überraschend war, dass davon etwa 60 % Standby-Verluste sind. Diese Schweizer Studie wurde damals zur Grundlage der Richtlinienarbeit des



Figur 3: Internetportal zur Darstellung des Stromverbrauchs dank Smart Metering (Quelle: Econcept/EWE).

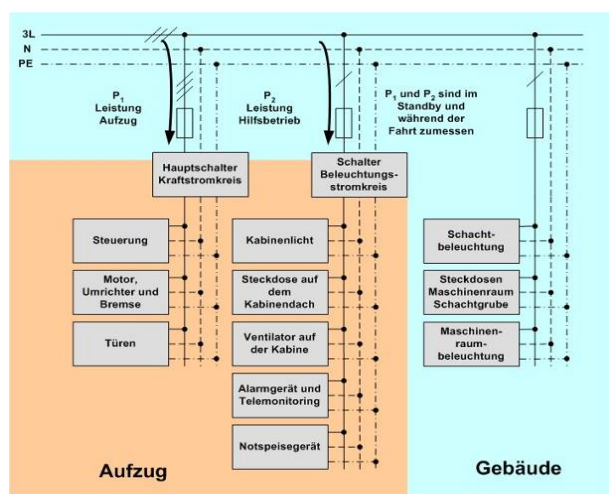
dene Stromeffizienzpotenzial in der Schweiz optimal erschlossen werden.

Im Ende 2009 gestarteten Projekt *Smart Metering pour éco-cités* [10] ist vorgesehen, mit mehreren Versorgungsunternehmungen im Rahmen der Vorbereitungsarbeiten einer Smart Metering-Installation Erfahrungen und wissenschaftliche Grundlagen für eine energetisch optimale Einführungsstrategie zu gewinnen.

Vereins Deutscher Ingenieure VDI 4707 [34], welcher ein Energielabel für Aufzüge definierte. Dadurch wurde dem Aufzugsmarkt eine Messlatte zur Verfügung gestellt, die den nötigen Marktdruck und Transparenz erzeugt.

Es ist deshalb anzunehmen, dass sich die neuen Aufzugsanlagen stetig verbessern. Der bestehende Aufzugspark besitzt aber nach wie vor hohe Standby-Verluste. Die Zielsetzung im Projekt

Standby-Optimierung bestehender Aufzugsanlagen [11] besteht in der Verbesserung der Energieeffizienz von bestehenden Aufzügen und Förderanlagen durch ein Standby-Reduktionsgerät als sog. «Modernisierungs-Kit». Damit soll unter Berücksichtigung bestimmter Kriterien die Aufzugsanlage aus- und wieder eingeschaltet werden, um den Standby-Verbrauch zu minimieren. Der Knackpunkt dabei ist, dass alle Sicherheitsmechanismen stets verfügbar bleiben. Nachdem 2009 die Standby-Verluste analysiert worden sind (Fig. 4), wurde ein entsprechendes technisches Konzept entworfen, aufgebaut und in Betrieb genommen. Im Jahr 2010 ist der Einbau in einer Kundenanlage (Fig. 5) mit anschließendem Testbetrieb geplant.



Figur 4: Schematische Darstellung der Energiezufuhr und Schnittstelle zum Gebäude bei einem Aufzug (Quelle: Schindler).

Vermeehrt werden Frequenzumrichter zur Effizienzsteigerung von elektrischen Antrieben eingesetzt. Eine Eigenheit dieser Umrichter ist, dass sie Oberwellen und damit Blindleistungen generieren und somit im Netz zusätzliche Verluste verursachen. Im Projekt *Verluste von Frequenzumformern im Motorenbereich* [12] soll eine Potenzialabschätzung durchgeführt werden, um die Rückwirkungen der Umrichter auf die Effizienz der Energieübertragung im Verteilnetz zu ermitteln. Leider konnten die Arbeiten wegen des fehlenden ETH-Diplomanden nur beschränkt durchgeführt werden, aber 2010 sollten alle Vorarbeiten soweit abgeschlossen sein, dass sowohl die theoretischen Grundlagen wie auch die praktischen Messungen zur Verifizierung der Theorie angegangen werden können.

Um die durch die Umrichter generierten Oberwellen zu vermeiden, wird im Projekt *Novel Low Harmonics 3-Phase Rectifier for efficient Motor Sys-*

tems [13] eine Konzeptstudie durchgeführt, welche ein neuartiges Umformer-Konzept im Hochstrombereich prüft.

Ein wesentlicher Aspekt für den effizienten Einsatz von elektrischen Antrieben stellt deren korrekte Dimensionierung und das rasche Erkennen von Einsparpotenzialen dar. Die folgenden Projekte stellen dazu dem Umsetzungsprogramm EnergieSchweiz entsprechende Tools zur Verfügung. Mit *Sotea – ein Software-Tool zur Ermittlung des Effizienzpotenzials bei elektrischen Antrieben* [14] wurde ein Software-Tool für Manager entwickelt und getestet. Damit kann eine Fachperson bei einem ersten Kontaktgespräch aufgrund weniger und einfacher Schlüsseldaten des Betriebes den elektrischen Energieaufwand abschätzen und ein Effizienzpotenzial samt Pay-back der Zusatzinvestitionen abschätzen. Anhand von insgesamt 11 Anlagen mit einem Stromverbrauch von 77,6 GWh/a wurde die Software getestet und optimiert. Das ermittelte Einsparpotenzial belief sich dabei auf 6,9 GWh/a. Mit dem Projekt *Analyse und Vorgehen zur energetischen Optimierung von Pumpen bei Wasserversorgungsanlagen* [15] wird gemeinsam mit der Industrie Fachwissen erarbeitet, um bei Wasserversorgungen rasch das Effizienzpotenzial eruieren zu können. Die Entwicklung des Grobchecks ist weitgehend abgeschlossen worden und der darauf aufbauende Feincheck, der eine detaillierte Analyse umfasst, steht noch im Test.



