

Evaluation der Bereiche „Feuerung und Verbrennung“ und „Rationelle Energienutzung in Gebäuden“

Ausgearbeitet durch

F. Mayinger, TU München; Ch. Meier, CCSO Fribourg; K.E. Sirén, Helsinki University of Technology; J. Kuster, BHP, Zürich

Im Auftrag des

Bundesamts für Energie BFE

CORE

September 2002

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE, Evaluationen

Auftragnehmer:

c/o BHP Hanser und Partner AG, Lagerstrasse 33, 8021 Zürich

Autoren:

Jürg Kuster, BHP Hanser und Partner AG, Zürich

Franz Mayinger, TU München

Christoph Meier, CCSO Fribourg

Kai E. Sirén, Helsinki University of Technology

Begleitgruppe:

Dieter Imboden, ETH-Zürich, CORE

Lorenz Frey-Eigenmann, externer Evaluationsberater BFE

Andreas Gut, Bundesamt für Energie BFE

Martha-Christina Lux-Steiner, Hahn-Meitner-Institut (Berlin), CORE

Dieser Bericht wurde im Rahmen der Evaluationen des Bundesamts für Energie BFE erstellt. Für den Inhalt ist alleine der/die Studiennehmer/in verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE

Worbentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen · Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 · office@bfe.admin.ch · www.admin.ch/bfe

Vertrieb: BBL, Vertrieb Publikationen, 3003 Bern · www.bbl.admin.ch/bundespublikationen

Bestellnummer 805.539 d / 09.02 / 100

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	I
Résumé	XV
Summary	XXVIII
Vorwort.....	XLI
TEIL A ALLGEMEINER TEIL.....	1
A1 Energieforschung der öffentlichen Hand.....	2
A2 Aufgaben der Evaluation.....	6
A3 Evaluatorenteam.....	8
A4 Methodisches Vorgehen.....	9
A4.1 Beurteilung der Bereichsprogramme als Ganzes	9
A4.2 Untersuchung aktueller Projekte.....	10
A4.3 Kurzanalyse früher abgeschlossener Projekte	16
A5 Aufbau des Berichtes	18
TEIL B BEREICH ‚FEUERUNG UND VERBRENNUNG‘	19
B1 Kurzporträt des Bereichs ‚Feuerung und Verbrennung‘	20
B2 Übersicht über die Fallstudienprojekte	24
B3 Wissenschaftlich-technische Qualität der Bereichsaktivitäten.....	28
B3.1 Aktuelle Herausforderungen für die Forschung im Bereich ‚Feuerung und Verbrennung‘ 28	
B3.2 Beurteilung des Bereichsprogramms ‚Feuerung und Verbrennung‘ aus wissenschaftlich- technischer Optik	30
B3.3 Wissenschaftlich-technische Qualitäten der evaluierten Einzelprojekte	36
B3.31 Wissenschaftlich-technische Qualität der Fallstudienprojekte	37
B3.32 Vergleichende Bewertung der Fallstudienprojekte	47
B3.4 Schlussfolgerungen und Empfehlungen aus wissenschaftlich-technischer Optik.....	49
B4 Transfer des Wissens von der Forschung bis zur Umsetzung im Markt.....	55
B4.1 Verbrennung	55

B4.11	Beachtung der wirtschaftlichen Nutzeffekte und der politischen Rahmenbedingungen	56
B4.12	Aufbau von Transferketten	58
B4.13	Schlussfolgerungen und Empfehlungen aus Sicht des Technologietransfers	65
B4.2	Feuerung	69

TEIL C BEREICH 'RATIONELLE ENERGIEENTZUG IN GEBÄUDEN'..... 73

C1	Kurzporträt des Bereichs 'Rationelle Energienutzung in Gebäuden'	74
C2	Übersicht über die Fallstudienprojekte	80
C3	Wissenschaftlich-technische Qualität der Bereichsaktivitäten	83
C3.1	Aktuelle Herausforderungen für die Forschung im Bereich 'Rationelle Energienutzung in Gebäuden'	83
C3.2	Beurteilung des Bereichsprogramms 'Rationelle Energienutzung in Gebäuden' aus wissenschaftlich-technischer Optik	86
C3.3	Wissenschaftlich-technische Qualitäten der evaluierten Einzelprojekte	91
C3.31	Wissenschaftlich-technische Qualität der Fallstudienprojekte	91
C3.32	Vergleichende Bewertung der Fallstudienprojekte	95
C3.4	Schlussfolgerungen und Empfehlungen aus wissenschaftlich-technischer Optik	98
C4	Transfer des Wissens von der Forschung bis zur Umsetzung im Markt	102
C4.1	Beachtung der wirtschaftlichen Nutzeffekte und der politischen Rahmenbedingungen	102
C4.2	Aufbau von Transferketten	104
C4.3	Schlussfolgerungen und Empfehlungen aus Sicht des Technologietransfers	112

TEIL D ANHÄNGE 117

Anhang 1:	Wirkungen früher abgeschlossener Projekte des Bereichs 'Feuerung und Verbrennung'	118
Anhang 2:	Wirkungen früher abgeschlossener Projekte des Bereichs 'Rationelle Energienutzung in Gebäuden'	120
Anhang 3:	Verwendete Materialien	123
Anhang 4:	Pflichtenheft	125

Zusammenfassung

1 Energieforschung der öffentlichen Hand

Die öffentliche Hand unterstützt die Energieforschung mit finanziellen Beiträgen (1999: 180 Mio Fr.). Beiträge können gewährt werden für

- Forschungs- und Entwicklungsprojekte (F+E-Projekte)
- die Realisierung von Pilot- und Demonstrationsanlagen (P+D-Projekte)

Leitlinie für die Planung der mit öffentlichen Mitteln unterstützten Projekte ist das jeweils für eine Periode von vier Jahren geltende Konzept der Energieforschung des Bundes, welches von der CORE (Commission fédérale pour la Recherche Energétique) erarbeitet wird. Gemäss dem Konzept für die Jahre 2000 bis 2003 verfolgt die mit öffentlichen Mitteln unterstützte Energieforschung folgende Zielsetzungen:

- Reduktion des CO₂-Ausstosses
- Minimierung der übrigen Umweltbelastungen der eingesetzten Energietechnologien
- Erreichen hoher technischer und wirtschaftlicher Effizienz sowie gesellschaftlicher Akzeptanz neuer Energietechnologien

2 Aufgaben der Evaluation

Die Aktivitäten der öffentlichen Energieforschung sind thematisch in verschiedene Bereiche gegliedert. Jeder dieser Bereiche verfügt über ein eigenes Vierjahresprogramm, für dessen Umsetzung ein Programmleiter verantwortlich ist.

Die vorliegende Evaluation gilt den Forschungsprogrammen der beiden folgenden Bereiche:

Bereich ‚Feuerung und Verbrennung‘

Bereich ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘

Für jeden Bereich hat die Evaluation zwei Fragenkomplexe zu beurteilen:

I Wissenschaftlich-technische Qualität der Bereichsaktivitäten:

Deckt das Bereichsprogramm die wissenschaftlich und technologisch relevanten Themen ab? Wie ist die wissenschaftlich-technische Qualität der aktuellen Projekte zu beurteilen?

II Transfer des Wissens von der Forschung bis zur Umsetzung im Markt¹:

Deckt das Bereichsprogramm die für die spätere Umsetzung in die wirtschaftliche Praxis wichtigen Fragen ab? Wird dem Transfer des Wissens von der Forschung zum Markt genügend Beachtung geschenkt? Wie ist das Potenzial der aktuellen Projekte für eine spätere erfolgreiche Umsetzung der entwickelten Technologien im Markt zu beurteilen?

3 Bereich ‚Feuerung und Verbrennung‘

Das dem Bereich ‚Feuerung und Verbrennung‘ zugeordnete Technologiefeld umfasst die

- stationäre atmosphärische **Feuerung** (Heizungen, Abfallverbrennungsanlagen)
- die **Verbrennung** in Motoren und Gasturbinen

Das laufende Forschungsprogramm 2000 – 2003 des Bereichs ist auf vier Themenkreise fokussiert:

- Verbrennungsführung
- Numerische Simulation von Verbrennungsvorgängen
- Schadstoffreduktion
- Neue optische Messverfahren

Von Seiten des Bundesamtes für Energie (BFE) steht für die Vierjahresperiode 2000 bis 2003 ein Budget von 7 Mio Fr. zur Verfügung, mit welchem 15 neue Projekte finanziell unterstützt werden sollen.

¹ Betrachtet werden hier nur die F+E- und die P+D-Projekte. Bereichsprojekte zur Markteinführung und Marktsicherung im Rahmen von Energie Schweiz sind nicht Gegenstand der Evaluation.

3.1 **Wissenschaftlich-technische Qualitäten der Bereichsaktivitäten**

- **Zielkonforme Schwerpunktsetzung der Forschungsaktivitäten:** Aktueller Schwerpunkt des Bereichs ‚Feuerung und Verbrennung‘ ist die ökologische Optimierung der Verbrennung im Dieselmotor. Die dabei verfolgte Kombination von numerischer Simulation und Experimenten, deren Ergebnisse mittels modernen (optischen) Messverfahren erfasst werden, ist als erfolgversprechend und effizient einzustufen. Vor dem Hintergrund der beschränkten finanziellen Mittel und mit Blick auf die Ziele der öffentlichen Energieforschung erfolgt eine zweckmässige Fokussierung auf Bereiche mit einem vielversprechenden Optimierungspotenzial.
- **Hohe Fachkompetenz der Schweizer Forscherteams:** Ein grosser Teil der Forschergruppen, die an der ETH-Zürich und am Paul-Scherrer-Institut (PSI) an den vom BFE geförderten Projekten zur Verbrennungsforschung arbeiten, zeigen in hohem Masse den für erfolgreiches wissenschaftliches Arbeiten notwendigen Dreiklang, nämlich die Gelassenheit des Erfolgreichen, die Kreativität des Ideenreichen und die Bereitschaft, Herausforderungen anzunehmen. Sie nehmen ohne Zweifel eine Führungsrolle in der europäischen Verbrennungsforschung ein.
- **Programmlinier als Facilitator:** Zur Erlangung einer solchen Führungsrolle bedarf es einerseits ideenreicher und auf ihrem Gebiet führender Wissenschaftler, aber andererseits auch einer strategischen Planung und einer Synergie-Effekte nutzenden Kooperation. Die Förderungsstrategie des Bereichs ‚Feuerung und Verbrennung‘ und wissenschaftliche Interessen sowie Know-how der Forschergruppen an der ETH-Zürich und am PSI sind hier eine äusserst fruchtbare Symbiose eingegangen.
- **Übersicht über die Stärken und Schwächen der Aktivitäten im Bereich ‚Feuerung und Verbrennung‘:** Die Abbildung 1 fasst die bedeutendsten erkannten Stärken und Schwächen der Bereichsaktivitäten in knapper Form zusammen.

Abb. 1 Stärken und Schwächen des Bereichs ‚Feuerung und Verbrennung‘ aus wissenschaftlich-technischer Sicht

Betrachtete Dimensionen	Stärken	Schwächen
Thematische Ausrichtung des Bereichsprogramms	Die thematischen Schwerpunkte sind klar fokussiert auf Beiträge mit grosser Nachhaltigkeit und wohl abgestimmt auf die Zielsetzungen der nationalen Energieforschung	
Wissenschaftliche Qualität der 15 näher untersuchten Projekte	Etwa ein Drittel der Projekte ist von hervorragender, ein weiteres Drittel von sehr guter Qualität.	Ein Drittel der Projekte ist von guter Qualität.
Internationale Zusammenarbeit	Grossenteils sehr gut und intensiv, hohe internationale Ausgewiesenhaheit und Anerkennung der meisten im Programm tätigen Gruppen	in Teilbereichen noch verbesserungsfähig
Interdisziplinäre Zusammenarbeit		Forschergruppen aus Physik, Chemie, Mathematik und Informatik sind kaum in die Projekte eingebunden
Zusammenarbeit mit der Industrie	In zahlreichen Projekten findet ein direkter Ideenaustausch zwischen Wissenschaftlern und Industrie statt.	Intensität des Ideenaustausches ist noch verbesserungsfähig
Rolle des Programmleiters des Bereichs ‚Feuerung und Verbrennung‘	initiierend und moderierend; von gegenseitiger Achtung und Vertrauen getragene Zusammenarbeit klares, stimulierendes Führungsprofil Hohe Fachkompetenz	

- **Empfehlungen aus wissenschaftlich-technischer Optik:** Aus den Beobachtungen und Erfahrungen des Evaluatorenteams resultieren folgende Empfehlungen für die zukünftigen Aktivitäten des Bereichs ‚Feuerung und Verbrennung‘:
 - Weiterführung der Fördertätigkeit im Bereich ‚Feuerung und Verbrennung‘
 - Vereinheitlichung der strategischen Führung der verschiedenen Forschergruppen

- Spezifische Stärken der ETH und der Fachhochschulen gezielt nutzen
- Sicherstellung der notwendigen Investitionen in die Forschungsinfrastruktur
- Ausbau der interdisziplinären Zusammenarbeit (z.B. Aufbau einer themenbezogenen Systemgruppe)
- Verstärkung des Erfahrungs- und Erkenntnisaustausches mit der Industrie
- Laufende Weiterentwicklung der Messtechnik

3.2 Transfer des Wissens von der Forschung bis zur Umsetzung im Markt

Die beiden Themenfelder ‚Verbrennung‘ und ‚Feuerung‘ sind aus Sicht des Technologietransfers separat zu beurteilen.

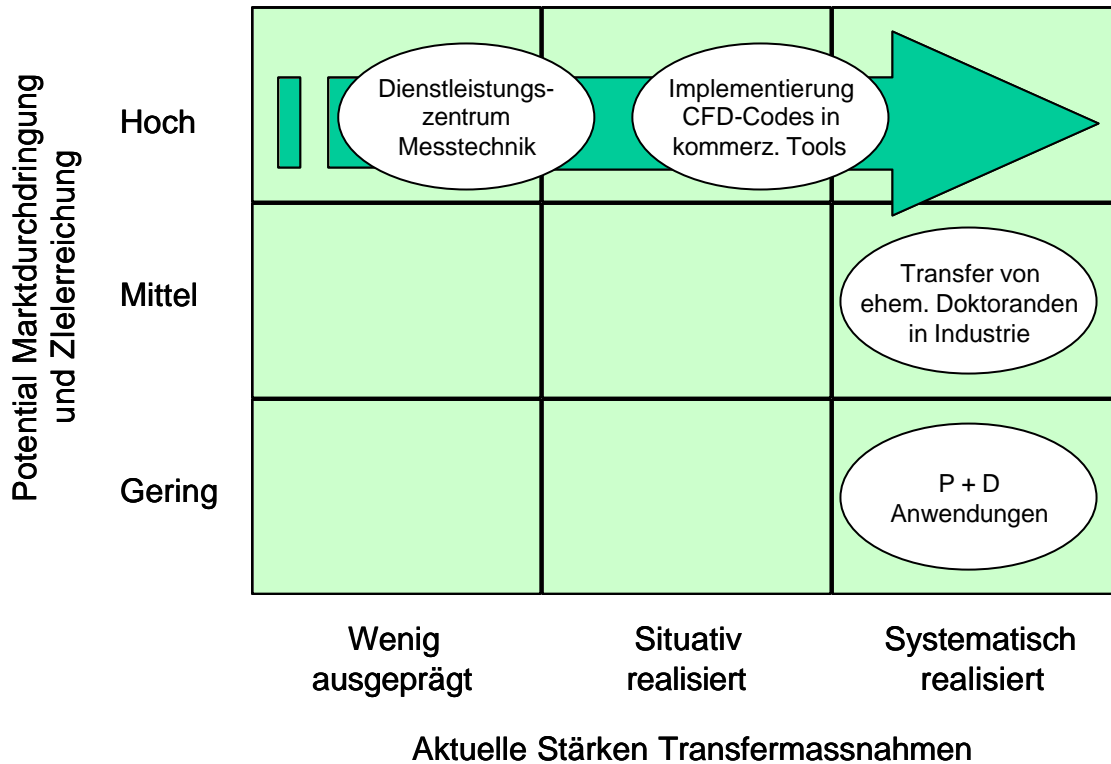
Themenfeld ‚Verbrennung‘

- **Beachtung der wirtschaftlichen Nutzeffekte und der politischen Rahmenbedingungen:** Die Fokussierung des Themenfeldes ‚Verbrennung‘ auf die ökologische Optimierung des Dieselmotors ist mit Blick auf die voraussehbare Marktakzeptanz für die erarbeiteten Problemlösungen als erfolgversprechend zu beurteilen, denn
 - die bereits erreichte Wettbewerbsfähigkeit des Dieselmotors lässt eine weitere Ausdehnung des Einsatzes von Dieselmotoren im Bereich der Personenwagen erwarten.
 - die Einhaltung der in naher Zukunft in Kraft tretenden verschärften Abgasnormen (Euronormen III und IV) erfordert namhafte ökologische Verbesserungen des Dieselmotors.
- **Aufbau von Transferketten:** In den mit Forschungsprojekten beauftragten ETH-Institutionen konnte eine konsistente Verzahnung erreicht werden von eher längerfristigen Projekten, die klar auf die Gewinnung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse ausgerichtet sind, und von kurz- bis mittelfristig orientierten Projekten, bei welchen konkrete

Fragen der Industrie im Vordergrund stehen. Dieses Umfeld begünstigt den Aufbau von Transferketten.

Gleichwohl sind die hier zur Diskussion stehenden Transfermechanismen in einer Stärken–Wirkungs-Matrix unterschiedlich positioniert (vgl. Abb. 2). Die Evaluation zeigt, dass die Transferstärken vorwiegend bei Massnahmen mit beschränktem und mittlerem Marktdurchdringungspotential liegen. Dort wo dieses Potential am höchsten ist, besteht demgegenüber ein Verbesserungspotential. Dies lässt jedoch nicht den Schluss zu, dass die Prioritäten in der Transferpolitik falsch gelegt wurden. Es gilt zusätzlich zu berücksichtigen, dass die Massnahmen nur dann greifen, wenn auch tatsächlich etwas transferierbar ist. Dies ist und war der Fall im Rahmen von P+D-Projekten sowie beim Transfer von ehemaligen Doktoranden in die Industrie. Demgegenüber nimmt der Prozess der Generierung von CFD-Codes sowie der Entwicklung von Messmethoden und –instrumenten sehr viel mehr Zeit in Anspruch. Entsprechende Transfermassnahmen greifen somit erst mit einer zeitlichen Verzögerung. An den beteiligten ETH-Institutionen wurde in den letzten Jahren ein stabiles Fundament dafür geschaffen. Entsprechend gilt es nun, dieses Potential durch eine aktive Transferpolitik umzusetzen.

Abb. 2 Synopsis der Bewertung der Transfermassnahmen



- **Empfehlungen aus Sicht des Technologietransfers:** Aus den Beobachtungen und Erfahrungen des Evaluatorenteams resultieren folgende Empfehlungen:
 - Sicherstellung des Commitment der ETH-Institutionen zur Verbrennungsforschung
 - Gewährleistung einer langfristig orientierten strategischen Führung der Forschergruppen
 - Ausbau der Kooperationen mit der Wirtschaft im Bereich der Tools
 - Ausschöpfen des Vermarktungspotenzials im Bereich der Messmethodik und -technik

Themenfeld ‚Feuerung‘

- **Veränderte Rahmenbedingungen:** Die Ausgangslage für die Forschungsaktivitäten im Themenfeld ‚Feuerung‘ hat sich in den letzten

Jahren grundsätzlich verändert: Einerseits fehlt heute eine einheimische Industriebasis, andererseits hat sich die im Themenfeld ‚Feuerung‘ aktive ETH-Institution strategisch neu ausgerichtet.

Die aktuelle Situation zeigt deshalb ein Bild einer weitgehend unterbrochenen Transferkette.

- **Blick in die Zukunft:** Angesichts der bestehenden Rahmenbedingungen stellt sich die Frage nach der Überführung der bestehenden Forschungsaktivitäten und Kompetenzen in eine neue Trägerorganisation. Neben Lösungsansätzen innerhalb des ETH-Bereichs gilt es auch die Option zu prüfen, das „phasing out“ des ETH-Forschungsteams aktiv in Richtung eines systematischen Wissenstransfers an eine Fachhochschule zu kanalisieren.

4 Bereich ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘

Das Forschungsprogramm ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘ fördert den effizienten und umweltschonenden Energieeinsatz im Gebäudebereich, indem es Grundlagen erforscht und die Entwicklung und Demonstration verbesserter Technologien unterstützt. Das laufende Forschungs-, Pilot- und Demonstrationsprogramm 2000 – 2003 ist auf sieben Themenkreise fokussiert:

- Hochisolationstechnik
- Sonnenenergienutzung (inkl. Probleme des Sonnenschutzes, der Kühlung und der Tageslichtnutzung)
- Passivhäuser und optimierte Systeme zur Deckung des minimierten Energiebedarfs
- Systeme zur Nutzung von Temperaturkaskaden; Abwärmenutzung und Energiespeicherung; energieeffiziente Warmwasseranlagen
- Umweltaspekte des Bauens und der Energienutzung
- Grundlagen zur Erhöhung der Bestellerkompetenz; Diagnose- und Abnahmeverfahren
- Bedarfsgeregelte Systeme und Einbezug des Benutzer- und Betreiberhaltens

Von Seiten des Bundesamtes für Energie (BFE) steht für die Vierjahresperiode 2000 bis 2003 ein Budget von 14.5 Mio Fr. zur Verfügung. Bis Oktober 2001 hat der Bereich für 45 neue Projekte Unterstützungsleistungen zugesichert.

4.1 Wissenschaftlich-technische Qualitäten der Bereichsaktivitäten

- **Ganzheitliche Problemsicht des Forschungsprogramms:** Ein Gebäude und seine Heiz- und Belüftungsanlagen u.a. bilden ein System, dessen einzelne Teile durch Wärmeströme, Temperaturniveaus, Steuerungsvorgänge und andere dynamische (zeitabhängige) Effekte miteinander verknüpft sind. Daher sollte man die energiebezogene Entwicklung des Gebäudes selbst und seiner Systeme in einem Gesamtkonzept behandeln. Die Beschreibung des Programms 2000-2003 zeigt klar, dass diese Denkweise sehr wohl verfolgt wird. Als Schwäche ist jedoch die Tatsache zu beurteilen, dass die Frage der Energieerzeugung im Zusammenhang mit Gebäuden auf verschiedene Programme aufgesplittet ist.
- **Qualitäten der vertieft untersuchten Projekte:** Die Profile der einzelnen Projekte waren sehr unterschiedlich. Einige F+E-Projekte waren zwar äusserst innovativ, ihr Anwendungsbereich waren jedoch z.B. neue Gebäude, die landesweit gesehen kein grosses Energiesparpotenzial bergen. Ein Beispiel für ein Projekt mit niedrigerem Innovationsgrad, aber grossem Potenzial war die Renovierung eines alten Gebäudes, bei der einige neue, aber bereits kommerziell verwertete Technologien eingesetzt wurden, um den Energieverbrauch zu senken. Es wurden beeindruckende Resultate erzielt, doch die Technologien waren für einen breiteren Einsatz noch zu teuer und benötigten öffentliche Förderung durch P+D-Massnahmen.

Da es hier um angewandte Forschung ging, waren die Projekte nicht sehr theoretisch, dennoch besaßen die verwendeten Methoden eine solide Basis, und die wissenschaftliche Qualität einiger Projekte war hoch. Die an einem Thema arbeitenden Teams waren im Allgemeinen relativ klein. Bei vielen F+E-Projekten wurde international zusammengearbeitet (IEA), während P+D-Aktivitäten durch ihre Natur bedingt eher lokal begrenzt sind. Bei den meisten Projekten schienen die Ziele auf zufriedenstellende Weise

erreicht worden zu sein. Auch die Unterstützung durch die Industrie war in der Regel gut.

Im Durchschnitt gesehen war die Qualität der Projekte hoch. Es gab keine schwachen Projekte, allerdings auch keine Projekte von herausragender Qualität. Die Unterstützung durch den Programmleiter war offensichtlich bei allen Projekten sehr wichtig.

- **Übersicht über die Stärken und Schwächen der Forschungs-, Pilot- und Demonstrationsaktivitäten des Bereichs 'Rationelle Energienutzung in Gebäuden':** Insgesamt gesehen ist das Bereichsprogramm gut geplant, die Qualität der Projekte ist hoch, und die Mitarbeiter sind kompetent. Aus wissenschaftlich-technischer Sicht konnten keine Schwächen festgestellt werden, möglicherweise sind einige kleine Anpassungen erforderlich. Tabelle 3 gibt einen Überblick über die Stärken und Schwächen des Bereichsprogramms und der Projekte.

Tabelle 3 Stärken und Schwächen des Bereichs ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘ aus wissenschaftlich-technischer Sicht

Betrachtete Dimensionen	Stärken	Schwächen
Qualität des Bereichsprogramms	<p>Das Bereichsprogramm setzt klare Prioritäten unter Berücksichtigung</p> <ul style="list-style-type: none"> - der strategischen Ziele der nationalen Energieforschung - der Forschungsstrukturen des Landes und der Bedürfnisse <p>Das Bereichsprogramm deckt die relevanten Themen umfassend ab.</p> <p>Die Fokussierung auf angewandte Forschung ist richtig.</p>	<p>Zwischen den einzelnen thematischen Schwerpunkten des Bereichsprogramms werden keine Prioritäten gesetzt.</p> <p>Das Thema ‚Energie in Gebäuden‘ wird auf mehrere Programme verteilt behandelt.</p>
Qualität der Projekte	Die einzelnen Projekte gehören zu den thematischen Schwerpunkten des Bereichsprogramms.	Die hohe Priorität, die der Renovierung in den Programmbeschreibungen eingeräumt wird, wird nicht gut widergespiegelt.
Vertieft untersuchte Projekte (11 Projekte)	<p>Die wissenschaftlich-technische Qualität der vertieft untersuchten Projekte ist hoch.</p> <p>Ausgezeichnete Resultate</p>	Kleine Forschungsteams
Internationale Zusammenarbeit	Es wird weitgehend international zusammengearbeitet.	
Zusammenarbeit mit Privatwirtschaft	<p>Rund die Hälfte der Projekte des Programms 2000 – 2003 werden von der Privatwirtschaft bearbeitet.</p> <p>Bei 9 der 11 vertieft untersuchten Projekte tragen Private einen Teil der Kosten oder erbringen Eigenleistungen.</p>	
Rolle des Programmleiters	<p>Sehr gezielte, unterstützende Projektfinanzierung durch das BFE.</p> <p>Wertvolle Inputs und Lenkungsfunction des Programmleiters bei allen untersuchten Projekten</p>	

· **Empfehlungen aus wissenschaftlich-technischer Optik:**

Ausgangspunkt für die Formulierung von Empfehlungen bilden nicht allein die erkannten Stärken und Schwächen des Bereichs 'Rationelle Energienutzung in Gebäuden' (vgl. oben), sondern auch die folgenden Befunde zu den Energiesparpotenzialen in der Schweiz und zum Stand der Technik:

- Bereits bestehende (Wohn)gebäude bergen das grösste Energiesparpotenzial.
- Die Energieerzeugung zur Beheizung von Gebäuden weist in der Schweiz eine extrem dezentralisierte Struktur auf.
- Die Energieerzeugung in grossem Massstab birgt auch Potenziale im Hinblick auf eine Verbesserung der Effizienz (aus technischer Sicht).
- Die Konzepte ‚Minergie‘ und ‚Passivhaus‘ sind ein wichtiges Instrument für die Arbeit im Hinblick auf die Erfüllung der strategischen Ziele.
- Es existieren bereits Technologien, mit denen ein sehr geringer Energieverbrauch in neuen Gebäuden erreicht werden kann.
- Es gibt aber auch bereits Technologien, die eine signifikante Senkung des Energieverbrauchs durch Renovierung ermöglichen.
- Da diese Technologien wirtschaftlich nicht wettbewerbsfähig sind, ist weitere Forschung und Unterstützung seitens der öffentlichen Hand notwendig.

Daraus resultieren die folgenden Empfehlungen für die Weiterentwicklung des Programms 'Rationelle Energienutzung in Gebäuden':

- ° Die Konzepte ‚Minergie‘ und ‚Passivhaus‘ sind zu fördern, um ihnen breite Akzeptanz zu verschaffen, sie wirtschaftlich wettbewerbsfähig zu machen und ihnen einen hohen Marktdurchdringungsgrad in der Schweiz zu sichern.
- ° Die Forschungs- und Demonstrationsaktivitäten im Bereich der Renovierungslösungen sind zu intensivieren.
- ° Die Zusammenarbeit mit anderen Programmen im Bereich der dezentralisierten Energieerzeugung in kleinem Massstab

(Brennstoffzellen, Wärme-Kraft-Kopplung, erneuerbare Energieträger) ist zu stärken.

- Die Bildung starker Forschungsgruppen in Forschungsgebieten von strategischer und nationaler Bedeutung ist zu fördern.

4.2 Transfer des Wissens von der Forschung bis zur Umsetzung im Markt

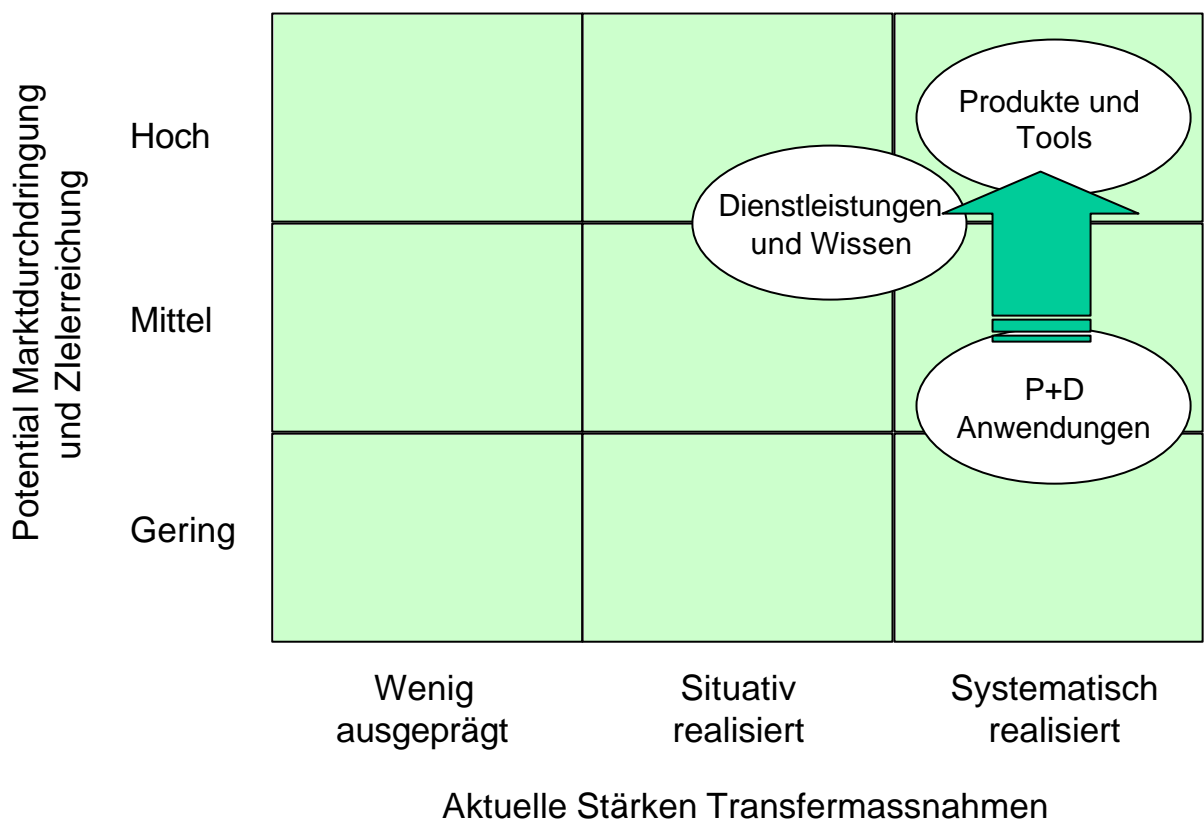
- **Beachtung der wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen:** Das Programm ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘ orientiert sich stark an den Zielvorgaben der Schweizer Energiepolitik (Stichwort: 2000-Watt-Gesellschaft). Solch ehrgeizige Ziele lassen sich nur mit ebenso ehrgeizigen Konzepten und Technologien (Stichwort: Passivhaus) umsetzen. Durch eine geschickte Kombination top-down und bottom-up initiiert Projekte konnten praktische Fortschritte in diese Richtung erzielt werden.

Letztendlich können die Zielvorgaben der Schweizer Energiepolitik aber nur umgesetzt werden, wenn sich insbesondere die Bauherren zugunsten von nachhaltigen Lösungen entscheiden. Während im Bereich der Verbrennung (vgl. Teil B) weitreichende Normen die Akzeptanz von technischen Innovationen auch bei höheren Kosten erzwingen, fehlen solch einschneidende Normen im Bereich der Gebäude. Die Gefahr eines Ungleichgewichtes zwischen dem Technologieangebot (= Fokus des Forschungsprogramms) und der Nachfrage nach neuen Technologien darf daher nicht unterschätzt werden. Mit Blick auf eine optimale Wirksamkeit müsste ein strategisches Transferkonzept daher ein konsistentes Portfolio von angebots- und nachfrageorientierten Massnahmen beinhalten.

- **Aufbau von Transferketten:** Die Analyse der Transferproblematik ist hier auf die angebotsseitigen Aspekte ausgerichtet. Die Positionierung der drei Projektkategorien des Bereichs ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘ in Abbildung 4 zeigt deren Stärken und Verbesserungspotentiale bezüglich Transfer- und Umsetzungsmassnahmen. Die grossen Stärken liegen im Bereich ‚Entwicklung von neuen Produkten und Tools‘ (z.B. Vakuumisolationmatten, Planungstools). Insgesamt gut positioniert ist auch der Bereich ‚Dienstleistungen und Wissen‘ (z.B. Prüfstände für transparente Gebäudehüllen, Leitfaden für Ökobilanzen). ‚P+D

Anwendungen' (insbesondere Passiv- und Minergie-Gebäude) dienen in der heutigen Form in erster Linie den an den Projekten beteiligten (privaten) Unternehmen. Sie schaffen einen Wissensvorsprung, der – obwohl teilweise ausgezeichnet dokumentiert – anderen Unternehmen faktisch kaum zugänglich ist. Für eine breitenwirksame Diffusion drängen sich daher Massnahmen auf, welche über das heutige Angebot hinausgehen.

Abb. 4 Synopsis der Bewertung der Transfermassnahmen



- **Empfehlungen aus Sicht des Technologietransfers:** Aus den Beobachtungen und Erfahrungen des Evaluatorenteams resultieren folgende Empfehlungen:
 - Entwicklung einer Wissensmanagementstrategie
 - Optimale Abstimmung der thematischen Schwerpunkte des Programms auf die voraussehbare Marktakzeptanz für die erarbeiteten technologischen Konzepte

Résumé

1 Les collectivités publiques et la recherche énergétique

Les collectivités publiques subventionnent la recherche énergétique (1999: 180 millions de francs). Ainsi, des contributions sont prévues pour

- des projets de recherche et de développement (projets R+D)
- la réalisation d'installations pilotes et de démonstration (projets P+D).

La planification des projets soutenus par l'Etat repose sur le plan directeur de la recherche énergétique suisse, élaboré tous les quatre ans par la CORE (Commission fédérale pour la recherche énergétique). Selon le plan directeur de la période 2000 - 2003, la recherche énergétique a pour objectifs:

- ° réduire les émissions de CO₂;
- ° minimiser les autres atteintes à l'environnement dues à l'utilisation de technologies énergétiques;
- ° conférer aux nouvelles technologies un niveau élevé d'efficacité technique et économique, ainsi qu'une bonne acceptation sociale.

2 Tâches de l'évaluation

Les activités des collectivités publiques dans le domaine de la recherche énergétique portent sur différents domaines. Chacun d'eux dispose de son propre programme quadriennal, dont la mise en œuvre est confiée à un chef de programme.

La présente évaluation a pour objet les programmes portant sur deux domaines:

«Chauffage et combustion»

«Utilisation rationnelle de l'énergie dans les bâtiments»

Dans chacun de ces domaines, l'évaluation porte sur deux catégories de questions:

- I Qualité scientifique et technique des activités:** Le programme couvre-t-il les thèmes présentant une importance scientifique et technologique pour le domaine? Que dire à ce sujet de la qualité des projets en cours?
- II Transfert de savoir de la recherche à la commercialisation²:** Le programme aborde-t-il les questions-clés de la commercialisation des résultats de la recherche? Le transfert de savoir, du laboratoire d'essai au marché fait-il l'objet d'une attention suffisante? Que dire du potentiel des projets actuels destinés à faciliter la commercialisation des technologies développées?

3 Domaine «Chauffage et combustion»

Le volet technologique de ce domaine comprend:

- ° le **chauffage** stationnaire atmosphérique (chauffages, installations d'incinération des déchets)
- ° la **combustion** dans les moteurs et les turbines à gaz.

Le programme de recherche 2000 – 2003 se concentre sur quatre grands thèmes:

- gestion de la combustion
- simulation numérique des processus de combustion
- réduction des polluants
- nouveaux procédés optiques de mesure.

L'Office fédéral de l'énergie (OFEN) consacre pour la période 2000 - 2003 un budget de 7 millions de francs au financement de 15 nouveaux projets.

² Seuls sont étudiés ici les projets R+D ainsi que P+D. L'évaluation ne prend pas en compte la commercialisation de produits développés dans le cadre de SuisseEnergie.

3.1 Qualités scientifiques et techniques des activités sectorielles

- **Conformité des priorités de la recherche avec les objectifs visés:** La priorité actuelle du domaine «Chauffage et combustion» est l'optimisation écologique de la combustion des moteurs diesel. La combinaison recherchée entre la simulation numérique et les expériences, dont les résultats sont enregistrés au moyen de procédés (optiques) de mesure modernes, doit être qualifiée de prometteuse et d'efficace. Compte tenu des ressources financières limitées à disposition et des objectifs de la recherche étatique, une concentration s'opère dans les domaines présentant un réel potentiel d'optimisation.
- **Compétences scientifiques de l'équipe suisse de recherche:** La plupart des groupes de chercheurs collaborant, tant à l'EPF de Zurich qu'à l'Institut Paul Scherrer (IPS), aux projets de recherche sur la combustion encouragés par l'OFEN disposent de trois atouts essentiels pour réaliser de bons travaux scientifiques, à savoir la sérénité de ceux qui réussissent, la créativité des personnes inventives, et la volonté de relever des défis. Ils sont sans aucun doute à la pointe de la recherche européenne sur la combustion.
- **Le chef de programme, un facilitateur:** Un tel rôle de conduite exige à la fois une personnalité imaginative et faisant autorité dans son domaine, une planification stratégique ainsi qu'une coopération tirant parti des effets de synergie. La stratégie d'encouragement du domaine «Chauffage et combustion» et les intérêts ainsi que le savoir-faire des groupes de chercheurs de l'EPF-Zurich et de l'IPS sont parvenus ici à réaliser une symbiose extrêmement féconde.
- **Aperçu des points forts et des faiblesses des activités du domaine «Chauffage et combustion»:** La figure 1 synthétise les principaux points forts ou les faiblesses identifiés dans les activités de ce domaine.

Fig. 1 Points forts et faiblesses du domaine «Chauffage et combustion» du point de vue scientifique et technique

Aspects considérés	Points forts	Faiblesses
Approche thématique du programme	Les thèmes centraux privilégient la durabilité et sont bien harmonisés avec les objectifs de la recherche énergétique nationale.	
Qualité scientifique des 15 projets analysés	Un tiers des projets sont de qualité exceptionnelle, un autre tiers est de très bonne qualité.	Un tiers des projets sont de bonne qualité.
Collaboration internationale	Généralement très bonne et soutenue; la plupart des groupes participant au programme se démarquent et sont reconnus sur le plan international.	Certains sous-domaines sont susceptibles d'améliorations.
Interdisciplinarité		Les projets n'intègrent guère de chercheurs experts en physique, chimie, mathématique et informatique.
Collaboration avec l'industrie	Dans de nombreux projets, le dialogue entre les scientifiques et l'industrie est déjà en place.	Les échanges pourraient être encore plus poussés.
Rôle du chef de programme «Chauffage et combustion»	Donne des impulsions et dirige; la collaboration se caractérise par le respect et la confiance mutuels. Profil de conduite clair et stimulant Grande compétence scientifique	

- **Recommandations d'ordre scientifique et technique:** Les observations et les expériences de l'équipe d'évaluateurs amènent à formuler les recommandations suivantes pour les activités futures du domaine «Chauffage et combustion»:
 - reconduire le soutien financier dans le domaine «Chauffage et combustion»
 - harmoniser la conduite stratégique entre les groupes de chercheurs
 - exploiter de manière ciblée les forces de l'EPF et des HES

- s'assurer les investissements nécessaires dans l'infrastructure de recherche
- étendre la collaboration interdisciplinaire (p. ex. création d'un groupe système sur le thème)
- renforcer les échanges d'expériences et de savoir avec l'industrie
- perfectionner constamment la technique de mesure.

3.2 Transfert du savoir de la recherche à la commercialisation

Les deux volets thématiques «Combustion» et «Chauffage» exigent une évaluation distincte du point de vue du transfert technologique.

