

Jahresbericht

Programm Rationelle Energienutzung in Gebäuden

Aktivitäten und Projekte 2001



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.energie-schweiz.ch

ENET-Bestellnummer: XYZ · ENET, Egnacherstrasse 69, 9320 Arbon

RATIONELLE ENERGIENUTZUNG IN GEBÄUDEN

Überblicksbericht zum Forschungsprogramm 2001

Mark Zimmermann

mark.zimmermann@empa.ch



Umbau mit Passivhaus-Standard, Zürich Magnusstrasse (Architekt: K. Viridén, Zürich)

Südostansicht des mit denkmalpflegerischen Auflagen umgebauten Objektes. Sanierungen stellen weit höhere Anforderungen an Planung und Ausführung als Neubauten. Bis 2003 wird die Erfolgskontrolle dauern, welche aufzeigen soll, ob der Passivhausstandard erreicht wurde.

Programmschwerpunkte und anvisierte Ziele 2001

Das Programm **Rationelle Energienutzung in Gebäuden** fördert den effizienten und umweltschonenden Energieeinsatz im Gebäudebereich. Die eidg. Energieforschungskommission **CORE** räumt der Forschung, Entwicklung und Demonstration im Gebäudebereich einen hohen Stellenwert ein. Einerseits spielt die Bauwirtschaft eine bedeutende energie- und umweltpolitische Rolle, andererseits bestehen auf dem Gebiet noch grosse Effizienzpotentiale, die sich ausschöpfen lassen:

- Pro Einwohner gibt es in der Schweiz ein Gebäudeinventar von 180 t. Jährlich kommen über 10 t dazu.
- 70 % aller Abfälle stammen aus dem Baubereich, aber weniger als 1 % des verbauten Materials wird recycelt.
- Ca. 50 % des Energieverbrauchs werden zum Betreiben der Wohn-, Dienstleistungs- und Gewerbebauten eingesetzt und etwa 10 % werden für die Herstellung von Baustoffen und Bauprodukten benötigt.

Das Programm erforscht Grundlagen zur **rationelle Energienutzung in Gebäuden** und fördert die Entwicklung und Demonstration verbesserter Technologien, um die vorhandenen Sparpotentiale auszunutzen. Vereinzelt Demonstrationsbauten beweisen, dass beispielsweise beim Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser gegenüber konventionellen Gebäuden Einsparpotentiale von 50 – 90% vorhanden sind. Der in der Schweiz gut eingeführte **Minergie-Standard** gilt grundsätzlich als Mindestanforderung für Demonstrationsbauten.

Das Programm befasst sich mit **Gebäudesystemen**, mit der **Gebäudehülle**, mit den **haustechnischen Installationen** und mit **der Nutzung der Sonnenenergie**. Im Vordergrund stehen die Optimierung ganzer Gebäudesysteme und die ganzheitliche Berücksichtigung der Umweltwirkungen. Währenddem früher die Einsparung oder Substitution von fossilen Energieträgern Vorrang hatte, steht heute die Reduktion des Primärenergieverbrauchs und die Minimierung der Umweltbelastung im Vordergrund.

Anfangs 2000 wurde das Programm für die nächsten 4 Jahre festgelegt und öffentlich ausgeschrieben. Von zentraler Bedeutung sind dabei:

- **Hochisolationstechnik**: Entwicklung und Demonstration neuer hochisolierender Dämmstoffe und Systeme, als Alternative zu voluminösen, konventionellen Materialien.
- **Passivhäuser**: Entwicklung von Technologien und Systemen für **Minergie-** und **Passivhäuser**, sowie deren Demonstration als Neu- und Altbau im Wohn-, Büro- oder Gewerbebau.
- **Umwelttechnik**: Bereitstellen von Grundlagen, sowie Erarbeitung und Anwendung von praxisnahen Methoden zur gesamtheitlichen Beurteilung von Bauten, Systemen und Komponenten.

Auf diesen drei Gebieten setzt das Programm massgebende Impulse. Zusammen mit ergänzenden Technologien sollen damit die Voraussetzungen geschaffen werden, dass die Bauwirtschaft mittelfristig in der Lage sein wird, entscheidend zu den Zielen der Nachhaltigkeit und der Klimakonvention beitragen zu können.