Figur 5: Liftantriebseinheit, die ausgemessen und mit dem Prototypen ausgestattet wird (Quelle: Schindler).

Die IEC Norm 60034-30 legt neu internationale Standards zur Effizienz von Elektromotoren fest. IE1 entspricht der Standard Efficiency, IE2 entspricht der High Efficiency und IE3 ist die Premiumklasse. Mit einer *Effizienzsteigerung eines hocheffizienten IEC 3 kW-Permanentmagnet-Mo-*

tors inklusiv energetischer Messung als Pumpenanwendung [16] sollte die Effizienz von über 90 % und damit die Erreichung der IE3-Klasse mit einem Prototypen nachgewiesen und als Anwendung an einem Pumpenstand ausgemessen werden. Dies deshalb, weil davon ausgegangen wird, dass Wirkungsgrade im Bereich der Premiumklasse bei Leistungen kleiner 22 kW besser mit Permanentmagnet-Motoren zu erreichen sind als mit Asynchronmotoren. Die Wirkungsgradmessungen haben nun leider schlechtere Leistungsdaten ergeben als erwartet und zwar sowohl für den Umformer als auch für den Motor. Der Grund liegt beim grösseren Eisenverlust im Motor, welcher durch die Hochfrequenz-Ströme des Wechselrichters erzeugt wird, sowie beim grösseren ohmschen Kupferwiderstand der Motorenwicklung, der durch die gewählte Fertigungsmethode hervorgerufen wird.



Figur 6: Installierter drehzahlvariabler Kompressor (Quelle: awtec).

Dank den gewonnenen Erkenntnissen im Bereich der Zusatzverluste ist es jedoch möglich, den Wirkungsgrad in einem Folgeprojekt zu erhöhen.

Mit dem im Herbst 2009 gestarteten Projekt *Effizienter Betrieb von Asynchronmotoren* [17] wird untersucht, inwiefern beim Betrieb eines Motors mit einem Umrichter durch optimale Reduktion des Magnetisierungsstroms bei Teillast eine weitere Erhöhung des Wirkungsgrades realisierbar ist.

Geräte

Obwohl für diverse Geräte ab 2010 neue Mindestanforderungen gelten, bestehen nach wie vor grosse technische Einsparpotenziale. Diese zu identifizieren stellt eine grosse Herausforderung dar und ist eine relevante Stossrichtung in diesem Forschungsprogramm.

So wurde im Projekt *Modifizierter A++-Standard-Kühlschrank mit halbem Energieverbrauch* [18] die Verdichter-Technologie auf Effizienzverbesserungen untersucht. Ein Kühlschrank wurde mit einem drehzahlvariablen Kompressor (Fig. 6) sowie einem Leistungs- und Temperaturremesssystem ausgerüstet. Die Messungen und Optimierungen sind noch nicht abgeschlossen; bisher wurden aber bereits Energieeinsparungen von 20–25 % im Vergleich zum Standardmodell (Fig. 7) erreicht. Im Jahr 2010 wird der Kühlschrank nach Abschluss weiterer Optimierungen an einem unabhängigen Prüfinstitut ausgemessen.



Figur 7: Aufbau mit modifiziertem und zu Vergleichszwecken belassenen A++-Kühlschrank (Quelle: awtec).

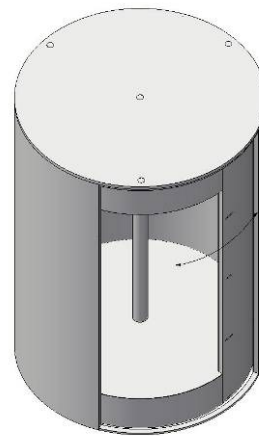
Eine Erfolg versprechende, hoch effiziente Technologie für verschiedenste Isolationsprobleme stellt die Vakuumisolation dar. Im Rahmen der Machbarkeitsstudie *Hocheffiziente Isolation für Haushaltsgeräte* [19] werden Ansätze für eine hocheffiziente thermische Isolation von Hausgeräten untersucht. Dies geschieht an den beiden Beispielen «Kaffeemaschine» und «Kühlschrank», wobei davon ausgegangen wird, dass die untersuchten Ansätze auf weitere Hausgeräte übertragbar sind. Da eine derartige Isolation nur thermisch wirksam ist, wenn ein dauerhafter Innendruck von $< 10^{-3}$ mbar eingehalten wird, kommen als Wandmaterialien nur Metalle, Glas oder metallbeschichtete Kunststoffe in Frage. Im Jahr 2009 wurden

zwei mit Vakuumisolation ausgestattete, vollständige Funktionsmuster einer Kaffeemaschine (Fig. 8) sowie drei Testbaugruppen mit den thermisch relevanten Teilen dieser Kaffeemaschine erstellt.