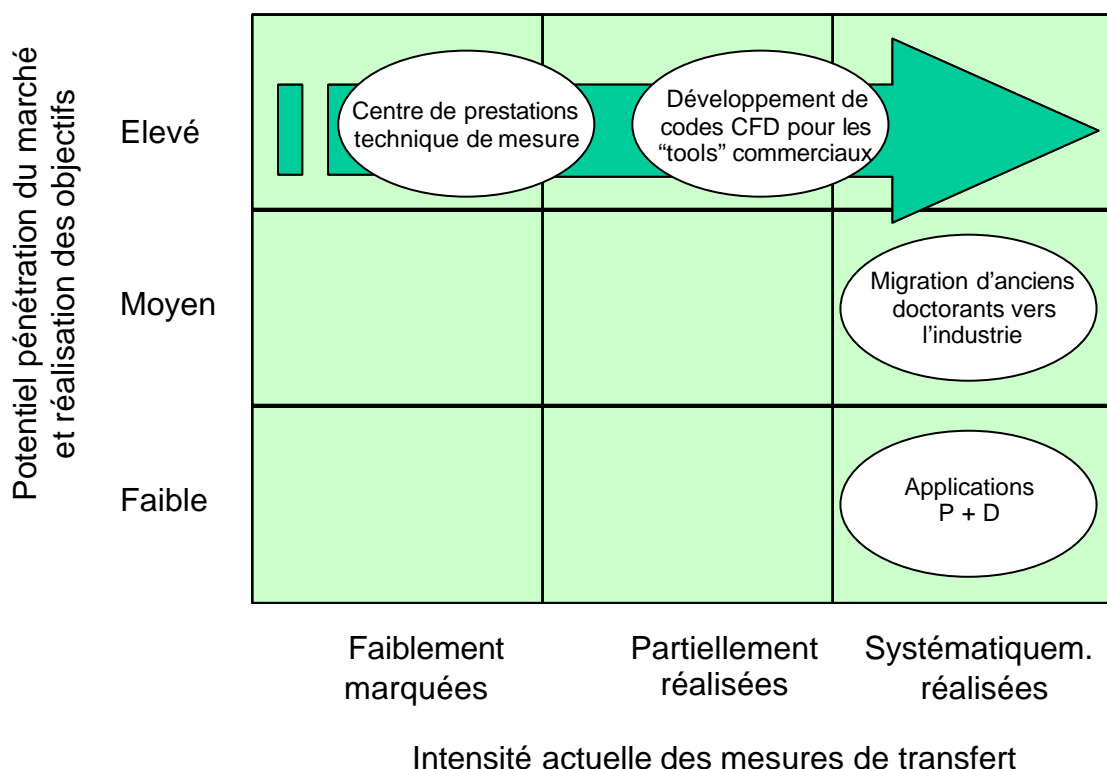
«Combustion»

- **Effectivité économique et contexte politique:** La concentration du volet «Combustion» sur l'optimisation écologique du moteur diesel peut être qualifiée de prometteuse au vu de l'accueil que devrait réserver le marché aux solutions élaborées, car
 - la compétitivité actuelle des moteurs diesel laisse présager une nouvelle extension de leurs parts de marché;
 - les normes plus sévères sur les gaz d'échappement qui entreront prochainement en vigueur (Euronormes III et IV) exigent d'apporter de réelles améliorations écologiques aux moteurs diesel.
- **Chaînes de transfert:** Les institutions de l'EPF mandatées ont créé de solides liens dans le cas des projets à long terme ayant pour l'objet l'acquisition de nouvelles connaissances scientifiques, ainsi que pour les projets à court ou à moyen terme abordant des aspects concrets touchant à l'industrie. Ce contexte est particulièrement favorable à la constitution de chaînes de transfert.

Néanmoins, les mécanismes de transfert discutés ici occupent une position différente dans la matrice des points forts et de l'efficacité (voir fig. 2). Comme le montre l'évaluation, les succès se situent parmi les mesures à potentiel de pénétration du marché limité ou moyen. En revanche, quand

ce potentiel est maximal, on est en présence d'un potentiel d'amélioration. Ceci ne veut pas dire pour autant que les priorités dans la politique de transfert aient été mal placées. Il s'agit en outre de considérer que les mesures ne produisent leur effet que lorsqu'il y a possibilité de transfert. Cela a été et reste toujours le cas, aussi bien pour les projets P+D que pour l'engagement d'anciens doctorants par l'industrie. A l'inverse, le développement de codes CFD, de méthodes et d'instruments de mesure requièrent nettement plus de temps. Les mesures de transfert associées ne déploient ainsi leurs effets qu'avec un certain décalage. C'est pourquoi on a créé ces dernières années une base solide pour les institutions des EPF concernées. Il s'agit maintenant d'exploiter ce potentiel en menant une politique de transfert active.

Fig. 2 Synopsis de l'évaluation des mesures de transfert



- Recommandations en matière de transfert de technologie:** Les observations et expériences réalisées par l'équipe d'évaluateurs débouchent sur les recommandations suivantes:

- consolider l'engagement des institutions des EPF en faveur de la recherche sur la combustion
- garantir une direction stratégique à long terme des groupes de recherche
- développer les coopérations avec l'économie dans le domaine des outils
- exploiter le potentiel commercial des techniques et méthodes de mesure

«Chauffage»

- **Modification des conditions-cadres:** Le contexte de la recherche dans le domaine «chauffage» s'est profondément modifié au cours des dernières années. D'une part, il manque aujourd'hui une base industrielle nationale; d'autre part, l'institution des EPF active dans le domaine précité a redéfini ses orientations stratégiques.

La situation actuelle montre une chaîne de transfert interrompue en maints endroits.

- **Projection dans le futur:** Les conditions-cadres actuelles soulèvent la question du transfert des activités de recherche et des compétences dans une nouvelle structure. Des solutions pourraient être trouvées au sein des EPF. Il conviendrait également d'examiner l'option qui consiste à diriger activement le «phasing out» de l'équipe de recherche des EPF dans le sens d'un transfert systématique de savoir aux hautes écoles spécialisées.

4 **Domaine «Utilisation rationnelle de l'énergie dans les bâtiments»**

Le programme de recherche «Utilisation rationnelle de l'énergie dans les bâtiments» encourage l'efficacité énergétique et la protection de l'environnement, en soutenant la recherche fondamentale de même que le développement et la démonstration de technologies améliorées dans le domaine de l'énergie. Le programme de recherche et de P+D 2000-2003 se concentre sur sept grands thèmes de recherche:

- Techniques d'isolation de haut niveau

- Exploitation de l'énergie solaire (y compris protection contre le soleil, refroidissement, utilisation de la lumière du jour)
- Maisons passives et système optimisés permettant de couvrir des besoins en énergie réduits à leur minimum
- Systèmes permettant d'exploiter les variations de températures, utilisation des rejets de chaleur et stockage d'énergie, installations d'eau chaude efficaces
- Aspects écologiques de la construction et de l'utilisation de l'énergie
- Etudes de principes en vue de l'accroissement de la compétence de l'acheteur, méthodes de diagnostic et procédures de réception
- Systèmes à réglage en fonction des besoins tenant compte du comportement de l'utilisateur et de l'exploitant

Pour la période 2000-2003, l'OFEN dispose d'un budget de 14,5 millions de francs. Jusqu'à octobre 2001, 45 nouveaux projets ont pu être financés.

4.1 Qualité technique et scientifique des activités

- **Considération d'ordre général sur le programme de recherche:** Le chauffage, l'aération et les autres installations qui équipent un bâtiment forment un système dans lequel chaque élément a une influence sur les flux de chaleur, les niveaux de température, les systèmes de commande et d'autres effets dynamiques (dépendant du temps). Il serait par conséquent judicieux de considérer le développement, du point de vue énergétique, du bâtiment et de ses équipements comme formant un tout. Cette approche figure noir sur blanc dans la description du programme 2000-2003. Il est dès lors d'autant plus regrettable que la recherche traitant de la production d'énergie dans le domaine du bâtiment soit éparpillée sur plusieurs programmes.
- **Qualités des projets ayant fait l'objet d'une évaluation approfondie:** Les projets se distinguaient par leur grande diversité. Certains projets R+D contenaient un degré d'innovation élevé, mais leurs résultats ne s'appliquaient qu'aux bâtiments neufs, lesquels ne recèlent pas un énorme potentiel de diminution de la consommation d'énergie au niveau

national. A l'inverse, d'autres projets avaient un faible degré d'innovation, mais un potentiel élevé, comme celui proposant de recourir aux technologies les plus récentes disponibles sur le marché lors de la rénovation de bâtiments. Cette solution a permis d'obtenir des résultats impressionnants en matière d'économie d'énergie. Les technologies utilisées étaient toutefois trop onéreuses pour générer des gains importants et ont dû bénéficier d'un soutien des pouvoirs publics au moyen de projets P+D.

S'agissant de la recherche appliquée, les aspects théoriques des projets n'étaient pas très développés. Les méthodologies employées reposaient toutefois sur des bases solides et certains projets présentaient même une qualité scientifique de haut niveau. En règle générale, les équipes travaillant sur un même sujet ont une taille plutôt réduite. De nombreux projets R+D ont fait appel à la coopération internationale (AIE). En revanche, de par la nature de leur travail, les projets P+D étaient davantage cantonnés au niveau local. La majorité des projets ont apparemment obtenu des résultats satisfaisants. De manière générale, la participation de l'industrie était bonne.

La qualité moyenne des projets était bonne; aucun n'était mauvais. Il n'y en avait pas non plus de qualité nettement supérieure aux autres. Le soutien du chef de programme s'est avéré très important pour tous les projets.

- **Passage en revue des forces et des faiblesses des activités de recherche, pilote et de démonstration dans le domaine «Utilisation rationnelle de l'énergie dans les bâtiments»:** De manière générale, le programme est bien conçu. Les projets sont de bonne qualité et les équipes sont compétentes. Aucune véritable faiblesse n'a pu être trouvée du point de vue technique et scientifique. De légers ajustements seraient, bien entendu, encore souhaitables. Le tableau 3 récapitule brièvement les points forts et les faiblesses du programme et des projets.

Tableau 3 Points forts et faiblesses du programme «utilisation rationnelle de l'énergie dans les bâtiments» du point de vue technique et scientifique

Aspects considérés	Points forts	Faiblesses
Programme	<p>Objectifs du programme formulés clairement, tenant compte</p> <ul style="list-style-type: none"> - des objectifs stratégiques de la recherche énergétique suisse - de la structure et des besoins nationaux <p>Bonne couverture des thèmes de recherche</p> <p>Le programme a raison de mettre l'accent sur la recherche appliquée</p>	<p>Le programme ne fixe pas de priorité entre les différents thèmes de recherche</p> <p>La problématique de l'énergie dans le bâtiment éparpillée sur plusieurs programmes</p>
Projet	Tous les projets s'inscrivent dans les thèmes fixés par le programme	Le programme accorde une priorité élevée aux rénovations. Les projets ne respectent pas fidèlement ce principe
Projets évalués (11 projets)	<p>La qualité technique et scientifique des projets évalués est bonne</p> <p>Les résultats obtenus sont excellents</p>	Taille réduite des équipes de recherche
Coopération internationale	Coopération soutenue au niveau international	
Collaboration avec le secteur privé	<p>Près de la moitié des projets du programme 2000-2003 sont réalisés par le secteur privé.</p> <p>Le secteur privé a pris en charge une partie des coûts ou fourni des prestations dans 9 des 11 projets qui ont fait l'objet d'une évaluation approfondie.</p>	
Rôle du chef de programme	<p>Le financement du projet par l'OFEN est bien mené et est de nature subsidiaire</p> <p>Le chef de programme a donné de précieux inputs et a joué à merveille son rôle de guide dans tous les projets analysés</p>	

- **Recommandations d'ordre scientifique et technique:** Les recommandations ne se basent pas uniquement sur les points forts et les faiblesses du domaine «Utilisation rationnelle de l'énergie dans les

bâtiments» (voir ci-dessus), mais aussi sur les constatations suivantes concernant le potentiel d'économies d'énergie en Suisse et l'évolution technique:

- Les anciens bâtiments (d'habitation) recèlent le plus gros potentiel de diminution de la consommation d'énergie.
- La production suisse d'énergie de chauffage pour les bâtiments est extrêmement décentralisée.
- Une production d'énergie à grande échelle permettrait d'augmenter l'efficacité énergétique (d'un point de vue purement technique).
- Le standard MINERGIE ainsi que les maisons passives sont deux instruments de poids dans la réalisation des objectifs stratégiques.
- Les technologies permettant une très faible consommation d'énergie des nouveaux bâtiments sont disponibles.
- De même que celles permettant de réduire drastiquement la consommation énergétique après rénovation.
- Ces technologies ne sont pas compétitives en raison de leur prix trop élevé et doivent par conséquent continuer à recevoir une aide publique et faire l'objet de recherches plus poussées.

Ceci nous amène aux recommandations suivantes afin de faire évoluer le programme «Utilisation rationnelle de l'énergie dans les bâtiments»:

- ° Encourager le standard MINERGIE et celui de la maison passive afin qu'ils soient mieux acceptés, soient plus compétitifs et gagnent des parts de marché en Suisse
- ° Mettre davantage l'accent, dans la recherche et la démonstration, sur les solutions destinées aux rénovations
- ° Intensifier la coopération avec les programmes travaillant sur la production à petite échelle d'énergie décentralisée (piles à combustible, couplage chaleur-force, énergies renouvelables)
- ° Encourager la constitution de grands groupes de recherche dans les domaines stratégiques et d'importance nationale

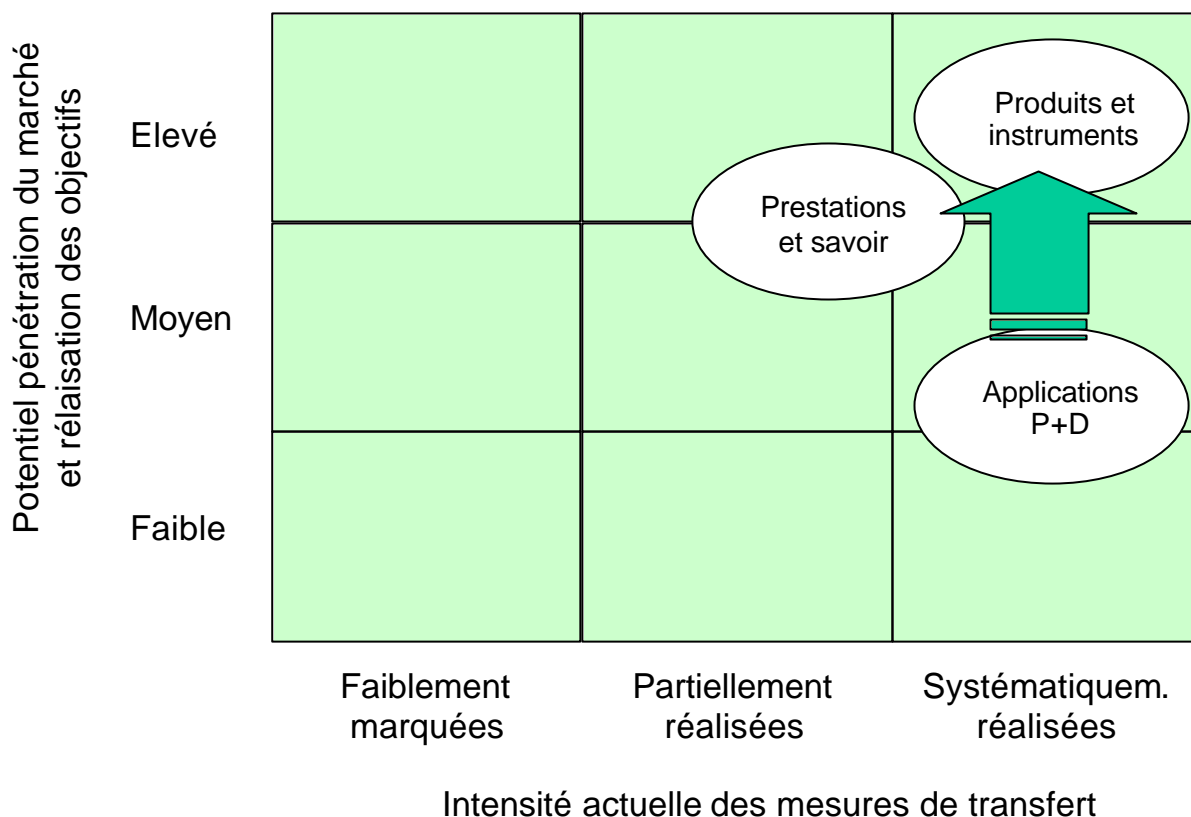
4.2 Transfert du savoir, de la recherche à la commercialisation

- **Contexte économique et politique:** Les objectifs du programme «Utilisation rationnelle de l'énergie dans les bâtiments» sont calqués sur ceux de la politique énergétique suisse (maître mot: Société à 2000 watts). Ces objectifs ambitieux ne peuvent être atteints qu'au moyen de concepts et de technologies elles-mêmes ambitieuses (maître mot: maison passive). Grâce à une combinaison judicieuse de projets «top-down» et «bottom-up», des progrès importants ont pu être réalisés.

En fin de compte, les objectifs de la politique énergétique suisses ne seront réalisés que si les maîtres d'ouvrage optent pour des solutions correspondant aux critères du développement durable. Si, dans le domaine «Combustion» (cf. lettre B), des normes détaillées accélèrent la diffusion d'innovations techniques, même à des coûts élevés, de telles normes font encore défaut pour le bâtiment. Le danger d'un déséquilibre entre l'offre (= priorités du programme de recherche) et la demande de nouvelles technologies ne doit pas être sous-estimé. Pour avoir une efficacité optimale, un modèle de transfert stratégique devrait par conséquent comprendre un important train de mesures touchant l'offre et la demande technologique.

- **Chaînes de transfert:** La problématique du transfert technologique est ici abordée du point de vue de l'offre. La figure 4 représente les points forts et le potentiel de progression des trois catégories de projets du domaine «Utilisation rationnelle de l'énergie dans les bâtiments» en ce qui concerne les mesures de transfert et de mise en œuvre. A cet égard, le domaine «Développement de nouveaux produits et instruments (p. ex. isolation par le vide, instruments d'aide à la planification). Le domaine «Services et savoir» (p. ex. laboratoires d'essai pour enveloppes du bâtiment transparentes, guide de l'écobilan) occupe également une position intéressante dans le diagramme. Dans sa configuration actuelle, le segment «Applications P+D» (notamment bâtiments MINERGIE et maisons passives) profite d'abord aux entreprises (privées) parties prenantes dans les projets. Elles se procurent ainsi un avantage en termes de savoir, savoir qui, bien qu'il soit parfois le résultat d'un travail admirable, ne profite pas vraiment aux autres entreprises. Une diffusion plus large appelle de toute urgence des mesures qui aillent plus loin que ce qui a été fait jusqu'à aujourd'hui.

Fig. 4 Evaluation des mesures de transfert



- **Recommandations en matière de transfert de technologies:** Les observations et les expériences de l'équipe d'évaluateurs amènent à formuler les recommandations suivantes:
 - Développement d'une stratégie de gestion du savoir
 - Coordination optimale entre les thèmes prioritaires du programme et l'accueil probable sur le marché des concepts technologiques développés

Summary

1 Publicly funded energy research

The Confederation supports energy research with financial contributions (1999: CHF 180 mill.). Contributions are granted for:

- Research and Development projects (R&D projects)
- Setting up pilot and demonstration installations (P&D projects)

The guidelines for budgeting federally funded projects includes the Confederation's effective four-year plan for energy research, which is being drawn up by the CORE (Commission fédérale pour la Recherche Energétique). The following goals for federally funded energy research have been set in accordance with the plan for 2000 to 2003:

- Reducing CO₂ emissions
- Minimizing residual environmental pollution produced by the currently used energy technologies
- Improving technology and cost efficiency as well as the general acceptance of new energy technologies

2 Evaluation tasks

Federal energy research activities are classified by subject into different fields. Each field has a customised four-year programme. A programme manager is in charge of implementing the four-year programme.

The evaluation in question applies the research programme to the two following fields:

“Heating and combustion”

“Efficient use of energy in buildings”

Each field is evaluated according to two series of questions:

- I The scientific and technical quality of the field activities:** Does the field programme cover the relevant scientific and technical issues? How can we evaluate the scientific and technical quality of the current projects?
- II Transfer of knowledge from research to market implementation³:** Does the field programme address the important issues related to transferring research to practical use on the market? Is sufficient notice given to transferring knowledge from research to market implementation? What is the potential of the current projects to successfully implement the developed technologies on the market?

3 “Heating and Combustion”

The technology field attributed to the “Heating and Combustion” field covers:

- ° Stationary atmospheric **heating** (heaters, waste incineration plants)
- ° Engine and gas turbine **combustion**

The current 2000 – 2003 research programme for this field focuses on four subjects:

- Combustion management
- Digital simulation of combustion processes
- Reduction of pollution
- New optical measuring techniques

The Federal Office for Energy (FOE) has earmarked CHF 7 mill. for funding 15 new projects over the four-year period from 2000 to 2003.

3.1 The scientific and technical quality of the field activities

- **Goal-oriented focus of the field activities:** The current focus of the “Heating and Combustion” field is optimising environmentally safe

³ This only concerns F&E and P&D projects. Field projects to be tested and placed on the market in the framework of Energie Schweiz are not included in this evaluation.

combustion in diesel engines. The combination of digital simulation and experiments used, the results of which are recorded using modern (optical) measuring techniques, is rated as promising and efficient. Against the backdrop of the limited financial resources and in view of the goals of federal energy research, we will focus on potentially promising fields for optimisation.

- **High technical competence of the Swiss research team:** Many of the research teams, conducting FOE-sponsored combustion research projects at the Federal Institute of Technology in Zurich and at the Paul-Scherrer Institute (PSI), appear to be adopting the necessary triad for successful scientific work, namely the composure of successful individuals, the creativity of great thinkers, and the willingness to take on challenges. They are unquestionably taking the lead in combustion research in Europe.
- **Programme managers as facilitators:** The success of this leading position requires scientists who are experts in their field and rich in ideas, on the one hand, and strategic planning and synergetic cooperation, on the other hand. The development strategy of the "Heating and Combustion" field and scientific interests, including the know-how of the ETH and PSI research groups, have resulted in a highly productive symbiosis.
- **Outline of the strengths and shortcomings of the activities related to the Heating and Combustion field:** Table 1 is a concise summary of the most important strengths and shortcomings of the field activities.

Table 1 Strengths and shortcomings of the Heating and Combustion field from a scientific and technical point of view

Aspect under consideration	Strengths	Shortcomings
Organisation of the field programme by subject	The central elements are clearly defined according to highly sustainable contributions, and are well adjusted to the aims of the national energy research programme	
Scientific quality of the 15 closely examined projects	Quality is outstanding for a third of the projects, and very good for a third.	Quality is good for a third of the projects.
International cooperation	To a large extent, very good and intensive; most of the groups working in the programme are highly acknowledged and recognized in the international community	Room for improvement in some areas
Interdisciplinary cooperation		Physics, chemistry, mathematics and computer science research groups are involved in the projects to a minimal degree
Cooperation with industry	In numerous projects there is a direct exchange of ideas between scientists and industry.	The exchange of ideas could be intensified
Role of the Heating and Combustion programme manager	Takes initiative, and is capable of streamlining. Works together with others based on mutual respect and trust Clear, energetic leadership profile Highly technically competent	

- **Recommendations from a scientific and technical standpoint:**
Based on the evaluation team's observations and experiences, the following recommendations were made for future activities related to the "Heating and Combustion" field:
 - To continue sponsorship of the "Heating and Combustion" field
 - To standardize the strategic management of the different research groups

- To make carefully directed use of the specific strengths of the ETH and the technical institutes
- To ensure the necessary research infrastructure investments
- To develop interdisciplinary cooperation (for example, organising a subject-related systems group)
- To improve exchange of experience and knowledge with industry
- To continue developing the measuring techniques

3.2 Transfer of knowledge from research to market implementation

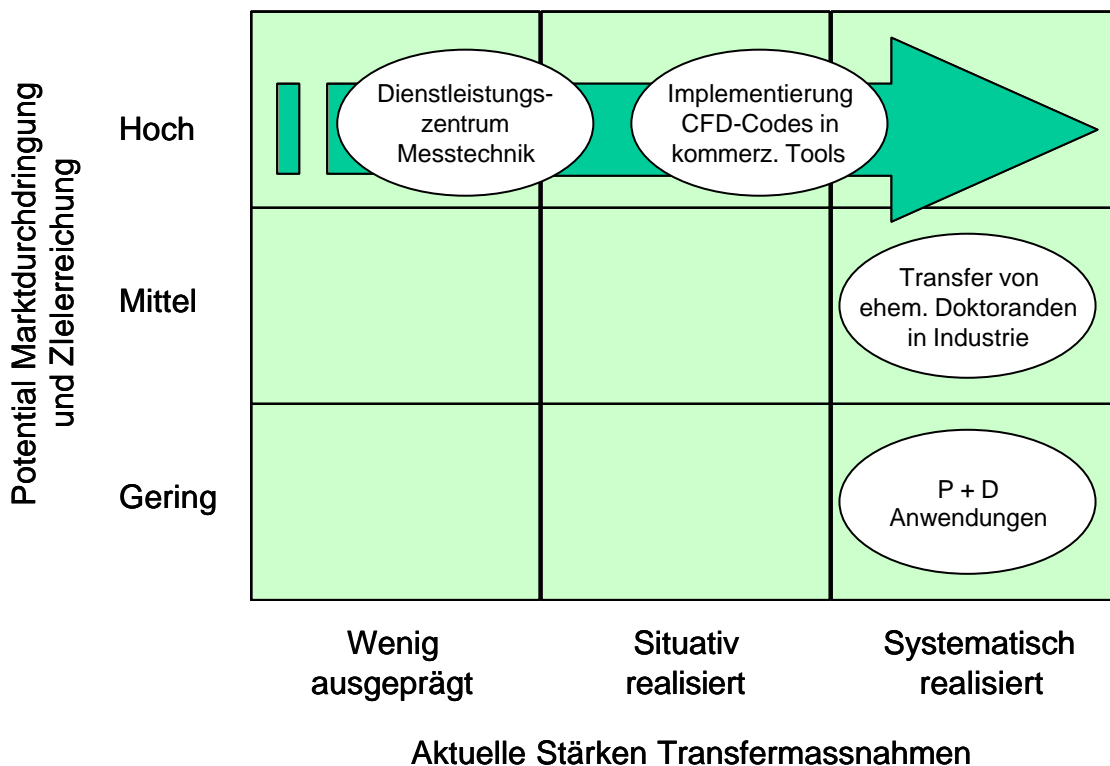
From the point of view of technology transfer, each of the two subject fields, "Combustion" and "Heating", needs to be evaluated separately.

Combustion

- **Taking into account economic efficiency and basic political conditions:** The main focus of the Combustion subject field to environmentally optimise the diesel engine is promising in view of the expected market acceptance of the developed solutions. This is because:
 - the current competitive power of diesel engines still leaves room for expanding the use of diesel engines in passenger vehicles.
 - compliance with the stricter exhaust emission regulations (European Standards III and IV), that are to become effective in the near future, requires making considerable environmental improvements to the diesel engine.
- **Developing transfer chains:** ETH institutes entrusted with research projects can achieve consistent interleaving between longer term projects, that are clearly geared towards achieving new scientific knowledge, and short to medium term projects, based on tangible industry-related issues. This environment is conducive to the development of transfer chains.

The transfer mechanisms at issue are nonetheless unequally positioned in a strength impact matrix (See Table 2). The evaluation shows that the transfer strengths are mainly located near measures having limited or medium potential for market penetration. The highest potential for market penetration, corresponds to a potential for improvement. This does not mean, however, that transfer policy priorities are being set inaccurately. We should also bear in mind, that measures are only tangible when there is actually something transferable. This is and was the case with carrying out the P&D projects and with transferring former post-graduate students into industry. In addition, the process of generating CFD codes as well as the development of measuring methods and instruments is very time-consuming. The corresponding transfer measures therefore only take effect after a time-lag. A solid foundation has been laid over the last years for this purpose within participating ETH institutes. These potential transfer chains must now be appropriately implemented using an active transfer policy.

Table 2 Synopsis of the evaluation of transfer measures



- **Recommendations from a technology transfer standpoint:** Based on the evaluation team's observations and experiences, the following recommendations were made:
 - To secure the ETH institutes' commitment to combustion research
 - To guarantee long-term, guided and strategic management of the research groups
 - To develop cooperation with the tool sector
 - To use the marketing potential in the field of measuring methodology and technology

Heating

- **Changed conditions:** The conditions for research activities in the Heating subject field have fundamentally changed. There is no domestic corporate foundation, on the one hand, and the ETH institute participating in the Heating subject field has been strategically restructured, on the other hand.

That is why the actual situation reflects a transfer chain that is interrupted to in many points.

- **Looking towards the future:** In view of the current situation, we are faced with the issue of transferring the current research activities and knowledge into a new sponsoring organisation. In addition to problem solving within the ETH's field of action, the option of actively channelling the phasing out of the ETH research team towards a systematic knowledge transfer in a higher institute is also effective.

4 Efficient use of energy in buildings

The research programme dealing with the efficient use of energy in buildings promotes efficient and environmentally friendly energy input in the building sector, by laying the foundations and supporting the development and demonstration of improved technologies. The current 2000 – 2003 research, pilot and demonstration programme is focused on seven topics:

- Advanced insulation technology

- Using solar energy (including shading, cooling and making use of daylight)
- Passive housing and optimised roofing systems requiring minimal energy
- Systems for using the change of temperature, such as recovery of residual heat, energy storage, and energy efficient water heaters
- Environmental issues related to construction and to the use of energy
- Basis for improving purchaser competence; diagnosis and acceptance procedures
- Demand-based systems and integration of user and operator behaviour

The Federal Office for Energy (FOE) has a budget of CHF 14.57 Mill. for the four-year period from 2000 to 2003. Grants for 45 new projects of the "Efficient use of energy in buildings" field have been guaranteed until October 2001.

4.1 Scientific and technical quality of the field activities

- **Comprehensive approach to problem solving in the research programme:** Buildings, related heating, ventilation and other equipment form a system where the different parts are linked to each other via heat flow, temperature levels, control actions and other dynamic (time dependent) effects. For this reason, it would be important to see the energy-related development of the building itself and its systems as a total concept. This comprehensive approach is clearly illustrated in the 2000-2003 programme description. The only shortcoming is that building-related energy production is spread out over several programmes.
- **Quality of closely examined projects:** The profiles of the individual projects varied greatly. Some R&D projects were highly innovative, but were applied to new buildings, which do not have much impact on reducing the use of energy on a national level. An example of low innovation but high potential was illustrated by the renovation of an old building, where several new, but commercially available technologies were used to reduce energy consumption. Impressive results were achieved, but the technologies were still too expensive, and required publicly funded P&D action.

Projects were mainly carried out using applied research, and were not particularly theoretical. The methodologies used were, however, built on a solid basis and the level of scientific quality of some projects was good. The teams working on a same topic were generally quite small. Many R&D projects included international (IEA) cooperation, while P&D activities tended to be carried out on a more local level. Most of the projects seemed to have achieved their goals in a satisfactory manner. The level of industrial contribution was generally good.

In average, the level of project quality was good. There were no weak projects. On the other hand, there were no projects of superior quality. The support of the programme leader was clearly very important for all projects.

- **Overview of the strengths and shortcomings of the research, pilot and demonstration activities of the “Efficient use of energy in buildings” field:** In general, the programme is well planned, the projects are of good quality and the personnel is competent. No real shortcomings were found from a scientific and technical point of view. There is, however, still a need for slight adjustments. Table 3 illustrates a summary, indicating the strengths and shortcomings of the programme and the projects.

Table 3 Strengths and shortcomings of the “Efficient use of energy in buildings” programme from a scientific and technical point of view

Object	Strengths	Shortcomings
Programme level	Well formulated programme priorities taken into account <ul style="list-style-type: none"> - the strategic objectives of the national energy research - the national structure and needs Wide cover of the focus areas Focusing on applied research in the programme is the right choice	No priorities between the different focus areas in the programme Building energy-related topics spread out in several programmes
Project level	The individual projects are in the programme focus areas	Projects do not strongly reflect the high priority of renovation shown in the programme descriptions
Investigated projects (11 projects)	Good level of scientific and technical quality of the investigated projects Excellent results	Small research teams
International cooperation	International cooperation is on a comprehensive level	
Cooperation with the private industry	About half of the projects of the 2000 – 2003 programme are carried out by the private industry. 9 out of 11 of the carefully researched projects are partially privately funded or provide their own funding.	
Role of the programme manager	The project funding of FOE is well directed and has a subsidiary nature The programme manager provides valuable input and steering capacity for all researched projects	

- **Recommendations from a scientific and technical standpoint:**
 Recommendations should not be based exclusively on the known strengths and shortcomings of the “Efficient use of energy in buildings” field (See above), but also on the following findings related to the energy conservation potential in Switzerland and to the level of technology:
 - The most important potential for reducing energy consumption in the building sector are the existing (residential) buildings.

- The structure of energy production for heating of buildings in Switzerland is extremely decentralised.
- The benefits of large-scale energy production can potentially improve efficiency (from a technical point of view).
- The Minergie and passive house concepts can be used as a tool allowing us work towards the strategic goals.
- The technology allowing us to achieve very low energy consumption in new buildings exists.
- The technology allowing us to achieve a significant reduction of energy consumption in renovation also exists.
- Because these technologies are not economically competitive, research efforts and public support are still necessary

These findings lead us to the following recommendations for further development of the "Efficient use of energy in buildings" programme:

- To support the Minergie and passive house standards to obtain a wide acceptance, a competitive edge and market penetration in Switzerland
- To put additional emphasis in research and demonstration of renovation solutions
- To strengthen cooperation with other programmes related to decentralised, small-scale energy production (fuel cells, combined heat and power, renewables)
- To support formation of strong research groups in strategic and nationally important research areas

4.2 Transfer of knowledge from research to market implementation

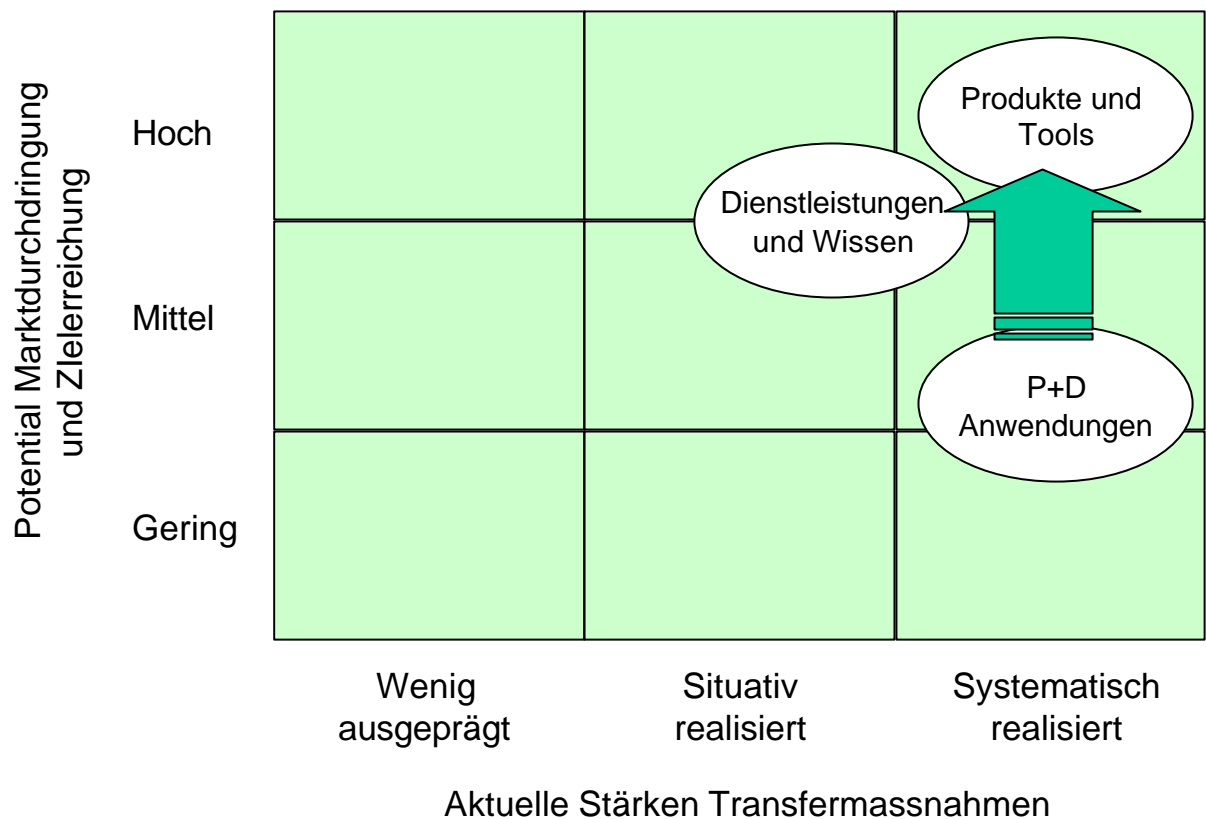
- **Taking economic and political conditions into account:** The main guidelines of the "Efficient use of energy in buildings" programme are the defined goals and objectives of the Swiss Energy Policy (Goal: 2000-Watt business). Such ambitious goals can only be achieved using equally

ambitious concepts and technologies (Goal: passive housing). Tangible progress can be made in this direction by skilfully combining top-down and bottom-up initiated projects.

Implementing the goals and objectives of the Swiss Energy Policy is ultimately only possible, if building owners, in particular, decide to embrace sustainable solutions. In the Heating field (see part B) far-reaching norms enforce the acceptance of technological innovations, even when the costs are high. There is, however, a lack of such incisive norms in the building sector. We should not underestimate the risk of imbalance between the proposed technology (i.e., the focus of the research programme) and the demand for new technology. A strategic transfer concept geared towards optimal efficiency should include a consistent series of measures based on supply and demand.

- **Developing transfer chains:** Transfer difficulties are analysed according to supply-based aspects. The positioning of the three project categories of the “Efficient use of energy in buildings” field in Table 4 indicates their strengths and potential for improvement with respect to transfer and implementation measures. The major strengths are in the “Development of new products and tools” field (For example, vacuum insulation mats and planning tools). As a whole, the “Service and Knowledge” field is also well positioned (For example, test benches for transparent building covers, manuals for ecological assessments). P&D applications (in particular, passive and minergy buildings), as they appear today, primarily benefit the (private) businesses participating in these projects. These applications provide a step ahead in knowledge that, albeit partially extremely well documented, is virtually inaccessible to other businesses. The widespread diffusion of these transfer chains requires measures that go beyond what is currently available.

Table 4 Synopsis of the evaluation of the transfer measures



- **Recommendations from a technology transfer standpoint:** Based on the evaluation team's observations and experiences, the following recommendations were made:
 - To develop a knowledge management strategy
 - To adjust the main programme subjects in the best possible way to the projected market acceptability of new technology concepts

Vorwort

Die Ziele der vorliegenden Evaluation der BFE-Energieforschungsprogramme *Gebäude* (Programmleiter (seit 1988): Markus Zimmermann, EMPA-ZEN) und *Feuerung und Verbrennung* (Programmleiter (seit 1988): Dr. Alphons Hintermann, BFE) war die Beurteilung deren Qualität und deren Wirkungen auf die Entwicklung in der Schweiz. Der Schwerpunkt sollte auf der Programmebene und der Projektebene gesetzt werden, wobei die Unterstützung durch die Marktaktivitäten im Rahmen von EnergieSchweiz durch die zugehörigen Bereiche ebenfalls in die Beurteilung einbezogen werden sollten. Neun zentrale Fragen wurden zur Evaluation vorgegeben (s. Pflichtenheft, Anhang 4).

Das Evaluationsteam hat die Markt-Aktivitäten der Bereiche aus der Untersuchung ausgeschlossen und sich hauptsächlich auf die Auswertung von BFE-geförderten Projekten (verteilt auf F+E und P+D-Projekte) konzentriert. Nicht alle der neun gestellten Fragen wurden vertieft untersucht; beleuchtet wurde hauptsächlich die wissenschaftlich-technische Qualität von F+E und P+D und der Transfer des Wissens zwischen den einzelnen Etappen.

Die von den Evaluatoren gemachten Verbesserungsvorschläge werden von den Programmleitern in die zukünftige Planung aufgenommen. Auf wichtige Fragen hat die Evaluation jedoch keine Antwort gegeben. Sie hat in Bezug auf die Ketten: Projekt – Programm – Bereich, Forschung – Umsetzung – Markt und BFE/EnergieSchweiz – öffentliche Forschungsinstitutionen – Privatwirtschaft, einen zu kleinen Ausschnitt beleuchtet. Es ergibt sich somit kein umfassendes Bild, was die Interpretation der Ergebnisse erschwert. Das BFE teilt diese Meinung mit der Eidgenössische Energieforschungskommission (CORE).

Dr. Andreas Gut
Forschungskoordination
Sektion Programmentwicklung und Controlling BFE

Teil A

Allgemeiner Teil

A1 Energieforschung der öffentlichen Hand

Förderung der Energieforschung durch die öffentliche Hand

Die öffentliche Hand unterstützt die Energieforschung mit finanziellen Beiträgen. Leitlinie für die Planung und Vergabe der mit öffentlichen Mitteln unterstützten Forschungsarbeiten ist das jeweils für eine Periode von vier Jahren geltende Konzept der Energieforschung des Bundes, welches von der CORE (Commission fédérale pour la Recherche Energétique) erarbeitet wird. Unterschieden wird dabei zwischen zwei Projekttypen:

- Forschungs- und Entwicklungsprojekte (F+E-Projekte)
- Realisierung von Pilot- und Demonstrationsanlagen⁴ (P+D-Projekte)

Zielsetzungen der öffentlichen Energieforschung

Gemäss dem Konzept der CORE für die Jahre 2000 bis 2003 verfolgt die mit öffentlichen Mitteln unterstützte Energieforschung folgende Zielsetzungen⁵:

Ziel 1: Reduktion des CO₂-Ausstosses

Ziel 2: Minimierung der übrigen Umweltbelastungen der eingesetzten Energietechnologien

Ziel 3: Erreichen hoher technischer und wirtschaftlicher Effizienz sowie gesellschaftlicher Akzeptanz neuer Energietechnologien

⁴ Pilotprojekte dienen der technischen Systemerprobung. Sie werden in einem Massstab gebaut, der Erkenntnisse und Erfahrungen mit einer neuen Technologie erlaubt, welche im Laborversuch nicht gewonnen werden können (CORE 1995, S. 46).