Durch die im Jahr 2000 durchgeführte Programmausschreibung konnte im Berichtsjahr eine grössere Anzahl wichtiger Projekte gestartet werden. Diese konzentrierten sich auf die Bereiche:

- **Hochisolationstechnik**, inkl. Lösungen für Wärmebrücken, besonders ausgerichtet auf Sanierungen
- **Sonnenenergienutzung**, verbunden mit den Problemen des **Sonnenschutzes**, der **Kühlung** und der **Tageslichtnutzung**
- **Passivhäuser** und optimierte **Systeme** zur Deckung **des minimierten Energiebedarfs**
- **Umweltaspekte** des Bauwesens und der Energienutzung sowie umweltbezogene **Bestellerkompetenz**

Etwas weniger im Vordergrund standen die Bereiche, die zwar auch ausgeschrieben waren, zu denen es jedoch verhältnismässig wenig Projektanträge gab:

- neue **Diagnose- und Abnahmeverfahren** zur Verbesserung der Bauqualität
- Systeme zur **Nutzung von Temperaturkaskaden, Abwärme** sowie zur **Energiespeicherung und Warmwasserversorgung**
- **Bedarfsgeregelte Systeme** zum Einbezug des Benutzer- und Betreiberhaltens

Im August 2001 wurde eine Beurteilung des Programms durch ein internationales Expertenteam vorgenommen. Die Ausrichtung des Programms wurde als richtig erachtet und das vorhandene Netzwerk zur Verwertung der Forschungsergebnisse in der Praxis als wichtig eingestuft. Entsprechend wurde das Vierjahres-Programm 2000-2003 [49] auch von der schweiz. Energieforschungskommission *CORE* gutgeheissen.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

UMWELTTECHNIK

Das Programm befasst sich vor allem mit den Umweltwirkungen der Energienutzung, mit Bewertungsmethoden, mit der Entwicklung von Instrumenten zur Beurteilung der Umweltauswirkungen sowie mit der Verminderung von grauer Energie.

Die Arbeiten am Ökoinventar *Ecoinvent 2000* kommen gut voran. Diverse Institutionen des *ETH*-Bereichs unter der Leitung der *EMPA* haben sich zu einem **Zentrum für Ökoinventare** zusammengeschlossen und wollen bis Ende 2002 ein überarbeitetes, harmonisiertes Ökoinventar für Energiesysteme, Investitions- und Konsumgüter, Transporte und Entsorgungsprozesse auf dem Internet zur Verfügung stellen. Für interessierte Anwender wurde eine Homepage eingerichtet (www.ecoinvent.ch)

Die Unterstützung des *BFE* konzentriert sich auf die Bilanzierung der Energieträger [1] sowie auf Heiz- und Solarsysteme [2]. Ergänzende Untersuchungen werden vor allem durch das *BUWAL* und das *Bundesamt für Bauten und Logistik* unterstützt.

Mit dem Projekt *Ecoinvent 2000* werden Grundlagen bereitgestellt, mit welchen anwendungsorientierte Fragestellungen erst untersucht werden können. Im Projekt **ökologische Optimierung von Passivhäusern** [3] werden auf der Basis solcher Daten, die Umweltwirkungen von extrem energieeffizienten Gebäuden analysiert und Empfehlungen für geeignete Konzepte ausgearbeitet. Im laufenden Jahr wurde mit der Auswertung ausgewählter Bauten begonnen. Konkrete Ergebnisse sind erst 2003 zu erwarten.

Bereits liegt jedoch eine Empfehlung für **Architekturwettbewerbe vor**. Mit dem Projekt *Snarc* [4] wurden Kriterien und eine Richtlinie zur umweltbezogenen Beurteilung von Architekturwettbewerben erarbeitet. Die Arbeiten wurden durch die *Zürcher Hochschule Winterthur* zusammen mit rund 20 Projektpartnern (Hochbauämter, Bundesämter, Verbände und Private) durchgeführt. Die Richtlinie gibt wertvolle Kriterien zur ökologischen Beurteilung von Bauprojekten. Sie kann heruntergeladen werden unter: <http://home.zhwin.ch/~pre/zo4forschung/snarch/zsnarchframes.html>

Zur Reduktion der Grauen Energie sollen zukünftig vermehrt auch nachwachsende Rohstoffe im Bauwesen eingesetzt werden. Mit der Dämmstoffindustrie wurden Dämmstoffe aus **Hanf- und Grasfasern** entwickelt [5]. Beide Rohstoffe sind aus landwirtschaftlicher Sicht interessant und in genügender Menge verfügbar. Erste Isolationsarbeiten wurden mit den neuen Dämmstoffen vorgenommen. 2002 sollen weitere Demonstrationsanwendungen folgen.