Erste Messresultate bestätigen, dass die angestrebte Zielsetzung «Null-Standby-Energie» gekoppelt mit einem Komfortgewinn durch kürzere Aufheizzeiten technisch machbar ist (siehe dazu die Abkühlkurve auf der Titelseite). Für den Kühlschrank werden zwei unterschiedliche Ansätze untersucht. Bei beiden Ansätzen wird davon ausgegangen, dass damit – bezogen auf einen A++ Kühlschrank – technisch eine Reduktion der Verluste von ca. 80 % realisiert werden kann. Beim ersten Ansatz werden zwei konzentrisch umeinander rotierbare doppelwandige zylindrische Teile untersucht, welche so gestaltet sind, dass sie sich in einem relativ breiten Winkelbereich überlagern und bei entsprechender Rotationslage einen Zugang zum Innern freigeben (Fig. 9). Ein derartiges Funktionsmuster wurde strukturmechanisch ausgelegt sowie durchkonstruiert und befindet sich momentan in Fertigung. Erste Messungen mit diesem Funktionsmuster werden voraussichtlich im Januar 2010 stattfinden. Beim zweiten Ansatz wird versucht, eine potenziell kostengünstige Lösung zu finden, bei welcher die übliche kubische Form eines Kühlschranks beibehalten wird. Dies verlangt für die Realisierung eines Vakuumpaltes ohne Kernmaterial vor allem die Lösung der beiden Problemstellungen «Distanzhalter zur Beibehaltung eines minimalen Vakuumpaltes» und «Randbereich mit minimiertem Wärmetransport».

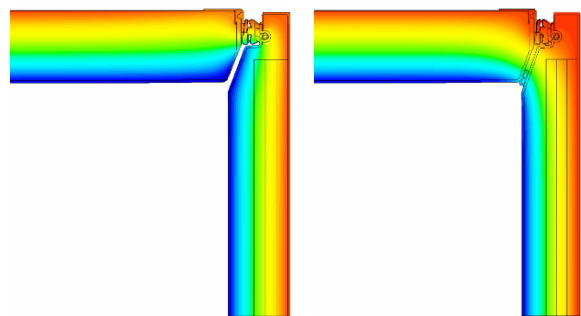


Figur 8: Funktionsmuster einer Kaffeemaschine mit Vakuumisolation (Quelle: Helbling Technik AG).



Figur 9: Skizze eines zylindrischen, vakuumisolierten Kühlschranks (Quelle: Helbling Technik AG).

Ferner wurden mit der Unterstützung eines namhaften schweizerischen Herstellers im Projekt *Energieverbrauchsminimierung von Kühlschränken durch thermische Optimierung* [20] die thermischen Verluste unter Verwendung neuartiger Wärmedämmungen untersucht und minimiert. Dabei wurden an einem typischen Kühl-/Gefrier-Kombigerät kalorimetrische Messungen und die numerische Modellierung von Wärmeübergängen dazu verwendet, Schwachstellen aufzuzeigen. Vergleichsmessungen mit vier verschiedenen PU-Materialien geschäumten Schränken zeigen nur einen geringen Einfluss des Schaums auf den Gesamtenergieverbrauch. Zudem wurde ein 3D-Modell des Kühlgeräts erstellt, mit dessen Hilfe diverse Details untersucht werden konnten. Es wurde unter anderem gezeigt, dass der Einsatz von Vakuumisolation besonders im Türbereich des Kühlraums sinnvoll ist. Als wirtschaftlich meistversprechende Massnahme profilierte sich eindeutig der Einsatz einer doppelten Türdichtung im Tiefkühlbereich (Fig. 10).



Figur 10: Isothermenbilder der 2D-Berechnungen von einfach (links) und doppelter Gefrierfachdichtung (rechts) unter typischen Betriebsbedingungen. Deutlich wird die Aufhebung der Schwachstelle durch die zweite Dichtung (Quelle: EMPA).

Da im Markt verschiedentlich festgestellt wurde, dass bei der Selbstdeklaration von Kleinkühlschränken nicht alle Anbieter vergleichbare Angaben machen, wurden im Projekt *Messreihe Kleinkühlschränke* [21] verschiedene Produkte nach den gleichen Messgrundlagen ausgemessen und miteinander verglichen. Leider zeigten sich grosse Abweichungen, die zu verzerrenden Aussagen führen. Die Ergebnisse wurden in einem Merkblatt publiziert und durch *EnergieSchweiz* und der Energieplattform *Hotelpower* umgesetzt.

Der Anteil der Elektroheizungen am Schweizer Stromverbrauch liegt je nach Quelle zwischen 6 % und 12 %. Das Effizienz- und Substitutionspotenzial ist gross. Im Projekt *Elektroheizungen – Massnahmen und Vorgehensoptionen zur Reduktion des Stromverbrauchs* [22] wurden neben der Recherche zu früheren Aktivitäten und statistischen Daten Befragungen bei Elektroheizungs-Betreibern und Energieversorgern durchgeführt. Recherchen und Umfragen zeigen, dass der grosse Investitionsbedarf für ein neues Heizsystem in Verbindung mit den meist sinnvollen Gebäudehüllen-Massnahmen das grösste Hindernis für den Ersatz darstellen. Auf der Basis der erarbeiteten Grundlagen wurde ein Massnahmenkatalog inkl. Finanzierungsaspekte und Rahmenbedingungen zusammengestellt. Als Folgeprojekt wurde aufgrund des grossen Einsparpotenzials von geschätzten 315 GWh/a für Ferienwohnungen das Projekt *Fernsteuerungen für Raumheizungen* [23] gestartet.