Demonstrationsprojekte dienen der Markterprobung. Sie werden im Massstab 1:1 erbaut und ermöglichen eine fundierte technische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Beurteilung im Hinblick auf die erhoffte kommerzielle Einführung. Sie machen potentielle Anwender auf die neue Technologie aufmerksam (CORE 1995, S. 46).

⁵ CORE 1999, S.15f

Dabei hat sich die mit öffentlichen Mitteln geförderte Energieforschung an verschiedenen Leitsätzen zu orientieren. Vor dem Hintergrund der Fragestellungen des BFE für die vorliegende Evaluation (vgl. Kapitel A2) und den Schwerpunktsetzungen der CORE-Mitglieder, welche für die beiden hier zu evaluierenden Bereiche ‚Feuerung und Verbrennung‘ sowie ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘ zuständig sind, sind die folgenden Leitsätze als Beurteilungsmassstäbe in der Evaluation von besonderer Bedeutung⁶:

Leitsatz 1: Setzen von Schwerpunkten: „Die schweizerische Energieforschung muss nicht überall präsent sein, sondern sich fokussieren auf die Gebiete mit den grössten Zielbeiträgen und den günstigsten wirtschaftlichen und personellen Voraussetzungen. Vorrang ist Forschungsgebieten zu geben, die von kompetenten Forschergruppen bearbeitet werden und eine hohe Wertschöpfung für die Schweiz erwarten lassen ... oder signifikante Beiträge zur globalen Nachhaltigkeit liefern dürften.“

Leitsatz 2: Subsidiärer Einsatz von Bundesmitteln: „Der Einsatz von Bundesmitteln in der Privatwirtschaft erfolgt nach dem Prinzip der Subsidiarität (d.h. dort, wo es nötig ist, das privatwirtschaftliche Risiko von Forschungsvorhaben abzuschwächen und gute Perspektiven zur Umsetzung bestehen). Auch sollen Impulse zur Entfaltung einer industriellen Eigendynamik ausgelöst werden. ...“

Leitsatz 3: Internationale Zusammenarbeit: „Durch internationale Zusammenarbeit und Kommunikation ist die Effizienz der eingesetzten Forschungsmittel zu verstärken. ...“

Leitsatz 4: Transfer der Forschungsergebnisse: „Der Transfer der Ergebnisse von der Forschung bis zum Markt ist integrierende Aufgabe der Forschungsförderung der öffentlichen Hand. Die Unterstützung von Pilot- und Demonstrationsprojekten sowie die enge Zusammenarbeit mit der Privatwirtschaft sind dabei unabdingbar. ...“

Leitsatz 5: Aus- und Weiterbildung: „Die öffentliche Energieforschung hat ihre Verantwortung auch wahrzunehmen in Bezug auf die Aus- und Weiterbildung von wissenschaftlichem und technischem Personal. Die breite Weitergabe technischer Erkenntnisse ist zu unterstützen.“

Aufgaben des Bundesamtes für Energie

Das Bundesamt für Energie (BFE) nimmt in der Energieforschung – zusammen mit der CORE - eine übergeordnete Koordinationsfunktion wahr. Zu diesem Zweck hat das BFE das breite Feld der Energieforschung der öffentlichen Hand in verschiedene Themenkreise gegliedert und im BFE hierfür zuständige Verwaltungseinheiten – die sog. „Bereiche“ – geschaffen (vgl. Abb. A1-1). Jeder

⁶ CORE 1999, S. 16f

Bereich hat in seinem Themenfeld die Grundaufgabe, als „Facilitator“ Neuerungen im betreffenden Technologiebereich von der Idee bis zur Umsetzung im Markt zu fördern und zu begleiten. Je nach dem Stand der Technik stehen

- F+E- bzw. P+D-Projekte (übergeordneter Rahmen: Konzept der CORE zur Energieforschung des Bundes) und/oder
- Projekte zur Markteinführung und Marktsicherung

im Zentrum.

Diese sogenannte „Bereichsorganisation“ löste Mitte der neunziger Jahre die frühere – zumindest administrative – Aufteilung der Verantwortlichkeiten für F+E-/P+D-Projekte auf der einen Seite und Umsetzungsprojekte auf der anderen Seite ab. Ein Hauptziel der Implementierung der neuen Bereichsorganisation war, zusätzliche Impulse für den Technologietransfer auszulösen.

Abb. A1-1: Themenbereiche der öffentlichen Energieforschung

Rationelle Energienutzung	Feuerung und Verbrennung Rationelle Energienutzung in Gebäuden Verkehr Elektrizität Wärmekraftkoppelung / Brennstoffzellen Prozesse (u.a. Abwärmenutzung)
Erneuerbare Energien	Sonnenenergie Umgebungswärme Biomasse / Holz Geothermie Windenergie Wasserkraft
Kernenergie	Kernspaltung Kernfusion
Energiewirtschaftliche Grundlagen	

Quelle: Darstellung BHP nach BFE 2000

Finanzielle Mittel der öffentlichen Energieforschung

Im Durchschnitt der Jahre 1995 bis 1999 stellte die öffentliche Hand jährlich 196 Mio Fr. für die Energieforschung zur Verfügung⁷. Gemäss Abbildung A1-2 stammten im Jahr 1999 87% der Mittel vom Bund (BFE, ETH-Rat, Schweizerischer Nationalfonds, weitere Bundesämter) und 13 % von Kantonen und Gemeinden. 37% der Mittel werden für das Forschungsgebiet ‚Erneuerbare Energien‘, 31% für ‚Rationelle Energienutzung‘ und 26% für ‚Kernenergie‘ eingesetzt. Die verbleibenden 7% entfallen auf den Bereich ‚Energiewirtschaftliche Grundlagen‘.

Die hier zu evaluierenden Bereiche ‚Feuerung und Verbrennung‘ sowie ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘ verfügten im Jahr 1999 über öffentliche Mittel von je 11.6 Mio Franken. Im Bereich ‚Feuerung und Verbrennung‘ stammten 15% der Mittel vom BFE und 77% vom ETH-Rat (Datenbasis 1997)⁸. Für den Bereich ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘ liegen die entsprechenden Werte bei 33% und 35%.

Abb. A1-2 Fördermittel der öffentlichen Hand für die Energieforschung (1999)

	Fördermittel in Millionen Franken					TOTAL
	BFE	ETH-Rat	andere	Subtotal Bund	Kantone und Gemeinden	
Rationelle Energienutzung	14.4	29.1	6.3	49.8	5.9	55.7
davon ‚Feuerung und Verbrennung‘	*	*	*	*	*	11.6
davon ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘	*	*	*	*	*	11.6
Erneuerbare Energien	17.3	27.1	4.8	49.2	16.8	65.9
Kernenergie	2.3	31.1	12.5	45.9	0.1	46.0
Energiewirtschaftliche Grundlagen	3.5	7.8	0.1	11.4	0.9	12.3
TOTAL	37.6	95.1	23.5	156.2	23.6	179.9

*fehlende Angaben

Quelle: BFE 2000, S. 6 und 12

⁷ Die statistischen Angaben stammen aus BFE 2000, S. 4 – 17.

⁸ CORE 1999, S.13

A2 Aufgaben der Evaluation

Bereichsspezifische Evaluationen

Nach einer Gesamtevaluation der öffentlichen Energieforschung im Jahr 1993⁹ wurden 1998/99 die Bereiche ‚Biomasse‘ und ‚Verkehr‘ der Energieforschung der öffentlichen Hand vertieft überprüft¹⁰. Die vorliegende Evaluation gilt nun den Bereichen

‚**Feuerung und Verbrennung**‘ sowie

‚**Rationelle Energienutzung in Gebäuden**‘.

Fragestellungen der Evaluation

Im Zentrum der Evaluation steht die Überprüfung der beiden folgenden Fragenkomplexe¹¹:

Evaluationsfrage I Wissenschaftlich-technische Qualität der Bereichsaktivitäten:
--

I.1 Deckt das Bereichsprogramm die wissenschaftlich und technologisch relevanten Themen ab?

I.2 Wie ist die wissenschaftliche Qualität der aktuellen Projekte zu beurteilen?
--

⁹ BFE 1993

¹⁰ KUSTER/WINTER 1999

¹¹ vgl. Pflichtenheft des BFE zur vorliegenden Evaluation

Evaluationsfrage II: Transfer des Wissens von der Forschung bis zur Umsetzung im Markt¹²

II.1 Deckt das Bereichsprogramm die für die spätere Umsetzung in die wirtschaftliche Praxis wichtigen Fragen ab?

II.2 Sind die Schritte Forschung und Entwicklung (F+E) / Pilot- und Demonstrationsanlagen (P+D) / Markteinführung und Marktsicherung aufeinander abgestimmt? Wird dem Transfer des Wissens von der Forschung zum Markt genügend Beachtung geschenkt? Konnte die Umsetzung des Wissens von der Forschung in die Praxis durch die neue „Bereichsorganisation“ im BFE verbessert werden?

II.3 Wie ist das Potenzial der aktuellen Projekte für eine spätere erfolgreiche Umsetzung der entwickelten Technologien im Markt zu beurteilen? Gibt es ein ausgewiesenes industrielles Interesse an diesen Projekten in der Schweiz?

II.4 Welche Impulse konnten die früheren F+E- und P+D-Projekte für die Umsetzung neuartiger technischer Problemlösungen im Markt geben?

Nicht näher zu untersuchen sind hier die speziellen Bereichsprojekte zur Markteinführung und Marktsicherung im Rahmen von Energie 2000 bzw. Energie Schweiz.

¹² Betrachtet werden nur die F+E- und P+D-Projekte.

A3 Evaluatorenteam

Experten

Die inhaltliche Verantwortung für die vorliegende Evaluation liegt in den Händen von drei Fachexperten:

- **Prof. em. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Franz Mayinger,**
Lehrstuhl für Thermodynamik, TU München, Deutschland

Fachliche Verantwortung für die Beurteilung der wissenschaftlich-technischen Aspekte des Bereichs ‚Feuerung und Verbrennung‘ und damit Federführung für Kapitel B3

- **Dr. Christoph Meier,**
Direktor CCSO, Fribourg, Schweiz

Fachliche Verantwortung für die Beurteilung der Transfer-Aspekte beider evaluierten Bereiche und damit Federführung für die Kapitel B4 und C4

- **Prof. Dr. Kai E. Sirén,**
Helsinki University of Technology, Finnland

Fachliche Verantwortung für die Beurteilung der wissenschaftlich-technischen Aspekte des Bereichs ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘ und damit Federführung für Kapitel C3

Stabsstelle der Experten

Als Spezialist für Evaluationen und Fragen der schweizerischen Energiepolitik übernimmt **Dr. Jürg Kuster (BHP – Hanser und Partner AG, Zürich)** verschiedene Stabsaufgaben für das Expertenteam.

A4 Methodisches Vorgehen

Durchführung verschiedener Teiluntersuchungen

Die Untersuchung der Evaluationsfragen I und II (vgl. Kapitel A2) erfordert eine Kombination verschiedener Teiluntersuchungen:

- **Beurteilung der Bereichsprogramme als Ganzes** mit Blick auf deren thematische Konzeption und deren Umsetzung (Evaluationsfragen I.1, II.1 und II.2) → Kapitel A4.1
- **Prüfung aktueller Projekte** bezüglich ihrer wissenschaftlich-technischen Qualitäten und bezüglich ihrer Potenziale zur späteren Umsetzung der neuen Technologien in die wirtschaftliche Praxis (Evaluationsfragen I.2 und II.3) → Kapitel A4.2
- **Prüfung früher abgeschlossener Projekte** bezüglich ihres Beitrages zur Erreichung der Ziele der öffentlichen Energieforschung (Evaluationsfrage II.4) → Kapitel A4.3

A4.1 Beurteilung der Bereichsprogramme als Ganzes

Die Beurteilung der Konzeption und Umsetzung der Bereichsprogramme basiert auf folgenden Grundlagen:

- Dokumentenanalysen (Bereichsprogramme¹³, Jahresberichte der Bereichs- bzw. Programmleiter etc.).
- Statistische Auswertungen zum Stand der Umsetzung der laufenden Bereichsprogramme
- Fachgespräche mit den Leitern der beiden untersuchten Bereiche

¹³ Für den Bereich ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘ musste zum Teil auf das Bereichsprogramm 1996-1999 (BFE 1997) abgestützt werden, da das Programm 2000-2003 (ZIMMERMANN 2001) erst nach Abschluss der empirischen Arbeiten der Experten im November 2001 von der CORE verabschiedet worden ist.

- Fachgespräche mit den Leitern der bereichsspezifischen Forschungsprogramme (Im Bereich ‚Feuerung und Verbrennung‘ ist der Bereichsleiter auch Leiter des Forschungsprogramms.)

A4.2 Untersuchung aktueller Projekte

Laufende Projekte

In der Zeitperiode vom 1.1.2000 bis zum 1.4.2001 wurden im Bereich ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘ 60 Projekte mit finanzieller Unterstützung des BFE bearbeitet, im Bereich ‚Feuerung und Verbrennung‘ waren es 17 Projekte.

In beiden Themenfeldern laufen weitere Projekte ohne Unterstützung durch das BFE aber mit finanzieller Unterstützung anderer öffentlicher Institutionen. Da eine aktuelle Übersicht über diese Projekte der öffentlichen Energieforschung fehlt¹⁴, konzentriert sich die vorliegende Evaluation auf die Untersuchung einer Stichprobe der Projekte, die vom BFE finanziell unterstützt werden. Aufgrund einer vorliegenden Statistik aus den Jahren 1998/99 dürfte die Evaluation damit rund 80% der Projekte der öffentlichen Energieforschung abdecken¹⁵ und damit fundierte Ergebnisse zur öffentlichen Energieforschung liefern.

Fallstudien

Aufgrund des für die Evaluation verfügbaren Zeitbudgets der Experten wurden aus dem Bereich ‚Feuerung und Verbrennung‘ 15 Projekte und aus dem Bereich ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘ 11 Projekte vertieft analysiert (vgl. Abb. A4-1 und A4-2). Bei der Auswahl der Stichprobe wurde darauf geachtet, dass

¹⁴ Im zweiten Halbjahr 2001 startete das BFE eine systematische Erhebung sämtlicher aktuellen Projekte der öffentlichen Energieforschung.

¹⁵ Im Bereich ‚Feuerung und Verbrennung‘ wurden in den Jahren 1998/99 39 Projekte von der öffentlichen Hand unterstützt. An 31 Projekte (79%) leistete (auch) das BFE einen Beitrag. Im Bereich ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘ wurden in den Jahren 1998/99 125 Projekte von der öffentlichen Hand unterstützt. An 101 Projekte (81%) leistete (auch) das BFE einen Beitrag. (BFE 2000, S.28 – 30 und S. 36f)

- ° F+E- sowie P+D-Projekte etwa im Verhältnis der eingesetzten Budgetmittel vertreten sind
- ° die verschiedenen bearbeiteten Themenfelder vertreten sind
- ° die verschiedenen Auftragnehmerkategorien (Hochschule, Private etc.) im Sample vertreten sind.

Abb. A4-1 Fallstudienprojekte im Bereich ‚Feuerung und Verbrennung‘

Auftragnehmer- kategorie	Thematischer Schwerpunkt			
	Numerische Simulation	Optische Messverfahren	Verbrennungs- führung	Schadstoff- reduktion
ETH-Zürich – Labora- torium für Thermo- dynamik in neuen Technologien (LTNT)	Projekt 55100 (F+E) Projekt 78151 (F+E)			Projekt 67371 (P+D) Projekt 78152 (F+E)
ETH-Zürich – Labora- torium für Verbren- nungsmotoren und Verbrennungs- technologie (LVV)	Projekt 74910 (F+E)		Projekt 79887 (F+E) Projekt 69801 (F+E) Projekt 67386 (P+D)	Projekt 73622 (P+D) Projekt 76664 (F+E)
PSI – Labor für Verbrennungsforschung (CRL)		Projekt 78154 (F+E)	Projekt 59048 (F+E) Projekt 76663 (F+E)	Projekt 79889 (F+E) Projekt 73621 (P+D)

Abb. A4-2 Fallstudienprojekte im Bereich ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘

Auftragnehmerkategorie	Thematischer Schwerpunkt						
	Hochisolationstechnik	Passive Solarenergienutzung, Sonnenschutz	Passivhäuser etc.	Abwärmennutzung, Energiespeicherung	Umweltaspekte des Bauens	Bestellerkompetenz	Bedarfsregelung
EMPA		Projekt 17166 (F+E)					Projekt 18787 (F+E)
ETH, Fachhochschulen				Projekt 27164 (F+E)	Projekt 17886 (F+E)		
Private	Projekt 33144 (P+D) Projekt 27864 (F+E)		Projekt 40935 (F+E) Projekt 28269 (P+D) Projekt 40189 (P+D)	Projekt 35389 (P+D)		Projekt 38174 (F+E)	

Kriterien zur Beurteilung der Bereichsprogramme und –projekte

Von der Entwicklung neuer Technologien bis zu deren breiter Diffusion im Markt ist auch in günstigen Fällen eine beträchtliche Zeit erforderlich. Die Evaluation des aktuellen Bereichsprogramms bzw. laufender Projekte kann die Auswirkungen der Projekte auf die rationelle Energienutzung deshalb meist noch nicht messen. Ähnliches gilt für die Beurteilung der wissenschaftlichen Qualität laufender Projekte. Für die Evaluation bedarf es deshalb geeigneter Indikatoren zur Bewertung laufender Projekte. Basis hierfür bilden die langjährigen Erfahrungen der Fachexperten sowie verschiedene wissenschaftliche Studien zu Fragen des Technologie-Transfers¹⁶.

¹⁶ vgl. z.B. 5. SCHWEIZERISCHE ENERGIEFORSCHUNGSKONFERENZ 1995; SPRENG/GOLDBLATT 1998; SIEBER/GABUS 1997; BAER 1997; OPPENLÄNDER/POPP 1995; BFE/BAU-, VERKEHRS- UND ENERGIEDIREKTION DES KANTONS BERN 1996

Die Heterogenität der untersuchten Projekte ist sehr gross. Das Spektrum reicht von der orientierten, noch marktfernen Forschung auf Hochschulniveau bis zum Bau von Häusern im Rahmen von P+D-Projekten. Dies bedingt, dass in manchen Fällen aus sachlichen Gründen nur auf einen Teil der Indikatoren abgestützt werden kann und/oder dass ergänzende projekt- oder bereichsspezifische Aspekte in die Bewertung einbezogen werden müssen.

- **Indikatoren zur Beurteilung der wissenschaftlich-technischen Qualität laufender Projekte:** Zur Beurteilung werden vier Teilaspekte betrachtet, die anhand der in Abbildung A4-3 aufgeführten Kriterien bewertet werden:

Abb. A4-3 Kriterienkatalog zur Beurteilung der wissenschaftlich-technischen Qualitäten laufender Projekte

Wissenschaftliche Qualität	
W1	Methodik
W2	Theorie
W3	Empirischer Ansatz
W4	Berücksichtigung des Standes der Forschung
W5	Qualität der eingesetzten Hardware (im Labor bzw. im P+D-Objekt)
W6	Qualität der eingesetzten Software (im Labor bzw. im P+D-Objekt)
W7	Qualität der Resultate (<i>Falls Projekt bereits fortgeschritten oder abgeschlossen</i>)
Technologische Qualität	
W8	Innovationsgehalt des Projektes
W9	Potenzial zur rationelleren Energienutzung bzw. zur Verringerung des Schadstoffausstosses
W10	Ökonomische Wettbewerbsfähigkeit der entwickelten Technologie
Qualitäten des Projektteams	
W11	Fachliche Qualifikationen
W12	Erfahrungsaustausch mit anderen Forscherteams im In- und Ausland
Qualitäten des Projektes	
W13	Zielerreichung bzw. Wahrscheinlichkeit der Zielerreichung
W14	Mitfinanzierung Projekt durch Privatwirtschaft

- **Indikatoren zur Beurteilung des Potenzials laufender Projekte für eine erfolgreiche Umsetzung in die Praxis:** Von erfolgreichem Technologie-Transfer kann dann gesprochen werden, wenn die im Rahmen von F+E- und P+D-Projekten gewonnenen Erkenntnisse in konkrete Produkte, Dienstleistungen oder Prozesse münden, die von der Wirtschaft genutzt werden. Transferprozesse können sehr komplex sein. So können neue technische Entwicklungen z.B. zu neuen Wärmedämmverfahren mit hohem Energiesparpotenzial führen. Kann die Marktakzeptanz jedoch nicht erreicht werden (z.B. wegen zu hoher Kosten oder mangelnder Anwendungsqualitäten), kommt der Technologietransfer nicht zustande. Ein Beitrag zur Erreichung der Ziele der Energieforschung (vgl. Kapitel A1) bleibt aus.

Wesentlich begünstigt wird der Technologietransfer, wenn die neu entwickelten Technologien die Erfüllung umwelt- und energiepolitischer staatlicher Rahmenbedingungen erleichtern.

Zur Beurteilung der Berücksichtigung derartiger Transfervoraussetzungen bei der Programm- und Projektgestaltung werden die Kriterien T1 bis T5 in Abbildung A4-4 verwendet.

Abb. A4-4 Kriterienkatalog zur Beurteilung der Chancen für einen erfolgreichen Technologie-Transfer aus laufenden Projekten

Berücksichtigung des Marktumfeldes sowie der umwelt- und energiepolitischen Rahmenbedingungen	
T1	Mitberücksichtigung wirtschaftlicher Fragestellungen im Projekt; Wirtschaftliche Vorteile im Vergleich zum Stand der Technik (<i>Falls Projekt bereits fortgeschritten oder abgeschlossen</i>)
T2	Interesse der Schweizer Wirtschaft am Projekt
T3	Mitfinanzierung Projekt durch Privatwirtschaft
T4	Ausrichtung Projekt auf voraussehbare energie- und umweltpolitische staatliche Vorgaben
T5	Mitberücksichtigung weiterer möglicher Nutzeffekte für zukünftige potenzielle Anwender (Fragen der Akzeptanz)
Indizien für erfolgversprechende Transferketten	
T6	Aufgreifen von Impulsen aus dem Markt (potenzielle Investoren bzw. Produzenten)
T7	Integration der Forschungsergebnisse in Tools, die einer breiten Zielgruppe zugänglich sind
T8	Verfügbarmachen der Projektergebnisse in Wissensmanagementsystemen
T9	Integration der Ergebnisse der Projekte in die Lehre bzw. in Weiterbildungsangebote
T10	Rekrutierung von Projektbearbeitern durch die Wirtschaft
T11	Umsetzung der Forschungsergebnisse in kommerziell vertriebene Dienstleistungen und Produkte (<i>Falls Projekt bereits fortgeschritten oder abgeschlossen</i>)

In der Praxis existieren typische Grundmuster des Wissenstransfers von F+E- bzw. P+D-Projekten in die praktische Umsetzung. Von einem direkten Transfer kann gesprochen werden, wenn

- die Ergebnisse direkt in die Produkte und Dienstleistungen von Unternehmungen einfließen (Beispiel: Rechenmodelle, die im Rahmen von F+E-Projekten entwickelt worden sind, werden in der Motorenentwicklung eines industriellen Herstellers genutzt)
- Fachleute aufgrund ihrer Mitarbeit an F+E-Projekten von Unternehmungen angestellt werden, damit ihr Know-how direkt genutzt werden kann

Transferketten mit Zwischenschritten sind notwendig, wenn die Ergebnisse

- zu Instrumenten und Tools von Technologieanbietern führen, welche von Produzenten bzw. Planern genutzt werden (z.B. Integration von Modellcodes zu Verbrennungsvorgängen in Standardtools wie KIVA-3 oder STAR-CD)
- zu Wissen führen, das via Sensibilisierungs- sowie Aus- und Weiterbildungsangebote (z.B. für Bauherren oder Architekten) den Weg in die Umsetzung finden muss.

In der Praxis führt oft erst eine Verzahnung von verschiedenen aufeinander abgestimmten Transfermassnahmen zum Erfolg. Die Evaluation trägt dieser Komplexität Rechnung, indem die Zielorientierung sowie die Konsistenz der gewählten Strategie zum Aufbau von Transferketten beurteilt wird. Die Kriterien T6 bis T11 in Abbildung A4-4 dienen dabei als Rahmen.

Empirische Grundlagen

Die Beurteilung der laufenden Projekte basiert auf folgenden Grundlagen:

- Dokumentenanalysen (Kurzporträts der evaluierten Projekte, Jahres- und ev. Schlussberichte der evaluierten Projekte, diverse projektspezifische Materialien)
- Intensivinterviews mit verantwortlichen Personen der Fallstudienprojekte sowie Labor- und Objektbesichtigungen
 - Bereich ‚Feuerung und Verbrennung‘: 4. – 6. Juli 2001
 - Bereich ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘: 27. – 30. August 2001
- Statistische Auswertungen zu Fallstudienprojekten
- Fachgespräche mit den Leitern der bereichsspezifischen Forschungsprogramme

A4.3 Kurzanalyse früher abgeschlossener Projekte

Der Transfer der Ergebnisse von F+E-Projekten in die wirtschaftliche Umsetzung erfordert auch in günstigen Fällen eine beträchtliche Zeit. Zur Beurteilung der

Impulse früher abgeschlossener Projekte auf die Umsetzung neuartiger Problemlösungen im Markt wurden deshalb sämtliche vom BFE unterstützten Projekte überprüft, welche in den Jahren 1995 oder 1996 abgeschlossen worden sind:

- Bereich ‚Feuerung und Verbrennung‘: 11 Projekte
- Bereich ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘: 29 Projekte

Gemäss den Vorgaben des BFE wurde für die früher abgeschlossenen Projekte eine wesentlich geringere Analysetiefe gewählt als für die laufenden Projekte (vgl. Kapitel A4.2): Zu jedem Projekt werden Indizien gesammelt, die eine grobe Beurteilung der Auswirkungen der durchgeführten Projekte erlauben. Grundlage bilden die Einschätzungen der Programmleiter aufgrund von Informationen zu einzelnen Projekten und Marktbeobachtungen. Da keinerlei Primärerhebungen zu einzelnen Projekten durchgeführt werden konnten, erreicht die Validität der Befunde zu den früher abgeschlossenen Projekten nicht dasselbe hohe Niveau wie die Beurteilung der laufenden Programme und Projekte.

Teil B

**Bereich
,Feuerung und
Verbrennung'**

B1 Kurzporträt des Bereichs ‚Feuerung und Verbrennung‘

Leitung

Leiter des Bereichs ‚Feuerung und Verbrennung‘ und des Forschungsprogramms ‚Feuerung und Verbrennung‘ ist Dr. Alphons Hintermann, Bundesamt für Energie.

Thematische Schwerpunkte

Das dem Bereich ‚Feuerung und Verbrennung‘ zugeordnete Technologiefeld umfasst die

- stationäre atmosphärische **Feuerung** (Heizungen, Abfallverbrennungsanlagen)
- die **Verbrennung** in Motoren und Gasturbinen

Das laufende Forschungsprogramm 2000 – 2003 des Bereichs ist auf vier Themenkreise fokussiert (vgl. Abb. B1-1). Ein grosser Teil der Projekte ist – soweit dies in der Forschungsphase überhaupt schon bestimmt ist – auf Dieselmotoren ausgerichtet. Die übrigen Projekte beziehen sich auf Ottomotoren, Gasturbinen oder Brenner für Heizungen.

Abb. B1-1 Thematische Schwerpunkte des Bereichsprogramms 2000 – 2003

Verbrennungsführung:	Das Erarbeiten von Grundlagen neuer Verbrennungstechnologien wie katalytischer Verbrennung, Vormischverbrennung in Gasturbinen, gestufte Verbrennung im Heizungsbereich und homogene Verbrennung in Dieselmotoren.
Numerische Simulation:	Detaillierte theoretische Aussagen über Verbrennungsvorgänge können durch numerische Simulation gewonnen werden. Einerseits durch Implementierung von Verbrennungsmodellen in kommerzielle Strömungs-Codes, andererseits durch die direkte numerische Simulation zur Berechnung des hochkomplexen Verhaltens physikalischer Grössen wie auch zur Berücksichtigung der noch komplexeren, schnelllebigen chemischen Vorgänge während der Verbrennung.
Schadstoffreduktion:	Die Grundlagenerarbeitung in der Schadstoffanalytik und den Schadstoffbildungsmechanismen wie Russpartikelbildung im Dieselmotor oder die Russentstehung bei hohem Druck.
Neue optische Messverfahren:	Erarbeiten, Verbessern und Bereitstellen von bestehenden und neuen optischen Messverfahren zur Bestimmung von Temperatur-, Geschwindigkeits- und Partikelkonzentrationsfeldern und anderer verbrennungsrelevanter Grössen wie Schadstoffbildungsmechanismen, Speziesdetektion und Radikaldeduktion in Flammen zwecks experimenteller Erfassung von Verbrennungsvorgängen.

Quelle: HINTERMANN 2000, S.3

Budget

In den Jahren 2000 bis 2003 sind für den Bereich ‚Feuerung und Verbrennung‘ jährliche Mittel des BFE von durchschnittlich 1.75 Mio Fr. vorgesehen. Je knapp ein Drittel des jährlichen Bereichsbudgets wird für die beiden Themenkreise Verbrennungsführung und Schadstoffreduktion eingesetzt. Der Rest entfällt auf die beiden Themenfelder Numerische Simulation von Verbrennungsvorgängen und Moderne optische Messverfahren (vgl. Abb. B1-2).

Seit 1994 sind im Bereich ‚Feuerung und Verbrennung‘ mit Unterstützung des BFE insgesamt 72 Projekte bearbeitet worden. Darunter sind 55 F+E-Projekte (76%) und 17 P+D-Projekte (24%). In der Periode 2000 bis 2003 sollen im Durchschnitt jährlich rund 1.19 Mio Fr. (68%) der BFE-Mittel für F+E-Projekte und 0.56 Mio Fr. (32%) für P+D-Projekte eingesetzt werden (vgl. Abb. B1-2).

Abb. B1-2 Budget des Bereichs ‚Feuerung und Verbrennung‘ 2000 – 2003

Themenkreise	Jahresbudget (Mittelwerte der Jahre 2000 – 2003)		
	F+E-Projekte	P+D-Projekte	TOTAL
Verbrennungsführung	0.25 Mio Fr.	0.30 Mio Fr.	0.55 Mio Fr.
Numerische Simulation von Verbrennungsvorgängen	0.30 Mio Fr.	-	0.30 Mio Fr.
Schadstoffreduktion	0.29 Mio Fr.	0.26 Mio Fr.	0.55 Mio Fr.
Moderne optische Messverfahren	0.35 Mio Fr.	-	0.35 Mio Fr.
TOTAL	1.19 Mio Fr.	0.56 Mio Fr.	1.75 Mio Fr.

Quelle: Darstellung BHP nach HINTERMANN 2000, S. 14

Bearbeitung der F+E- und P+D-Projekte

Als Auftragnehmer der vom BFE unterstützten Projekte des Bereichs ‚Feuerung und Verbrennung‘ wirken drei ETH-Institutionen (vgl. Abb. B1-3).

Abb. B1-3: Bearbeitung der Projekte des Bereichs ‚Feuerung und Verbrennung‘

Projekte im Themenfeld Verbrennung		Projekte im Themenfeld Feuerung
Laboratorium für Verbrennungsmotoren und Verbrennungstechnologien (LVV) an der ETH-Zürich	Labor für Verbrennungsforschung (CRL) am Paul Scherrer Institut (PSI)	Laboratorium für Thermodynamik in neuen Technologien (LTNT) an der ETH-Zürich

Stand der Umsetzung des Bereichsprogramms

Das Programm 2000 bis 2003 sieht die Durchführung von 15 neuen Projekten vor. Ende 2001 präsentiert sich der Stand der Umsetzung des Programms wie folgt:

- 6 Projekte sind in Bearbeitung.

- 7 Projekte sind in Vorbereitung.
- 2 Projekte werden nicht durchgeführt, da die verfügbaren Mittel nicht ausreichen bzw. das Interesse der Industrie an einem P+D-Projekt vom Programmleiter als zu gering erachtet wird, um die Durchführung des Projektes zu rechtfertigen.

Alle laufenden Projekte sind klar verortet im Vierjahresprogramm des Bereichs.

Bedeutung der neuen „Bereichsorganisation“ des BFE für die Transferaktivitäten des Bereichs¹⁷

Die Einführung der sog. „Bereichsorganisation“ im BFE hatte auf den Bereich ‚Feuerung und Verbrennung‘ kaum Auswirkungen, da breit angelegte Aktivitäten zur Stimulierung der Nachfrage nach den neu entwickelten Technologien im bearbeiteten Themenfeld nicht von Bedeutung sind. Wieweit dem Ziel des Technologietransfers im Rahmen der F+E- sowie P+D-Projekte Rechnung getragen wird, wird in Kapitel B4 detailliert untersucht.

¹⁷ vgl. Evaluationsfrage II.2 sowie Kap. A1

B2 Übersicht über die Fallstudienprojekte

Thematische Schwerpunkte der Fallstudienprojekte

Abbildung B2-1 gibt einen Überblick über die 15 vertieft untersuchten Projekte des Bereichs ‚Feuerung und Verbrennung‘. Die eigentliche Analyse und Beurteilung der Projekte erfolgt in den Kapiteln B3 und B4.

Abb. B2-1 Eckpunkte der 15 vertieft untersuchten Projekte

Num- mer	Offizielle Projekt- nummer	Themenfeld	Thema	Projekt- typ	Auftrag- nehmer
1	55100	Numerische Simulation	NOx-Modellierung in nicht vorge- mischten Systemen mittels PDF- Transportgleichungen	F+E	ETHZ- LTNT
2	59048	Verbren- nungs- führung	Experimentelle und numerische Unter- suchung der Kopplung von heterogener und homogener Tieftemperatur- verbrennung bei hohen Drücken und turbulenten Strömungsbedingungen	F+E	PSI-CRL
3	67371	Schad- stoffre- duktion	NOx-Reduktion beim Ygnis Varino- Brenner	P+D	ETHZ- LTNT
4	67386	Verbren- nungs- führung	Erarbeitung eines thermodynamisch basierten Modellierungsverfahrens für den Otto-DI Verbrennungsprozess	P+D	ETHZ- LVV
5	69801	Verbren- nungs- führung	Demonstration eines besonders umweltfreundlichen Gasmotors für den stationären Einsatz (Swiss Motor)	F+E	ETHZ- LVV
6	73621	Schad- stoffre- duktion	NOx-Verminderung bei mobilen Dieselmotoren mittels Harnstoff-SCR	P+D	PSI-CRL
7	73622	Schad- stoffre- duktion	Common-Rail Brennverfahren für EURO-III und EURO-IV taugliche Nutzfahrzeugdieselmotoren	P+D	ETHZ- LVV
8	74910	Numerische Simulation	Turbulente, chemisch reaktive Strömung in Motorenkammern	F+E	ETHZ- LVV
9	76663	Verbren- nungs- führung	Struktur turbulenter Vormischflammen unter Hochdruck	F+E	PSI-CRL
10	76664	Schad- stoffre- duktion	Modellierung und Validierung von reaktiven, instationären 2-Phasen- strömungen	F+E	ETHZ- LVV
11	78151	Numerische Simulation	Struktur turbulenter Diffusionsflammen	F+E	ETHZ- LTNT
12	78152	Schad- stoffre- duktion	Schadstoffreduktion durch Teil- Vormischung	F+E	ETHZ- LTNT
13	78154	Optische Messver- fahren	Laserspektroskopische Methoden zur Analyse von Flammen und Brennstoff- Sprays	F+E	PSI-CRL
14	79887	Verbren- nungs-	Erarbeitung von Grundlagen für inno- vative Brennverfahren und motorische	F+E	ETHZ-

		führung	Arbeitsprozesse		LVV
15	79889	Schadstoffreduktion	Verbrennungsreaktionen in Gegenwart sauerstoffhaltiger Brennstoffe	F+E	PSI-CRL

Quelle: Darstellung BHP nach Angaben der Programmleitung ‚Feuerung und Verbrennung‘

Kooperation mit der Privatwirtschaft

In 7 der 15 näher untersuchten Projekte besteht eine Zusammenarbeit mit der Industrie (vgl. Abb. B2-2). Das Budget dieser 7 Projekte beträgt insgesamt 7.3 Mio Fr.. 37% der Mittel werden von der Industrie – zum Teil in Form von Eigenleistungen - getragen.

Abb. B2-2 Beteiligung der Privatwirtschaft an den Gesamtkosten der untersuchten Projekte

Nummer	Offizielle Projekt-nummer	Auftrag-nehmer	Kooperation mit Schweizer Privat-wirtschaft	Projektbudget in Tausend Fr.	
				Total	Davon aus Privatwirtschaft
1	55100	ETHZ- LTNT	Nein	408	0%
2	59048	PSI-CRL	Ja	1055	0%
3	67371	ETHZ- LTNT	Ja	623	56%
4	67386	ETHZ- LVV	Ja (Kooperationspartner aus Deutschland)	1300	54%
5	69801	ETHZ- LVV	Ja (Kooperationspartner z.T. aus Deutschland)	553	23%
6	73621	PSI-CRL	Ja	1632	43%
7	73622	ETHZ- LVV	Ja	1074	50%
8	74910	ETHZ- LVV	Geplant	1502	0%
9	76663	PSI-CRL	Nein	1165	0%
10	76664	ETHZ- LVV	Nein	1428	0%
11	78151	ETHZ- LTNT	Nein	805	0%
12	78152	ETHZ- LTNT	Nein	654	0%
13	78154	PSI-CRL	Nein	702	0%
14	79887	ETHZ- LVV	Ja	1103	31%
15	79889	PSI-CRL	Nein	1441	0%

Quelle: Darstellung BHP nach Angaben der Programmleitung ‚Feuerung und Verbrennung‘

B3 Wissenschaftlich-technische Qualität der Bereichsaktivitäten

Ausgangspunkt der Beurteilung der Bereichsaktivitäten aus wissenschaftlich-technischer Sicht bildet ein Überblick über die aktuellen Herausforderungen im Bereich ‚Feuerung und Verbrennung‘ (Kapitel B3.1). Die nachfolgende Bewertung der Bereichsaktivitäten umfasst

- die Betrachtung des Bereichsprogramms, d.h. der thematischen Ausrichtung des Bereichs als Ganzes (vgl. Evaluationsfrage I.1) → Kapitel B3.2
- die Überprüfung der wissenschaftlich-technischen Qualitäten einzelner Projekte (vgl. Evaluationsfrage I.2) → Kapitel B3.3.

In Kapitel B3.4 werden die Befunde zusammengefasst und Empfehlungen für anzustrebende Optimierungen aus wissenschaftlich-technischer Optik formuliert.

B3.1 Aktuelle Herausforderungen für die Forschung im Bereich ‚Feuerung und Verbrennung‘

Die Gewinnung mechanischer und elektrischer Energie erfolgt heute noch überwiegend aus fossilen Brennstoffen über den Weg der Verbrennung. Wegen des Kohlenstoffgehalts in den fossilen Brennstoffen ist die Entstehung des "Treibhausgases" CO₂ unvermeidlich. Die Menge der CO₂-Emission kann jedoch durch Anstreben eines möglichst hohen Wirkungsgrades der Anlage, die der Erzeugung dieser Energieformen dient, minimiert werden. Dabei verspricht die Verbesserung der Verbrennungsführung die höchste Steigerung an nutzbarer Exergie¹⁸. Die Verbrennungsführung spielt aber auch eine zentrale Rolle bei der schadstoffarmen Verbrennung, wobei unter der Rubrik der Schadstoffe vor allem Stickoxide (NO_x) und Russpartikel zu sehen sind. Schadstoffminimierung und Effizienzsteigerung müssen demnach bei der Verbrennungsführung beginnen, das heisst der Verbrennungsprozess ist so zu gestalten, dass

- einerseits Wärme hohen exergetischen Nutzungsgrades, d.h. hohe Temperaturen und

¹⁸ = Ausbeute an technischer Arbeit aus den fossilen Energieträgern

- andererseits möglichst wenig Schadstoffe, d.h. im Hinblick auf Stickoxide niedrige Temperaturen entstehen.

Angesichts der weltweiten Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der Verbrennungsführung bedarf es sorgfältiger Planung, um "Wissenslücken" nicht nur zu orten, sondern sie auch sinnvoll zu füllen. Dies erfordert nicht nur eine gute Kenntnis der Fachliteratur aus dem In- und Ausland, sondern man muss auch systematisch Analysen durchführen, um die Wirksamkeit angedachter Massnahmen möglichst rasch abschätzen zu können. Eine hervorragende Möglichkeit "Strategischer Planung" in der Verbrennungsforschung bietet die numerische Simulation der Verbrennungs- und Strömungsvorgänge. Numerische Simulation ist ein ausgezeichnetes und äusserst effizientes Werkzeug zur raschen Beurteilung optimierender Massnahmen.