Als Alternative zu statischen USV-Anlagen (unterbrechungsfreie Stromversorgung) können ab Leistungen von etwa 400 kVA rotierende USV-Anlagen eingesetzt werden. Im Projekt *Rotierende USV-Anlagen und dynamische Energiespeicherung* [24] werden die Unterschiede zwischen den rotierenden und den statischen USV-Anlagen bezüglich Effizienz und Einsatz aufgezeigt.

USV-Anlagen erzeugen Verlustwärme, die mit Kühlaggregaten abgeführt wird. Im Projekt *Wärmerückgewinnung in USV-Anlagen* [25] wurde eine 2001 entwickelte USV-Anlage mit integrierter Wärmerückgewinnung (WRG) ausgemessen. Daraus wurde ersichtlich, dass die Anlage während der Heizperiode praktisch die gesamte Verlustwärme von etwa 20 MWh/a ans Heizsystem abgegeben hat. Da die energieoptimierte Kälteanlage des Gebäudes eine eigene WRG-Anlage besitzt, beziffert

sich die reale jährliche Energieeinsparung nur mit ca. 4 MWh/a elektrischer Energie. Basierend auf dieser USV-WRG-Entwicklung, früheren BFE-Projekten und einer Marktrecherche wurden Szenarien für die Kühlung und Wärmerückgewinnung von USV-Anlagen erarbeitet.

Licht / Leuchten

Durch das «Glühlampenverbot» kommen vermehrt Energiesparlampen mit elektronischen Vorschaltgeräten zum Einsatz. Aufgrund verschiedentlich geäusselter Bedenken wurde im Projekt *Netzzrückwirkungen von Energiesparlampen* [26] untersucht, in welchem Ausmass sich aufgrund einer vermehrten Verwendung von Sparlampen Rückwirkungen auf das Netz ergeben. Ausführliche Messungen sowie theoretische Überlegungen zeigten, dass auch bei flächendeckendem Einsatz von Sparlampen nicht zu erwarten ist, dass es zu relevanten Netzzrückwirkungen kommen wird.

Mit der Entwicklung der weissen LED (Licht emittierende Diode) steht eine neue Technologie zur effizienten Raumbelichtung zur Verfügung. Doch Markt und Entwicklung sind sehr unübersichtlich und verbindliche Qualitätsstandards, welche eine LED beschreiben, sind kaum vorhanden. Mit dem Projekt *Qualitätsmerkmale der LED-Beleuchtung* [27] wurden alle Qualitätsmerkmale der LED-Beleuchtung identifiziert und die drei Schlüsselmerkmale Effizienz, Lichtqualität und Lebensdauer ausführlich bewertet. Bezüglich Einsatz ist die LED-Beleuchtung dort attraktiv und wirtschaftlich, wo sie ihre einzigartigen Vorteile ausspielen kann: gerichtetes Licht, sehr lange Lebensdauer, keine Wärme im Lichtstrom, ultraviolett-freies Licht, Farbmodulation und verlustarme Dimmung.

Diverses

Werden Eisenbahnzüge während ihrer Fahrt durch andere Züge in ihrer Fahrweise beeinflusst, so resultiert aus den zusätzlichen Abbrems- und Wiederbeschleunigungsvorgängen ein erhöhter Energieverbrauch. Dieser lässt sich reduzieren, wenn durch ein geeignetes System die Anzahl Beeinflussungen vermindert wird, oder bei nicht vermeidbaren Beeinflussungen die Disposition den Energieaspekt mitberücksichtigt. Das Projekt *Verifizierung der Stromeinsparung durch energieeffizientes Zugmanagement* [28] zeigt, wie die Architektur eines solchen Systems aussehen könnte und

schlägt Migrationsschritte zur Einführung vor. Das Einsparpotenzial wurde mittels Simulationen, Messungen und Befragungen des betroffenen Personals abgeschätzt und beträgt ca. 5 % von

1800 GWh/a, also rund 90 GWh/a. Die SBB erarbeiten derzeit ein entsprechendes Umsetzungsprojekt, um die vorgeschlagenen Konzepte in den nächsten Jahren umzusetzen.

Nationale Zusammenarbeit

Durch die Programmleitung werden periodische Treffen im Rahmen der etablierten *BFE-Trendwatching-Gruppen* zu den Themen *Informatik und Kommunikation (IKT)*, *elektrische Antriebe*, *Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV)* und *Hochtemperatursupraleitung (HTSL)* organisiert. Damit stehen fachkompetente, nationale Diskussionsplattformen für Fachleute aus Industrie, Hochschule und Forschungsstätten zur Verfügung, die sich bewährt haben und gegenseitig fruchtbare Inputs ermöglichen. Aufgrund mangelnden Interesses der Industrie wurden die Aktivitäten der USV-Gruppe Ende 2009 vorerst sistiert.

Ein durch die Programmleitung initiiertes Ausbildungs-Netzwerk zum Thema Motoreffizienz hat sich etabliert und soll dazu beitragen, das entsprechend verfügbare Wissen an Schulen jungen Technikern und angehenden Ingenieuren zu vermitteln.