Obwohl die numerische Simulation als Werkzeug für die "Strategische Planung" der Verbrennungsoptimierung hervorragende Dienste leisten kann, ist sie heute noch nicht in der Lage, absolute Aussagen mit der nötigen Präzision über Verbrennungsvorgänge zu machen. Hierfür bedarf es nach wie vor des Experiments. Experiment und Theorie gehen heute bei der Verbrennungsforschung Hand in Hand, denn die Theorie ist noch nicht in der Lage, für technische Systeme die komplexen interaktiven Phänomene der Fluidodynamik und der chemischen Reaktionen bei der Verbrennung hinreichend vorherzusagen.

Experimente ohne zuverlässige, hochsensible und detailgenaue Messmethoden wären aber wertlos. Deshalb kommt der Entwicklung und Bereitstellung neuer insbesondere nicht invasiver, d.h. optischer Messmethoden hohe Bedeutung zu.

Obwohl die Verbrennungsforschung in den vergangenen Jahrzehnten weltweit enorme Fortschritte gemacht hat, was sowohl für die effiziente Nutzung der Brennstoffe als auch für die Minimierung der in den Abgasen enthaltenen Schadstoffe gilt, ist der erreichte Stand der Technik noch nicht voll befriedigend. Hinzu kommt, dass zur Erfüllung der zukünftig zu erwartenden behördlichen Abgasnormen noch gewaltige Anstrengungen im technischen Bereich erforderlich sind. Je weiter eine Entwicklung aber fortgeschritten ist, desto schwieriger und aufwendiger ist die Erarbeitung von Erkenntnissen und Massnahmen für weitere Verbesserungen. Dabei stehen, wie erwähnt, Stickoxide und Russ heute im Mittelpunkt des öffentlichen Interesses. Bei Russ sind es vor allem die kleinen Partikel, die in die Bronchien der Lunge gelangen können. Hohe Verbrennungstemperaturen minimieren zwar die Russemission,

erhöhen aber die Stickoxidbildung. Die Verbrennungsforschung sah sich deshalb lange Zeit mit dieser "Temperatur-Schere" konfrontiert. Hier versprechen neue Massnahmen der Brennstoffaufbereitung und der Gemischbildung in den Brennräumen (Zylinder des Kolbenmotors oder Brennkammer der Gasturbine) Verbesserungen.

B3.2 Beurteilung des Bereichsprogramms ‚Feuerung und Verbrennung‘ aus wissenschaftlich-technischer Optik

Vor dem Hintergrund der oben skizzierten Herausforderungen für die Forschung im Themenfeld Feuerung und Verbrennung gilt es in den folgenden Abschnitten, die Konzeption des laufenden Forschungs- und Umsetzungsprogramm 2000 – 2003 aus wissenschaftlich-technischer Optik zu beurteilen (vgl. Evaluationsfrage I.1).

Fokussierung des Programms

- Verbrennungsforschung ist ein äusserst umfangreiches Gebiet und jedes Forschungsteam tut gut daran, sich angesichts seiner finanziellen und personellen Kapazitäten sowie seines Know-hows auf ganz bestimmte, klar umrissene Themen bzw. Themenbereiche zu konzentrieren. Die durch den Bereich ‚Feuerung und Verbrennung‘ finanziell geförderte Forschung an der ETH-Zürich und am Paul-Scherrer-Institut widmet sich schwerpunktmässig der Verbrennung in Kolbenmotoren - insbesondere Dieselmotoren - und in Gasturbinen. Man kann nun fragen, ob diese Thematisierung auch unter dem Aspekt der "Nachhaltigkeit" Bestand hat.

Selbstverständlich verursachen auch andere Energiesysteme (z.B. Anlagen zur Wärmebereitstellung oder zur Stromproduktion) CO₂-, Stickoxid- und Russmissionen. Die begrenzten Mittel und die verfügbaren Personalkapazitäten der genannten Forschungsinstitute reichen nicht aus, um auch diese zusätzlichen Technologiefelder kompetent zu bearbeiten. Zur Vermeidung einer Verzettelung haben sich die Forschungsinstitute im Sinne von Leitsatz 1 der CORE¹⁹ deshalb auf die Verbrennungsforschung in

¹⁹ vgl. Kapitel A1

Motoren und in Gasturbinen konzentriert. Diese Fokussierung macht mit Blick auf die Zielsetzungen der Energieforschung (vgl. Kapitel A1) Sinn, denn der Verkehr verbraucht einen erheblichen Anteil an fossilen Energieressourcen. Verbrennungsmotoren sind heute und auch noch für lange Zeit die Antriebsaggregate für die Fahrzeuge im Güter- wie auch im Personenverkehr.

Der Begriff Nachhaltigkeit ist nicht nur auf die sparsame Nutzung der Ressourcen und minimale Schadstoffemission einzuengen, sondern es sind darunter auch soziale und wirtschaftliche Aspekte wie zum Beispiel die Verfügbarkeit preiswerter Energiequellen, die einen Wettbewerbsvorteil bedeuten und der Erhalt des Wohlstandes zu sehen, wobei für den letztgenannten Mobilität eine wesentliche Komponente darstellt.

- Bei den Verbrennungsmotoren wird zwischen Ottomotoren und Dieselmotoren unterschieden. Nutzfahrzeuge werden schon seit langem fast ausschliesslich von Dieselmotoren angetrieben. Bei den Personenwagen überwog bisher der Ottomotor. In den vergangenen 1 bis 2 Jahren ist hier eine Veränderung zu beobachten. So sind zum Beispiel in der Bundesrepublik Deutschland die Zulassungszahlen für Personenwagen mit Dieselmotoren in den letzten Jahren erheblich gestiegen. In der ersten Hälfte des Jahres 2001 wurden von allen in Deutschland hergestellten Personenkraftwagen 36% mit Dieselmotoren ausgestattet²⁰. Dafür gibt es zwei Gründe:
 1. Dieselmotoren sind dank moderner Verfahren zur Aufbereitung des Brennstoffgemisches - Common-Rail-Einspritzung - wesentlich agiler geworden und erreichen heute Leistungswerte der Ottomotoren, ja übertreffen diese sogar beim Drehmoment.
 2. Dieselmotoren verbrauchen 20 bis 30% weniger Brennstoff pro Kilometer als Ottomotoren, was sich sehr positiv auf die Betriebskosten auswirkt.

Der geringere Brennstoffverbrauch der Dieselmotoren führt im Vergleich zu Ottomotoren zu einem geringeren CO₂-Ausstoss. Allerdings verursachen die heute eingesetzten Dieselmotoren noch höhere Schadstoffemissionen

²⁰ Bei VW waren es im Mittel 50%. Die 7er Reihe von BMW - also ein Wagentyp der Luxusklasse - brachte es sogar auf 55%.

(insbesondere Russ) pro gefahrenem Kilometer als Ottomotoren. Der Bereich ‚Feuerung und Verbrennung‘ hat deshalb einen Schwerpunkt seiner Forschungsaktivitäten auf die Verbrennungsführung in Dieselmotoren und dort vor allem auch auf die Gemischbildung und -aufbereitung durch Common-Rail-Einspritzung gelegt. Diese Fokussierung erscheint mit Blick auf die Ziele der öffentlichen Energieforschung sachgerecht.

- Um Wege zur Schadstoffreduktion und zur Verbesserung des Wirkungsgrades, d.h. zur CO₂-Reduktion zu finden, ist die im Programm ‚Feuerung und Verbrennung‘ verfolgte Kombination von numerischer Simulation und Experimenten, deren Ergebnisse mittels modernen (optischen) Messverfahren erfasst werden, als erfolgversprechend und effizient einzustufen.
- Grundlagenforschung muss naturgemäss langfristig angelegt sein und so ist die Perspektive für die Ergebnisnutzung bei einem Teil der Projekte, insbesondere in den Bereichen Verbrennungsführung und numerische Simulation über 5 bis 10 Jahre zu sehen. Andere Projekte hingegen, die überwiegend Anwendungsbezug haben, zum Beispiel zur Schadstoffreduktion, versprechen relativ kurzfristig eine Umsetzung der erarbeiteten Erkenntnisse in die Praxis.
- Zusammenfassend ist zu sagen, dass sich die vom Bereich ‚Feuerung und Verbrennung‘ geförderte Verbrennungsforschung an den aktuellen wissenschaftlichen Herausforderungen hinsichtlich besserer Effizienz der Brennstoffnutzung (=Ziele 1 und 3 der öffentlichen Energieforschung) und der Minimierung der Schadstoffemissionen (= Ziel 2 der öffentlichen Energieforschung) orientiert. Vor dem Hintergrund der beschränkten finanziellen und personellen Ressourcen erfolgt eine zweckmässige Fokussierung auf Themenbereiche mit einem vielversprechenden Optimierungspotenzial. Ziel der Arbeiten ist dabei sowohl die Steigerung technischer und wirtschaftlicher Effizienz als auch die Minimierung der Umweltbelastungen. Diese Zielorientierung ist im Gesamtkonzept der Verbrennungsforschung an der ETH-ZÜRICH und am PSI durch vielseitige Synergie-Effekte in hohem Masse gegeben.

Verbrennungsforschung in der Schweiz

- Man kann sich die Frage stellen, ob es sinnvoll und angebracht ist, gerade in der Schweiz Forschung im Bereich Feuerung und Verbrennung zu betreiben, obwohl hier nur in beschränkter Masse Firmen angesiedelt sind, die Brenner, Feuerungen, Gasturbinen oder Verbrennungsmotoren herstellen.

Die Schweiz weist einen relativ grossen Prokopf-Energieverbrauch und eine grosse Fahrzeugdichte auf. Rationelle Energienutzung ist deshalb für die Schweiz ein wesentlicher Schlüssel für den Erhalt des Lebensstandards ihrer Bevölkerung, da der grösste Teil der Energie heute und ganz sicher auch in den nächsten Jahrzehnten aus fossilen Brennstoffen über deren Verbrennung gewonnen wird.

Grundlagenforschung und die Verwertung deren Ergebnisse waren schon immer global zu sehen und die heutige Globalisierung der Wirtschaft hat diesen Trend nur verstärkt. In der Schweiz gewonnene Erkenntnisse über eine effizientere und schadstoffärmere Energieumwandlung werden sich auch auf Produkte auswirken, die ausserhalb der Schweiz gefertigt werden, schon allein deshalb, weil der Schweizer Markt für Importprodukte hohe Anforderungen an die Qualität setzt, wozu heute selbstverständlich ein hoher Grad an Nachhaltigkeit bei der Nutzung fossiler Energieressourcen gehört. Mit ihrer Energieforschung kann die Schweiz deshalb Massstäbe auch für ausserhalb ihres Hoheitsgebietes gefertigte Produkte setzen, dadurch dass sie zeigt, welche Standards erreichbar sind. Gleichzeitig kann durch diese Forschung ein Wettbewerbsvorteil für Produzenten in der Schweiz geschaffen werden.

- Das BFE hat seine Fördermittel gezielt auf die Erforschung motorischer Verbrennung, und dort vorzugsweise auf den Verkehr, konzentriert. Dies entspricht dem Nachhaltigkeitsgedanken im weiteren Sinne, d.h. nicht nur ökologischen Zielen (Minimierung von Schadstoffemissionen einschliesslich Kohlendioxid) sondern auch dem Erhalt der Mobilität der Bevölkerung. Weitere Projekte widmen sich der stationären Verbrennung, wie sie in Gasturbinen aber auch in Haushaltsbrennern praktiziert wird. Haushaltsbrenner finden auch in der Schweiz einen grossen Markt. Ihre Optimierung bietet deshalb ein hohes Potential für die Verbesserung nachhaltiger Energienutzung.

- Für die Konzentration der schweizerischen Energieforschung auf die genannten Gebiete spricht auch die hervorragende technisch-wissenschaftliche Kompetenz, die an der ETH-Zürich und am Paul-Scherrer-Institut angesiedelt ist, wovon sich das Evaluatorenteam bei seinen Besuchen überzeugen konnte.²¹ Dank ihres international hohen Ansehens sind diese Arbeitsgruppen in der Lage, in ihren weltweiten Kooperationen wissenschaftliche Massstäbe zu setzen und dabei gleichzeitig ihre Produktivität erheblich zu steigern. Angesiedelt an der ETH-Zürich bzw. mit sehr engen Beziehungen dahin sind diese Forschergruppen auch ein Hort für die Aus- und Weiterbildung von wissenschaftlichem und technischem Personal²².

Forschungsnetzwerk im In- und Ausland

- Im Hinblick auf die Anwendung ihrer Forschungs- und Entwicklungsergebnisse kooperieren die Forschergruppen nicht nur mit Schweizer Wirtschaftsunternehmen, sondern – im Sinne von Leitsatz 3 der CORE - auch mit Firmen im benachbarten Ausland (vgl. Abb. B2-2 und Kapitel B4). Die ETH-Zürich und das PSI gehören ohne Zweifel zur "Champions League" der in der internationalen Verbrennungsforschung tätigen Institute. Die Arbeiten an der ETH-Zürich und am PSI garantieren eine wechselseitige Befruchtung zwischen Wissenschaft und Wirtschaft und bewirken einen Ideenfluss in beide Richtungen. Da die Schweiz nur wenige Produktionsstätten für Verbrennungsmotoren und auch für Gasturbinen besitzt, haben die genannten schweizerischen Forschungsinstitute gezielt Kooperationen mit ausländischen Partnern - vor allem der Bundesrepublik Deutschland, den USA und Frankreich - gesucht und wurden dort als hochkompetente, ideenreiche Partner in die "Internationale Community" aufgenommen. Teilweise gelang es sogar, Geld aus dem Ausland (z.B. aus Deutschland von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF)) zu erhalten. Arbeitsgruppen der ETH-Zürich und des PSI kooperieren auch sehr erfolgreich im Rahmen von EU-Programmen. Die vom BFE geförderte Verbrennungsforschung hat nicht nur einen sehr hohen Stellenwert innerhalb der internationalen Aktivitäten,

21 Vgl. Leitsatz 1 der CORE in Kapitel A1

22 vgl. Leitsatz 5 der CORE in Kapitel A1

sondern sie setzt europaweit oder gar weltweit Massstäbe für das Niveau und die Zielsetzung der Verbrennungsforschung.

- Das BFE-Programm ‚Feuerung und Verbrennung‘ hat über die Förderung nachhaltiger Energiesysteme hinaus das grosse Verdienst zur wissenschaftlichen Kooperation zwischen der ETH-Zürich und dem Paul-Scherrer-Institut beizutragen, was forschungspolitisch äusserst wichtig ist. Es fördert aber auch innerhalb dieser Institutionen die Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Laboratorien, Instituten und Arbeitsgruppen. Dies bewirkt einen erheblichen Multiplikationseffekt für die Gewinnung neuer Erkenntnisse.

Aus- und Weiterbildung²³

- Die Leiter der vom BFE unterstützten Projekte sind fast ausnahmslos in die Lehre an der ETH-Zürich eingebunden. Die erarbeiteten Erkenntnisse dienen somit auch der Ausbildung der Studenten. Mindestens ebenso wichtig ist ein weiterer symbiotischer Effekt, nämlich der der Gewinnung von zukünftigen Mitarbeitern für die Verbrennungsforschung aus dem Kreis der ETH-Studenten. Dies garantiert nicht nur den Know-how-Erhalt, sondern es sichert auch die Erneuerung der Forschungsteams und damit das Einbringen neuer Ideen. Das BFE-Programm ‚Feuerung und Verbrennung‘ unterstützt nicht nur den Erhalt hochpotenter Forschergruppen, sondern auch die Aus- und Weiterbildung des wissenschaftlichen und technischen Nachwuchses.

Programmleiter als Facilitator

- Bei seiner Förderung der Forschung im Bereich Feuerung und Verbrennung hat sich der Programmleiter erfreulicherweise nicht auf die Rolle des Administrators beschränkt, sondern er hat in Wechselwirkung mit den Forschern und Forschergruppen hoch interessante und umwelttechnisch äusserst relevante Themen initiiert und aufgegriffen. Neben der Gewinnung sehr wertvoller Erkenntnisse und Ergebnisse führte dies auch zum Aufbau potenter Forschergruppen und zu einer hervorragenden Forschungstradition

²³ vgl. Leitsatz 5 der CORE in Kapitel A1

auf dem Gebiet der Verbrennung. So hat das BFE einen wesentlichen Anteil an der hohen internationalen Anerkennung, welche die in der Verbrennungsforschung zusammenarbeitenden Forschergruppen geniessen.

- Der Berichterstatter gewann den Eindruck, dass die Programmgestaltung in aktiver Kooperation und im fruchtbaren Ideenaustausch zwischen dem BFE und den Forschergruppen bzw. deren Leiter geschehen. In Diskussionen beim BFE mit dem für die Verbrennungsforschung Verantwortlichen überzeugte den Berichterstatter dessen hervorragende Sachkenntnis, die weitsichtige Planungsstrategie aber auch der Mut, Projekte zu unterstützen, die von anderen möglichen Förderern bereits aufgegeben worden waren, und diese doch noch zum Erfolg zu führen. Ein besonders hervorzuhebendes Beispiel ist die Entwicklung des sogenannten "Swiss-Motors", eines Gasmotors für den stationären Einsatz (Projekt 69801), der zunächst in Zusammenarbeit mit dem Forschungsfonds der Schweizerischen Gaswirtschaft entwickelt wurde. Die letzte und für den Erfolg entscheidende Phase der Entwicklungsarbeiten konnte nur dank der finanziellen Unterstützung durch das BFE zu Ende geführt und die Erkenntnisse in einen realen Motor der 200 kWel Leistungsklasse umgesetzt werden. Damit gelang es dank der Weitsicht des BFE, eine Maschine zu entwickeln, die bei hohem Wirkungsgrad konkurrenzlos geringe Schadstoffemissionen aufweist, was z.B. beim Einsatz in Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung von hoher Bedeutung ist.

B3.3 Wissenschaftlich-technische Qualitäten der evaluierten Einzelprojekte

Die Evaluation des Bereichs ‚Feuerung und Verbrennung‘ aus wissenschaftlich-technischer Optik basiert nicht allein auf der Beurteilung der ‚Makroebene‘ des Forschungsprogramms (vgl. Kapitel B3.2), sondern auch auf Untersuchungen auf der ‚Mikroebene‘ einzelner Projekte. Wie in Kapitel A4.2 ausgeführt wurde, wurden insgesamt 15 Fallstudien durchgeführt, die bezüglich

- bearbeiteter Thematik
- eingesetzter Methode
- involvierten Instituten
- F+E- bzw. P+D-Projekten

einen repräsentativen Querschnitt durch die Aktivitäten des Bereichs gewährleisten.

In Kapitel B3.31 werden die evaluierten Projekte kurz beschrieben und hinsichtlich ihrer wissenschaftlichen Relevanz²⁴ beurteilt. Kapitel B3.32 beinhaltet eine vergleichende Bewertung aller 15 evaluierten Projekte (vgl. Evaluationsfrage I.2).

B3.31 Wissenschaftlich-technische Qualität der Fallstudienprojekte

Eine erste Übersicht mit wichtigen Basisinformationen zu den 15 vertieft untersuchten Projekten findet sich in Kapitel B2. Aufgabe der folgenden Abschnitte ist, eine kurze Charakterisierung der 15 Projekte zu geben und eine qualitative Beurteilung aus wissenschaftlich-technischer Sicht vorzunehmen.

Projekte im Themenfeld ‚Verbrennungsführung‘

Die evaluierten Projekte zur Verbrennungsführung gliedern sich in Arbeiten zur Verbesserung der Verbrennung in Gasturbinen-Brennkammern und in Aktivitäten zur Verbrennungsoptimierung und Verbrennungsanalyse in Dieselmotoren sowie in Ottomotoren. Sie sind grossenteils sowohl experimentell als auch theoretisch angelegt, d.h. die experimentell gefundenen Erkenntnisse werden sorgfältig theoretisch analysiert und soweit möglich auch numerisch formuliert.

Untersuchungen für Gasturbinen-Brennkammern

- **Projekt 76663: Struktur turbulenter Vormischflammen unter Hochdruck.** Bei der Verbrennung stehen einerseits die Turbulenz der Strömung und damit der Wärme- und Stofftransport und andererseits die chemische Reaktion in enger Interaktion. Erkenntnisse über diese Wechselwirkungen wurden in der Literatur bisher überwiegend nur an einfachen Flammen gewonnen. Experimente an technischen Komponenten mit der Realität nahekommenden Betriebsbedingungen, die insbesondere auch sehr gute messtechnische Informationen beinhalten, sind in der Literatur bisher nicht zu finden. Die Experimente des Projektes "Struktur

²⁴ Basis bildet der Kriterienkatalog in Abbildung A4-3.

turbulenter Vormischflammen unter Hochdruck", die in einem neu erstellten Hochdruck-Verbrennungsprüfstand mit modernen Messmethoden wie Laser-Doppler-Anemometrie, Particle-Image-Velocimetry und Laser-induzierter Fluoreszenz durchgeführt werden, versprechen interessante Erkenntnisse über die Zusammenhänge zwischen charakteristischen Turbulenzgrößen, der Flammenfrontstruktur und der Schadstoffbildung. Hieraus sind auch wichtige Anstösse für zukünftige Arbeiten zur numerischen Simulation zu erwarten. Die in diesem Projekt erarbeiteten experimentellen Daten liefern wertvolle Hinweise für weitere Verbesserungen der Verbrennungsführung in stationären Gasturbinen. Im gleichen Zuge unterstützen diese Arbeiten auch die Weiterentwicklung zukünftiger Verbrennungsmodelle und damit die numerischen Aktivitäten von Forschergruppen in der Schweiz aber auch im benachbarten Ausland.

- **Projekt 59048: Experimentelle und numerische Untersuchung der Kopplung von heterogener und homogener Tieftemperaturverbrennung bei hohen Drücken und turbulenten Strömungsbedingungen.** Obwohl in der Chemie für exotherme Reaktionen häufig angewandt, kommen Katalysatoren für Gasturbinen bis heute nicht zur Anwendung. Dies liegt einerseits daran, dass die katalytische Technologie für diesen Einsatz noch wenig erforscht ist und andererseits, dass es noch keine Katalysatoren mit entsprechend verbesserter Aktivität und thermischer Stabilität gibt. Das Projekt 59048 widmet sich der katalytisch stabilisierten Verbrennung in turbulenten Kanalströmungen im Hinblick auf eine spätere Anwendung in Gasturbinen. Die Entwicklungsarbeiten laufen in enger Kooperation mit Alstom AG mit dem Ziel, Auslegungsdaten für solche Systeme zum Einsatz in Gasturbinen im grossen Massstab zu erarbeiten. Die Arbeiten im Projekt widmen sich primär grundlegenden Fragen der Reaktionsmechanismen und insbesondere der Entwicklung von analytischen Kriterien für den Zündpunkt in der Gasphase. Der Industriepartner führt unabhängig von einer Finanzierung durch das BFE unmittelbar anwendungsbezogene Untersuchungen durch. Das Projekt zeigt einen durchaus zukunftsweisenden Weg für die Verbrennungsführung mit dem Ziel möglichst schadstofffreier Abgase auf. Es verspricht aber auch wertvolle Erkenntnisse für die Grundlagenforschung über hetero/homogene Reaktionsmechanismen in Anwesenheit eines Katalysators.

Untersuchungen für Verbrennungsmotoren

Die Verbrennungsführung in Otto- und Dieselmotoren ist weltweit Gegenstand der Forschung an vielen Instituten. Die Literatur auf diesem Gebiet ist sehr umfangreich und die Zahl der jährlich veröffentlichten Arbeiten ist immer noch im steigen. Die Schweiz hat kaum Produktionsstätten für Verbrennungsmotoren. Das zwingt schweizerische Forschungsinstitute zu einer ganz bewusst fokussierten Planung ihrer Aktivitäten und/oder zu einer engen Zusammenarbeit mit ausländischen Instituten. Beides war bei der Evaluierung der Projekte, die sich mit Verbrennungsführung in Motoren befassen, erfreulicherweise festzustellen. Die Arbeiten konzentrieren sich auf

- Grundlagenuntersuchungen für innovative Brennverfahren in Motoren (Projekt 79887)
- Modellbildung für die Verbrennung im "Direct Injection"-Ottomotor (Projekt 67386) und
- die Entwicklung eines besonders umweltfreundlichen Gasmotors (Projekt 69801)
- **Projekt 79887: Erarbeitung von Grundlagen für innovative brennverfahren und motorische Arbeitsprozesse.** Trotz weltweiter, langjähriger Forschungsaktivitäten sind für den Dieselmotor die Phänomene der Gemischaufbereitung, der Zündung und der anschliessenden Reaktionskinetik noch nicht hinreichend geklärt und die Abläufe dieser Prozesse keineswegs befriedigend numerisch mathematisch beschrieben bzw. simuliert. Diesen Themen widmet sich das Projekt 79887, wobei die Forschergruppe auf langjährige Erfahrungen im LVV aufbauen kann. Beratend und helfend aber auch mit grossem Anwenderinteresse, stehen verschiedene Industriepartner zur Seite, insbesondere aber die IVECO Motorenforschung AG in Arbon. Ziel ist einerseits die Bearbeitung optimaler Gemischaufbereitungsstrategien und andererseits die Codeentwicklung, insbesondere die Weiterentwicklung, Verbesserung und Validierung der Codes KIVA-3 und STAR-CD, die bereits in der Industrie zur Anwendung kommen. Das Projekt nutzt einerseits optimal das an der ETH-Zürich vorhandene Potential und zielt andererseits auf eine Lücke in der Forschungslandschaft. Es bietet aber auch Studenten der ETH-Zürich ganz besondere Ausbildungsmöglichkeiten.

- **Projekt 67386: Erarbeitung eines thermodynamisch basierten Modellierungsverfahrens für den Otto-DI-Verbrennungsprozess.**
Die Presse preist seit einigen Jahren die Vorteile der Direkteinspritzung beim Ottomotor. Einige Automobilbauer brachten bereits Motoren mit dieser Verbrennungsführung auf den Markt. Als das Projekt 67386 im Jahre 1998 an der ETH-Zürich begonnen wurde, waren nur unzureichende Kenntnisse über das charakteristische Verbrennungsverhalten des direkteinspritzenden Ottomotors vorhanden. Auch heute sind diese hochkomplexen Vorgänge im Brennraum solcher Motoren noch nicht genügend bekannt. Das Projekt konzentriert sich bewusst auf die Grundsatzfragen der Gemischbildung, der Zündung sowie der Verbrennung unter diesen speziellen ottomotorischen Bedingungen, wobei sehr moderne Messmethoden zur Anwendung kommen. Ausserdem werden Techniken der mathematisch-numerischen Simulation, insbesondere zur detaillierten Analyse des Spray-Verhaltens, weiterentwickelt. Unmittelbare Umsetzung in den Markt versprechen hier insbesondere die im Rahmen des Projektes entwickelten Messmethoden, nämlich die Endoskopie und die Ionenstromsonden. Sie können zukünftig auch bei Serienmotoren für eine in-situ-Diagnose der Gemischbildung und der Verbrennung eingesetzt werden. Andererseits spielen die entwickelten Berechnungsverfahren eine Vorreiterrolle bei der zukünftigen Auslegung von Verbrennungsmotoren mit Direkteinspritzung.
- **Projekt 69801: Demonstration eines besonders umweltfreundlichen Gasmotors für den stationären Einsatz (Swiss Motor).** Eine ganz besondere Erfolgsgeschichte kann das Projekt 69801 vorweisen, das sich mit der Entwicklung eines besonders umweltfreundlichen Gasmotors für den stationären Einsatz beschäftigte und das in Zusammenarbeit mit dem Forschungsfonds der schweizerischen Gaswirtschaft aufgrund der strengen Emissionsvorschriften der Schweiz für stationäre Anlagen initiiert und durchgeführt wurde. Enge Projektpartner waren dabei DIMAG AG und LIEBHERR Machines SA. Es gelang, einen Gasmotor praktisch ohne Schadstoffemissionen zu entwickeln und seine Praxistauglichkeit über einen Einsatz von mehr als 3'500 Stunden Dauer zu demonstrieren. Der Erfolg beruht auf einer gekühlten Abgasrückführung in hohen Raten.

Projekte im Themenfeld ‚Numerische Simulation turbulenter Verbrennung‘

Wie in erfolgversprechender moderner Forschung üblich, sind fast alle der durch den Bereich ‚Feuerung und Verbrennung‘ geförderten Forschungsprojekte zweigleisig angelegt, d.h. in jedem Projekt findet sich ein experimenteller und ein theoretischer Zweig, letzterer in der Regel als numerisch-mathematische Simulation der untersuchten Vorgänge. Es gibt aber einige Forschungsprojekte im Bereichsprogramm, die sich vornehmlich mit numerischer Simulation befassen. Sie haben Simulationen von

- reaktiven Strömungen
- turbulenten Diffusionsflammen und
- NO_x-Modellierung in nicht vorgemischten Flammen

zum Ziel. Rechenprogramme zur numerischen Simulation von Verbrennungsvorgängen findet man heute nicht nur in der wissenschaftlichen Literatur. Sie sind bereits kommerziell erhältlich und alle namhaften Motorenhersteller nutzen solche Auslegungs-Hilfsmittel. Fast alle diese Rechenprogramme beinhalten sogenannte "Modelle" d.h. physikalische oder auch chemische Vorgänge werden mit Hilfe mehr oder weniger empirischer Gleichungen oder auch Gleichungssätzen formuliert. Die Zuverlässigkeit und Genauigkeit solcher Ansätze hängt vom Informationsgehalt des experimentellen Ergebnisses ab, nach dem sie formuliert wurden. Sie gelten meist nur in engen physikalischen und technischen Grenzen.

- **Projekt 74910: Turbulente, chemisch reaktive Strömung in Motoren Brennräumen.** Das Projekt 74910 stützt sich auf einen am LVV der ETH-Zürich entwickelten völlig neuen Ansatz zur Berechnung chemisch reagierender Strömungen mittels Direkter Numerischer Simulation (DNS). Die Methode der direkten numerischen Simulation hat den Vorteil, dass ein Minimum an empirischen Ansätzen und Annahmen in das Berechnungsverfahren eingeführt werden muss. Mit dieser Direkten Numerischen Simulation sollen vertiefte Erkenntnisse über die Wechselwirkung zwischen Strömungsturbulenz und chemischer Reaktion in allen Bereichen der Flamme gewonnen werden. Diese Arbeiten sind als Langzeitentwicklung zu sehen und versprechen nicht nur einen hervorragenden Beitrag zur Grundlagenforschung, sondern sind auch für die Motorenentwicklung sehr

wichtig. Erkannt wurde hier auch die besondere Notwendigkeit zur interdisziplinären Kooperation. So findet innerhalb des Projektes eine enge Zusammenarbeit mit verschiedenen ETH-Instituten aber auch dem National Argonne Research Laboratory in den USA statt. Das Projekt ist auch eingebunden in die Aktivitäten der Forschergruppen "Verbrennungsdiagnostik" und "Chemie der Verbrennung" am Paul-Scherrer-Institut. In dem Projekt ist das langjährige Know-how des LVV in hervorragender Weise gebündelt und es wird dort zielgerichtet angewandt.

- **Projekt 78151: Struktur turbulenter Diffusionsflammen.** Ebenfalls grundlagenorientiert ist das Projekt 78151, das die Struktur turbulenter Diffusionsflammen untersucht, aber etwas enger und konventioneller angelegt ist als das Projekt 74910. Es greift auf in der Literatur vorhandene Modelle wie z.B. das instationäre Flamelet-Modell zurück und arbeitet mit der ebenfalls aus der Literatur bekannten Methode, der "Wahrscheinlichkeitsdichte-Funktionen" (probability density functions). Für die Beschreibung der Strömungsprozesse stützt es sich auf verschiedene Turbulenzmodelle. Für die Anwendung ist dabei von Interesse, dass dieses Projekt eine Berechnungsmethode verspricht, mit der lokale Lösch- und Zünd-Effekte behandelt werden können. Solche Phänomene treten in Brennkammern von Gasturbinen auf. Deshalb interessiert sich in jüngster Zeit auch Alstom AG für den Fortschritt und die Ergebnisse dieser Arbeiten.
- **Projekt 55100: NO_x-Modellierung in nicht vorgemischtem Systemen mittels PDF-Transportgleichungen.** Ebenfalls mit "Probability Density Functions" beschäftigte sich das dritte Projekt in dieser Kategorie, das Projekt 55100, das die NO_x-Modellierung in nicht vorgemischtem Systemen zum Ziel hat. Ziel des Projekts war es, ein Rechenverfahren zu entwickeln, das die Schadstoffbildung (CO, NO_x) und die daraus resultierenden Emissionen bei Wasserstoff- und Methan-Verbrennung vorhersagt. Anwender wären auch hier Gasturbinenhersteller.

Projekte im Themenfeld 'Schadstoffreduktion'

Auch wenn fast alle vom BFE im Rahmen der Verbrennungsforschung geförderten Projekte als Teilaspekt eine Minimierung der Schadstoffbildung und -emission zum Ziel haben, so gibt es doch einige Projekte innerhalb des Programms, die sich gezielt und mittels besonderer verbrennungstechnischer Massnahmen mit der Vermeidung von Schadstoffen, insbesondere auch der

Russbildung bei der dieselmotorischen Verbrennung, widmen. Sie sind meist sehr stark praxisorientiert und werden teilweise an realen Motoren durchgeführt. Einige widmen sich ganz konkreten Massnahmen zur Schadstoffverringern, wie dem Einsatz von "Common-Rail-Einspritzverfahren", der Verwendung sauerstoffhaltiger Brennstoffe und der Harnstoffzugabe zum Abgas, zum Zwecke der katalytischen NO_x-Reduktion.

Der niedrige Treibstoffverbrauch ist die eine Seite des Dieselmotors. Die andere Seite bilden die wesentlich höheren Russ- und Stickoxid-Emissionen als beim Ottomotor. Der Dieselmotor wird sich - insbesondere auch im Hinblick auf zukünftige EURO-Normen - nur behaupten können, wenn es gelingt, diese Schadstoffemissionen erheblich zu senken. Dies ist das Ziel der folgenden näher untersuchten Projekte.

- **Projekt 76664: Modellierung und Validierung von reaktiven, instationären Zwei-Phasenströmungen.** Das Projekt 76664 bemüht sich generell um das vertiefte Verständnis von Schlüsselphänomenen bei der instationären Verbrennung und zielt auf die Verbesserung von Modellansätzen der Zwei-Phasen-Verbrennung in Dieselsprays sowie bei direkteinspritzenden Ottomotoren. Die Gemischaufbereitung und die Verdampfung des flüssigen Brennstoffs sind Prozessschritte, welche die Russbildung massgebend beeinflussen können. Solche Untersuchungen sind besonders deshalb wichtig, weil die Kinetik und die Entstehungsmechanismen der Bildung und der nachfolgenden teilweisen Verbrennung und damit Reduktion von Russ noch nicht hinreichend geklärt sind. Es ist sehr zu begrüßen, dass dieses Projekt dieses Thema grundlegend aufgreift, angefangen bei Grundlagenuntersuchungen an laminaren atmosphärischen Flammen über Messungen in Hochdruckkammern bis zu Experimenten an realen Verbrennungsmotoren. Bisher ist aus der Literatur ein solches systematisches Vorgehen nicht bekannt. Aufbauend auf den experimentellen Ergebnissen und den Einblicken, die insbesondere optische Messverfahren gewähren, werden im Projekt mathematische Ansätze erarbeitet mit dem Ziel, zukünftig die Konstruktions- und Betriebsparameter von Verbrennungsmotoren so zu gestalten, dass die Schadstoffemissionen minimiert werden können. Die Arbeiten sind in das europäische Verbundprojekt CRICRE eingebunden, an dem aus der Schweiz das LVV und die Firma IVECO Motorenforschung AG mitarbeiten. Interessiert an den Ergebnissen sind auch die Unternehmen LIEBHERR Machines SA und Lambiotte.

- **Projekt 73622: Common-Rail-Brennverfahren für EURO III- und EURO-IV taugliche Nutzfahrzeugdieselmotoren.** Common-Rail-Einspritzung wird heute schon serienmässig von vielen europäischen Herstellern in Pkw-Dieselmotoren angewandt. Für grosse Nutzfahrzeug-Dieselmotoren sind solche Systeme noch nicht so weit verbreitet. Das Projekt 73622 untersucht das Potential von Common-Rail-Einspritzsystemen sowie anderer inner- und zum Teil auch aussermotorischer Massnahmen zur Emissionsminderung bei schweren Nutzfahrzeugmotoren. Die Arbeiten werden in enger Zusammenarbeit mit dem Industriepartner LIEBHERR Machines SA durchgeführt. Die Ergebnisse der Arbeiten sind auch für die Schweizer Firma CRT interessant, ein Zulieferungsunternehmen für Einspritzsysteme. Vielversprechende Massnahmen für die Emissionsminderung wurden bereits an einem 1-Zylinder-Versuchsmotor auf ihre Wirkung geprüft.

Bei dem Projekt 73622 sind "Spin Off"-Effekte besonders hervorzuheben. So wurde im Rahmen dieses Projektes ein an einem physikalischen Institut der ETH-Zürich entwickeltes Messverfahren für die Detektion von Russpartikeln praxisnah erprobt und verbessert. Weiterhin wurde in Zusammenarbeit mit einer privaten Firma ein Piezo-Quarz-Druckgeber so umgebaut, dass anstelle des Quarzes ein Lichtleiter in den Verbrennungsraum des Motors zur Visualisierung der Flammen und der Russverteilung eingeführt werden kann.

- **Projekt 79889: Verbrennungsreaktionen in Gegenwart sauerstoffhaltiger Brennstoffe.** Die Russproduktion im Zylinder des Dieselmotors wird wesentlich durch die zu Beginn des Verbrennungsprozesses noch unter Sauerstoffmangel ablaufende Pyrolyse des Brennstoffs bestimmt. Die Zugabe sauerstoffhaltiger Substanzen zum Dieselmotorkraftstoff wie z.B. Dimethoxymethan oder Dibutoxymethan kann die Pyrolyse-Phase unterdrücken. Das Projekt 79889 widmet sich Verbrennungsreaktionen von Brennstoffen, denen solche Sauerstoffträger zugemischt sind. Der Schwerpunkt der zukünftigen Untersuchungen wird bei der Vermessung von Formaldehyd liegen, das bei der Verbrennung der oben genannten Brennstoffzusätze als Zwischenprodukt entsteht.
- **Projekt 73621: NO_x-Verminderung bei mobilen Dieselmotoren mittels Harnstoff-SCR.** Von einigen Nutzfahrzeug-Herstellern wird die Zugabe von Harnstoff als Katalysator zur Abgasnachbehandlung mit dem

Ziel der Emissionsminimierung von Schadstoffen - insbesondere Stickoxide - favorisiert. Das Vorhaben 73621 widmet sich auf der einen Seite Grundlagenthemen wie der selektiven katalytischen Reduktion durch Harnstoffzugabe sowie der Chemie der vorgelagerten Harnstoffzersetzung und andererseits der Erprobung von Harnstoffsystemen in einem 6-Zylinder-Motor für schwere Nutzfahrzeuge. Die Arbeiten erfolgen in enger und äusserst aktiver Kooperation mit der Firma LIEBHERR Machines SA, die den Motorenprüfstand baut und auch bei dessen Betrieb und bei Analysen mitarbeitet. Der Steuerung der Harnstoffdosierung hat sich das Institut für Mess- und Regeltechnik der ETH-Zürich angenommen. Das Verfahren der Abgasbehandlung mittels Harnstoff hat den Vorteil, dass der Motor selbst verbrauchsoptimiert ausgelegt werden kann. Ein Ziel des Projektes ist es, gemeinsam mit der Industrie ein Demonstrationssystem mit möglichen Marktchancen zu entwickeln.

- **Projekt 78152: Schadstoffreduktion durch Teil-Vormischung.** Im Projekt 78152 werden Grundlagenuntersuchungen zu stationären turbulenten Gegenstromflammen für Gasbrenner durchgeführt. Dabei sollen Erkenntnisse über die Struktur turbulenter Diffusionsflammen und über Eigenschaften teilvorgemischter Systeme erarbeitet werden, mit deren Hilfe es möglich ist, gezielte Massnahmen zur Verringerung der NO_x-Emissionen zu ergreifen.
- **Projekt 67371: NO_x-Reduktion beim Ygnis Varino-Brenner.** Im thematischen Zusammenhang mit dem Projekt 78152 steht das Projekt 67371, in dem mit Hilfe der Laser-Doppler-Anemometrie die Geschwindigkeiten und die Turbulenzgrade in der Strömung gemessen werden. Raman-Messungen sind zur Gasanalyse, insbesondere auch zur Stickoxiddetektion vorgesehen. In früheren Jahren standen die Aktivitäten im Zusammenhang mit der Verbesserung des Ygnis Varino-Brenners. Messungen an diesem Brenner zeigten das erhebliche Potential des Konzepts der Teilvorvermischung zur Reduktion der Schadstoffbildung. Wegen des hohen Preisdruckes auf dem Markt sind die Hersteller von Haushaltsbrennern zur Zeit aber an dieser Entwicklung wenig interessiert.

Projekt im Themenfeld ‚Moderne optische Messmethoden‘

- **Projekt 78154: Laserspektroskopische Methoden zur Analyse von Flammen und Brennstoff-Sprays:** Die moderne Verbrennungsforschung

bedarf des Experiments mit hochauflösenden sowie nicht invasiv und trägheitsfrei arbeitenden Messmethoden. Diese werden am Paul-Scherrer-Institut umfassend und in hervorragender Qualität entwickelt und Partnern nicht nur am Paul-Scherrer-Institut, sondern auch an der ETH-Zürich im Rahmen von Dienstleistungen zur Verfügung gestellt. Diese Aktivitäten stützt das BFE durch die Finanzierung des Projektes 78154, das sich laser-spektroskopischen Methoden zur Analyse von Flammen und Brennstoff-Sprays widmet. Besonders hervorzuheben sind die im Rahmen dieses Projektes weiterentwickelten und erprobten Verfahren der

- Raman-Spektroskopie
- Laser-induzierten Fluoreszenz
- Technik der Laser-induzierten Gitter

Die Raman-Spektroskopie ist in der Literatur weitverbreitet. Der Arbeitsgruppe im Paul-Scherrer-Institut gelang es jedoch, durch Einsatz leistungsstarker UV-Laser und Torodialspiegel-Spektrometer, die Raman-Technik auf räumlich aufgelöste 1-D-Messungen zu erweitern und störendes Fluoreszenzlicht durch die Verwendung eines schmalbandigen, abstimmbaren Lasersystems zu eliminieren.

Auch die Technik der Laser-induzierten Fluoreszenz ist weit verbreitet, sie wird bisher jedoch meist nur bei atmosphärischem Druck erfolgreich angewandt. Der Arbeitsgruppe im Paul-Scherrer-Institut gelang es, diese Messtechnik auf höhere Drücke - vorerst bis 15 bar - zu erweitern und damit Brennstoff-Konzentrationen in Brennräumen zuverlässig zu erfassen.

Die Technik der Laser-induzierten Gitter ist bis jetzt noch wenig bekannt. Sie eignet sich für die Bestimmung des molekularen Energietransfers, was für die Aufklärung von Verbrennungsprozessen - insbesondere des gegenläufigen Transports von Wärme und Stoff - besonders wichtig ist. Diese Technik ermöglicht Temperatur-, Konzentrations- und Geschwindigkeitsmessungen in Brennräumen. Sie wurde bis zu Temperaturen von 1400 K bereits erfolgreich und mit guter Genauigkeit erprobt. Geschwindigkeitsmessungen wurden im Bereich von 10 bis 200 m/sec durchgeführt mit Standardabweichungen der Einzelschussmessung von weniger als 5%. Problem ist noch die starke Sensitivität dieser Methode gegenüber Turbulenzen.

Die finanziellen Mittel des BFE sind hier ein besonders hervorzuhebender subsidiärer Beitrag für die Entwicklung moderner Messverfahren, die essentielle Voraussetzung für erfolgreiche und moderne Verbrennungsforschung und für den Erhalt einer sehr erfolgreichen Arbeitsgruppe sind, welche diese Entwicklungen vorantreibt.

B3.32 Vergleichende Bewertung der Fallstudienprojekte

Abbildung B3-1 gibt einen vergleichenden Überblick über die wissenschaftlich-technologische Qualität der vertieft untersuchten Projekte. Um den spezifischen Anforderungen an Forschungsprojekte im Bereich ‚Feuerung und Verbrennung‘ gerecht zu werden, werden die Qualitäten der eingesetzten experimentellen Methode und der numerischen Methode separat beurteilt²⁵ und zur Gesamtbewertung zusammengefügt. Da hier nicht das Einzelprojekt, sondern eine Bilanz für das Forschungsprogramm interessiert, werden die Projekte in der Abbildung in zufälliger Reihenfolge aufgeführt.

²⁵ Basis der Bewertung bilden die Kriterien W1 – W6 und W8 aus Abbildung A4-3.

Abb. B3-1 Wissenschaftlich-technologische Qualität der 15 Fallstudienprojekte

Projekt	Qualität der experimentellen Methode (falls verwendet)	Qualität der numerischen Methode (falls verwendet)	Wissenschaftliche Qualität
A	-	Konventionell	Gut
B	-	Hochmodern	Hervorragend
C	Konventionell, aber sehr geschickt	Einsatz vorhandener Codes	Hervorragend
D	Konventionell	-	Gut
E	-	Konventionell	Gut
F	Konventionell, laseroptisch	-	Gut
G	Konventionell	Weiterentwicklung eines vorhandenen Modells	Sehr gut
H	Konventionell, laseroptisch	-	Gut
J	Neu, überwiegend optisch	-	Hervorragend
K	Hochmodern	-	Hervorragend
L	Modern, laseroptisch	Neu, Ertüchtigung vorhandener Codes	Hervorragend
M	Hochmodern	Ertüchtigung vorhandener Codes	Sehr gut
N	Neu, laseroptisch	Ertüchtigung vorhandener Codes	Sehr gut
O	Konventionell und laseroptisch	Konventionell	Sehr gut
P	Sehr modern	Konventionell	Sehr gut

Wie Abbildung B3-1 zeigt, ist die wissenschaftlich-technische Qualität der überprüften Projekte des Bereichs ‚Feuerung und Verbrennung‘ positiv zu beurteilen: Je ein Drittel der Projekte ist als ‚hervorragend‘ oder als ‚sehr gut‘ zu bewerten. Auch die Qualität der verbleibenden Projekte ist im internationalen Vergleich als ‚gut‘ zu taxieren.

B3.4 Schlussfolgerungen und Empfehlungen aus wissenschaftlich-technischer Optik

Stärken und Schwächen des Bereichs ‚Feuerung und Verbrennung‘

Ein grosser Teil der Forschergruppen, die an der ETH-Zürich und am Paul-Scherrer-Institut an den vom BFE geförderten Projekten zur Verbrennungsforschung zusammenarbeiten, zeigen in hohem Masse den für erfolgreiches wissenschaftliches Arbeiten notwendigen Dreiklang, nämlich die Gelassenheit des Erfolgreichen, die Kreativität des Ideenreichen und die Bereitschaft, Herausforderungen anzunehmen. Sie nehmen ohne Zweifel eine Führungsrolle in der europäischen Verbrennungsforschung ein. Zur Erlangung einer solchen Führungsrolle bedarf es einerseits ideenreicher und auf ihrem Gebiet führender Wissenschaftler aber andererseits auch einer strategischen Planung und einer Synergie-Effekte nutzenden Kooperation. Die Förderungsstrategie des Bereichs ‚Feuerung und Verbrennung‘ und wissenschaftliche Interessen sowie Know-how der Forschergruppen an der ETH-Zürich und am PSI sind hier eine äusserst fruchtbare Symbiose eingegangen.

Ausgehend von den Ergebnissen der Kapitel B3.2 und B3.3 gibt die Abbildung B3-2 einen abschliessenden Überblick über die spezifischen Stärken und Schwächen des Programms ‚Feuerung und Verbrennung‘.

Abb. B3-2 Stärken und Schwächen des Bereichs ‚Feuerung und Verbrennung‘ aus wissenschaftlich-technischer Sicht

Betrachtete Dimensionen	Stärken	Schwächen
Thematische Ausrichtung des Bereichsprogramms	Die thematischen Schwerpunkte sind klar fokussiert auf Beiträge mit grosser Nachhaltigkeit und wohl abgestimmt auf die Zielsetzungen der nationalen Energieforschung	
Wissenschaftliche Qualität der 15 näher untersuchten Projekte	Etwa ein Drittel der Projekte ist von hervorragender, ein weiteres Drittel von sehr guter Qualität.	Ein Drittel der Projekte ist von guter Qualität.
Internationale Zusammenarbeit	Grossenteils sehr gut und intensiv, hohe internationale Ausgewiesenhaheit und Anerkennung der meisten im Programm tätigen Gruppen	in Teilbereichen noch verbesserungsfähig
Interdisziplinäre Zusammenarbeit		Forschergruppen aus Physik, Chemie, Mathematik und Informatik sind kaum in die Projekte eingebunden
Zusammenarbeit mit der Industrie	In zahlreichen Projekten findet ein direkter Ideenaustausch zwischen Wissenschaftlern und Industrie statt.	Intensität des Ideenaustausches ist noch verbesserungsfähig
Rolle des Programmleiters des Bereichs ‚Feuerung und Verbrennung‘	initiiierend und moderierend; von gegenseitiger Achtung und Vertrauen getragene Zusammenarbeit klares, stimulierendes Führungsprofil Hohe Fachkompetenz	

Empfehlungen aus wissenschaftlich-technischer Optik

Aus den Beobachtungen und Erfahrungen des Evaluatorenteams resultieren folgende Empfehlungen:

- **Weiterführung der Fördertätigkeit des Bereichs ‚Feuerung und Verbrennung‘:** Die strategische Planung, nämlich einerseits visionäre Forschungspolitik mit Zielperioden von 5 bis 10 Jahren zu betreiben und andererseits aktuelle Probleme möglichst bald einer Lösung zuzuführen, sollte beibehalten werden. Die strategische Planung sollte dabei, wie das bisher so erfolgreich praktiziert wurde, auch weiterhin auf dem Austausch

von Ideen und Anregungen zwischen der BFE-Programmleitung und den Forschergruppen aufbauen. Die Förderung durch das BFE wurde von den Forschungsgruppen bei Diskussionen verschiedentlich als "eine Brücke die trägt", hervorgehoben. Eine lobende Aussage, die insbesondere auch das für gedeihliche und erfolgreiche Forschung notwendige wechselseitige Vertrauen bestätigt.

Die Forschergruppen sehen die Finanzierung durch das BFE keineswegs als Auftragsforschung, sondern als subsidiäre aber äusserst essentielle Förderung ihrer wissenschaftlichen Aktivitäten. Auch dies ist eine ganz wesentliche Voraussetzung für hohe wissenschaftliche Qualität aber auch für notwendige Synergie-Effekte zwischen Förderer und Forschern. Mit bescheidenen Mitteln bewirkt der Bereich ‚Feuerung und Verbrennung‘ einen hohen Multiplikationseffekt für den Gesamterfolg der Verbrennungsforschung an der ETH-Zürich und am Paul-Scherrer-Institut²⁶.

- **Vereinheitlichung der strategischen Führung der Forschergruppen:** Auf der Seite der Forschergruppen ist die koordinierende und wissenschaftlich stets initiative Leitung durch Professor Dr. Konstantinos Boulouchos hervorzuheben. Es hat sich als äusserst fruchtbar erwiesen, dass K. Boulouchos nicht nur die auf dem Gebiet der Verbrennungsforschung tätigen Forschergruppen am LVV leitet, sondern auch diejenigen am PSI.

Etwas abgekoppelt davon sind die vom Bereich ‚Feuerung und Verbrennung‘ mitfinanzierten Projekte im Themenfeld ‚Feuerung‘ am Laboratorium für Thermodynamik in Neuen Technologien (LTNT). Der diesem Laboratorium vorstehende Professor hat andere wissenschaftliche Interessen - wie der Name des Laboratoriums sagt - in neuen Technologien und damit nicht so sehr in der Verbrennungsforschung. Es wäre der Sache sehr dienlich, wenn die im Themenfeld ‚Feuerung‘ tätigen Forschergruppen unter derselben Leitung stehen würden wie die Forschungsarbeiten im Themenfeld ‚Verbrennung‘.

- **Spezifische Stärken der ETH und der Fachhochschulen gezielt nutzen:** Die Forschung im Themenfeld ‚Verbrennung‘ hat einen hohen wissenschaftlichen Stand erreicht, den es zu halten, ja zu überbieten gilt.

²⁶ Vgl. Leitsatz 2 der CORE in Kapitel A1

Dies kann nur dann gelingen, wenn man die mathematisch-numerischen und die experimentellen Arbeiten auf einige wenige wissenschaftlich besonders potente Institutionen konzentriert und das verfügbare Know-how in interdisziplinären Teams bündelt. Die Ressourcen auf dem Gebiet der Entwicklung von Rechenmodellen und angepassten Messmethoden sowie Messeinrichtungen sollten deshalb nicht verzettelt werden, sondern auf international anerkannte Forscherteams an der ETH bzw. an ETH-nahen Institutionen fokussiert bleiben.

Anders präsentiert sich die Situation bei der vornehmlich angewandten Forschung im Themenfeld ‚Feuerung‘. Hier sollten Fachhochschulen in stärkerem Masse eingebunden und falls notwendig in ihrer Kompetenz gestärkt werden. Fachhochschulen sollten insbesondere auch Entwicklungs-kooperationen mit mittelständischen Unternehmungen aufbauen.

- **Sicherstellen der notwendigen Investitionen:** Kompetenzerhalt und -ausbau bedeutet einerseits "Investition in Köpfe" andererseits aber auch die Verfügbarkeit von Sachmitteln für Reinvestitionen und die Schaffung neuer Experimentiermöglichkeiten. Experimentelle Verbrennungsforschung muss, wenn Sie sich an der Spitze der auf diesem Gebiet tätigen internationalen Community bewegen will, auf modernste Messmethoden - meist Laser-optische Sonden zurückgreifen. Solche Einrichtungen sind nicht nur teuer, sondern sie veralten angesichts der dynamischen Entwicklung auf diesem Gebiet der Messtechnik auch sehr rasch. In den vergangenen Jahren konnte man Entwicklungsperioden solcher Messgeräte von nur 3 bis 5 Jahren beobachten, d.h. ein vor 3 bis 5 Jahren beschafftes Gerät war nach dieser Zeit bereits veraltet. Eine international führende Position in der Verbrennungsforschung bedingt deshalb ausreichende Mittel für Reinvestitionen. Unter den heutigen Rahmenbedingungen kann das BFE diese finanzielle Last nicht tragen. Es wäre deshalb wünschenswert, den ETH-Rat für eine engere Partnerschaft bei der Deckung des Bedarfs an Investitionsmitteln zu gewinnen.
- **Verstärkung der interdisziplinären Zusammenarbeit:** Verbrennungsforschung ist in hohem Masse interdisziplinär. Deshalb ist es wünschenswert, dass weitere Institute und Laboratorien für die Kooperation in der Verbrennungsforschung gewonnen werden können. Ansätze dazu sind bereits bei der Physik vorhanden, die Zuarbeit auf dem Gebiet der Messtechnik leistet und auch bei der Mathematik. Es wäre wünschenswert,

wenn Mathematik und Physik aber auch die Chemie in Zukunft stärker in die Verbrennungsforschung eingebunden werden könnten. Man könnte dann an Verbundprojekte denken, in denen drei oder mehr Institute an einem Ziel arbeiten. Solche Verbundprojekte haben sich z.B. im Rahmen der Förderung durch die Bayerische Forschungstiftung aber auch als Instrumente der Deutschen Forschungsgemeinschaft als sehr erfolgreich und fruchtbar erwiesen.

- **Aufbau einer Systemgruppe:** Für strategische Planungen wäre es sehr hilfreich, wenn an der ETH oder am PSI eine Systemgruppe aufgebaut werden könnte, die sich mit Energieszenarien im Allgemeinen und mit der Energiewandlung mittels Verbrennung im Besonderen beschäftigt. Sie könnte nicht nur für bereits bekannte und bestehende Energiesysteme Kenntnislücken aufdecken und Optimierungsstrategien aufzeigen, sondern sollte auch über neue Möglichkeiten von Synergie-Effekten bei der Energiewandlung und -nutzung - insbesondere mit Verbrennungsprozessen - nachdenken.
- **Verstärkung des Erfahrungs- und Erkenntnisaustausches mit der Industrie:** Die Industrie ist zur Zeit nicht nur wegen der raschen technischen Entwicklung, sondern auch angesichts der Globalisierung in einem Umbruch. Dies macht es auch erfolgreichen Forschern schwer, mit der Wirtschaft längerfristig zusammenzuarbeiten. Um so wichtiger ist es, für erfolgreiche und praxisnahe Forschung den Kontakt mit der Industrie zu pflegen. Es sollte überlegt werden, wie dies in Zukunft noch intensiver und für beide Seiten nutzbringender als bisher geschehen kann. Vielleicht sind in regelmässigen Zeitabständen veranstaltete gemeinsame Foren, auf denen ein gegenseitiger Erfahrungs- und Erkenntnisaustausch stattfindet, ein erfolgversprechender Weg.
- **Laufende Weiterentwicklung der Messtechnik:** Verbrennungsforschung baut heute und auch in naher Zukunft auf Experimentiertechnik und Experimentierkunst auf. Für international beachtete wissenschaftliche Erfolge reicht es dabei nicht aus, die jeweils neuesten am Markt befindlichen Messgeräte zu kaufen. Wirkliche Spitzenforschergruppen entwickeln die für ihre Arbeiten notwendigen Messtechniken selbst, lange bevor dann die Industrie dieses Know-how aufgreift und vermarktet. Deshalb ist es sehr zu begrüßen, dass am PSI eine äusserst kompetente Forschergruppe aktiv ist, die neue - insbesondere

Laser-optische - Messmethoden entwickelt, damit in der Verbrennungsforschung selbst experimentiert und sie anderen auf diesem Gebiet tätigen Forschergruppen an der ETH-Zürich und am PSI verfügbar macht.

Angesichts der zentralen Rolle, die höchste Experimentierkunst heute in der Verbrennungsforschung spielt, ist es dringend notwendig, diese Forschergruppe weiter auszubauen und ihr Aufgabengebiet stärker zu differenzieren. Sie sollte sich in Zukunft zu je einem Drittel der Entwicklung neuester Messverfahren, der Verbrennungsdiagnose im eigenen Bereich und Dienstleistungsaufgaben für andere Forschergruppen widmen. Dabei wäre es wünschenswert, dass solche Dienstleistungsaufgaben auch Institutionen ausserhalb der ETH und des PSI, insbesondere auch der Schweizer Industrie, angeboten werden. Man könnte sogar weiter denken und dieses Dienstleistungsangebot auch Forschungs- und Entwicklungs-Instituten in Staaten der Europäischen Union im Zuge von Leasing anbieten. Gemeint ist die kurzzeitige, entgeltliche Überlassung von Messsonden und Messgeräten an Institute oder auch Firmen ausserhalb der Schweiz aber auch die Durchführung von Messkampagnen durch Angehörige der ETH oder des PSI mit solchen neuen und bisher nicht am Markt verfügbaren Messtechniken. Solche Dienstleistungen würden nicht nur - wenn auch in bescheidenem Umfang - etwas Geld in die Kasse bringen, sie intensivieren auch unmittelbar und in hohem Masse die Kooperation und den Erfahrungsaustausch.

B4 Transfer des Wissens von der Forschung bis zur Umsetzung im Markt

Wie in Kapitel B1 ausgeführt wurde umfasst das Forschungsprogramm ‚Feuerung und Verbrennung‘

- Projekte im Themenfeld der **Verbrennung** (Motoren, Gasturbinen), welche am Laboratorium für Verbrennungsmotoren und Verbrennungstechnologie (LVV) der ETH-Zürich sowie am Labor für Verbrennungsforschung (CRL) des PSI durchgeführt werden.
- Projekte im Themenfeld **Feuerung** (Heizungen), die am Laboratorium für Thermodynamik in neuen Technologien (LTNT) der ETH-Zürich realisiert werden.

Aus Sicht des Technologietransfers präsentiert sich die Ausgangslage der beiden Themenfelder recht unterschiedlich. Die Ergebnisse der Evaluation werden deshalb getrennt dargestellt

- für das Themenfeld Verbrennung (vgl. Kapitel B4.1) und
- für das Themenfeld Steuerung (vgl. Kapitel B4.2).

B4.1 Verbrennung

Die Beurteilung des Transferpotenzials der Aktivitäten im Themenfeld Verbrennung (vgl. Evaluationsfragen II.1, II.2 und II.3) erfolgt

- aus Sicht der voraussehbaren Marktakzeptanz der entwickelten Methoden und Technologien (vgl. Kapitel B4.11) und
- mit Blick auf die Chancen, erfolgreiche Transferketten von der Forschung bis zur Umsetzung im Markt aufzubauen (vgl. Kapitel B4.12).

In Kapitel B4.13 werden die Befunde zusammengefasst und Empfehlungen für anzustrebende Optimierungen aus Sicht des Technologietransfers formuliert.

B4.11 Beachtung der wirtschaftlichen Nutzeffekte und der politischen Rahmenbedingungen

Marktorientierung²⁷

Im Zentrum der Aktivitäten des Themenfeldes Verbrennung stehen die Dieselmotoren. Wie in Kapitel B3.2 ausgeführt wurde, ist zur Zeit neben dem Einsatz im Nutzfahrzeugbereich eine weitere Ausdehnung des Einsatzes von Dieselmotoren im Bereich der Personenwagen zu beobachten²⁸. Da Dieselmotoren

- pro gefahrenem Kilometer 20 bis 30% weniger Brennstoff verbrauchen als Ottomotoren und
- heute dieselben Leistungswerte wie Ottomotoren erreichen,

sind die wirtschaftlichen Voraussetzungen für weitere Marktanteilsgewinne als günstig zu beurteilen. Voraussetzung ist, dass die Dieselmotoren bezüglich Schadstoffemissionen (insbesondere Russ und NO_x) dieselben Qualitätswerte erreichen wie die Ottomotoren. Die Fokussierung des Themenfeldes Verbrennung auf die ökologische Optimierung des Dieselmotors ist deshalb mit Blick auf die Transferchancen als erfolgversprechend zu beurteilen.

Es ist hier zu erwähnen, dass die bereits erreichten Fortschritte im Bereich Dieselmotoren insbesondere dank der Common-Rail Technologie ermöglicht wurden. Diese Technologie ist der Schweizer Forschung zu verdanken.

Interesse der Industrie an Projektergebnissen²⁹

Der Markt für Verbrennungsmotoren und Gasturbinen ist einer starken internationalen Arbeitsteilung unterworfen. Obwohl diese Konsolidierungsdynamik den Industriestandort Schweiz unter Druck setzte, verfügt die Schweiz

²⁷ vgl. Kriterium T1 in Abbildung A4-4

²⁸ Es wird allgemein nicht erwartet, dass die Technologie der Verbrennungszellen den mittleren und oberen Leistungsbereich von Gasturbinen oder auch den Massenmarkt von Verbrennungsmotoren in den kommenden 10 Jahren besetzen wird. Ein eigentlicher Substitutionseffekt ist somit weder kurz- noch mittelfristig realistisch.

²⁹ vgl. Kriterien T2 und T3 in Abbildung A4-4

heute nach wie vor über Industriebetriebe, die im Motorenbereich aktiv sind. Zu erwähnen sind insbesondere

- Wärtsilä Switzerland Ltd
- LIEBHERR Machines SA
- Alstom AG (von ABB übernommener Gasturbinenbereich)
- IVECO Motorenforschung AG (Forschung)
- Common-Rail Technologies AG (Jungunternehmen).

Daneben gibt es eine ganze Reihe von Technologielieferanten im Umfeld der Verbrennung (z.B. auf dem Gebiet der Katalyse, der Diagnose / Messung).

Das Interesse dieser Betriebe an den Projekten des Bereichs Feuerung und Verbrennung belegt die Tatsache, dass die genannten Firmen 6 der 11 näher untersuchten Projekte im Themenfeld Verbrennung finanziell oder mit Eigenleistungen unterstützen bzw. unterstützt haben (vgl. Abb. B2-2).

Die grossen Hersteller von Nutzfahrzeugen und Personenwagen befinden sich im Ausland. Deren Produkte tragen jedoch wesentlich zum CO₂-Ausstoss sowie zur Schadstoffbelastung in der Schweiz bei. Dem Leitsatz 1 der CORE zur Energieforschung (vgl. Kapitel A1), wonach Forschungsgebieten Vorrang zu geben ist, die „eine hohe Wertschöpfung für die Schweiz erwarten lassen ... oder signifikante Beiträge zur globalen Nachhaltigkeit liefern dürften“ wird damit Rechnung getragen.

Ausrichtung auf umweltrechtliche Vorgaben³⁰

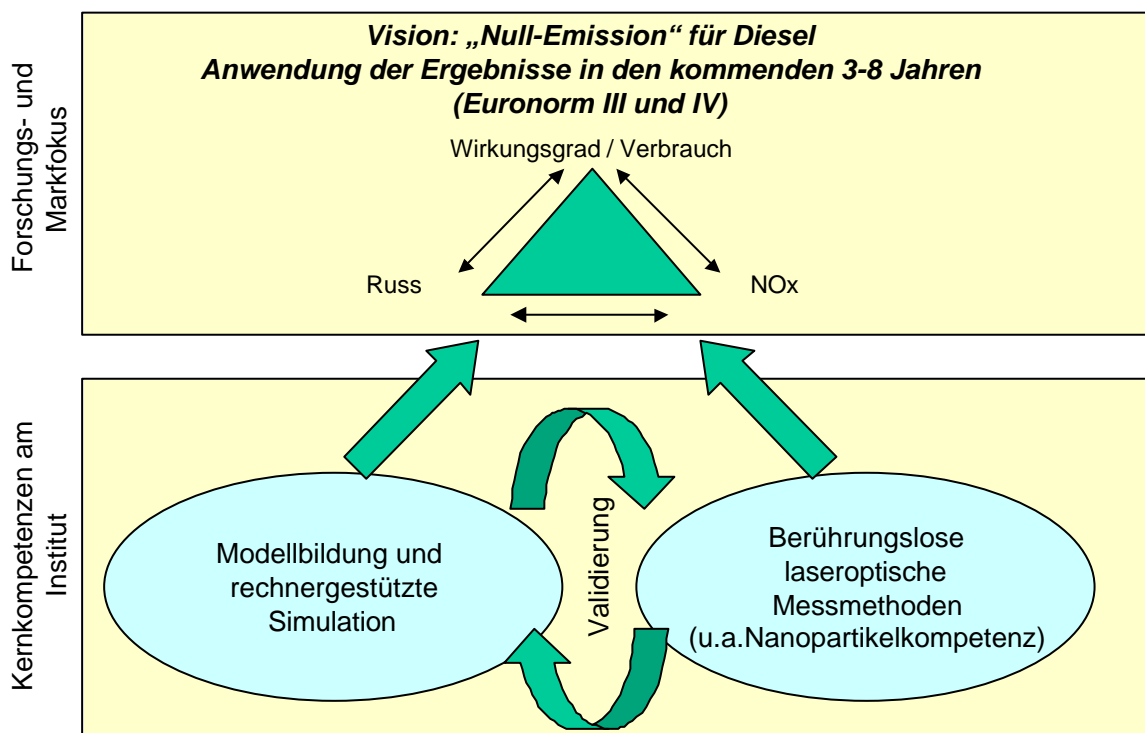
Die Forschungsanstrengungen der vom BFE unterstützten Projekte betreffen die Treibstoffgemischaufbereitung, die Verbrennung sowie die Nachbehandlung von Abgasen. Idealerweise werden Schadstoffentwicklungen (immer mit Ausnahme vom CO₂!) im Verbrennungsprozess verhindert. Hier liegt der Forschungsschwerpunkt des LVV und des CRL, die sich vorwiegend der Modellbildung und der rechnergestützten Simulation von Verbrennungsvorgängen sowie entsprechender Messverfahren widmen (vgl. Abb. B4-1). Die

³⁰ vgl. Kriterium T4 in Abbildung A4-4

Forschung hat noch ein weites Wegstück vor sich bis zur Erreichung dieser Vision.

Vor diesem Hintergrund sind verschiedene vom BFE unterstützte F+E- und P+D-Projekte – im Sinne einer Berücksichtigung der umweltpolitischen Vorgaben - vorerst auf die Erreichung der in den nächsten Jahren zu erfüllenden Emissionsvorschriften für Dieselmotoren (Euronorm III und IV) ausgerichtet. Mit Blick auf die Euronorm III und IV sind daher (Zwischen-) lösungen notwendig, welche bei der „Gemischaufbereitung“ und „Nachbehandlung“ ansetzen. Solche eher anwendungsorientierte Forschungsprojekte widmen sich konkreten Massnahmen der Schadstoffverringerung, wie dem Einsatz von „Common-Rail-Einspritzverfahren“, der Verwendung sauerstoffhaltiger Brennstoffe oder der Harnstoffzugabe zur katalytischen NOx-Reduktion in den Abgasen.

Abb. B4-1 Strategischer Fokus des LVV und des CRL im Themenfeld Verbrennung



B4.12 Aufbau von Transferketten

Im Zentrum der vom BFE unterstützten Forschungsprojekte stehen Vorhaben mit einer längerfristigeren Ausrichtung als der Erfüllung der Euronormen III und IV: Der Schwerpunkt liegt in der Modellbildung (numerisch-mathematische

Simulation von Verbrennungsvorgängen) sowie bei der Entwicklung entsprechender Messverfahren.

Die Transfer- und Umsetzungsmassnahmen für derartige Methoden und Technologien müssen in einem Kontext hoher Anwendungsrisiken gesehen werden, gilt es doch, neue Technologien und wissenschaftliche Erkenntnisse mit sich neu entwickelnden Marktbedürfnissen („emerging needs“) zusammenzubringen. Beide Seiten tragen hohe Risiken. Setzt sich die wissenschaftlich-modelltheoretische Verbrennungsoptimierung gegenüber der traditionell-experimentellen Vorgehensweise durch? Der Weg in die Praxis, d.h. in innovative Produkte mit schadstoffarmer Verbrennung bei gleichzeitig hohem Wirkungsgrad, ist lang und hat vielfältige Hindernisse. Ohne langfristige Vision mit entsprechender Kontinuität in ihrer Umsetzung darf dieser Weg nicht besritten werden. Die Evaluation zeigt, dass beide Voraussetzungen in der Forschergruppe des LVV/CRL gegeben sind.

Die Chancen einer späteren Umsetzung des erarbeiteten Wissens in die wirtschaftliche Praxis hängt entscheidend davon ab, ob es gelingt, Transferketten aufzubauen und sich entlang dieser Ketten Schritt für Schritt in Richtung Markt zu bewegen (vgl. Kapitel A4). Die nachfolgende Beurteilung der unterstützten Projekte mit längerfristigerer Ausrichtung erfolgt aus dieser Optik³¹.

Langfriststrategie mit eng verzahnten Projekten

Die BFE-seitige Forschungsförderung in den Bereichen Modellbildung/numerische Simulation und experimentelle Methoden/Messverfahren ist keine Einzelprojektförderung, wie sie z.B. von der Kommission für Technologie und Innovation (KTI) praktiziert wird. Sie hat vielmehr den Charakter einer konsequenten Umsetzung einer Langfriststrategie über eine Folge eng verzahnter Projekte. Im Zuge dieser Anstrengungen entstand ein Kompetenzzentrum, welches – so das Urteil des wissenschaftlichen Evaluationsexperten in Kapitel B3.2 - der internationalen „Champions League“ zu zuordnen ist. Die Forschungsanstrengungen sind schwerpunktmässig in der orientierten Forschung mit einem Umsetzungsvorlauf von 3-8 Jahren anzusiedeln (vgl. Abb. B4-2). Die Brücke zur Praxis wird über

³¹ vgl. Kriterien T6 – T11 in Abbildung A4-4

anwendungsorientierte Industrieprojekte mit Pilotcharakter geschaffen. Erfahrungsgemäss kann der Übergang von der orientierten Forschung in die konkrete Umsetzung plötzlich und unter grossem Zeitdruck erfolgen. Solche Herausforderungen wurden vom LVV / CRL bisher erfolgreich bestanden.

Abb. B4-2 Schwerpunkt der vom BFE unterstützten Projekte im Themenfeld Verbrennung

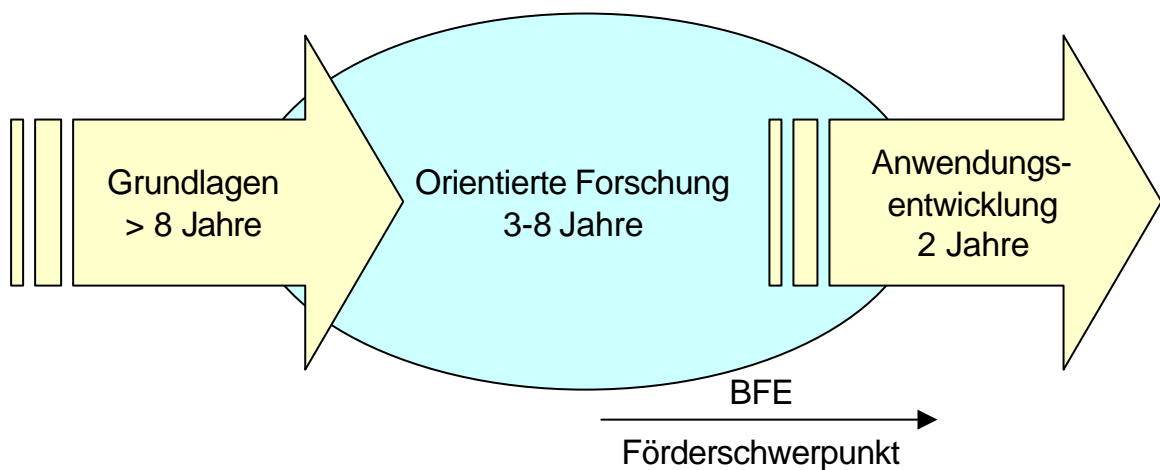
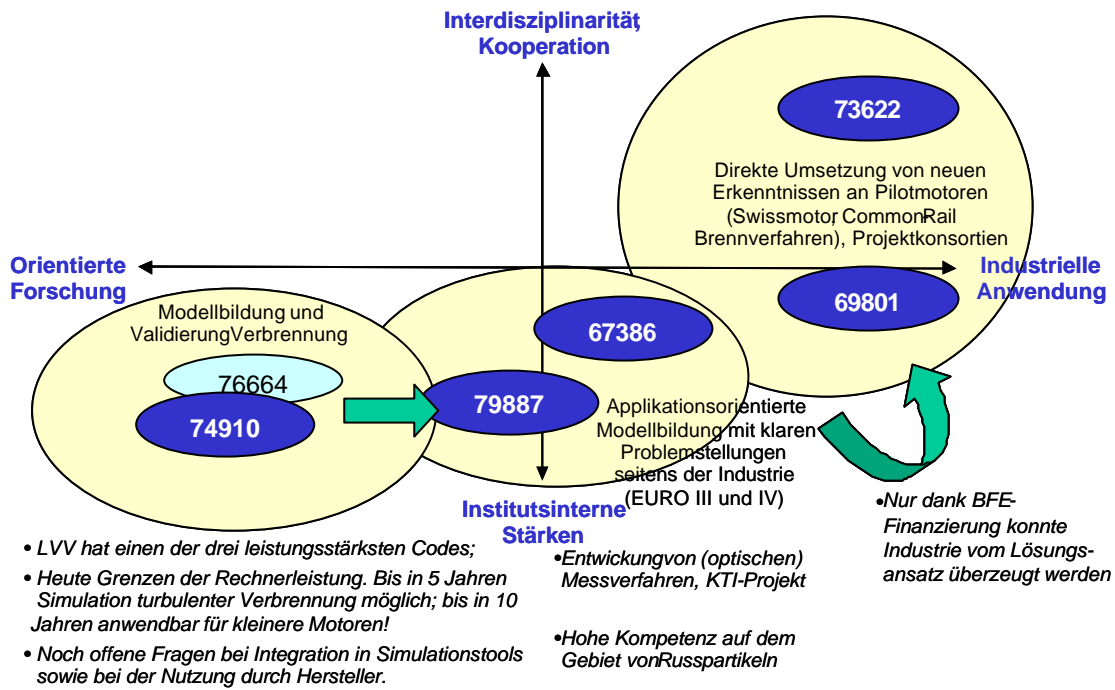


Abbildung B4-3 zeigt am Beispiel der am LVV evaluierten Projekte, dass der Wissensfluss von

- der orientierten Forschung (mit klarer wissenschaftlicher Zielsetzung; auf neue Erkenntnisse ausgerichtet), über
- die applikationsorientierte Forschung (mit klarer Problemstellung seitens der Industrie, jedoch vorwettbewerblich), hin zu
- der Anwendungsentwicklung (mit klarer Problemstellung bezüglich Produktentwicklung eines Unternehmens)

mit Blick auf die Schaffung von Transferketten systematisch geplant wird. Es besteht eine sehr gute Balance von kurzfristigen, stark anwendungsorientierten Projekten und langfristigen Entwicklungsstrategien. Das Projektportfolio zielt auf Nachhaltigkeit, nicht nur im Sinne sparsamer Nutzung von Ressourcen und minimaler Schadstoffemissionen, sondern auch im Hinblick auf soziale und wirtschaftliche Aspekte (Mobilität und Wettbewerbsfähigkeit).

Abb. B4-3 Portfolio der evaluierten Projekte am LVV



Durch die zunehmende Polarisierung der Forschungsförderung des Bundes - mit der Grundlagenforschung auf der einen und der stark anwendungsorientierten Forschung auf der anderen Seite – droht im Bereich der orientierten Forschung eine Art „Niemandland“ zu entstehen. Die oben skizzierte Innovationskette könnte dadurch erheblich gestört, wenn nicht gar unterbrochen werden. Entsprechend stark hängt die Forschungskontinuität am LVV/CRL von der Förderstrategie des Bereichs ‚Feuerung und Verbrennung‘ ab. In einem gewissen Sinne kann hier von einer – wenn auch nicht formalisierten - strategischen Allianz zwischen BFE und ETH/PSI gesprochen werden.

Einbindung in ein internationales wissenschaftlich-industrielles Umfeld

Die Einbindung in ein internationales wissenschaftlich-industrielles Umfeld ist für den Aufbau von Transferketten von hoher Bedeutung. Die durchgeführte Untersuchung der Fallstudienprojekte zeigt, dass diese Einbindung in vielfältiger Weise gewährleistet ist:

- Wie in Kapitel B4.11 bereits ausgeführt wurde, werden 6 der 11 näher untersuchten Projekte im Themenfeld Verbrennung durch die Industrie finanziell oder mit Eigenleistungen unterstützt.
- Das Team des LVV ist aktiv in die Forschungsanstrengungen der Deutschen Forschungsvereinigung für Verbrennungskraftmaschinen (FVV) eingebunden. Die entsprechende Forschungszusammenarbeit wird gemischt durch Bund und Industrie finanziert.
- Es bestehen direkte Kooperationen mit namhaften Vertretern von ausländischen Fahrzeugherstellern (z.B. MAN, Daimler-Mercedes, IVECO Motorenforschung AG, FVV-Mitgliedern).
- Ausserdem bestehen Kooperationen mit bedeutenden Lieferanten von SW-Tools im Bereich der Modellrechnung und der rechnergestützten Simulation von Verbrennungsvorgängen (insbesondere mit den Lieferanten der Codes KIVA-3 und STAR-CD, die bereits in der Industrie zur Anwendung kommen).

Zielorientierung des Forscherteams

Strategie, Organisation und Führung des Forscherteams sind aufeinander abgestimmt. Nach dem Urteil des wissenschaftlich-technischen Experten (vgl. Kapitel B3) hat die Gruppe eine ganzheitliche Sicht der relevanten Forschungsfelder. Der Kompetenzaufbau im Rahmen der strategischen Forschungsschwerpunkte wurde über viele Jahre hinweg konsequent und proaktiv vorangetrieben. Die interdisziplinäre Kooperation mit anderen Teams erfolgt projektweise und auf der Basis klarer Zielsetzungen. Der klare, strategisch-organisatorische Rahmen, wie er durch die Leitung vorgegeben wird, widerspiegelt sich in den einzelnen Projektteams. Dieses Umfeld hat wesentlich zum kontinuierlichen Wissensaufbau hin zu einem international führenden Forschungsteam beigetragen.

Rechen- und Simulationstools als Glied der Transferkette

Die Neuerkenntnisse und Ergebnisse aus der Modellbildung und der rechnerunterstützten Simulation von Verbrennungsvorgängen fließen nur im Rahmen von Pilotprojekten direkt in die Entwicklungsarbeiten von Motoren- und Gasturbinenherstellern ein. Eine breite Nutzung der Erkenntnisse wird erst möglich, wenn empirisch validierte CFD-Modelle in kommerzielle Rechen- und

Simulationstools wie KIVA-3 und STAR-CD eingebaut werden. Aus der Transferoptik betrachtet ist es daher entscheidend, inwieweit es gelingt, die Forschungsergebnisse in diese kommerziellen Tools überzuführen. Dieser Transfermechanismus besteht in Ansätzen, leidet jedoch unter zwei einschränkenden Gegebenheiten:

- Zum einen befindet sich der Markt von kommerziellen Toolanbietern in der Konsolidierungsphase. Es ist zur Zeit relativ schwierig abzuschätzen, welche Anbieter sich in der Industrie inskünftige durchsetzen werden. Vermutlich werden nur einige wenige kommerzielle Tools diese Konsolidierungsphase überleben.
- Zum anderen ist die Entwicklung und Nutzung der umfangreichen CFD-Codes an eine weitergehende Steigerung der Rechnerleistung gebunden. Der Übergang in die kommerzielle Anwendung gleicht somit einer Gratwanderung, wo die Balance zwischen Fortschritten in modelltheoretischen Erkenntnissen und Verfügbarkeit entsprechender Rechenleistung permanent gefunden werden muss.

Als zwischenzeitliche Alternative bietet sich die direkte Implementierung von CFD-Codes beim Kunden an. Dies erfolgt in ausgewählten Beispielen, z.B. bei Wärtsilä Switzerland Ltd. Die Gespräche mit „Pilot-Endkunden“ zeigen jedoch, dass der direkte Weg teuer und risikoreich ist. Sie erwarten, dass entsprechende CFD-Codes in Zukunft über kommerzielle Tools erhältlich werden. Am LVV/CRL ist man sich bewusst, dass eine eigene SW-Entwicklungs- und Vermarktungsstrategie nicht realistisch ist und dass daher eine Zusammenarbeit mit bestehenden Tool-Anbietern gesucht werden muss. Heute bestehen entsprechende Kontakte. Die Formulierung einer Kooperationsstrategie mit den vorwiegend ausländischen Toolanbietern drängt sich auf.

Messmethodik und –technik als Glied der Transferkette

Im Rahmen der empirischen Validierung von Modellen entstanden neue Ansprüche an die Messmethodik und –technik. Dies führte zu einem Portfolio von Kompetenzen und Messinstrumenten, welches ein weit über das eigene Labor hinausgehendes Nutzungspotential eröffnet. Damit ergeben sich neue Chancen für spezialisierte Produkte- und Dienstleistungsangebote für Dritte, die heute noch zu wenig erkannt und umgesetzt werden.