Beide Eidg. Technische Hochschulen (Zürich, Lausanne) sowie verschiedene Fachhochschulen werden soweit zweckmässig in die Forschungsaktivitäten miteinbezogen. So haben die Fachhochschulen Westschweiz (Sion), Nordwestschweiz (Brugg), Ostschweiz (Chur) und Zentralschweiz (Horw/Luzern) im Motoren-/ Leistungselektronikbereich sowie die Fachhochschule Westschweiz (Yverdon) im Bereich der magnetokalorischen Energiekonversion Projektarbeiten geleistet.

Das etablierte *Kompetenzzentrum Energie- und Informationstechnik* an der ETH Zürich leistet weiterhin einen wichtigen Beitrag zur nationalen (wie auch internationalen) Zusammenarbeit. Das *iHomeLab* mit dem *Swiss Research Center for Smart Living (CEESAR)* der Hochschule Luzern wird von über 30 Partnern aus Industrie und Forschung unterstützt und ist in mehreren BFE-Projekten involviert.

Der dritte 4-Jahreszyklus des Projekts *Materials with Novel Electronic Properties* (MANEP) des schweizerischen Nationalfonds hat im Juli 2009 begonnen und wird 2013 enden. 19 Institute und 6 Industriepartner sind einbezogene und befassen sich mit der Erforschung und Entwicklung neuer Materialien. Davon beschäftigen sich 8 Teilnehmer theoretisch oder experimentell mit HTSL-Supraleitern.

Die Zusammenarbeit mit der Industrie wird in verschiedenen Bereichen (z.B. SBB, Motorenindustrie, Telecom-Unternehmungen, Detailhandel) weitergeführt. Es wird bei neuen Projekten soweit möglich darauf geachtet, dass ein Industriepartner im Projekt involviert ist.

Generell wird ein enger Kontakt mit dem Programm *EnergieSchweiz* [35] gepflegt, was wesentlich zur nationalen Umsetzung des generierten Wissens beiträgt.

Durch die gemeinsame Finanzierung von Forschungsprojekten konnten bestehende Kontakte zu weiteren Förderinstitutionen wie dem *Energiesparfonds der Stadt Zürich*, dem *Stromsparerfonds Baselstadt* und der *KTI* gepflegt werden. Zudem bestehen gute Kontakte zu mehreren Elektrizitätswerken und zu *Swisselectric Research*.

In diversen Projekten wird ein enger Kontakt zu den schweizerischen Energieagenturen *EnAW*, *eae* und *S.A.F.E* [36] gepflegt und es sind – soweit zweckmässig – Branchenverbände wie z.B. *swissT.net*, *Swissmem*, *Swico*, *FEA* eingebunden. So wurde kürzlich eine Zusammenarbeit mit dem *FEA* (Fachverband Elektroapparate für Haushalt und Gewerbe Schweiz) vereinbart, um die erforderlichen Marktdaten für die internationalen Mapping und Benchmarking-Arbeiten der IEA zu aggregieren.

Internationale Zusammenarbeit

Durch die Teilnahme am IEA-Programm *Assessing the Impact of High Temperature Superconductivity on the Electric Power Sector* werden die weltweiten Aktivitäten auf diesem Gebiet verfolgt. Ebenfalls erfolgt ein internationaler Informationsaustausch über die *ESAS (European Society for Applied Superconductivity)*.

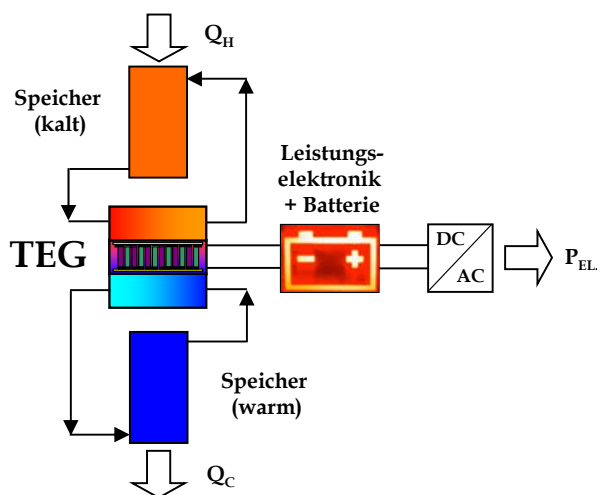
Die Schweiz engagiert sich im IEA-Programm *4E (Efficient Electrical End Use Equipment)* und hat mit der Leitung des Motoren-Annexes auch fachliche Verantwortung übernommen. Auch am EU-Programm *Intelligent Energy Europe IEE* hat sich die Schweiz beteiligt. So engagierte sie sich an den Arbeiten des Projekts *Development of the Market for Energy Efficient Servers* [37] und begleitet als assoziiertes Teammitglied das kürzlich gestartete Projekt *SELINA* [38] (*Standby Energy Losses in new Appliances measured in Shops*).

Ende 2009 haben die drei Länder Deutschland, Österreich und Schweiz ein *Memorandum of Understanding (MoU)* zur Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Erforschung und Entwicklung von IKT-basierten Energiesystemen der Zukunft unterzeichnet. Damit soll eine enge Zusammenarbeit in diesem Bereich im deutschsprachigen Europa etabliert werden.

Persönliche Kontakte zu verschiedenen Energieagenturen (insbesondere Dänemark, Niederlande, Österreich) sowie zu Schlüsselpersonen internationaler Programme wie z.B. dem UK Market Transformation Programme, ermöglichen immer wieder inspirierende Anregungen. Ferner werden die Kontakte mit der Europäischen Kommission, der *IEA*, der *EPA (Environmental Protection Agency)* und dem *LBNL (Lawrence Berkeley National Laboratory)* weiter gepflegt.

Pilot- und Demonstrationsprojekte / Umsetzungsaktivitäten

Die Ergebnisse der Forschungsarbeiten sind mit geeigneten Massnahmen möglichst effizient umzusetzen. Dazu sind oftmals vorbereitende, marktnahe Forschungsarbeiten erforderlich.



Figur 11: Systemkonfiguration des thermoelektrischen Generators TEG (Quelle: ETHZ).

Energiekonversion

Mit dem Projekt *Realisierung eines thermoelektrischen Generators für die Stromerzeugung aus Niedertemperatur* [29] soll ein thermoelektrisches

System als Demonstrator gebaut und realisiert werden. Damit sollen die Vorteile der Thermoelektrizität hervorgehoben und die grundsätzliche Realisierung der Stromerzeugung aus Niedertemperaturwärme aufgezeigt werden. Zudem will man damit auf die Verfügbarkeit effizienterer und billigerer Materialien und Module vorbereitet sein.

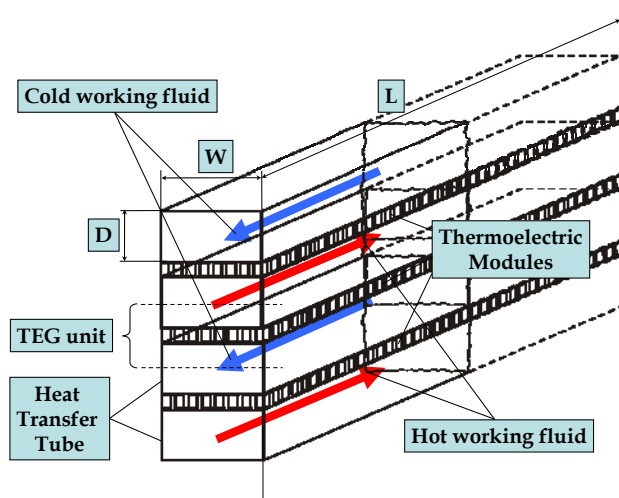
Mit dem Demonstrator soll insbesondere geprüft werden, ob die Abwärmenutzung von Rechenzentren und die Nutzung der Wärme von Geothermianlagen mit Thermoelektrik möglich sind. Die Konfiguration (Fig. 11) wurde entwickelt und das Prinzip eines Stack-Aufbaus (Fig. 12) wurde ins Auge gefasst.

Motoren / elektrische Antriebe

Mit der *IEA-ExCo-Vertretung des Implementing Agreements 4E* [30] nimmt die Schweiz an den Arbeiten des IEA-Programms *4E (Efficient Electrical End Use Equipment)* teil. Die Schweiz leitet zudem den *Electric Motor Systems Annex (EMSA)* [31] als Operating Agent.

Um das erarbeitete Fachwissen im Bereich Permanentmagnet-Motoren international einzubringen, wurde die BFE-Studie *Wirtschaftlichkeit, Anwendungen und Grenzen von effizienten Perma-*

nentmagnet-Motoren [32] aktualisiert, zusammengefasst und ins Englische übersetzt. Damit kann das zusammengetragene Fachwissen international genutzt und in den neuen Task «New Technology» des EMSA eingebracht werden.



Figur 12: Prinzip des Stack-Aufbaus des thermoelektrischen Generators (Quelle: ETHZ).

Bewertung 2008 und Ausblick 2009

Im Bereich **Technologie** konnten weitere Materialfortschritte bei der *thermoelektrischen Energiekonversion* verzeichnet werden und die involvierte Forschergruppe an der EMPA nimmt international eine führende Position ein. Auch die Initiierung eines thermoelektrischen Demonstrationsprojekts konnte erfolgreich umgesetzt werden. Speziell interessant ist dabei, dass der Demonstrator die Möglichkeiten der Nutzung von Abwärme – wie sie zum Beispiel in Rechenzentren anfällt – verfolgt. Die Anwendungsmöglichkeiten des magnetokalorischen Effekts als zentrales Kühlgerät konnten noch nicht abschliessend dargelegt werden. Es ist aber geplant, diese Ergebnisse definitiv 2010 zur Verfügung zu haben. Im Bereich der *Hochtemperatursupraleitung (HTSL)* waren die kontaktierten Industriepartner aufgrund der aktuellen HTSL-Leiterpreise und Leiterqualitäten nach wie vor zurückhaltend. Immerhin gelang es, im Gespräch mit einer grossen Unternehmung mögliche Stossrichtungen zu diskutieren. Speziell wäre ein Projekt mit einem HTSL-Bahntransformator interessant, könnte damit doch die Steigerung des Wirkungsgrads von ca. 92 % auf über 99 % erreicht werden. Sehr positiv war ferner, dass nach mehrjähriger Pause und diversen erfolglosen Gesprächen mit der In-

Geräte

Im *Implementing Agreement 4E* erfolgen neben dem bereits erwähnten Thema Motoren diverse Untersuchungen über verschiedene Haushaltsgeräte in den Annexes *Mapping & Benchmarking* und *Standby*. Ferner arbeitet Frankreich an der Vorbereitung eines neuen Annexes zum Thema *LED*.

dustrie und Interessierten ein Projekt gestartet werden konnte, welches an die bisherigen Arbeiten im Bereich *Druckluftspeicherung* anknüpft und die Entwicklung eines lauffähigen Prototyps anvisiert.