Industrielle Pilotanwendungen (P+D)

Industrielle Pilotanwendungen kamen oftmals erst dank gezielten Anstrengungen seitens der Programmleitung des Bereichs ‚Feuerung und Verbrennung‘ zustande. Das Themenfeld Verbrennung kann jedoch ein interessantes Portefeuille von erfolgreichen Pilotprojekten vorweisen. Zu erwähnen sind insbesondere Kooperationen mit LIEBHERR Machines SA, Alstom AG, IVECO Motorenforschung AG, Wärtsilä Switzerland Ltd, CRT COMMON RAIL TECHNOLOGIES. Ein besonders hervorzuhebendes Beispiel ist die Entwicklung des sogenannten „Swiss-Motors“³², einem Gasmotor für den stationären Einsatz. Die 200 kW Maschine weist bei hohem Wirkungsgrad eine konkurrenzlos geringe Schadstoffemission auf. Leider fiel der Markt für Kraft-Wärme-Kopplung in der Phase der Industrialisierung zusammen. Ohne Nachfrageincentives (Normen, Energiepreise) dürfte eine breitere Marktdurchdringung weiterhin schwierig sein und gerade auch mittelgrosse, innovative Unternehmen wie Liebherr ungünstig beeinflussen.

Ausbildung von Spezialisten

Die Ausbildung von Assistenten und Doktoranden im Themenfeld Verbrennung ist – im Sinne von Leitsatz 5 der CORE (vgl. Kapitel A1) - ein weiterer wichtiger Pfeiler des Transfers. Allein am LVV sind 28 Angestellte, davon 14 Doktoranden tätig. Diese hoch qualifizierten Mitarbeiter finden in der Regel den Weg in die entsprechende Industrie und schlagen dort eine wichtige Brücke zwischen Forschung und Anwendung. Diese Brückenfunktion wurde in verschiedenen Gesprächen mit Industrievertretern hervorgehoben. Zwischen Institutsleitung und vielen Ehemaligen besteht nach wie vor Kontakt, was einen nachhaltigen Erfahrungsaustausch gewährleistet.

Rolle der Fachhochschulen im Transferprozess

Wie in Kapitel B3.4 ausgeführt wurde, macht es aufgrund der Komplexität und der langfristigen Orientierung Sinn, die eigentlichen Forschungsarbeiten im Themenfeld Verbrennung an der ETH und deren Annexanstalten PSI und EMPA zu konzentrieren. Spezialisierte Fachhochschulinstute (z.B. in Le Locle, Luzern

³² Projekt 69801. In der Systematik des BFE ist dieses Projekt als F+E-Projekt klassiert.

oder Fribourg) können aber wichtige Aufgaben in der Transferkette übernehmen.

Die Ergebnisse der Forschung fließen dabei idealerweise als validierte CFD-Modelle in kommerzielle Rechen- und Simulationstools ein. Grundsätzlich sind diese Tools den Fachhochschulen zugänglich und können dort für praxisorientierte Entwicklungsprojekte genutzt werden. Auch im Bereich der Messtechnik könnte eine Brücke zu den Fachhochschulen geschlagen werden, welche ihnen den Zugang zu Spezialisten und Infrastruktur auf dem Gebiet der Messmethoden und -instrumente eröffnen würde.

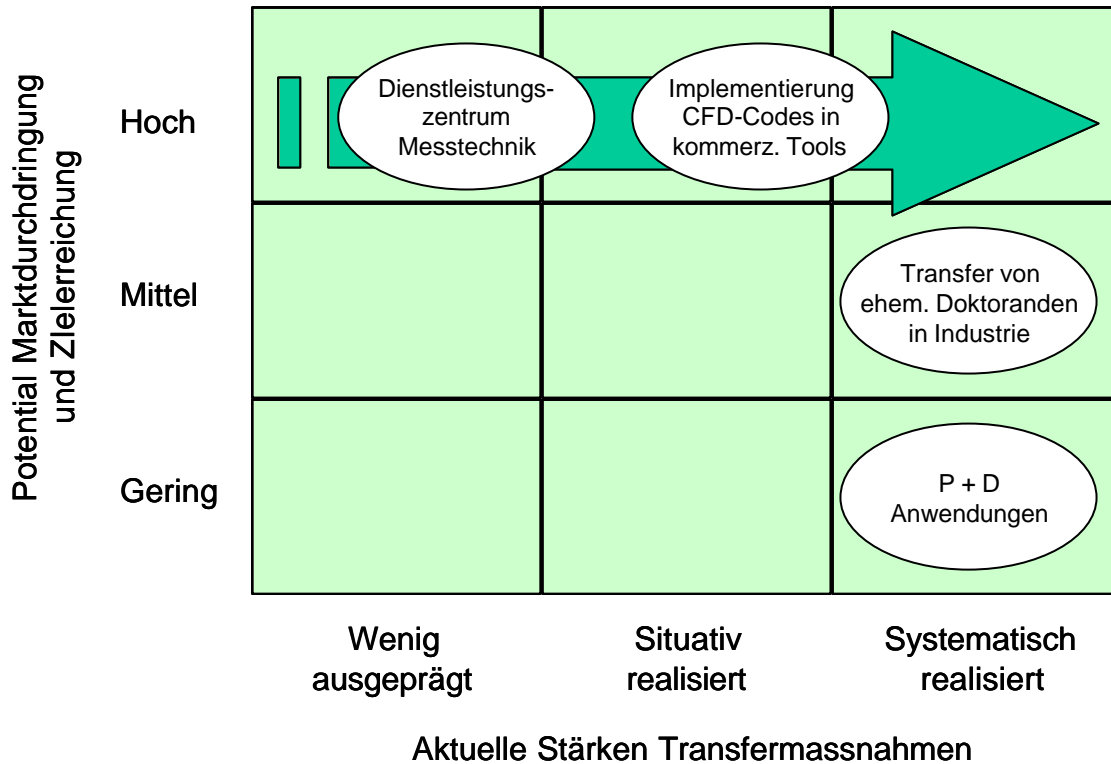
Bis zum Zeitpunkt der Evaluation gab es keine derartigen Projekte, die vom Bereich ‚Feuerung und Verbrennung‘ unterstützt worden sind. Zu möglichen Problemen des Wissenstransfers von den ETH-Institutionen zu den Fachhochschulen sind deshalb hier keine Aussagen möglich.

B4.13 Schlussfolgerungen und Empfehlungen aus Sicht des Technologietransfers

Stärken und Schwächen im Themenfeld ‚Verbrennung‘

Aufgrund der Befunde in den Kapiteln B4.11 und B4.12 sind die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Umsetzung der Ergebnisse der F+E- und P+D-Projekte im Themenfeld ‚Verbrennung‘ insgesamt günstig zu beurteilen. Insbesondere konnte am LVV und am CRL eine konsistente Verzahnung erreicht werden von eher längerfristigen Projekten, die klar auf die Gewinnung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse ausgerichtet sind, und von kurz- bis mittelfristig orientierten Projekten, bei welchen konkrete Fragen der Industrie im Vordergrund stehen. Bei der Bewertung der Transfermechanismen kann somit auf ein Umfeld Bezug genommen werden, das den Aufbau von Transferketten in mancher Hinsicht begünstigt. Wie Abbildung B4-4 erkennen lässt, sind die hier zur Diskussion stehenden Transfermechanismen in einer Stärken–Wirkungs-Matrix gleichwohl unterschiedlich positioniert.

Abb. B4-4 Synopsis der Bewertung der Transfermassnahmen



Die Abbildung B4-4 ist als Synopsis zu verstehen. Die vertikale Achse zeigt die verschiedenen Ausprägungen des Potentials von Marktdurchdringung und Zielerreichung (Nachhaltigkeit). Das Potential wird wie folgt definiert:

- **Gering:** Die Umsetzung erfolgt auf einer Produktserie (z.B. LIEBHERR Machines SA Gasmotor).
- **Mittel:** Die Umsetzung erfolgt innerhalb einer Unternehmung systematisch durch Internalisierung der Kompetenzen (z.B. leitende Mitarbeiter bei Wärsilä Switzerland Ltd sind ehemalige Doktoranden des LVV).
- **Hoch:** Die Umsetzung erfolgt in einer Vielzahl von Unternehmen und Produktfamilien über die professionelle Nutzung von kommerziell erhältlichen Tools und Instrumenten (z.B. CFD-Codes in Tools wie KIVA-3 und STAR-CD).

Auf der horizontalen Achse wird der Versuch unternommen, die aktuellen Transferstärken zu typisieren:

- **Wenig ausgeprägt:** Transfermassnahmen sind nicht umgesetzt; die entsprechende Sensibilisierung von Entscheidungsträgern ist gering; hier wird Neuland betreten.
- **Situativ realisiert:** Die Sensibilisierung ist vorhanden; die entsprechenden Massnahmen werden realisiert, wenn sich die Möglichkeiten dazu ergeben.
- **Systematisch realisiert:** Hohe Sensibilisierung; systematisch wird nach Marktmöglichkeiten gesucht; eine eigentliche Kooperationskultur im Sinne einer längerfristigen Partnerschaft besteht.

Die oben beschriebenen Transfermassnahmen sind in diesem vereinfachten Bewertungsrahmen positioniert. In einer zusammenfassenden Bilanz lässt sich feststellen, dass die Transferstärken vorwiegend bei Massnahmen mit beschränktem und mittlerem Marktdurchdringungspotential liegen. Dort wo dieses Potential am höchsten ist, besteht demgegenüber ein Verbesserungspotential. Dies lässt jedoch nicht den Schluss zu, dass die Prioritäten in der Transferpolitik falsch gelegt wurden. Es gilt zusätzlich zu berücksichtigen, dass die Massnahmen nur dann greifen, wenn auch tatsächlich etwas transferierbar ist. Dies ist und war der Fall im Rahmen von P+D-Projekten sowie beim Transfer von ehemaligen Doktoranden in die Industrie. Demgegenüber nimmt der Prozess der Generierung von CFD-Codes sowie der Entwicklung von Messmethoden und -instrumenten sehr viel mehr Zeit in Anspruch. Entsprechende Transfermassnahmen greifen somit erst mit einer zeitlichen Verzögerung. Am LVV / CRL wurde in den letzten Jahren ein stabiles Fundament dafür geschaffen. Entsprechend gilt es nun, dieses Potential durch eine aktive Transferpolitik umzusetzen. Was die Transfermassnahmen anbelangt, dürfte hier die Herausforderung für die kommenden Jahre liegen.

Empfehlungen aus Sicht des Technologietransfers

Aus den Beobachtungen und Erfahrungen des Evaluatorenteams resultieren folgende Empfehlungen:

- **Commitment der ETH-Institutionen zur Verbrennungsforschung:** Durch die zunehmende Polarisierung der Forschungsförderung des Bundes - mit der Grundlagenforschung auf der einen und der stark anwendungsorientierten Forschung auf der anderen Seite - droht im Bereich der orientierten Forschung eine Art „Niemandland“ zu entstehen.

Verschiedene vom Bereich ‚Feuerung und Verbrennung‘ unterstützte Projekte sind der orientierten Forschung zuzuordnen. Diesen Projekten kommt für die Forschungskontinuität am LVV/CRL eine beträchtliche Bedeutung zu. In einem gewissen Sinne kann hier von einer – wenn auch nicht formalisierten - strategischen Allianz zwischen BFE und ETH gesprochen werden. Eine solche Konstellation setzt Klarheit und Transparenz über das jeweilig längerfristige Engagement beider Parteien voraus. Auf dieser strategischen Ebene bestehen Unsicherheiten, die besprochen und behandelt werden müssen. Ein längerfristiges Engagement des BFE auf Stufe Projektfinanzierung sollte zumindest auf das Fundament einer ETH-seitigen „Absichtserklärung“ für die Finanzierung der dazu notwendigen Infrastruktur gestellt werden.

- **Gewährleistung einer langfristig orientierten strategischen Führung der Forschergruppen:** Wie in den meisten Unternehmen und Organisationen steht und fällt die Kohärenz einer Gruppe mit der Person an ihrer Spitze. Im Rahmen seiner Fördertätigkeit wäre das BFE daher gut beraten, sich mit ETH und PSI frühzeitig über allfällige personelle Veränderungen im Führungsbereich abzusprechen.
- **Ausbau der Kooperationen mit der Wirtschaft im Bereich der Tools:** Den Verantwortlichen am LVV/CRL ist klar, dass eine eigene SW-Entwicklungs- und Vermarktungsstrategie nicht realistisch ist und dass daher eine Zusammenarbeit mit bestehenden Tool-Anbietern gesucht werden muss. Auch wenn die Marktkonsolidierungsphase noch einige Unbekannte mit sich bringt, müssen Allianzen gezielt gesucht werden. Gegebenenfalls könnten (heutige) Pilot-Endbenutzer wie Wärtsilä Switzerland Ltd und Alstom AG gemeinsam mit einem Toolanbieter für weitere Kooperationsvorhaben gewonnen werden. Ihre Kompetenzen wie auch ihre wirtschaftlichen Interessen würden sich dabei ideal ergänzen. Solche Projektkonsortien hätten vermehrt internationalen Charakter. In diesem Zusammenhang müssten auch die Fördermöglichkeiten des zukünftigen 6. EU-Rahmenprogramms abgeklärt werden.
- **Ausschöpfen des Vermarktungspotenzials im Bereich der Messmethodik und –technik:** Das erarbeitete Know-how im Bereich Messmethodik und –technik beinhaltet ein Anwendungspotenzial, das weit über die direkte Nutzung am CRL und am LVV hinausreicht. Dieses

Transferpotenzial wurde bisher noch zu wenig erkannt und deshalb auch nicht genutzt.

Hier bestehen Verbesserungsmöglichkeiten. Ob gewisse Instrumente wirtschaftlich sinnvoll industrialisiert und vermarktet werden können, müsste überprüft werden. Gegebenenfalls bestünde in Einzelfällen ein Umsetzungspotential für Schweizer KMUs. Sicherlich bietet die Kombination von Expertise, Messmethoden und Messinstrumenten aber eine ausgezeichnete Ausgangsbasis für den Aufbau eines eigentlichen Servicezentrums, das den Forschungs-, Entwicklungs- und Prüfstellen entsprechende Dienste auf internationaler Ebene anbieten könnte. Auch Fachhochschulen könnten allenfalls für ihre Arbeiten von diesen Dienstleistungen profitieren.

B4.2 Feuerung

Ausgangslage

Die vom Bereich ‚Feuerung und Verbrennung‘ unterstützten Projekte im Themenfeld Feuerung werden vom Laboratorium für Thermodynamik in Neuen Technologien (LTNT) bearbeitet.

Das LTNT entwickelte sich unter der damaligen Leitung von Prof. Suter zu einem Kompetenzzentrum für die einheimische Brennerindustrie. Die Forschungsschwerpunkte lagen primär in der Entwicklung von Simulationswerkzeugen für die (einheimische) Brennerindustrie. Die numerische Modellrechnung sowie die Strömungsrechnung standen im Vordergrund. Die Kompetenz wurde vorwiegend über Projekte aufgebaut. 1989 finanzierte der Bereich ‚Feuerung und Verbrennung‘ ein erstes, von der Industrie initiiertes Projekt. In den 90er Jahren wurden die Grundlagen geschaffen für den Low-NOX-Brenner mit Abgaszirkulation. Praktisch alle Schweizer Brennerhersteller waren in dem vom BFE unterstützten Forschungsvorhaben involviert. In diesen Jahren entstand eine fruchtbare Symbiose zwischen dem LTNT und der Brennerindustrie. Die Fördertätigkeit des BFE hatte subsidiären Charakter. Rückschläge, wie der für Forschungszwecke ungeeignete Hochdruck-Verbrennungsprüfstand DIVA (mitfinanziert durch BFE), vermochten das insgesamt positive Bild nicht zu trüben.

Die Kumulation von zwei Effekten hat dieses Bild in den letzten Jahren jedoch zunehmend verändert:

- Der Markt der Schweizer Brennerindustrie veränderte sich in den letzten zehn Jahren radikal. Ende der 80er Jahre verfügte die Schweiz noch über eine starke einheimische Industriebasis (Oertli, Elco, Ygnis und andere) mit entsprechenden Entwicklungs- und Produktionskapazitäten. Heute, gut zehn Jahre später, findet sich kein einheimischer Brennerhersteller mehr. Durch Fusionen und Verkäufe wurden sie in ausländische Grossunternehmen integriert. Da auch die Entwicklungsabteilungen aus der Schweiz abgezogen wurden, fehlen dem LTNT heute industrielle Forschungspartner in der Schweiz³³.
- Der Wechsel der LTNT-Leitung von Prof. Suter zu Prof. Poulikakos führte zu einer strategischen Neuausrichtung des LTNT. Heute umfasst das im Themenfeld ‚Feuerung‘ aktive Team noch vier Mitarbeiter. Mit Blick auf die Konzentration der Kräfte erscheint es erstrebenswert, alle Forschungsaktivitäten von ETH-Institutionen zum Bereich ‚Feuerung und Verbrennung‘ unter eine einheitliche Leitung zu stellen.

Bisherige Aktivitäten im Transferbereich

Im Gegensatz zum Themenfeld ‚Verbrennung‘ (vgl. Kapitel B4.1) ist es für das Themenfeld ‚Feuerung‘ problematisch, die Transfer- und Umsetzungsmassnahmen zu bewerten. Zu sehr hat sich der Kontext in den letzten Jahren verändert. Rückblickend betrachtet kamen folgende Umsetzungsmechanismen zum Tragen:

- Eine eigentliche Strategie seitens des LTNT zur breitenwirksamen Diffusion von Forschungsergebnissen via kommerzieller CFD-Codes besteht nicht. Eine Ausnahme bildet das Projekt 78151 (Struktur turbulenter Diffusionsflammen), wo die Ergebnisse von einem ehemaligen Doktoranden in **kommerzielle CFD-Codes** (AEA-München) implementiert werden. Gerade für Industrie und Fachhochschulen, welche mit kommerziellen CFD-

³³ Die Möglichkeit einer erneuten Zusammenarbeit mit YGNIS zwecks Entwicklung eines Low-NOX-Brenners mit erhöhtem Wirkungsgrad wird – nach einer Phase des Desinteresses seitens des Industriepartners – von der Programmleitung abgeklärt. Es ist zur Zeit das einzige in Diskussion stehende Projekt mit direktem Praxisbezug.

Tools arbeiten, wäre dies eine geeignete Art der Wissensaufbereitung. Schwerpunkte in der Diffusion dokumentierten Wissens liegen eindeutig in den publizierten Arbeiten.

- Die Ausbildung von **Assistenten und Doktoranden** hat einen hohen Stellenwert im Wissenstransfer. Von den 12 seit 1990 promovierten Doktoranden fanden 6 den Weg in die Brennerindustrie, 2 in den Energy Consulting Bereich, 2 zu CFD-Code Anbietern und 2 in den EDV-Banken Bereich.
- Die direkte Umsetzung von F&E-Ergebnissen im Rahmen **industrieller Pilotanwendungen** erwies sich insgesamt als problematisch. Auf Seite der Kleinbrennerhersteller besteht eine Mentalität des pragmatischen „Try and error-Verfahrens“. Für den eher erkenntnistheoretischen Ansatz der ETH zeigen diese Produzenten wenig Gehör.

Als Beispiel einer gelungenen Kooperation mit einem industriellen Partner kann YGNIS erwähnt werden. Die mit Unterstützung des BFE und des LTNT entwickelte Generation der VARINO-Brenner verzeichnete einen kommerziellen Erfolg. Rund 2500 Brenner der Leistungsklasse 60-300 kW und 500 Brenner der Leistungsklasse 350-600 kW wurden inzwischen bei Kunden installiert. Allerdings ist der Beitrag dieser erfolgreichen Umsetzung in den Markt zu den strategischen Bundeszielen eher gering, gingen doch rund 80% der Brenner in den Export. Insbesondere die hohen Gaspreise in Italien haben die Nachfrage nach den etwas teureren, aber effizienten Brennern stimuliert. Ob eine weitere Zusammenarbeit zur Entwicklung eines „Super low NOx Brenners“ zustande kommt, ist zur Zeit offen.

- Zwischen LTNT und LVV sowie PSI bestehen gute Kontakte. Zum Teil werden Messinstrumente gegenseitig genutzt. Die Forscher am LTNT profitieren jedoch kaum von der wissenschaftlichen Führung sowie vom Coaching durch Experten wie Prof. Boulouchos (LVV) oder Hubschmid (PSI). Ebenso fehlen systematische Kooperationen mit Fachhochschulen. **Die nationale und internationale Vernetzung** ist wenig ausgeprägt.

Blick in die Zukunft

Vor dem Hintergrund der heutigen Situation des LTNT stellt sich die Frage der Überführung der bestehenden Forschungsaktivitäten und Kompetenzen in eine

neue Trägerorganisation. Dabei ist insbesondere auch die zukünftige Positionierung der Fachhochschulen mit zu berücksichtigen. Gegebenenfalls bietet sich die Option, das „phasing out“ des ETH-Forschungsteams aktiv in Richtung eines systematischen Wissenstransfers an eine Fachhochschule zu kanalisieren. Ein ehrgeiziges Forschungsprojekt wie z.B. das oben zitierte Vorhaben eines „Super low NOx Brenners“ könnte diesen Prozess positiv unterstützen. Die Programmleitung sieht diese Option und hat zwischenzeitlich auch ein erstes Projektgespräch zwischen möglichen Partnern geplant.

Im Falle einer Weiterführung der BFE-seitigen Forschungsförderung im Themenfeld ‚Feuerung‘ müsste die gesamte Transfer- und Umsetzungsproblematik mit dem zukünftigen Träger geklärt werden. Die aktuelle Situation zeigt ein Bild einer weitgehend unterbrochenen Transferkette. Die Programmleitung ist sich dieser Situation bewusst. Bis die notwendigen strategischen Entscheide getroffen sind, übt die Programmleitung grosse Zurückhaltung bei der Förderung weiterer Projekte im Themenfeld ‚Feuerung‘.

Teil C

**Bereich
'Rationelle
Energienutzung
in Gebäuden'**

C1 Kurzporträt des Bereichs ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘

Leitung

Leiter des Forschungsprogramms ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘ ist Mark Zimmermann, EMPA.

Das Forschungsprogramm ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘ ist ein Teil der Aktivitäten des BFE-Bereichs ‚Gebäude‘, welcher auch für Projekte zur Markteinführung und Marktsicherung für neue Problemlösungen im Gebäudebereich sowie für Koordinationsaufgaben zwischen Bund und Kantonen verantwortlich ist. Die Leitung des BFE-Bereichs ‚Gebäude‘ lag bis Herbst 2001 bei M. Stettler (Bereichsleiter BFE), seither bei A. Eckmanns (Bereichsleiter BFE).

Thematische Schwerpunkte³⁴

Das Forschungsprogramm ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘ fördert den effizienten und umweltschonenden Energieeinsatz im Gebäudebereich, indem es Grundlagen erforscht und die Entwicklung und Demonstration verbesserter Technologien unterstützt. Das Programm befasst sich mit Gebäudesystemen, mit der Gebäudehülle, mit den haustechnischen Installationen und mit der passiven Nutzung der Sonnenenergie. Während früher nur die Einsparung oder Substituierung von fossilen Energieträgern Vorrang hatte, stehen heute die Reduktion des Primärenergieverbrauchs und die Minimierung aller relevanten Umweltbelastungen im Vordergrund. Das laufende Forschungsprogramm 2000 - 2003 ist auf sieben Themenfelder fokussiert, die im Jahr 2000 öffentlich ausgeschrieben worden sind (vgl. Abb. C1-1).

³⁴ Die folgende Übersicht über die thematischen Schwerpunkte ist dem Forschungs-, Pilot- und Demonstrationsprogramm 2000 – 2003 des Bereichs ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘ entnommen (ZIMMERMANN 2001).

Abb. C1-1 Thematische Schwerpunkte des Bereichsprogramms 2000 – 2003

Hochisolationstechnik (besonders ausgerichtet auf Sanierungen):	Überprüfung der Praxistauglichkeit von Abdichtungslösungen zwischen Bauteilen (inkl. Behebung von Wärmebrücken) Entwicklung schlanker Bauteile und hochdämmender Fensterrahmen Entwicklung rationeller standardisierter Bauelemente und energetisch guter Systembauteile Baustoffforschung zur Optimierung bestehender und Entwicklung neuer, z.B. nachwachsender Materialien.
Sonnenenergienutzung (inkl. Probleme des Sonnenschutzes, der Kühlung und der Tageslichtnutzung):	Entwicklung von Systemen zur selektiven Optimierung der Tageslichtnutzung in verglasten Bauteilen Entwicklung von Sonnenschutz- und Tageslichtsystemen sowie Speicherkonzepten für passive Sonnenenergiegewinne Entwicklung von Lösungen der passiven Kühlung (Nacht-Kühlung, Erdreich-Kopplung) Abklärung der künftigen Bedeutung und Effizienz transparenter Abdeckungen opaker Wände für Sanierungen und Niedrigenergiebauten.
Passivhäuser und optimierte Systeme zur Deckung des minimierten Energiebedarfs:	Entwicklung und Demonstration von Passivstandards für Bürobauten und Sanierungen Entwicklung von optimal kombinierten Systemen (Heizung, Lüftung, Warmwasser, Abwärmenutzung) Reduktion von Hilfsenergie der Wärme-Erzeugungs- und Verteilungssysteme (Wirkungsgradüberprüfung und -verbesserung) Konzepte zur Integration der Brennstoffzelle als Wärme- und Stromlieferant im Gebäudebereich, Vergleich der Wärmekraftkopplung (WKK) und Brennstoffzelle gegenüber WKK mit Gas-, Diesel- oder Stirling-Motor bezüglich Wirtschaftlichkeit, Zuverlässigkeit und Umweltaspekten Entwicklung und Demonstration von Lüftungssystemen (mit oder ohne Wärmerückgewinnung).
Systeme zur Nutzung von Temperaturkaskaden, Abwärmernutzung und Energiespeicherung, sowie energieeffiziente Warmwasseranlagen:	Ermittlung des Potenzials und die Entwicklung von Lösungen zur Nutzung von Abluft und Abwasser-Wärme (u.a. Systeme zur Grauwasser-Wärmerückgewinnung) Betriebswirtschaftlicher und ökologischer Vergleich von Kosten verschiedener Speichersysteme Entwicklung dünner Dämmsysteme für Warmwasser-Leitungen Bestimmung und Lösung der kritischen Punkte bei Haustechnikanlagen (Aspekte der Gesundheit) Entwicklung schmutzabstossender oder selbstreinigender Oberflächen für Abwasser-Wärmerückgewinnung.
Umweltaspekte des Bauens und der Energienutzung	Aufarbeitung von Stoff- und Energiebilanz von Fertigungsprozessen im Bauwesen sowie von Kennwerten für die Umweltbelastung durch Bauten Beurteilung der CO ₂ -Relevanz der Energietechnik Entwicklung von einfachen und schnellen Methoden zur ökologischen Grobbeurteilung von Bauten. Daraus sollen Anwendungen hervorgehen wie die Entwicklung neuer Baustoffe aus nachwachsenden Rohstoffen mit breitem Anwendungspotenzial, die Evaluation neuer haustechnischer Systeme mit reduzierter Umweltbelastung bei Erstellung und Rückbau sowie die Entwicklung effizienter und umweltgerechter Rückbautechnologien.

Grundlagen zur Erhöhung der Bestellerkompetenz, Diagnose- und Abnahmeverfahren	Bereitstellung von Daten, Methoden und Verfahren für Bewertung und Vergleich verschiedener Lösungen Definition der Anforderungen an bestellergerechte Anleitungen (einfaches und sicheres Handling) Entwicklung neuer Methoden und Messtechniken zur Überprüfung von energietechnischen Komponenten bei Abnahme und Diagnose.
Bedarfsgeregelte Systeme und Einbezug des Benutzer- und Betreiberhaltens	Definition der Anforderungen an Steuerungs- und Regelungstechnik (angepasst an den Betreiber) Vergleich automatisch funktionierender mit benutzer-gesteuerten Anlagen Entwickeln neuer Regelstrategien zur Vermeidung unnötiger Energieverluste infolge falschen Benutzerverhaltens Entwicklung lernfähiger Regelsysteme, dezentraler „Intelligenz“ und drahtloser Kommunikation für bedarfsabhängige Systeme Entwicklung kostengünstiger Systeme zur Fernüberwachung und -steuerung von Energiesystemen.

Quelle: ZIMMERMANN 2001, S.12-14

Budget und Stand der Umsetzung des Bereichsprogramms

In den Jahren 2000 – 2003 sind für F+E- sowie P+D-Projekte im Bereich ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘ von Seiten des BFE total 14.5 Mio Fr. vorgesehen. Dies entspricht einem mittleren Jahresbudget von 3.8 Mio Fr.. Die Abbildung C1-2 zeigt, dass die von der Programmleitung angestrebte Verteilung der Mittel auf die sieben bearbeiteten Themenfelder bis zur Halbzeit des Forschungsprogramms im Herbst 2001 mit der durchgeführten öffentlichen Ausschreibung noch nicht erreicht werden konnte. Zur Schliessung noch bestehender Forschungslücken ist deshalb im Jahr 2002 eine weitere Ausschreibung von Projektgruppen vorgesehen.

**Abb. C1-2 Budget des Bereichs ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘
2000 –2003**

Themenfeld	Budget 2000 - 2003		Bewilligte Projekte (Stand Herbst 2001)	
	Budget des Themenfeldes	Geplanter Budgetanteil des Themenfeldes	Finanzielle Unterstützung des Bundes	Anteil des Themenfeldes am platzierten Budget
Hochisolationstechnik	2.00 Mio Fr.	14%	2.18 Mio Fr.	31%
Passive Sonnenenergienutzung, Sonnenschutz	2.00 Mio Fr.	14%	1.25 Mio Fr.	18%
Passivhäuser etc.	3.00 Mio Fr.	21%	1.52 Mio Fr.	22%
Abwärmenutzung, Energiespeicherung	1.50 Mio Fr.	10%	0.03 Mio Fr.	< 1%
Umweltaspekte des Bauens	3.00 Mio Fr.	21%	0.66 Mio Fr.	9%
Bestellerkompetenz	1.50 Mio Fr.	10%	1.21 Mio Fr.	17%
Bedarfsregelung	1.50 Mio Fr.	10%	0.15 Mio Fr.	2%
TOTAL	14.50 Mio Fr.	100%	7.00 Mio Fr.	100%

Quelle: Darstellung BHP nach ZIMMERMANN 2001, S.12-14

Seit 1994 sind im Bereich ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘ mit Unterstützung des BFE insgesamt 304 Projekte bearbeitet worden. Darunter sind 170 F+E-Projekte (56%) und 134 P+D-Projekte (44%). In der Programmperiode 2000 – 2003 sind bis Ende Oktober 2001 36 F+E-Projekte (80%) und 9 P+D-Projekte (20%) bewilligt worden (vgl. Abb. C1-3).

Bearbeitung der F+E- und P+D-Projekte

Rund die Hälfte der Projekte wird von der Privatwirtschaft bearbeitet (vgl. Abb. C1-3). Unter den privaten Auftragnehmern finden sich in erster Linie Ingenieurunternehmungen und Architekten. Nur schwach vertreten sind hingegen industrielle Hersteller von Komponenten. Dies erstaunt nicht, denn komponentenorientierte Projekte sind mit Ausnahme der Gebäudehülle anderen Forschungsprogrammen zugeordnet.

29% der Projekte werden von EMPA, ETH und PSI bearbeitet. 16% der Projekte entfallen auf Fachhochschulen, welche für die Bearbeitung von Projekten des Bereichs ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘ wesentlich besser geeignet sind als für die langfristig orientierten, hardware- und know-how-intensiven Projekte des Bereichs ‚Feuerung und Verbrennung‘.

Abb. C1-3 Projekte und Projektbearbeiter im Bereich ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘ (Stand Herbst 2001 der Projekte im Programm 2000 –2003) (a)

Themenfeld	Projekte			Projektbearbeiter			
	Total	F+E	P+D	EMPA, ETH, PSI	Fach- hoch- schule	Privat- wirt- schaft, Bauherr	andere
Hochisolationstechnik	8	8	0	4	1	3	0
Passive Sonnenenergie- nutzung, Sonnenschutz	12	9	3	4	0	8	0
Passivhäuser etc.	11	5	6	2	2	7	0
Abwärmenutzung, Energiespeicherung	1	1	0	0	1	0	0
Umweltaspekte des Bauens	6	6	0	1	3	2	0
Bestellerkompetenz	5	5	0	1	0	3	1
Bedarfsregelung	2	2	0	1	0	0	1
TOTAL	45 (=100%)	36 (=80 %)	9 (=20 %)	13 (=29 %)	7 (=16 %)	23 (=51 %)	2 (=4%)

(a) Daneben laufen Projekte aus dem Programm 1996 – 1999.

Quelle: Darstellung BHP nach ZIMMERMANN 2001, S.31-33

Bedeutung der „Bereichsorganisation“ des BFE für die Transferaktivitäten des Bereichs³⁵

Aufgrund der Einführung der sog. „Bereichsorganisation“ arbeitete der Bereich ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘ in der Programmperiode 1996 – 1999³⁶ mit einem Konzept, welches F+E-, P+D- sowie Markteinführungs- und Marktumsetzungsprojekte beinhaltete. Für die Programmperiode 2000 – 2003 wurde kein derartiges Gesamtprogramm mehr erarbeitet, da die Kantone gemäss dem inzwischen in Kraft getretenen Energiegesetz des Bundes wesentliche Kompetenzen bei der Durchführung von Markteinführungs- und Umsetzungsprojekten erhalten haben. Die Verantwortung des Bereichs ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘ für den Transferprozess von der Forschung bis zur Umsetzung im Markt wurde damit deutlich relativiert. Wieweit dem Ziel des Technologietransfers im Rahmen der F+E- sowie P+D-Projekte Rechnung getragen wird, wird in Kapitel C4 detailliert untersucht.

³⁵ vgl. Evaluationsfrage II.2 sowie Kap. A1

³⁶ vgl. BFE 1997

C2 Übersicht über die Fallstudienprojekte

Thematische Schwerpunkte der Fallstudienprojekte

Abbildung C2-1 gibt einen Überblick über die 11 vertieft untersuchten Projekte des Bereichs ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘. Die eigentliche Analyse und Beurteilung der Projekte erfolgt in den Kapiteln C3 und C4.

Abb. C2-1 Eckpunkte der 11 vertieft untersuchten Projekte

Num- mer	Offizielle Projekt- nummer	Themenfeld	Thema	Projekt- typ	Auftrag- nehmer
1	17166	Passive Sonnen- energienutzung , Sonnenschutz	Wärmelasten transparenter Bauteile und Sonnenschutzsysteme	F+E	EMPA
2	17886	Umweltaspekte des Bauens	IEA-BCS Annex 31 „Energy Related Environmental Impact of Buildings“ (Schweizer Beteiligung)	F+E	ETH
3	18787	Bedarfsregelun- g	Thermoaktive Bauteilsysteme TABS	F+E	EMPA
4	27164	Abwärme- nutzung, Energie- speicherung	Hybrid-Komponente Luftkanal- Wärmetauscher	F+E	HTA Luzern
5	27864	Hochisolations- technik	Sanierung von einfach- und doppelt verglasten Fenstern	F+E	Dr. Eicher + Pauli AG, Liestal
6	28269	Passivhäuser etc.	Demonstration innovativer Technologien und nachhaltigen Bauens am Geschäftshaus Esslingen	P+D	Basler & Hofmann, Zürich
7	33144	Hochisolations- technik	Demonstrationsprojekte mit Vakuum-Dämmelementen	P+D	Dr. Eicher + Pauli AG, Liestal
8	35389	Abwärme- nutzung, Energie- speicherung	Öko-Siedlung Melchrüti	P+D	René Naef, Zürich
9	38174	Besteller- kompetenz	Richtlinien für Gebäude mit hohem Glasanteil	F+E	CUB, Zürich
10	40189	Passivhäuser etc.	Wohnen in Sunny Woods	P+D	Naef Energie- technik, Zürich
11	40935	Passivhäuser etc.	Passivhaus im Umbau, Magnusstrasse Zürich	F+E	Viridén + Partner, Zürich

Quelle: Darstellung BHP nach Angaben der Programmleitung ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘

Kooperation mit der Privatwirtschaft

In die 11 Fallstudienprojekte ist die Privatwirtschaft in unterschiedlicher Weise integriert (vgl. Abb. C2-2):

- Bei 7 der 11 näher untersuchten Projekte sind private Ingenieur- oder Architekturbüros Auftragnehmer.
- Bei 9 der 11 Projekte tragen Hersteller von Baumaterialien oder die Bauherren oft mehr als die Hälfte der Projektkosten.

Abb. C2-2 Beteiligung der Privatwirtschaft an den Gesamtkosten der untersuchten Projekte

Nummer	Offizielle Projektnummer	Auftragnehmer	Kostenbeteiligung bzw. Eigenleistungen von ...		Projektbudget in Tausend Fr.		
			Herstellern von Baumaterialien etc.	Bauherr	Total	Davon von Herstellern von Baumaterialien etc.	Davon von Bauherr
1	17166	EMPA	Ja	Nein	800	8%	-
2	17886	ETH	Nein	Nein	590	-	-
3	18787	EMPA	Ja	Nein	536	22%	-
4	27164	HTA Luzern	Ja	Nein	182	34%	-
5	27864	Dr. Eicher + Pauli AG, Liestal	Ja	Nein	123	33%	-
6	28269	Basler & Hofmann, Zürich	Nein	Ja	362	-	63%
7	33144	Dr. Eicher + Pauli AG, Liestal	Ja	Nein	453	65%	-
8	35389	René Naef, Zürich	Nein	Ja	225 (a)	-	60%
9	38174	CUB, Zürich	Nein	Nein	170	-	-
10	40189	Naef Energietechnik, Zürich	Nein	Ja	363 (a)	-	60%
11	40935	Viridén + Partner, Zürich	Nein	Ja	240 (a)	-	60%

(a) Nicht-amortisierbare Mehrkosten für Minergie- bzw. Passivhausstandard (P+D-Projekte)
Quelle: Darstellung BHP nach Angaben der Programmleitung 'Rationelle Energienutzung in Gebäuden'

C3 Wissenschaftlich-technische Qualität der Bereichsaktivitäten

Ausgangspunkt der Beurteilung der Bereichsaktivitäten aus wissenschaftlich-technischer Sicht bildet ein Überblick über die aktuellen Herausforderungen im Bereich ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘ (Kapitel C3.1). Die nachfolgende Bewertung der Bereichsaktivitäten umfasst

- die Betrachtung des Bereichsprogramms, d.h. der thematischen Ausrichtung des Bereichs als Ganzes (vgl. Evaluationsfrage I.1) → Kapitel C3.2
- die Überprüfung der wissenschaftlich-technischen Qualitäten einzelner Projekte (vgl. Evaluationsfrage I.2) → Kapitel C3.3.

In Kapitel C3.4 werden die Befunde zusammengefasst und Empfehlungen für anzustrebende Optimierungen aus wissenschaftlich-technischer Optik formuliert.

C3.1 Aktuelle Herausforderungen für die Forschung im Bereich ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘

General background in the energy research of buildings

The concern of atmospheric pollution and environmental issues in general are heavily influencing the research in the building energy sector. International agreements create additional pressure to find alternative solutions to replace fossil fuels in energy production. These trends can be noticed in research activities all over Europe and beyond. In the building sector three main focus areas can be seen:

- **Reduction of the end-use of energy:** The technologies in reduction the end-use develop towards high performance thermal insulation materials, transparent insulation, windows with ultra-low u-values, solar shading features and controllability of optical properties. In ventilation heat recovery and control according to the demand are probably the most important issues in reducing the energy consumption. Advanced natural ventilation concepts or hybrid ventilation are developed to minimise the need for fan electricity. Low temperature heating applications are developed intensively

in connection with suitable energy production or conversion systems. Passive cooling, including many approaches to avoid the use of conventional vapour pressure compressors has been of large interest in many countries. Storage technologies for long-term and short-term applications is also a relevant and actual topic in the building sector. These, as well as other technologies are demonstrated in low-energy buildings all over the world.

- **Increasing the efficiency of energy production/ conversion:** The development of heat and electricity production for buildings in small-scale is still facing many challenges. Active research is done in the area of heat pumps, small-scale CHP-systems (combined heat and power) and fuel cells. Heat pumps are today's technology, which can still be improved. CHP-systems are more advanced and energy efficient than boilers. Very high expectations are set on fuel cells. In spite of a very intensive research effort they are still in a development phase.
- **Replacing fossil fuels with renewable energies:** Renewable energies is a long-term research issue, where the first applications e.g. in hot water production, PV (photovoltaics) etc. have been commercialised lately. Solar thermal, PV, wind energy and biomass can all be used to replace fossil fuels in building energy production and are for this reason investigated intensively. Replacing electrical lighting with natural light and the use of passive solar for heating are also important research topics of this category.

Because every building is more or less unique, planning tools play an important role in the energy efficiency of buildings. The development in this sector is also intensive. Unfortunately these activities are often only on a national level and the large potential of synergy through international cooperation is not as well utilised as it could be.

The efficient use of energy in buildings is a sum of many components. Despite the globally wide research in the building energy field, each country should maintain a certain level of national knowledge in the whole field of relevant technologies. Only having some activities in research can do this. For this reason all sectors of research should be covered to some extent. Some of the sectors can and should be developed more intensively to have strong national focus areas.

National features

From the point of view of an individual country, the general demands of research cannot alone guide the research strategies. The existing national infrastructure and local conditions have to be taken into consideration as well. The Swiss building stock comprises buildings of a wide age period. Roughly one fourth of all buildings are built during the years 1961-76³⁷. The volume of the whole building stock is around 2220 million m³ (1990) of which residential buildings 57 % (by volume). The mean specific energy consumption in this stock, including heating and hot water production is close to 740 MJ/m²a. The growth of the stock is not large and the specific consumption of new buildings is continuously reducing

The building sector is nationally an important user of energy. Heating and hot water production consume close to half of all fossil fuels in the country. From this around 75% is going into heating of the residential sector and further from this proportion two third to multifamily buildings. The rest 25% is used for heating of office, public, industrial and other non-residential buildings.