Bei den **effizienten Anwendungen** ist es erfreulich, dass mehrere Industrieprojekte gestartet werden konnten, die eine substantielle *Effizienzsteigerung von Haushaltsgeräten* zur Zielsetzung haben. Speziell die untersuchte Vakuum-Isolationstechnik, die in diversen Geräten Verwendung finden kann, könnte zu einem eigentlichen Durchbruch führen, falls die erwarteten Ergebnisse bestätigt werden und die Gestehungskosten für die Marktumsetzung ebenfalls vernünftig gestaltet werden können. Sicher sind dazu aber noch weitere Arbeiten erforderlich, die 2010 fortzusetzen sind. Die IEA-Arbeiten des 4E-Programms haben sich ebenfalls positiv entwickelt und werden im Jahr 2010 weitergeführt. Die abgeschlossene Studie zum aktuellen Thema *Smart Metering* führte zu diversen positiven Reaktionen und stellt eine gute Basis sowohl für die Industrie als auch für den Bund dar. Die Unterzeichnung des länderübergreifenden *Memo-randum of Understanding zur Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Erforschung und Entwicklung von IKT-basierten Energiesystemen der Zukunft* fordert

massive Initiativen auf der Forschungsseite und dürfte das vorliegende Programm nicht nur im kommenden Jahr, sondern auch in den kommenden Jahren merklich mitprägen. Sehr erfreulich ist auch, dass die SBB die Ergebnisse eines *effizienten Zugmanagements* in den kommenden Jahren umsetzen und damit einen wesentlichen Einspareffekt erzielen werden. Die Projektarbeiten zum Thema *LED* wurden von der Industrie positiv un-

terstützt und die erarbeiteten Grundlagen dürften richtungsweisend beim zukünftigen Einsatz der *LED-Technologie* sein. Entscheidend dabei ist, dass diese Erkenntnisse nun von der Industrie verwertet werden. Schliesslich war es positiv, dass nachgewiesen werden konnte, dass Energiesparlampen keine negativen Auswirkungen aufs Netz haben.

Liste der F+E-Projekte

- [1] S. Lemofouet (sylvain.lemofouet@enairys.com), Enairys Powertec SA, Ecublens: **Réalisation d'un Prototype de Système de Stockage hydropneumatique d'Energie** (JB Projekt 103082)
- [2] P. Egolf, A. Kitanovski, O. Sari (peter.egolf@heig-vd.ch), HEIG-VD, Yverdon: **Zentrale magnetische Kühl- und Kältemaschinen und ihre Bewertung** (JB Projekt 102873)
- [3] A. Weidenkaff (anke.weidenkaff@empa.ch), EMPA, Dübendorf: a) **Erstellen und Modellierung eines thermoelektrischen oxidischen Moduls (TOM) als Demonstrator** (JB Projekt 101356) • b) **Layered Thermoelectric Converters (LTEC)** (JB Projekt 101356)
- [4] R. Flükiger (rene.flukiger@physics.unige.ch), Université de Genève, Genève: **Implementing Agreement for a Cooperative Programme for Assessing the Impact of High Temperature Superconductivity on the Electric Power Sector** (JB Projekt 101533)
- [5] B. Aebischer (baebischer@ethz.ch), CEPE, ETH, Zürich: **Kompetenzzentrum Energie und Informationstechnik** (JB Projekt 30963) www.bibliothe.ETHZ.ch
- [6] A. Huser, (alouis.huser@encontrol.ch), Encontrol GnbH, Niederrohrdorf: a) **Development of the Market for energy efficient Servers** (SB Projekt 101967) www.efficient-server.eu • b) **Effizienzsteigerung im Haushalt durch Digitalstrom** (JB Projekt 102468) www.digitalstrom.org
- [7] R. Kistler, M. Fercu, A. Egli (alexander.klapproth@hslu.ch), Hochschule Luzern, Technik + Architektur, Horw: a) **Vergleich verschiedener Effizienzlösungen mit Einzelverbrauchsmessungen für Haushalte** (SB Projekt 103316) • b) **MEGA, Mehr Energieeffizienz durch gezielte Anwenderinformation** (JB Projekt 102668)
- [8] R. Staub (richard.staub@bus-house.ch), BUS-HOUSE, Zürich: **Überblick internationaler Forschungsaktivitäten im Bereich Home Automation** (SB Projekt 103269)
- [9] R. Dettli, D. Philippen, H. Schäffler (reto.dettli@econcept.ch), Econcept AG / ENCT GMBH, Zürich und Freiburg (D): **Smart Metering für die Schweiz – Potenziale, Erfolgsfaktoren und Massnahmen für die Steigerung der Energieeffizienz** (SB Projekt 102966)
- [10] D. Gabioud (dominique.gabioud@hevs.ch), Institut Systèmes Industriels, HES-SO, Sion: **Smart Metering pour éco-cités** (JB Projekt 103376)
- [11] U. Lindegger, R. Bettschen (urs.lindegger@ch.schindler.com), Inventio AG, Hergiswil: **Standby-Optimierung bestehender Aufzugsanlagen** (JB Projekt 103193)
- [12] G. Schnyder (gilbert.schnyder@sing.ch), Schnyder Ingenieure AG, Hünenberg: **Verluste von Frequenzumformern im Motorenbereich** (JB Projekt 103066)
- [13] N. Häberle (norbert.haeblerle@schaffner.com), Schaffner EMV AG, Luterbach: **Novel Low Harmonics 3-Phase Rectifier for efficient Motor Systems** (JB Projekt 103369)
- [14] C. U. Brunner (cub@cub.ch), S.A.F.E., Zürich: **Sotea - Software-Tool zur Ermittlung des Effizienzpotenzials bei elektrischen Antrieben** (SB Projekt 102545)
- [15] B. Kobel, Y. Roth (yann.roth@rysering.ch), Ryser Ingenieure AG, Bern: **Analyse und Vorgehen zur energetischen Optimierung von Pumpen bei Wasserversorgungsanlagen** (JB Projekt 102686)
- [16] J. Lindegger (info@circlemotor.ch), Circle Motor AG, Gümligen: **Effizienzsteigerung eines hocheffizienten IEC-3kW-Permanentmagnetmotors inklusiv energetischer Messung als Pumpenanwendung** (SB Projekt 100915)
- [17] F. Jenni (felix.jenni@fnw.ch), Fachhochschule Nordwestschweiz, Windisch: **Effizienter Betrieb von Asynchronmotoren** (JB Projekt 103210)
- [18] S. Stahl (stefan.stahl@awtec.ch), AWTEC AG für Technologie und Innovation, Zürich: **Modifizierter A++-Standard-Kühlschrank mit halbem Energieverbrauch** (JB Projekt 102923)
- [19] H. Tischhauser (hans.tischhauser@helbling.ch), Helbling Technik AG, Wil: **Hocheffiziente Isolation für Haushaltsgeräte** (JB Projekt 103290)
- [20] M. Koebel (matthias.koebel@empa.ch), EMPA, Dübendorf: **Energieverbrauchsminimierung von Kühlschränken durch thermische Optimierung** (SB Projekt 102855)
- [21] A. Burri (adrian.burri@awtec.ch), AWTEC AG für Technologie und Innovation, Zürich: **Messreihe Kleinkühlschränke** (Merkblatt Projekt 102672)
- [22] J. Nipkow (juerg.nipkow@arena-energie.ch), Arena, Zürich: **Elektroheizungen – Massnahmen und Vorgehensoptionen zur Reduktion des Stromverbrauchs** (SB Projekt 102648)
- [23] E. Bush (eric.bush@bush-energie.ch), Bush Energie GmbH, Felsberg: **Fernsteuerungen für Raumheizungen** (JB Projekt 103392)
- [24] P. Mauchle, (peter.mauchle@sing.ch), Schnyder Ingenieure AG, Hünenberg: **Rotierende USV-Anlagen und dynamische Energiespeicherung** (SB Projekt 102828)
- [25] G. Dürrenberger (gregor@mobile-research.ethz.ch), ETH, Zürich und G. Klaus (klaus@maxwave.ch), Maxwave AG, Zürich: **Netzzrückwirkungen von Energiesparlampen** (SB Projekt 102644)
- [26] S. Gasser (stefan.gasser@eteam.ch), eTeam, Zürich: **Qualitätsmerkmale der LED-Beleuchtung** (SB Projekt 102901)
- [27] M. Meyer, S. Menth (markus.meyer@emkamatik.com), Emkamatic GmbH, Wettingen: **Verifizierung der Strom-einsparung durch energieeffizientes Zugmanagement** (SB Projekt 102645)