Increasing the energy efficiency of new buildings is important, but it can only retard the growth of the energy use. A reduction in the use of fossil fuels, CO₂ emissions and environmental load can be achieved only by reducing the use of energy in the existing building stock. The main potential from this point of view is in renovation of existing buildings. For this reason research, development and demonstration of solutions applicable for renovation is of major importance.

The structure of the heating energy production for buildings in Switzerland is extremely decentralised. Most of the buildings have a boiler and a major part of heat generation is done with small units. Having such a structure, the benefits of large energy production like high efficiency, combined heat and power and cleaner exhaust gases are not utilised. Here is a large potential from technical point of view. Substituting technologies, centralised or decentralised, could be promoted by research and demonstration but not in a way that in a long run leads to a lock-out of non-fossil technologies. The next generation technology (after oil/gas burners) for heat production in the building sector is a high priority long-term issue and should be planned and linked to the research and support activities in the building sector already today.

37 vgl. Impulsprogramm Bau

C3.2 Beurteilung des Bereichsprogramms 'Rationelle Energienutzung in Gebäuden' aus wissenschaftlich-technischer Optik

The research related to energy issues of buildings is spread out in several programmes. The research programme '*Rationelle Energienutzung in Gebäuden*', containing mainly end-use aspects, is a part of the research area *Rational Use of Energy*. The programme *CHP* (combined heat and power) including fuel cells is included in the same research area. Solar-thermal, PV (photovoltaics), heat pumps and biomass are under the research area *Renewable energies*.

Das aktuelle Forschungsprogramm 2000 – 2003 des Bereichs 'Rationelle Energienutzung in Gebäuden' lag während der Evaluationsarbeiten (Sommer 2001) noch nicht vollständig vor. Um gleichwohl eine fundierte Beurteilung der Ausrichtung des Forschungsprogramms vornehmen zu können, wurden deshalb sowohl das Programm 1996 – 1999 als auch die bereits verfügbaren Teile des Programms 2000 – 2003³⁸ überprüft. In den folgenden Abschnitten wird die Konzeption der beiden Vierjahresprogramme vor dem Hintergrund der oben skizzierten Herausforderungen für die Forschung im Bereich der rationellen Energienutzung in Gebäuden beurteilt.

Programme 1996-1999

- In the description of the programme for the period 1996 – 1999³⁹ the three former research programmes, *Building systems and envelop*, *HVAC techniques* and *Solar architecture and Daylight utilisation* have been joined together to form the main programme *Buildings*. It is mentioned that the energy characteristics of new buildings have been remarkable reduced during the last years. On the other hand, in existing buildings the consumption can be decreased only by 30 – 50 %. It is also clearly stated that the large energy saving potential is in the existing building stock. Therefore energetic renovation of existing buildings has the highest priority in the programme.

³⁸ Im November 2001 ist das Programm 2000 – 2003 von der CORE verabschiedet worden (ZIMMERMANN 2001).

³⁹ BFE 1997

- The summary of the programme description is introducing nine focus areas for research. For pilot and demonstration activities there are five focus areas. A wider list of 27 focus areas for research and development (R+D) is given after a detailed analysis of the current situation. Some of the areas have a wider scope but some have very narrow and specific goals. Correspondingly there are 19 focus areas for pilot and demonstration (P+D).

The programme R+D focus areas cover different sectors influencing energy consumption in buildings (envelop, heating + hot water production, ventilation, cooling, lighting + other use of electricity, control) during the different periods of the life span of a building (planning, construction, commissioning, normal use, renovation). Only the demolition phase is not mentioned but is obviously included in the environmental part. The striving towards high performance thermal insulation, better windows, improved ventilation and other technologies, which can be used also in renovations, can be seen here. The broad cover of the focus areas is a positive feature; no specific gaps can be identified. On the other hand the lack of clear focus areas is not according to the 'Leitsatz 1' in chapter A1.

- The P+D areas reflect well the general priorities of the programme and have a clear link to the R+D areas. Here emphasized are optimised total-concepts, applications into practise, environmental aspects and renovations.
- During 1998-99 the *Buildings* programme contained 59 R+D projects and 51 P+D projects⁴⁰. Arrangement into categories differs from the programme description. Solar architecture is removed and environmental aspects have their own group. BFE is funding 38 of the R+D projects, 55% of these as the only public institution and 45% together with other public supporters. Corresponding numbers for P+D are 47 projects, of which 81% funded by BFE alone and 19% with others. Although the private contribution is not shown, it seems that on the R+D side the institutions supporting public research have strong common interests. In the P+D projects the proportion of BFE seems to be considerably higher, which obviously reflects the general goal to focus on supporting technology learning and commercialisation.

⁴⁰ Hinzu kommen 15 Projekte im Bereich Management/Expertentätigkeit etc.. Vgl. BFE 2000, S. 28-30.

- In general the areas of hot water production, ecology, planning tools, ventilation aspects and insulation technologies are well represented amongst the R+D projects. In these areas the R+D projects have generated impressive results like the OGIP program, valuable experience in vacuum isolation materials, renovation of windows and passive cooling⁴¹.

Heating systems, lighting and solar applications seem to have fewer activities. Renovation is mentioned in the title of three projects. Of course many of the projects have features related to renovation embedded in the work, but the project titles are maybe not reflecting the importance of energetic renovations stressed in the programme description as strongly as one would assume. The P+D projects are focusing on low-energy buildings, ventilation and sustainability. Renovation is mentioned in four project titles but obviously included in several others.

- The international activities in the programme have two main channels, the International Energy Agency (IEA) and the European Union (EU). The volume of IEA activities and the role of Switzerland are on a high level. Switzerland is well represented in the Implementing Agreement *Energy Conservation in Buildings and Community*. Participation close to dozen projects in the 3^d and 4th frameworks of EU is reported as well, which reflects a considerable activity also in this direction.

Programme 2000-2003

- In the description of the programme *Buildings* for the years 2000-2003⁴² the CORE is concluding that it is worthwhile to direct attention to an additional energetic optimisation and a possibly low CO₂ emission of new buildings. However, very clearly it is stated again that the large potential in reducing energy consumption is in the existing building stock and that renovation has a high priority. The four listed focus areas for short-term R+D contain fundamentals and tools for sustainable building, technologies for low-energy buildings, tools for energy-diagnose and quality assurance as well as development of energy saving hot-water systems and heat recovery from waste water. Amongst the three middle and long-term R+D

41 ZIMMERMAN 2000a

42 CORE 1999, S.19-21.

focus areas are mentioned transparent isolation, passive cooling, utilisation of daylight, fuel cells and sustainable building in local and regional planning. The demonstration part focuses on renovation, hot-water systems, high performance insulation for buildings as well as ventilation with heat recovery.

A description of the intended R+D- and P+D-activities is also given in the ‚Ausschreibung des Programms 2000 – 2003‘⁴³, which is presenting seven focus areas shown in chapter C1. These areas have a very detailed description of the R+D activities. Demonstration is included into four focus areas. Although the focus areas are formulated in a different way, this description is well in line with the *CORE* programme 2000-2003 and repeats the same themes just in a more detailed form. The covered area of technology development and other activities is again very wide, which is a positive feature as long as it is in appropriate limits. No priorities between the focus areas are explicitly mentioned. The allocation of funding for the focus areas is varying between 1.5 and 3.0 million francs (see table C1-2 in chapter C1), which can of course be interpreted as an order of importance. Renovation is mentioned in the title of the first focus area (High performance insulation) and in few other places. Applicability for renovation is of course a feature of many other technology areas mentioned in the description.

Comparison of the programmes 1996-1999 and 2000-2003

- No essential changes in the focus areas of the programmes can be observed. This stability in the focus areas is a necessity on a national level programme. Essential changes in a well considered plan should be done only in case of a real need. Otherwise the development should happen gradually.
- The description of the period 2000-2003 gives an impression of reduced P+D activities compared with the old period (see chapter C1).
- The planned activities regarding the building envelop have principally not changed. The focus of R+D is in high performance (or vacuum) insulation

43 ZIMMERMANN 2000

technology, transparent insulation and fenestration, which certainly are relevant topics. P+D in these areas is included in both periods.

- In ventilation new topics are heat recovery, which is very important, and ground coupled systems, which is a promising technology and needs support. The documentation gives the impression, that the emphasis of renovation solutions in ventilation has changed onto the P+D side. Nevertheless R+D projects remain important, because the need for innovative renovation solutions still exists.
- Heat recovery from wastewater is clearly a long-term research topic going through both programmes and having even more weight in the new programme. On the other hand, P+D in the hot-water/wastewater area has been totally removed from the programme 2000-2003. This choice could also be reconsidered.
- In the heating sector, the integration of fuel cells into heating systems is included in both programmes as an important future option, which needs public support. The heat pump is not anymore a topic in the new 2000-2003 programme. This is justified because the heat pump technology is in a state where the learning expenses should be paid by the industry. The same certainly applies to boilers, which were still included in the old programme. The support for small-scale CHP should be considered from a long-term perspective. It may be now an attractive alternative but may form a barrier for non-fossil applications later in the future. A question arises why P+D activities of low-temperature and other advanced heating systems has been removed from the new programme.
- The environment and sustainability related focus areas have very similar features in both programmes. In the new programme the fundamentals and tools of the ecological aspects have got a more detailed form. New, very positive elements for the 2000-2003 period are demonstration of renovations of multi family buildings as well as the consideration of sustainable building in regional planning.
- Planning tools had a quite visible role in the old programme description. In the new programme this sector has been clearly reduced. The development of planning and simulation tools is a continuous process and needs support at least for development of fundamental parts included. Here international cooperation could be utilised for saving national resources.

- Heat storages is a new feature in the 2000-2003 programme. The problem of efficient and cost effective storage of thermal energy has not yet been solved. The role of the activities could here be more in integrating the storages to the building itself or to its systems than developing new storage technologies.
- The user-control interaction is another new feature and surely a relevant topic. Projects in this area should be carried out together with manufacturers of control equipment.

C3.3 Wissenschaftlich-technische Qualitäten der evaluierten Einzelprojekte

Die Evaluation des Bereichs ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘ aus wissenschaftlich-technischer Optik basiert nicht allein auf der Beurteilung der ‚Makroebene‘ des Forschungsprogramms (vgl. Kapitel C3.2), sondern auch auf Untersuchungen auf der ‚Mikroebene‘ einzelner Projekte. Wie in Kapitel A4.2 ausgeführt wurde, wurden insgesamt 11 Fallstudien durchgeführt, die bezüglich

- bearbeiteter Thematik
- involvierten Auftragnehmerkategorien
- F+E- bzw. P+D-Projekten

einen Querschnitt über die Aktivitäten des Bereichs gewährleisten.

In Kapitel C3.31 werden die evaluierten Projekte kurz beschrieben und hinsichtlich ihrer wissenschaftlichen Relevanz beurteilt. Kapitel C3.32 beinhaltet eine vergleichende Bewertung aller 11 evaluierten Projekte.

C3.31 Wissenschaftlich-technische Qualität der Fallstudienprojekte

Eine erste Übersicht mit wichtigen Basisinformationen zu den 11 vertieft untersuchten Projekten findet sich in Kapitel C2. Aufgabe der folgenden Abschnitte ist, eine kurze Charakterisierung der 11 Projekte zu geben und eine qualitative Beurteilung aus wissenschaftlich-technischer Sicht vorzunehmen.

Projekte im Themenfeld 'Hochisolationstechnik'

- **Project 33144: Realisierung von Demoprojekten mit Vakuum Dämmelementen.** The goal is to demonstrate the use of vacuum insulation elements and find technical problems in different applications. The work included the realisation of several vacuum applications. The topic is very relevant for saving energy in the building sector. The work is of a practical nature. The innovation of this project is not high because the technology is developed earlier and the question is of a P+D project. The research personnel seem to be very experienced in the topic. An excellent link to international activities through a new IEA annex has been established.
- **Project 27864: Sanierung von einfach und doppelverglasten Fenstern.** The work is focusing on the development of variants for window renovation. The insulation performance, noise reduction and tightness of old windows have been measured before and after the renovation measures. The topic is of high priority. As the approach is practical engineering development work, scientific quality is not very relevant to evaluate. The methodology is proper and maybe the only possible in this case. The results are fine and the dissemination documents informative. It is a pity that the economical boundary conditions reduce the attraction of this alternative having otherwise such a high potential.

Projekt im Themenfeld 'Passive Sonnenenergienutzung, Sonnenschutz'

- **Project 17166: Wärmelasten transparenter Bauteile und Sonnenschutzsysteme.** The goal of the project is to provide information on solar shading and light transmission characteristics of transparent building components. A measurement facility has been built and methodology for testing transparent components developed. The topic is relevant, but not of primary importance from the programme priorities point of view. The methodology and empirical approach are on an advanced level. The degree of innovation is not high. Good international links to the Passys activities are existing. The service developed will certainly be valuable for manufacturers and planners.

Projekte im Themenfeld 'Passivhäuser etc.'

- **Project 28269: Demonstration innovativer Technologien und nachhaltigen Bauens am Geschäftshaus Esslingen.** The objective of the project is to demonstrate innovative energy technologies in an office building. The technologies are realised in a building of a consulting company and the functioning and influence monitored. The relevance of the project is indisputable but slightly beside the highest priorities. The planning of the work and especially of the building and monitoring of the earth-coupled ducting is showing high experience. The methodology is of good engineering quality. The results are impressive and what more, some of the concepts are economically competitive. Dissemination material is clear and easy to read. The private contribution of funding is high.
- **Project 40189: Wohnen in Sunny Woods.** Demonstration of the Passivehaus standard is the objective of the project. The approach is to build six apartments according to the standard and monitor their energy performance. The topic has a high priority. The innovation is in the technology applied, not in the project work. Still the planning of the concept is done with good expertise. The technology is a total concept containing earth coupled ducting, vacuum insulation, heat recovery, heat pump, photovoltaics etc. Good experience e.g. from the installation of the vacuum elements has been gained. This and other similar experience should be effectively disseminated for other builders and planners. The real energy performance is found out later.
- **Project 40935: Passivhaus im Umbau, Magnusstrasse Zürich.** The purpose of the project is to demonstrate a Passivehaus level renovation of a multifamily building. The topic of the project hits in the middle of the priorities and the potential: renovation and multifamily buildings. The technologies used are commercially available. The representative of the newest technology is the vacuum insulation panel. A good total concept has lead to an impressive result. The appearance of the building is practically unchanged. The costs of the measures are relatively high, but are reduced the more learning happens. This is an excellent example showing how available technologies is used to achieve close to 1:10 ratio in the energy consumption of an existing building.

Projekte im Themenfeld 'Abwärmenutzung, Energiespeicherung'

- **Project 27164: Hybrid-Komponente Luftkanal-Wärmetauscher.** The project is focusing on finding out the possibilities and restrictions of an air-duct heat recovery device. The work comprises thermal computations, optimisation of the structure and measurements with a prototype. The project is highly innovative. The idea of heat recovery from the exhaust gases makes it especially attractive. As a renovation application it has a high importance and relevance as well. Advanced methods have been used in designing of the device. Results are fine and the initial goal for the efficiency is nearly met. A patent application exists, which also is an indicator of the innovative nature of the development. The economical competitiveness seems to be on a break through level. Still the way to a commercial product is long and public support is needed also in the future.
- **Project 35389: Ökosiedlung Melchrüti.** In this project the focus is in demonstration of the Minergie standard by building 62 flats where several new technologies are utilised. Even though it handles of a P+D project the degree of innovation is high. New construction solutions, the solutions in the layout, placement of the HVAC systems, flexibility for modifications etc. form an excellent total concept. Also the size of the effort is impressive. Planning has been done with high expertise and advanced tools like CFD have been utilised. The noise from aircrafts has been an extra challenge. The price of the flats is competitive as well. Final results from the project are missing and no comment from the energy efficiency point of view can be given.

Projekt im Themenfeld 'Umweltaspekte des Bauens'

- **Project 17886: Energy related environmental impact of buildings.** The goal of the work is to produce information on methods, tools and data of the building process. On the national level it is the purpose to benefit from the international knowledge. The work is realised through participating in the IEA work. The topic has a high priority in the Buildings programme. Here the question is mainly on cooperation and dissemination, but also some method development work is included. The degree of innovation is not very relevant in a project like this. The project team seemed to be small but is obviously a part of the larger ZEN network. The internationality is naturally a very strong feature of this project. Surprising is that there is no

funding of private companies. Here some marketing actions are needed because the topic certainly is important to companies.

Projekt im Themenfeld ‚Bestellerkompetenz‘

- **Project 38174: Richtlinien für Gebäude mit hohem Glasanteil.** The goal of the project is to produce norms for buildings having a high proportion of glazing. The approach is to find by simulations the features of acceptable solutions and non-acceptable solutions. In general the topic is relevant. The information and norms certainly are needed. The goals are related both to comfort and energy aspects. The project presentation gave an impression that the energy aspect had a lower priority. The output of the project is influencing new buildings only. The methodology is very interesting and the interpretation of the results is not going to be straightforward. High expertise is needed. Results cannot be evaluated as the project is still running. Even though no international activities were mentioned, good possibilities for international cooperation exist.

Projekt im Themenfeld ‚Bedarfsregelung‘

- **Project 18787: Thermoaktive Bauteilsysteme TABS.** The objective is to develop and validate an analytical model for calculations of building-integrated cooling and heating systems. The work contains theoretical development of the model, validation measurements as well as dissemination of the results. The application is mainly in cooling of office and similar buildings. Still the topic is relevant. If the concept could be applied in renovation, it would be even more relevant. The work clearly has scientific value. The adjusting of the model to engineering thinking is an interesting feature. The publication “Thermoaktive Bauteilsysteme” is of excellent quality.

C3.32 Vergleichende Bewertung der Fallstudienprojekte

The scientific-technical quality of the projects was evaluated on the basis of a list of 14 evaluation criteria (vgl. Abbildung A4-3). All criteria are given a score

using the scale 1 to 5, where 1 is for poor quality and 5 for excellent quality.⁴⁴ The whole evaluation is based on the presentation of the project during the visit of the evaluation team, discussion with the project personnel and the program leader, documentation describing the project and a possible on site visit.

In Abbildung C3-1 findet sich eine Übersicht über die Bewertung der 11 näher untersuchten Projekte. Da hier nicht das Einzelprojekt, sondern eine Bilanz für das Forschungsprogramm interessiert, werden die Projekte in der Abbildung in zufälliger Reihenfolge aufgeführt.

⁴⁴ This characterisation is, however, used as such only for few of the criteria. For most of the criteria an own individual characterisation has been used. For example the levels used to evaluate the methodology are: 5 innovative, 4 advanced, 3 proper, 2 simplified and 1 poor. Correspondingly the levels in degree of innovation are: 5 breakthrough technology, 4 high degree of innovation, 3 clear improvement in the current level of technology, 2 slight improvement in the current level of technology, 1 no innovation. The energy saving potential is evaluated from the Swiss national point of view and the economical competitiveness from the end-user point of view. The assessment of industrial/contractor contribution has different scales for research projects (F), development projects (E) and pilot and demonstration projects (P+D). In the rating the scale for scientific quality is adjusted according to the general (international) level of research in the building energy sector. As well is taken into account that the nature of the research is mainly applied research. The rating of the team quality is based on the formal qualification of the team members and the team size.

Abb. C3-1 Wissenschaftlich-technologische Qualität der 11 Fallstudienprojekte

Kriterium	Bewertung des Projektes											Mittelwert aller Projekte	
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L		
Wissenschaftliche Qualität													
W1	Methodik	3	3	3	5	*	4	5	4	3	*	3	3.7
W2	Theorie	2	3	2	3	*	4	3	4	3	*	2	2.9
W3	Empirischer Ansatz	3	4	4	-	*	5	-	5	4	*	4	4.1
W4	Berücksichtigung des Standes der Forschung	3	4	3	5	*	4	5	5	4	*	4	4.1
W5	Qualität der eingesetzten Hardware	*	3	4	-	*	5	-	5	4	*	*	4.2
W6	Qualität der eingesetzten Software	*	3	*	5	*	4	*	5	*	*	*	4.3
W7	Qualität der Resultate	4	4	4	5	*	4	5	5	5	*	*	4.5
Technologische Qualität													
W8	Innovationsgehalt des Projektes	2	4	2	-	2	2	2	4	3	3	4	2.8
W9	Potenzial zur rationelleren Energienutzung bzw. zur Verringerung des Schadstoffausstosses	4	4	4	1	5	2	3	2	2	3	3	3.0
W10	Ökonomische Wettbewerbsfähigkeit der entwickelten Technologie	1	3	4	-	*	-	-	3	4	1	3	2.7
Qualitäten des Projektteams													
W11	Fachliche Qualifikationen	4	4	4	4	*	4	4	4	4	4	4	4.0
W12	Erfahrungsaustausch mit anderen Forscherteams im In- und Ausland	3	2	2	4	*	4	5	4	5	1	2	3.2
Qualitäten des Projekts													
W13	Zielerreichung bzw. Wahrscheinlichkeit der Zielerreichung	4	4	4	3	*	4	4	5	5	*	4	4.1
W14	Mitfinanzierung Projekt durch Privatwirtschaft	3	3	3	-	4	2	1	4	5	4	5	3.4

* fehlende Angaben

- Kriterium ohne Bedeutung für Projekt

The profiles of the individual projects had a wide range. Some R+D projects had a quite high degree of innovation, but the application area was e.g. in new buildings, which are not forming a high potential for reducing the use of energy on a national level. An example of low innovation but high potential was a renovation of an old building, where several new, but commercially available

technologies were used to reduce the consumption. Impressive results were achieved, but the technologies were still too expensive to gain large volumes and needed public support through P+D action.

As the question was of applied research, the projects were not very theoretical, but the methodologies used were on a solid basis and the scientific quality of some projects was on a good level. The teams working on the same topic seemed to be usually quite small. Utilisation of international (IEA) cooperation was a feature of many R+D projects. P+D activities are naturally more local. Most of the projects seemed to have achieved their goals in a satisfactory manner. The industrial contribution was generally on a good level. Only two research projects did not have support from companies. The funding of BFE seemed in most cases to be of a subsidiary nature.

In average the project quality was on a good level. There were no weak projects. On the other hand, there neither were projects of superior quality compared with the others. The support of the programme leader has obviously been very important to all projects.

C3.4 Schlussfolgerungen und Empfehlungen aus wissenschaftlich-technischer Optik

Stärken und Schwächen der Forschungs-, Pilot- und Demonstrationsaktivitäten des Bereichs 'Rationelle Energienutzung in Gebäuden'

The building and its heating, ventilation and other equipment form a system where the different parts are linked to each other through heat flows, temperature levels, control actions and other dynamic (time dependent) effects. For this reason it would be important to see the energy related development of the building itself and its systems as a total concept. This kind of thinking is clearly seen in the programme description 2000-2003. From this point of view a shortage is that the energy production related to buildings is spread out in several programmes.

In general the programme is well planned, the projects are of good quality and the personnel is competent. No real weaknesses were found from the scientific-technical point of view. Still there could be a need for slight adjustments. A

summary, indicating the strengths and shortages of the programme and the projects is presented in table C3-2.

Table C3-2 Strengths and shortages of the programme 'Rationelle Energienutzung in Gebäuden' from the scientific-technical point of view

Object	Strengths	Shortages
Programme level	<p>Well formulated programme priorities taking into account</p> <ul style="list-style-type: none"> - the strategic objectives of the national energy research - the national structure and needs <p>Wide cover of the focus areas</p> <p>Focusing on applied research in the programme is the right choice</p>	<p>No priorities between the different focus areas in the programme</p> <p>Building energy related topics spread out in several programmes</p>
Project level	The individual projects are in the programme focus areas	Projects do not strong reflect the high priority of renovation shown in the programme descriptions
Investigated projects (11 projects)	<p>The scientific-technical quality of the investigated projects is on a good level</p> <p>Excellent results</p>	Small research teams
International cooperation	International cooperation is on a comprehensive level	
Zusammenarbeit mit Privatwirtschaft	<p>Rund die Hälfte der Projekte des Programms 2000 – 2003 werden von der Privatwirtschaft bearbeitet.</p> <p>Bei 9 der 11 vertieft untersuchten Projekte tragen Private einen Teil der Kosten oder erbringen Eigenleistungen.</p>	
Rolle des Programmleiters	<p>The project funding of BFE is well directed and of subsidiary nature</p> <p>Wertvolle Inputs und Lenkungsfunction des Programmleiters bei allen untersuchten Projekten</p>	

Empfehlungen aus wissenschaftlich-technischer Optik

Ausgangspunkt für die Formulierung von Empfehlungen bilden nicht allein die erkannten Stärken und Schwächen des Bereichs 'Rationelle Energienutzung in Gebäuden' (vgl. oben), sondern auch die folgenden Befunde zu den Energiesparpotenzialen in der Schweiz und zum Stand der Technik:

- The most important potential to reduce energy consumption in the building sector is in the existing (residential) buildings.
- The structure of the energy production for heating of buildings is in Switzerland extremely decentralised.
- The benefits of large-scale energy production form a potential for improvement of efficiency (from a technical point of view).
- The Minergie and Passivehaus concepts form a strong tool in the work towards the strategic goals.
- Technology to achieve very low energy consumption in new buildings is existing.
- Technology to achieve significant reduction of energy consumption also in renovation exists as well.
- Because these technologies are not economically competitive, research effort and public support are still needed

Daraus resultieren die folgenden Empfehlungen für die Weiterentwicklung des Programms 'Rationelle Energienutzung in Gebäuden':

- **Support the Minergie and Passivehaus standards to reach a wide acceptance, economical competitiveness and penetration in Switzerland**
- **Put additional emphasis in research and demonstration of renovation solutions**
- **Strengthen cooperation with other programmes related to decentralised, small-scale energy production (fuel cells, combined heat and power, renewables)**
- **Support formation of strong research groups in strategic and nationally important research areas**

C4 Transfer des Wissens von der Forschung bis zur Umsetzung im Markt

Die Beurteilung des Transferpotenzials des Forschungs-, Pilot- und Demonstrationsprogramms⁴⁵ (vgl. Evaluationsfragen II.1, II.2 und II.3) erfolgt

- aus Sicht der voraussehbaren Marktakzeptanz der entwickelten Methoden und Technologien (vgl. Kapitel C4.1) und
- mit Blick auf die Chancen, erfolgreiche Transferketten von der Forschung bis zur Umsetzung im Markt aufzubauen (vgl. Kapitel C4.2).

In Kapitel C4.3 werden die Befunde zusammengefasst und Empfehlungen für anzustrebende Optimierungen aus Sicht des Technologietransfers formuliert.

C4.1 Beachtung der wirtschaftlichen Nutzeffekte und der politischen Rahmenbedingungen

Ausrichtung des Programms auf Vorgaben der Energiepolitik⁴⁶

Das Forschungs-, Pilot- und Demonstrationsprogramm ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘ orientiert sich an der Vision der 2000-Watt-Gesellschaft. Da circa 60% des schweizerischen Energieverbrauchs auf den Gebäudebereich⁴⁷ entfallen, sind im Gebäudebereich ganz wesentliche Energieeinsparungen erforderlich. Als langfristige Ziele werden anvisiert⁴⁸:

- Reduktion des Wärmeverbrauchs für Heizung und Warmwasser auf 5 – 20% des Verbrauchs konventioneller Bauten

⁴⁵ Nicht Gegenstand der vorliegenden Evaluation sind Projekte zur Markteinführung und Marktsicherung im Rahmen von Energie 2000 bzw. Energie Schweiz.

⁴⁶ Vgl. Kriterium T4 in Abbildung A4-4

⁴⁷ Inkl. Herstellung von Baustoffen und Bauprodukten

⁴⁸ ZIMMERMANN 2001, S.4

- Reduktion des Elektrizitätsverbrauchs auf 40 – 60% des Verbrauchs konventioneller Bauten
- Reduktion der Grauen Energie auf 50 – 80% gegenüber konventionellen Bauten

Minergie- und Passiv-Gebäude vermögen diese ehrgeizige Zielsetzung zum grossen Teil oder vollumfänglich zu erreichen. Vor dem Hintergrund der übergeordneten Zielsetzungen der Energiepolitik (2000-Watt-Gesellschaft) wurde der Fokus im P+D-Bereich deshalb im wesentlichen auf diese Konzepte ausgerichtet.

Interesse der Privatwirtschaft an Projektergebnissen⁴⁹

Indiz für das Interesse der Privatwirtschaft an den Ergebnissen des Programms ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘ ist das direkte Engagement der Privatwirtschaft in zahlreichen Projekten:

- Von den 11 analysierten Projekten wurden 7 von privaten Ingenieur- und Architekturbüros, 2 von der EMPA, sowie je eines von der ETH und von einer Fachhochschule durchgeführt (vgl. Abb. C2-2).
- Bei 9 der 11 untersuchten Projekte trägt die Privatwirtschaft einen Teil des Aufwandes (vgl. Abb. C2-2) in Form von
 - Eigenleistungen der Hersteller von Baumaterialien (5 der 11 Projekte)
 - Kostenbeiträgen des Bauherrn (4 der 11 Projekte)

Aus den Gesprächen mit der Programmleitung sowie mit Bearbeitern von Projekten entstand der Eindruck, dass industrielle Hersteller von neuen Baumaterialien bzw. Haustechnikkomponenten oft kleine Unternehmen sind oder dass entsprechende Projekte von Einzelpersonen initiiert wurden. Innovationen entstehen vorwiegend in solchen Kleinstrukturen. Für ‚proof of concept‘-Projekte dürfte eine solche Industriebasis reichen. Für die weiteren Schritte der industriellen Produktion und Vermarktung wären jedoch in vielen Fällen eine breitere Basis und Konzepte in Form von Businessplänen notwendig.

⁴⁹ vgl. Kriterien T2 und T3 in Abbildung A4-4

Marktorientierung⁵⁰

Die Projekte wurden von der Programmleitung zum Teil aktiv initiiert (z.B. Projekte 18787, 33144). Andere Projektimpulse kamen von aussen (z.B. Projekte 27164, 27864). Generell werden Projekte bevorzugt, welche

- ein hohes technologisches Erfolgspotential (eher beherrschte Technologien) und
- ein hohes Marktakzeptanzpotential (hohe Innovationsakzeptanz) innerhalb der strategischen Programmschwerpunkte (z.B. Passivhausbereich) aufweisen.

Entsprechend sind die Projekte engpass- und bedürfnisorientiert (noch keine oder nur unbefriedigende Lösungen am Markt) und tragen den vom Bund gesetzten Zielen Rechnung (vgl. Kapitel A1). Der Orientierung am Markt kommt zugute, dass die Programmleitung über ein Netzwerk von Partnern verfügt, das über Jahre hinweg auf- und ausgebaut wurde. Die Programmleitung versteht es, aus diesem Pool Projektpartner mit komplementären Interessen und spezifischen Kompetenzen zielgerecht in Projektkonsortien zusammenzuführen. Im Rahmen der nun vermehrt offenen Projektausschreibung dürfte sich dieser Kreis weiter ausweiten.

C4.2 Aufbau von Transferketten

Technologische Innovationen finden den Durchbruch in marktfähige Produkte und Leistungen vielfach erst als Ergebnis einer konsequenten Forschungs- und Marktbearbeitungskontinuität über verschiedene Etappen hinweg. Im Forschungs-, Pilot- und Demonstrationsprogramm ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘ wird der integralen Sichtweise der Transferkette von der "orientierten Forschung" über praxisorientierte Entwicklungsprojekte mit Industriebeteiligung bis hin zur Anwendungs- und Umsetzungsebene Rechnung getragen⁵¹.

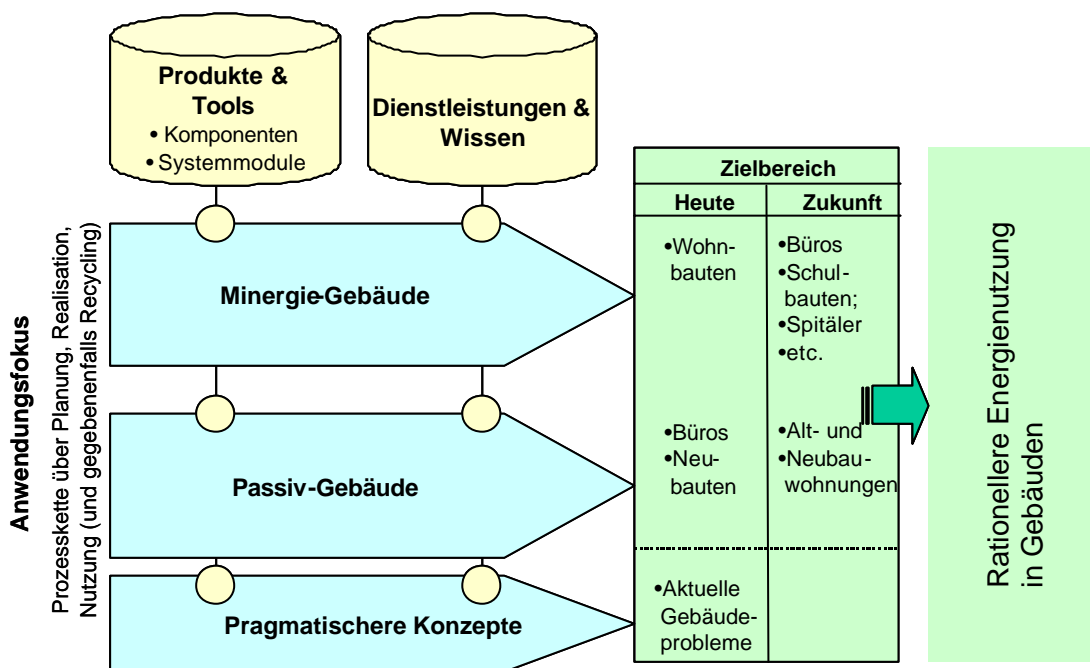
⁵⁰ vgl. Kriterium T1 in Abbildung A4-4

⁵¹ vgl. Kriterien T5- T10 in Abbildung A4-4

Mit Blick auf die nachfolgende Analyse und Bewertung von Transfer und Umsetzung erweist es sich als zweckmässig, die untersuchten Projekte in die drei folgenden Projektkategorien zu unterteilen:

1. **Entwicklung von neuen Produkten und Tools** (z.B. Vakuumisolationmatten, Planungstools);
2. **Entwicklung von Dienstleistungen und neuen Erkenntnissen** (z.B. Prüfstände für transparente Gebäudehüllen, Leitfaden für Ökobilanzen);
3. **P+D Anwendungen** (insbesondere Passiv- und Minergie-Gebäude).

Abb. C4-1 Denkschema für Analyse und Diskussion



Die drei Typen von Projekten greifen ineinander über und müssen entsprechend in einem Gesamtzusammenhang bewertet werden. Das Denkschema in Abbildung C4-1 dient als Rahmen für diese Betrachtung.

Ausgangspunkt bildet die langfristige Zielsetzung des Programms (vgl. Kapitel C4.1), den Energieverbrauch in Gebäuden für Heizung und Warmwasser auf 5 – 20% und den Elektrizitätsverbrauch auf 40 – 60% des Verbrauchs in konventionellen Gebäuden zu reduzieren. Wie bereits erwähnt vermögen Minergie- und Passiv-Häuser diese Zielsetzung zum grossen Teil oder vollständig zu erfüllen. Die grosse Mehrzahl der P+D-Projekte des Bereichs ist deshalb auf diese Konzepte ausgerichtet. Der Anwendungsmarkt wurde segmentiert, z.B. in

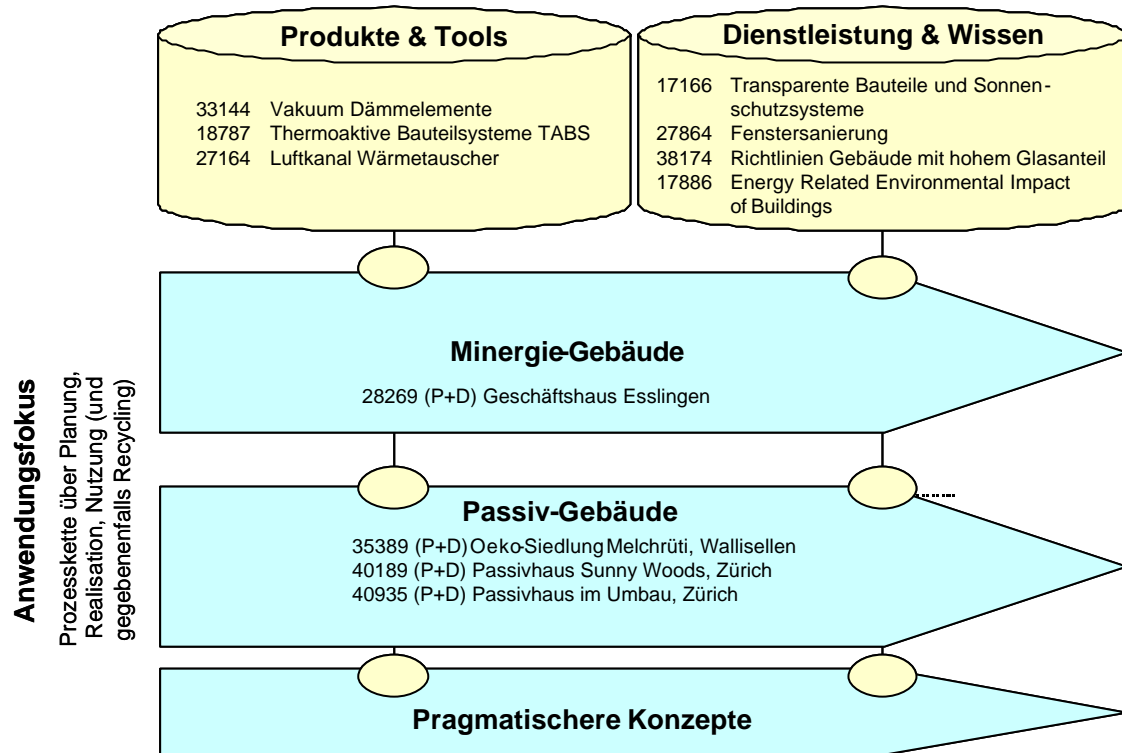
Neu- und Altbauwohnungen. Der Fokus auf die einzelnen Marktsegmente trägt den jeweiligen Gegebenheiten Rechnung. Er verschiebt sich über die Zeit gemäss den Prioritäten im Förderprogramm. Generell werden die ersten Piloterfahrungen im Rahmen ehrgeiziger Neubauten gesammelt und erst später auf Altbauten ausgeweitet.

In der konkreten Umsetzung solcher Konzepte treten Schwachpunkte und Engpässe in der Prozesskette von der Planung über die Realisierung bis hin zur Nutzung (und gegebenenfalls Recycling) zu Tage. Die beiden anderen Kategorien von Projekten, d.h. die Entwicklung neuer Produkte und Tools sowie von Dienstleistungen und neuen Erkenntnissen dienen wesentlich dazu, diese Engpässe zu überwinden. Gerade dabei zeigt sich der oftmals lange Weg von der Bedürfnisidentifikation über die Lösungssuche bis zu praxistauglichen Verbesserungen. Ein anschauliches Beispiel hierfür ist die Hochisolationsmatte, welche – nach erfolgreicher Entwicklung und Markteinführung – neue Probleme bei der praktischen Anwendung auf der Baustelle erkennen lässt. Um einen Rückschlag in der Anwendung dieser Technologie zu verhindern, müssen Möglichkeiten gesucht werden, diese Technologiekomponenten in fertige, leicht handhabbare Systemmodule einzubauen und auf dieser Basis zu vermarkten.

Nicht alle vom BFE geförderten Projekte dienen in erster Linie den beiden Konzepten Minergie- und Passiv-Gebäude. Die Ergebnisse mancher Projekte in den Bereichen ‚Produkte & Tools‘ sowie ‚Dienstleistungen & Wissen‘ sind auch oder gar in erster Linie in wesentlich pragmatischeren und entsprechend wirtschaftlicheren Bau- und Umbauvorhaben nutzbar.

Abbildung C4-2 zeigt, wie sich die 11 vertieft untersuchten Projekte auf diese drei Projektkategorien verteilen. Um eine differenzierte Bewertung der Umsetzungs- und Transfermechanismen zu gewährleisten, wird jede der drei Projektkategorien in den folgenden Abschnitten separat betrachtet.

Abb. C4-2 Positionierung der 11 untersuchten Projekte



Projektkategorie, Produkte & Tools

Die Projektkategorie ‚Produkte & Tools‘ setzt vollumfänglich auf die kommerzielle Vermarktung von Projektergebnissen in Form von Produkten und Tools. Entscheidend ist, dass die Projektergebnisse gezielt in das strategische Produktportfolio von kommerziellen Unternehmen überführt werden. Dadurch wird ein breiter, von marktwirtschaftlichen Kräften getragener Allokationsprozess initiiert. Eines der erfolgreichen Beispiele ist das Tool TABS (Thermoaktive Bauteilsysteme) (Projekt 18787), das nach erfolgreicher Entwicklung und Marktsensibilisierung durch die EMPA heute über die Firma VESCAL europaweit vertrieben und dadurch praktisch allen Ingenieur- und Architekturbüros zugänglich wird. Ähnliche Wege werden in den beiden anderen untersuchten Projekten⁵² beschritten. Die Programmleitung spielt in diesem Prozess eine zentrale Rolle:

⁵² Projekt 33144: Vakuum Dämmelemente

- Marktbedürfnisse und technologische Lösungsoptionen werden zusammengeführt;
- Projektkonsortien von Projektpartner mit komplementären Interessen und spezifischen Kompetenzen werden aktiv gesucht. Dabei werden insbesondere auch Fachhochschulen mit eingebunden;
- Engagement zugunsten einer Förderkontinuität über die gesamte Innovationskette hinweg.

Insgesamt ergibt sich im Bereich ‚Produkte & Tools‘ das Bild eines professionellen und erfolgreichen Technologietransfers.

Projektkategorie ‚Dienstleistungen & Wissen‘

Der Bereich ‚Dienstleistungen & Wissen‘ umfasst Prüfstellen und Messungen sowie Studien und Richtlinien. Im Gegensatz zum Bereich ‚Produkte & Tools‘ erfordert eine effektive Transferpolitik hier oftmals ein Bündel aufeinander abgestimmter Massnahmen.

Beispiel einer gelungenen Kombination von direkt und indirekt wirkenden Transfermassnahmen ist das Projekt ‚Wärmelasten transparenter Bauteile und Sonnenschutzsysteme‘ (Projekt 17166): Das Projekt wird unterstützt vom Verband VSR und ist eingebettet in die europäische Paslink-Gruppe. Hauptzielgruppen in der Schweiz sind Fassadenplaner (ca. 12-20 spezialisierte Planungsbüros), industrielle Systemanbieter (ca. 5-10 Anbieter) und Sonnenschutzhersteller. Im Rahmen dieses Projektes wurden Dienstleistungsaufträge pilotmässig durchgeführt, die so gewonnenen Erkenntnisse aufgearbeitet, dokumentiert (Publikation) und schlussendlich als empirisch abgestützte CFD-Modelle in kommerzielle Planungstools wie HELIOS und TRANSIS implementiert. Die Komplettierung dieser Transferkette erfolgte durch eine Sequenz von Projekten. Damit wurde eine optimale Synergie von Pilotanwendungen und systematischer Wissensaufbereitung inklusive Implementierung in kommerzielle Planungstools erreicht. Das Wissen wurde sozusagen in Tools mit Produktcharakter überführt. Dies ermöglicht einen kommerziellen Vertrieb mit breitenwirksamem Umsetzungs- und Transfereffekt.

Ähnlich zu positionieren ist das Projekt ‚Energy Related Environmental Impact of Buildings‘ (Projekt 17886): Das Projekt ist in ein internationales Umfeld eingebettet und hat die Generierung und Kodifizierung von Wissen zum Ziel, das später in das branchenübliche SW-Tool OGIP eingebaut werden soll. Auch hier werden Folgeprojekte notwendig sein bis zum Durchbruch am Markt. Der wohl grösste Vorteil dieser Transferstrategie ist das Verfügbarmachen von Wissen im operativen Arbeitsprozess der Planer. Es ist sozusagen ein Wegrücken vom Bringprinzip –welches nicht selten zu einer Überflutung der Adressaten durch Informationen führt - hin zum kontextbezogenen Holprinzip. Gelingt dies, so wird das Endziel in der Transferkette erreicht: Die Projektergebnisse finden den Weg in konkretes Handeln und leisten damit einen Beitrag zu den erwähnten strategischen Zielen des Bundes.

Andere Projekte erreichen diese ideale Form des Transfers nicht. Deren Ergebnisse sind in Form von Dokumenten zwar praxisgerecht aufgearbeitet, bleiben dem Bringprinzip jedoch weiterhin verhaftet. Beispiele dazu sind die Projekte ‚Sanierung von einfach und doppelt verglasten Fenstern‘ (Projekt 27864) sowie ‚Richtlinien für Gebäude mit hohem Glasanteil‘ (Projekt 38174), das im Zeitpunkt der Evaluation noch nicht abgeschlossen war.

Der Bereich ‚Dienstleistungen & Wissen‘ verzeichnet sehr gute Transferansätze. Insgesamt bietet sich jedoch ein heterogenes Bild. Dieses Ergebnis könnte allerdings beeinflusst sein durch die verschiedenen Schnittstellen und Verantwortlichkeiten im Umfeld von BFE und Kantonen, welche insbesondere in diesem Förderbereich zum Tragen kommen.

Bereich ‚P+D-Anwendungen‘

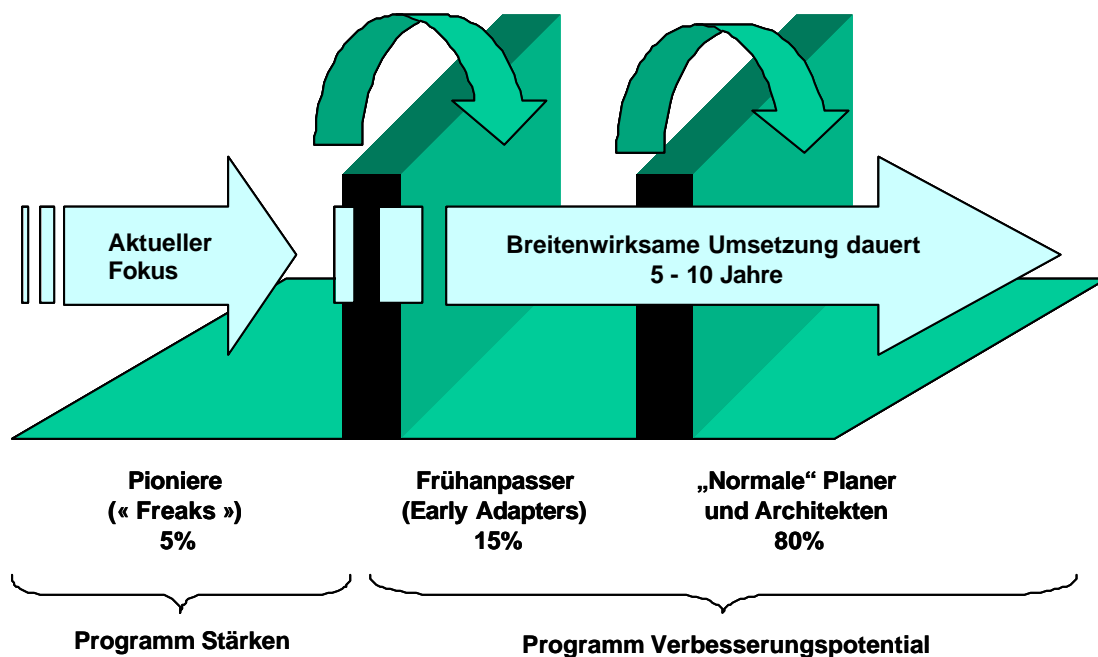
Drei der vier näher untersuchten P+D-Projekte lassen sich in das Konzept des Passiv-Gebäudes einreihen. Die Programmleitung fördert damit Gebäude mit Pioniercharakter, welche den hohen Ansprüchen der 2000-Watt-Gesellschaft gerecht werden. Sowohl bei der Programmleitung als auch bei den kontaktierten Bauherren, Planern und Umsetzern ist ein hohes Mass an Mobilisierung für diese Vision erkennbar. Sie sind motiviert, Wissen zu erwerben, zu dokumentieren, anderen zugänglich zu machen und von anderen zu lernen.

Bei den P+D-Projekten arbeitet die Programmleitung mit etwa jenen 5% der Gebäudeplaner (und Bauherren) zusammen, welche diesen offenen Pioniergeist verkörpern. Wenig eingebunden in diesen Kreis sind Fachhochschulen sowie die

ETH. Als Pioniergemeinschaft bietet diese 5%-Zielgruppe gute Voraussetzungen für eine weitergehende Mobilisierung ihrer Berufskollegen, insbesondere jener auf 15% geschätzten Gruppe der Early Adapters (Frühanpasser). Diese zweite Zielgruppe übernimmt neue Erkenntnisse und praktische Erfahrungen relativ schnell, sofern der Machbarkeitsnachweis erbracht werden konnte und sofern das Kosten-Nutzen-Verhältnis der neuen Konzepte im Vergleich zu etablierten Lösungen klare Vorteile bringt.

Die verbleibenden 80% der Planer und Architekten tun sich hingegen schwer mit der Internalisierung von Innovationen in ihre operativen Arbeitsprozesse und Entscheidungen. Der Weg bis zur breitenwirksamen Umsetzung dauert somit 5 - 10 Jahre. Damit droht sich eine Zeitschere zu öffnen zwischen den energiepolitischen Zielsetzungen des Bundes und deren praktischer Umsetzung (vgl. Abb. C4-3).

Abb. C4-3 Positionierung der P+D-Projekte im Innovationszyklus



Der aktuelle Fokus der ‚P+D-Anwendungen‘ ist eindeutig bei den Pionieren zu lokalisieren. Eine auf Breitenwirksamkeit ausgelegte Programmpolitik darf sich jedoch nicht mit dieser Zielgruppe begnügen. Im Gegensatz zu den oben aufgeführten Projektkategorien ‚Produkte & Tools‘ sowie teilweise auch ‚Dienstleistungen & Wissen‘ spielen in diesem Bereich die kommerziellen

Allokationskräfte eine zu schwache Rolle in der Diffusion von Projektergebnissen. Hier sind klare Strategien und Massnahmen gefragt, welche Wege aufzeigen und öffnen in Richtung breitenwirksamer Umsetzung. Die beiden symbolisch aufgeführten Barrieren in Abbildung C4-3 zeigen bildhaft die wohl bedeutendsten Hürden auf diesem Weg.

P+D Projekte haben zum Ziel, den Nachweis für die Praxistauglichkeit neuer Konzepte zu erbringen und Erfahrungen so aufzuarbeiten, dass Kosten und Risiken späterer Bauobjekte verringert werden können. Minergie- und insbesondere Passiv-Gebäude sind komplexe Systeme. Sie sind wesentlich stärker als traditionelle Bauten an die Nutzung wissenschaftlicher Erkenntnisse und den Einsatz neuer Technologien gebunden. Bauherren, Planer und Umsetzer werden daher in hohem Masse gefordert. Anlässlich der Objektbesichtigungen - wohlverstanden mit einem engagierten Kreis von Akteuren! – wurden verschiedenste Probleme auf der Umsetzungsebene offen gelegt. Erstaunlicherweise wiederholen sich identische oder ähnliche Anwendungsfehler von Baustelle zu Baustelle: Hochisolationsplatten werden nicht sachgerecht verlegt, der Einbau von Luft-Erdregistern erfolgt entgegen den Regeln erfolgreicher Anwendungen etc.. Das Problem dürfte weiter verschärft werden, wenn sich der Kreis der Anwender öffnet.

Die P+D Projekte dienen unter anderem dazu, solche Erfahrungen zu sammeln, entsprechende Lösungsansätze zu initiieren und zu dokumentieren sowie neues Wissen anderen zugänglich zu machen. Die Formulierung einer breitenwirksamen Transferpolitik im Bereich der ‚P+D-Anwendungen‘ hat sich daher mit der zentralen Frage der Gestaltung einer Wissensmanagementstrategie auseinander zu setzen. In der heutigen Transferpolitik beschränkt sich diese Aufgabe auf die Aufarbeitung und Diffusion von Dokumentationsmaterial sowie auf die Durchführung von Informationsveranstaltungen und Gebäudebesuchen⁵³. Dies trägt zu einer Sensibilisierung von Fachkräften und teilweise auch von potentiellen Bauherren bei. In den Gesprächen mit Planern und Umsetzern trat aber klar zu Tage, dass diese Kommunikationsschiene nicht ausreicht. Sie bemängeln, dass Probleme, die andernorts gelöst sind, in nachfolgenden Projekten erneut auftreten und dadurch Akzeptanz und Baukosten belasten. Das Bedürfnis für eine zweite Kommunikationsschiene besteht bei diesen Planern und Umsetzern: Sie

⁵³ werden von Fachhochschulen rege genutzt!

möchten gezielt und bedürfnisorientiert auf Erfahrungswissen zugreifen können und gegebenenfalls entsprechende Erfahrungsträger um Rat fragen. Dieser Wunsch impliziert den Aufbau einer Transferstrategie, welche das Holprinzip wesentlich stärker als bisher miteinbezieht.

C4.3 Schlussfolgerungen und Empfehlungen aus Sicht des Technologietransfers

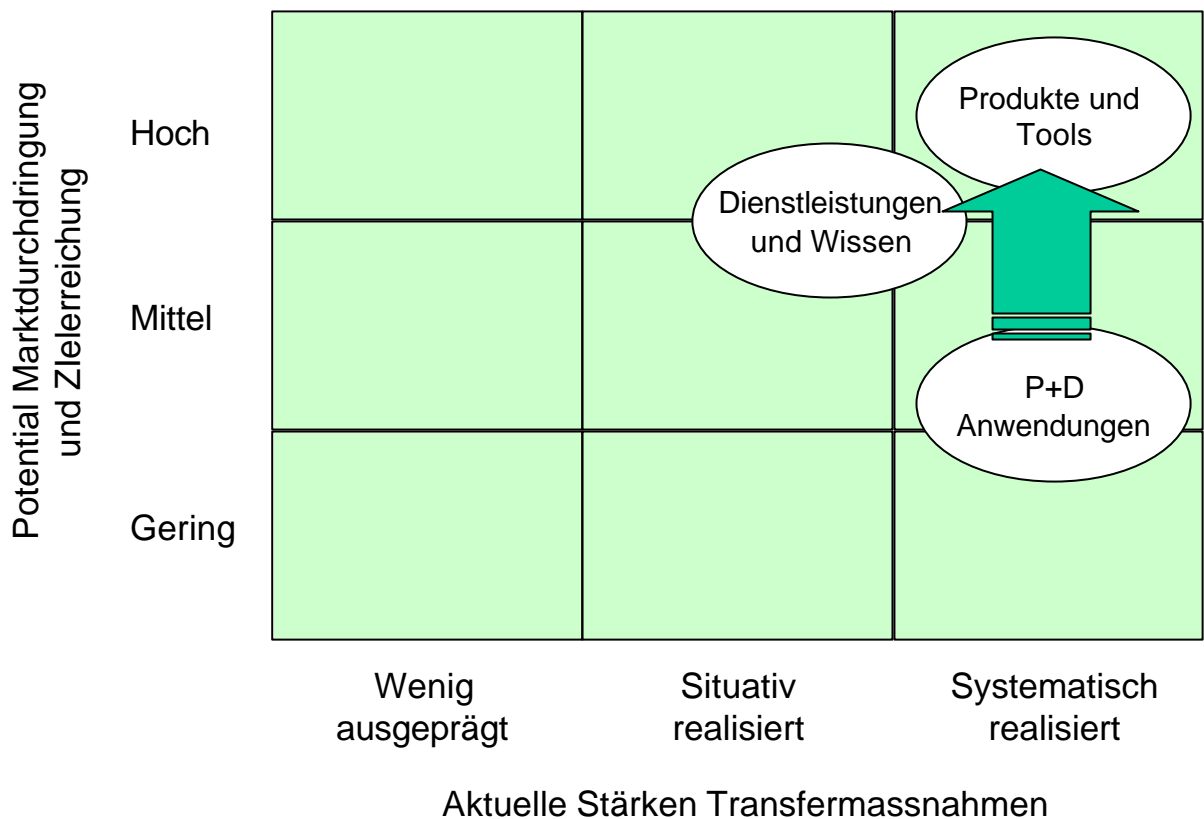
Stärken und Schwächen der Forschungs-, Pilot- und Demonstrationsaktivitäten des Bereichs 'Rationelle Energienutzung in Gebäuden'

Das Programm ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘ orientiert sich stark an den Zielvorgaben der Schweizer Energiepolitik (Stichwort: 2000-Watt-Gesellschaft). Solch ehrgeizige Ziele lassen sich nur mit ebenso ehrgeizigen Konzepten und Technologien (Stichwort: Passivhaus) umsetzen. Durch eine geschickte Kombination top-down und bottom-up initiiierter Projekte konnten praktische Fortschritte in diese Richtung erzielt werden.

Letztendlich können die Zielvorgaben der Schweizer Energiepolitik aber nur umgesetzt werden, wenn sich insbesondere die Bauherren zugunsten von nachhaltigen Lösungen entscheiden. Während im Bereich der Verbrennung (vgl. Teil B) weitreichende Normen (Euronormen) die Akzeptanz von technischen Innovationen auch bei höheren Kosten erzwingen, fehlen solch einschneidende Normen im Bereich der Gebäude. Die Gefahr eines Ungleichgewichtes zwischen dem Technologieangebot (= Fokus des Forschungsprogramms) und der Nachfrage nach neuen Technologien darf daher nicht unterschätzt werden. Mit Blick auf eine optimale Wirksamkeit müsste ein strategisches Transferkonzept daher ein konsistentes Portfolio von angebots- und nachfrageorientierten Massnahmen beinhalten.

Die Analyse der Transferproblematik erfolgt hier auf der Basis der vertieft untersuchten Projekte. Sie ist deshalb auf die angebotsseitigen Aspekte ausgerichtet. Eine synoptische Darstellung der in diesem Umfeld wirkenden Transfermechanismen findet sich in Abbildung C4-4.

Abb. C4-4 Synopsis der Bewertung der Transfermassnahmen



Die vertikale Achse von Abbildung C4-4 zeigt die verschiedenen Ausprägungen des Potentials von Marktdurchdringung und Zielerreichung (Nachhaltigkeit). Das Potential wird wie folgt definiert:

- **Gering:** Die Umsetzung erfolgt auf einem Bauobjekt (z.B. Passiv-Gebäude).
- **Mittel:** Die Umsetzung erfolgt innerhalb einer Unternehmung systematisch durch Internalisierung der Kompetenzen (z.B. werden die in P+D Projekten gewonnen Erfahrung für weitere Bauobjekte genutzt).
- **Hoch:** Die Umsetzung erfolgt in einer Vielzahl von Unternehmen und Objekten. (z.B. über kommerziell verfügbare Produkte und Tools).

Auf der horizontalen Achse wird der Versuch unternommen, die aktuellen Transferstärken zu typisieren:

- **Wenig ausgeprägt:** Transfermassnahmen sind nicht umgesetzt; die entsprechende Sensibilisierung von Entscheidungsträgern ist gering; hier wird Neuland betreten.

- **Situativ realisiert:** Die Sensibilisierung ist vorhanden; die entsprechenden Massnahmen werden realisiert, wenn sich die Möglichkeiten dazu ergeben.
- **Systematisch realisiert:** Hohe Sensibilisierung; systematisch wird nach Marktmöglichkeiten gesucht; eine eigentliche Kooperationskultur im Sinne einer längerfristigen Partnerschaft besteht.

Die Positionierung der drei Projektkategorien in diesem Bewertungsraster zeigt deren Stärken und Verbesserungspotentiale bezüglich Transfer- und Umsetzungsmassnahmen. Die grossen Stärken liegen im Bereich ‚Produkte & Tools‘. Insgesamt gut positioniert ist auch der Bereich ‚Dienstleistungen & Wissen‘. ‚P+D Anwendungen‘ dienen in der heutigen Form in erster Linie den an den Projekten beteiligten (privaten) Unternehmen. Sie schaffen einen Wissensvorsprung, der – obwohl teilweise ausgezeichnet dokumentiert – anderen Unternehmen faktisch kaum zugänglich ist. Für eine breitenwirksame Diffusion drängen sich daher Massnahmen auf, welche über das heutige Angebot hinausgehen.

Empfehlungen aus Sicht des Technologietransfers

Aus den Beobachtungen und Erfahrungen des Evaluatorenteams resultieren folgende Empfehlungen:

- **Entwicklung einer Wissensmanagementstrategie:** Zur Optimierung der angebotsseitigen Impulse gilt es, eine eigentliche Wissensmanagementstrategie zu entwickeln, welche das Holprinzip wesentlich stärker als bisher miteinbezieht. Diese Wissensmanagementstrategie darf sich nicht auf die Zielgruppe der Planer beschränken. Sie muss darüber hinaus sicherstellen, dass das, was richtig geplant ist, auch richtig umgesetzt wird. Gerade bei anspruchsvolleren Baukonzepten und –materialien führen Schwachstellen in der Handhabung und Ausführung zu schwerwiegenden Qualitätseinbussen. Insofern müsste ein Wissensmanagementsystem den Aspekten der Qualitätssicherung besonders Rechnung tragen. Es wird daher unumgänglich sein, den Bereich Aus- und Weiterbildung in ein tragfähiges Konzept der Wissensdiffusion einzubinden.

Damit dürfte auch die Stossrichtung für eine Lösungssuche zur Überwindung der in Abbildung C4-3 dargestellten Hürden gegeben sein. Inwiefern ein Wissensmanagementsystem diesem Anspruch gerecht werden

kann, bleibt offen und müsste abgeklärt werden. Sicherlich müsste in einem solchen Vorhaben das bestehende Kooperationsnetzwerk substantiell erweitert werden. Verstärkt eingebunden werden müssten Vertreter von Planern, Architekten und Umsetzern, welche eher der Kategorie der Frühanpasser zuzuordnen sind. Fachhochschulen wie auch die ETH – beide kaum in die aktuellen P+D Projekte einbezogen – dürften bei der Wissensaufbereitung und -diffusion eine aktive Rolle spielen. Gegebenenfalls könnte auch die Arbeitsteilung zwischen Kantonen und BFE in einen klaren Kontext gestellt werden: Das BFE wäre beispielsweise primär zuständig für das Verfügbarmachen von Wissen und die Kantone für dessen Abrufung und Umsetzung.

- **Abstimmung der thematischen Schwerpunkte des Forschungs-, Pilot- und Demonstrationsprogramms auf die voraussehbare Marktakzeptanz für die erarbeiteten technologischen Konzepte:** Die drei Projektkategorien ‚Produkte & Tools‘, ‚Dienstleistungen & Wissen‘ sowie ‚P+D-Anwendungen‘ zielen primär auf eine Verbesserung der Angebotsseite hin. Im Idealfall führen solche Projekte zu einem besseren Preis-Leistungsverhältnis des Angebots von energiesparenden Neu- und Umbauten. Dies darf jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, dass selbst bei substantiellen Verbesserungen des Preis-Leistungsverhältnisses ein Mehr an Planungsaufwand und an Investitionskosten verbleibt, das beim heutigen Energiepreisniveau nicht innert üblicher Fristen amortisiert werden kann. Ausserdem verbleibt ein Anpassungsbedarf beim Benutzerverhalten. Im Wettbewerb mit traditionellen Lösungen dürften sich solche Konzepte daher am freien Markt weiterhin schwer tun. Wie bereits ausgeführt wurde, sollten angebotsseitige Massnahmen daher ergänzt werden durch geeignete Massnahmen zur Stimulierung der Nachfrage. Speziell zu erwähnen ist hier die gezielte Weiterentwicklung der massgebenden Baunormen.

Sollten sich Massnahmen zur wirkungsvollen Stimulierung der Nachfrage nicht realisieren lassen, so müsste auch der strategische Fokus der angebotsseitigen Massnahmen, d.h. im Bereich ‚P+D-Anwendungen‘ auf einfachere und weniger ehrgeizige Baukonzepte gelegt werden.

Strategische Stossrichtungen des angebotsorientierten Forschungs-, Pilot- und Demonstrationsprogramms, welche die technologischen Angebote nicht ausreichend auf die Nachfrage abstimmen, sind suboptimal. Solche drohenden Diskrepanzen gilt es in erster Linie auf Stufe der strategischen

Programmplanung zu erkennen und in der Folge zu vermeiden. Das in Abbildung C4-1 aufgeführte Schema könnte dazu eine analytische Hilfestellung bieten. Insofern sollte das Förderprogramm 2004 – 2007 im Sinne eines Koordinationsplanes dokumentieren, mit welchem Mix von nachfrage- und angebotsseitigen Massnahmen die Vision der 2000-Watt-Gesellschaft umgesetzt werden soll. Auf der Basis quantitativer Vorgaben für einen wohl definierten Mittelkatalog wäre auch das strategische Controlling fest in die Programmplanung und –durchführung einzubauen. Auf dieser strategischen Ebene besteht Handlungsbedarf. Wie immer die Strategie ausfällt – Passiv-Gebäude und/oder pragmatischere Energiesparkonzepte –, die oben aufgeführten Anhaltspunkte für eine weitergehende Verbesserung von Transfer und Umsetzung behalten weitgehend ihre Gültigkeit.

Teil D

Anhänge

Anhang 1: Wirkungen früher abgeschlossener Projekte des Bereichs ‚Feuerung und Verbrennung‘

Im Jahr 1995 oder 1996 abgeschlossene Projekte des Bereichs ‚Feuerung und Verbrennung‘

Nummer	Offizielle Projekt-nummer	Thema
1	19643	Einfluss von Temperatur, Feuchte und Druck der Verbrennungsluft auf die NO _x -Emissionen
2	2007	Katalytische Verbrennung / Experimentelle und numerischen Untersuchung der Kopplung von heterogener und homogener Tieftemperaturverbrennung bei hohen Drücken und turbulenten Strömungsbedingungen
3	2063	Reduzierung von Stickoxyden in Abgasen
4	2085	Geometrische Partikeldetektion von Russteilchen
5	2164	Verbrennungstechniken beim Auto-Benzinmotor
6	2307	Thermische Verwertung von Abfällen durch Wirbelschichtverbrennung unter Berücksichtigung des Einflusses der Aufgabe- und Bettkörnungen (Müllverbrennung Brasilien)
7	2327	Physikalisch-numerisches Verbrennungsmodell für Diffusionsflammen
8	11740 = 51511	Stickoxidemissionsminderung bei stationären Dieselmotoren
9	12836 = 52551	Schnell-Messverfahren in Flammen (SMF)
10	15207	Grundlagen der Skalierung von Gas-Brennwert-Units
11	638	Gesetzmässigkeiten des wandnahen Wärmeüberganges in instationären Verbrennungssystemen

Quelle: EDV-Projektlisten des BFE

Auswirkungen der Projekte auf spätere F+E-Projekte sowie auf Einsatz neuer Energietechnologien in wirtschaftlicher Praxis (vgl. Evaluationsfrage II.4)

Art des Effektes	Anzahl Projekte
Anwendung der Ergebnisse in industriellem Serienprodukt	1
Projektergebnisse zählen heute zum Stand der Technik	2
Projektergebnisse lieferten wichtige Inputs für Nachfolgeprojekte	2
In Projekt involvierte Industrie verzichtete auf Verwertung der Ergebnisse	2
Projektergebnisse nicht weiter genutzt	2
keine Angaben	2
TOTAL	11

Quelle: Auswertungen BHP aufgrund von Angaben und Dokumenten der Programmleitung
'Feuerung und Verbrennung'

Anhang 2: Wirkungen früher abgeschlossener Projekte des Bereichs ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘

Im Jahr 1995 oder 1996 abgeschlossene Projekte Bereich ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘

Num-mer	Offiziell e Projekt-nummer	Thema
1	2035	Energierrelevante Typenprüfung von Öl- und Gasheizkesseln mit Gebläsebrenner
2	2069	Schadstoffemissionsverhalten von Baustoffen
3	2091	Thermische Simulation von Gebäuden
4	2153	Air Infiltration and Ventilation Centre
5	2174	Korrosionsschutz von Niedertemperaturheizkesseln
6	2231	ERL-Publikationsreihe
7	2266	Heat, Air and Moisture Transfer in Building Envelopes
8	2267	Refroidissement passif de bâtiments
9	2325	Herstellung von Wärmedämmstoffen
10	2351	Handbuch neuer Lüftungssysteme
11	2468	Multizone Air Flow Modelling
12	2496	Erfolgskontrolle an Öko-Bürohaus TENUM
13	2665	Project to optimise Indoor Air Quality and Energy Consumption of Office Buildings
14	2668	Schadstoffimmissionen in Räumen
15	2697	Dynamisches Wärmeverhalten in Klassenzimmern
16	2698	Courants d'air dans les hangards
17	2699	Einsparung von elektrischer Energie in lufttechnischen Anlagen durch adiabatische Kühlung
18	10666	KOBRA (PC-Wärmebrückenatlas)
19	10909	Impacts énergétiques d'un équipement Low NOx
20	11127	DELTA - Contrôle optimal des stores d'un bâtiment, tenant compte des

		aspects thermiques et éclairage naturel
21	11169	Erarbeitung eines Handbuches über Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten
22	11257	Ergänzung der Baustoffdaten für Handbuch: "Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten"
23	11258	Optimierung von Gesamtenergieverbrauch, Umweltbelastung und Baukosten (OGIP/DATO)
24	11274	Ökologische Bewertung von Wärmeschutzgläsern
25	12951	Standardsoftware für die Ökobilanzierung
26	13157	SSC-Aktionsprogramm für Gewerbe und Kleinindustrie
27	13880	Nachhaltige Bauwirtschaft Schweiz
28	14891	Mikrobielle Verunreinigung in Luftsaug-Erdregistern
29	15697	Mustersanierung Mehrfamilienhaus

Quelle: EDV-Projektlisten des BFE

Auswirkungen der Projekte auf Einsatz neuer Energietechnologien in wirtschaftlicher Praxis (vgl. Evaluationsfrage II.4)

Art des Effektes	Anzahl Projekte
Anwendung der Ergebnisse in industriellem Serienprodukt oder in kommerziell vertriebenem Tool	6
Aufbau eines Dienstleistungsangebotes (Prüfungen, Beratungen), das heute von Wirtschaft genutzt wird	3
Projektergebnisse zählen heute zum Stand der Technik	5
Aufbau enzyklopädischer Handbücher zum state of the art, von denen jeweils mehrere Hundert Exemplare verkauft worden sind	5
P+D-Projekte, die in Fachwelt nachweislich auf bedeutendes Interesse gestossen sind	2
Projekt lieferte keine Lösung für bearbeitete Fragestellung	1
Entwickelte Technologieansätze nicht weiter genutzt, da keine ausreichenden wirtschaftlichen Vorteile bzw. weil Lösung für ein wenig relevantes Problem	4
keine Angaben	3
TOTAL	29

Quelle: Auswertungen BHP aufgrund von Angaben und Dokumenten der Programmleitung
,Rationelle Energienutzung in Gebäuden'

Anhang 3: Verwendete Materialien

- BAER, A. (1997): Der Markt ist unerbittlich, Energieforschung in der Schweiz, Beilage zu Vision 3/97.
- BFE/BAU-, VERKEHRS- UND ENERGIEDIREKTION DES KANTONS BERN (1996): Technologievermittlung im Energiebereich des Kantons Bern.
- BFE (1993): Begutachtung der schweizerischen Energieforschung der öffentlichen Hand, Bern.
- BFE (1997): Hauptbereichsprogramm Gebäude 1996 – 1999, Bern.
- BFE (2000): Forschung, Entwicklung und Demonstration im Bereich der Energie in der Schweiz, Liste der Projekte 1998/1999, Bern.
- BUSSMANN, W./KLÖTI, U./KNOEPFEL, P. (1997): Einführung in die Politikevaluation, Basel/Frankfurt am Main.
- CORE (1995): Konzept der Energieforschung des Bundes 1996-1999, Bern.
- CORE (1999): Konzept der Energieforschung des Bundes 2000 – 2003, Bern.
- FORSCHUNGSSTELLE WISSENSCHAFT UND POLITIK (1995): Evaluation der Förderung von Pilot- und Demonstrationsanlagen im Energiebereich.
- GFELLER, J.: Wie setzt die öffentliche Hand ihre Ergebnisse aus der Energieforschung um? 5. Schweizerische Energieforschungs-Konferenz 7./8. November 1995.
- HINTERMANN, A. (2000): Feuerung und Verbrennung, Forschungs- und Umsetzungsprogramm 2000 – 2003.
- HINTERMANN, A. (2000a): Feuerung und Verbrennung, Überblicksbericht zum Forschungsprogramm 1999.
- HINTERMANN, A. (2001): Feuerung und Verbrennung, Überblicksbericht zum Forschungsprogramm 2000.
- KUSTER, J./WINTER, C.J. (1999): Evaluation der Bereiche ‚Biomasse‘ und ‚Verkehr‘, Zürich/ Überlingen.
- OPPENLÄNDER, K.H./POPP, W. (1995): Innovationen und wirtschaftlicher Fortschritt, Bern.
- PATTON, M.Q. (1990): Qualitative Evaluation and Research methods, Newsbury Park.
- SCHRIBER, G. (1998): Wir zählen mit zur Weltspitze, Handelszeitung 3. Juni 1998.
5. SCHWEIZERISCHE ENERGIEFORSCHUNGSKONFERENZ 7./8. NOVEMBER 1995, Yverdon.

- SIEBER, H./GABUS, J.C. (1997): KTI-Förderung auf neuen Wegen, Vision 3/97.
- SPRENG, D./GOLDBLATT, D. (1998): Innovations in Energy Efficiency: Theory and Applications in Switzerland and Abroad, Zürich.
- ZIMMERMANN, M. (2000): Forschungs-, Pilot- und Demonstrationsprogramm Rationelle Energienutzung in Gebäuden, Ausschreibung des Programms 2000 – 2003, Dübendorf 7. März 2000.
- ZIMMERMANN, M. (2000a): Rationelle Energienutzung in Gebäuden, Überblicksbericht zum Forschungsprogramm 1999.
- ZIMMERMANN, M. (2001): Rationelle Energienutzung in Gebäuden, Forschungs-, Pilot- und Demonstrationsprogramm 2000 – 2003.
- ZIMMERMANN, M. (2001a): Rationelle Energienutzung in Gebäuden, Überblicksbericht zum Forschungsprogramm 2000.

Ausserdem standen für die Evaluation zahlreiche weitere Dokumente zu den Bereichen ‚Feuerung und Verbrennung‘ sowie ‚Rationelle Energienutzung in Gebäuden‘ zur Verfügung.

Anhang 4: Pflichtenheft

Ausgangslage

Es gehört seit vielen Jahren zu den Aufgaben des Bundesamtes für Energie, die Energieforschung der öffentlichen Hand zu koordinieren, subsidiär zu fördern, international einzubetten und für die Umsetzung der Ergebnisse in die Praxis zu sorgen.

1992 wurde die *schweizerische Energieforschung* durch ein internationales Expertenteam beurteilt (Junod et al. 1993, Anhang 1). Gemäss dieser Untersuchung wies die Energieforschung eine klare Struktur mit gut definierten Zuständigkeiten auf. Die Aufteilung in einzelne Programme, die Begleitung durch das Bundesamt sowie die Eidgenössische Energieforschungskommission und die programmspezifischen Expertengruppen wurden als effizient angesehen. Generell erkannten die ausländischen Experten der schweizerischen Energieforschung einen qualitativ hohen Standard zu. Als verbesserungsfähig erachtete das Expertenteam die Koordination zwischen den verschiedenen beteiligten Organisationen, die Zusammenarbeit mit der Industrie, die Einbindung der Schweizer Energieforschung in internationale Projekte und die thematische Schwerpunktsetzung.

1996 wurde die Abteilung „Energietechnik“ des Bundesamtes reorganisiert. Die Absicht bestand darin, die Umsetzung von Ergebnissen aus der Forschung in die Praxis zu verbessern und die Abläufe und Strukturen zu vereinfachen. Es wurden 16 Bereiche geschaffen, welche die Aufgabe hatten, bereichsspezifische Technologien von der Forschung, Entwicklung, Demonstration bis zur Markteinführung und -sicherung zu fördern. Damit war auch beabsichtigt, stärker auf die Bedürfnisse der Endverbraucher abgestimmt arbeiten zu können. Die Frage, ob sich die Ausrichtung dieser Reorganisation bewährt, wurde 1999 für die Bereiche „Biomasse“ und „Verkehr“ analysiert. Im Vordergrund der Untersuchung standen Fragen zur Organisation der Bereiche, zur inhaltlichen Ausrichtung der Förderung, zu deren Umsetzung und Wirkungen der Arbeiten in diesen Bereichen (Kuster/Winter 1999, Anhang 2). Gesamthaft vermittelt die Untersuchung den Eindruck, dass die Verbindung von Forschung und Entwicklung, Pilot- und Demonstrationsanlagen sowie der Aktivitäten zur Einführung und Diffusion neuer Technologien im Markt in den zwei genannten

Bereichen dank der Aktivitäten des BFE gestärkt werden konnte. Nach wie vor wurden aber Defizite in der Integration der produzierenden Wirtschaft konstatiert.

Die 1999 durchgeführte Untersuchung fokussierte aber nur zwei Bereiche der öffentlichen Energieforschung. Zudem konzentrierte sie sich auf die Beurteilung der in diesem Zusammenhang geschaffenen Strukturen und der sich daraus ergebenden Prozesse. Die Eidgenössische Energieforschungskommission CORE möchte daher 2001 eine Evaluation durchführen zu lassen, welche sich auf die Beurteilung der Qualität und der Wirkungen der öffentlich geförderten Energieforschung in der Schweiz konzentriert. Inhaltlich soll sich die geplante Untersuchung auf die Themengebiete „Gebäude“ und „Feuerungen“ konzentrieren:

- Gebäude (Anhang 3): Die Arbeiten im Themenbereich „Gebäude“ dienen der Erarbeitung von wissenschaftlichen und technischen Grundlagen und Hilfsmitteln sowie Unterstützung des Schaffens von Anreizen zur energetischen Gebäudesanierung.
- Feuerung und Verbrennung (Anhang 4): Dieser Bereich zielt auf die Erarbeitung von anwendungsorientierten Grundlagen zur energetisch und schadstoffmässig optimierten Verbrennung chemischer Energieträger, inkl. fossiler Brennstoffe ab.

Zielsetzung

Ziel der geplanten Evaluation ist die Beurteilung der Qualität und der Wirkungen der öffentlichen Energieforschung in der Schweiz anhand der Beispiele „Gebäude“ und „Feuerungen“. Es sind Empfehlungen für eine allfällige Verbesserung zu erarbeiten. Geplant ist eine Untersuchung mit massgeblicher Beteiligung ausländischer Experten.

Fragestellungen

Die Aktivitäten der Bereiche „Feuerung und Verbrennung“ sowie „Gebäude“ sind *einzel*n sowie *vergleichend* zu analysieren und anhand der folgenden Kriterien zu bewerten:

- *Ebene der Bereichsprogramme:* Programmqualität (wissenschaftliche Qualität und wirtschaftliche Relevanz, Programmlogik), inhaltliche Umsetzung des Programms (Entsprechung von Programm und Projekten), Programmmanagement (Verbindung von Forschung, Entwicklung und Umsetzung), Programmwirkungen (wissenschaftliche und wirtschaftliche Resultate).
- *Ebene der Projekte:* Projektqualität (wissenschaftliche Qualität und wirtschaftliche Relevanz), Qualität des Projektteams (Zusammensetzung, Erfahrung, Kompetenz, Kontakte), Qualität der Ergebnisse, wissenschaftliche und wirtschaftliche Erfolgswahrscheinlichkeit.

Im einzelnen stellen sich folgende Fragen:

Bereichsprogramme

Bei der Analyse der Bereichsprogramme stehen Fragen der wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Relevanz der Programmschwerpunkte sowie zur grundsätzlichen Positionierung im Spannungsfeld „Forschung und Markt“ im Zentrum:

- Deckt das Bereichsprogramm die wissenschaftlich, technologisch und wirtschaftlich relevanten Themen ab?
- Ist das Bereichsprogramm konsistent?
- Sind die Gebiete Forschung bis Marktsicherung aufeinander abgestimmt? Wird dem Transfer des Wissens von der Forschung zum Markt genügend Beachtung geschenkt?

Umsetzung der Bereichsprogramme

Bei der Beurteilung der Umsetzung der Bereichsprogramme sind die inhaltliche Schwerpunktsetzung und die Qualität von durch die Evaluatoren auszuwählenden Projekten zu beurteilen:

- Wie wird das Bereichsprogramm umgesetzt? Erfolgt die Umsetzung zielführend? Stimmen die Programme und die durchgeführten Projekte überein?
- Wie ist die wissenschaftliche Qualität und das wirtschaftliche Potential der Projekte zu beurteilen?

- Gibt es ein ausgewiesenes wirtschaftliches Interesse an diesen Projekten in der Schweiz?

Wirkungen der Aktivitäten

Die Wirkungen der Bereichsorganisationen sind u.a. aufgrund einer Analyse ausgewählter Projekte zu beurteilen. Im Zentrum der Wirkungsanalyse stehen folgende Fragen:

- Welche Wirkungen konnten erzielt werden? Wie entscheidend war dabei die Unterstützung seitens der Bereiche?
- Welchen Einfluss hat der Bereich auf den Markt?
- Konnte die Umsetzung des Wissens von der Forschung in die Praxis durch die neue Organisation verbessert werden? Welche spezifischen Anstrengungen wurden dabei unternommen?

Projektorganisation und Vorgehen

Das Bundesamt für Energie plant die Evaluation unter massgeblicher Beteiligung ausländischer Experten durchführen zu lassen. Aus diesem Grund soll die Leitung der Untersuchung soll einem *Expertenteam* mit ausländischen Spezialisten übertragen werden. Dieses Team soll je einen Fachexperten des Bereiches „Gebäude“ und „Feuerungen“ sowie einen Spezialisten in Fragen von Technologiemanagements und Technologievermittlung umfassen. Das Team hat die Aufgabe, das Vorgehen bei der Evaluation festzulegen (zeitlicher Ablauf, Präzisierung Beurteilungskriterien, Auswahl der zu evaluierenden Projekte), die inhaltliche Verantwortung für den Evaluationsbericht zu übernehmen und eine Synthese sowie Empfehlungen zuhanden der CORE und des Bundesamtes für Energie zu erarbeiten.

Mit der Erarbeitung von Grundlagen und der operativen Umsetzung der Evaluation sowie der eigentlichen Berichterstellung soll ein in Fragen der Forschungsförderung (insbesondere Energieforschung) kompetente *lokaler Evaluationsspezialist* eingesetzt werden.

Bundesamt für Energie BFE

Worbentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen · Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 · office@bfe.admin.ch · www.admin.ch/bfe

BBL Bestellnummer 805.539 d / 09.2002 / 100