Liste der Umsetzungsprojekte / P+D-Projekte

- [28] K. Fröhlich, A. Bitsch, (froehlich@eeh.ee.ethz.ch), ETH Zürich: **Realisierung eines thermoelektrischen Generators für die Stromerzeugung aus Niedertemperatur** (JB Projekt 103274)
- [29] R. Brüniger (roland.brueeniger@r-brueniger-ag.ch) R. Brüniger AG, Ottenbach: **IEA-EXCO-Vertretung des Implementing Agreements 4E** (JB Projekt 102435)
- [30] C. U. Brunner (cub@cub.ch), A+B International, Zürich: **Motor Systems Annex for 4E** (JB Projekt 102221)
- [31] J. Lindegger (info@circlemotor.ch), Circle Motor AG, Gümligen: **Wirtschaftlichkeit, Anwendungen und Grenzen von effizienten Permanentmagnet-Motoren** (SB Projekt 101347)
- [32] S. Stahl (stefan.stahl@awtec.ch), AWTEC AG für Technologie und Innovation, Zürich: **Wärmerückgewinnung in USV-Anlagen** (SB Projekt 103016)

Referenzen

- [33] **Elektrizitätsverbrauch und Einsparpotential bei Aufzügen** (Nov. 2005)
<http://www.bfe.admin.ch/forschungelektrizitaet>
- [34] **Verein Deutscher Ingenieure (Energie label für Aufzüge VDI 4707)** <http://www.vdi.de>
- [35] **Internetseite von EnergieSchweiz und dem BFE** www.energie-schweiz.ch
- [36] **Internetseite der Energieagenturen** www.energieagentur.ch und www.energie-agentur.ch und www.eae-geraete.ch
- [37] **Internetseite für IEE-Projekt *Development of the Market for Energy Efficient Servers*** www.efficient-server.eu
- [38] **Internetseite für IEE-Projekt *Selina*** www.selina-project.eu
- [39] **Internetseite des Forschungsprogramms *Electricity Research*** www.electricity-research.ch. Download von Zusammenfassungen, Jahres- und Schlussberichten durchgeführter Forschungsarbeiten