PASSIVE SONNENENERGIENUTZUNG / GEBÄUDESYSTEME

Besonderes Gewicht hat in diesem Bereich die sorgfältige Abstimmung von Sonnenenergiegewinnen, Wärmebedarf, Beschattung und Kühlung im Sommer.

Das *IEA-Projekt Solar Sustainable Housing* [6] untersucht, optimiert und demonstriert im internationalen Rahmen Gebäude, welche rund 10 mal weniger Heizenergie benötigen als konventionelle Bauten. Hochisolationstechniken, effiziente Gebäudetechnik, erneuerbare Energien und Nachhaltigkeitsaspekte werden optimal aufeinander abgestimmt. Das Projekt will aber nicht nur technische Fragestellungen lösen, sondern auch die Nachfrage im Baumarkt für solche Gebäude fördern. Dazu wurde eigens eine **Marktanalyse** gestartet [7], die untersuchen soll, welches die Vorurteile von Bauherrschaften gegenüber Niedrigenergiehäusern resp. *Passivhäusern* sind.

Nebst dem *Minergiestandard* findet wohl der aus Deutschland stammende *Passivhausstandard* (www.passiv.de) am meisten Beachtung. Er ist in Deutschland und Österreich verbreitet und geht bezüglich Energieeffizienz noch ein Stück weiter als *Minergie*. *Passivhäuser* benötigen jährlich nur noch etwa 30 – 35 MJ Heizenergie pro m² und können deshalb auf ein zentrales Heizsystem verzichten. Mit dem Projekt ***Minergie und Passivhaus: Zwei Gebäudestandards im Vergleich*** [8a] wurde untersucht, inwieweit sich die beiden Standards wirklich unterscheiden und ein Vorschlag ausgearbeitet, wie mit einer *SIA 380/1* kompatiblen Berechnung der Nachweis sowohl für *Minergie*- als auch für den deutschen Passivhausstandard erbracht werden könnte. Das Ziel ist, gegenüber *Minergie* einen *Minergie-Plus-Standard* zu definieren, welcher automatisch auch die Anforderungen des Passivhausstandards erfüllen würde. Über die Einführung dieses Zusatzpakets wird im Mai 2002 entschieden.

Eine Zusammenstellung über **die Erfahrungen mit ca. 60 Solargebäuden** wird zurzeit aufbereitet [9]. Sie gibt in übersichtlicher Form Auskunft über die angewendeten Strategien und Erfahrungen. Die bereits dokumentierten Gebäude und Strategien sind zu finden unter:

www.empa.ch/DEUTSCH/zentren/zen/ren/Solarhaeuser_Doku

Eines der in der Zusammenstellung gezeigten Gebäude ist ein **Mehrfamilien-Passivhaus** mit solarem **Luftkollektorsystem** in Winterthur. Mit einem jährlichen Heizwärmebedarf von 65 MJ/(m²·a) erreicht es zwar nicht ganz Passivhauswerte, setzt aber ausschliesslich erneuerbare Energie (Pelletofen) zu dessen Deckung ein. Das Gebäude wurde detailliert untersucht. Der Schlussbericht liegt nun vor [10].

Luftkollektorsysteme stehen auch im Zentrum einer **Planungsrichtlinie für solare Luftheizsysteme** [11], welche 2003 erscheinen soll. Sie wird die Erkenntnisse aus einem früheren *IEA*-Projekt und die Erfahrungen mit solchen Anlagen in der Schweiz zusammenfassen.

Eine Art **Luftkollektoren, jedoch kombiniert mit Photovoltaik** untersucht die *ETH Zürich* [12]. Da Photovoltaikzellen nur etwa 15 % der Einstrahlung in elektrische Energie und 85 % in Wärme umwandeln, liegt es nahe, auch die anfallende Wärme zu nutzen. Durch Messungen an einem Aussenprüfstand an der *HTA* Luzern soll im Projekt das vorhandene Potenzial (Luftmengen, Temperatur, zeitliche Verteilung) ermittelt und die Verwendungsmöglichkeiten aufgezeigt werden.

Ebenfalls mit der Nutzung der Sonnenenergie befassen sich drei Projekte aus der Westschweiz:

- Im Rahmen des *IEA Solar Task 23* wird eine Methode **zur Optimierung der Sonnenenergienutzung in grösseren Gebäuden** erarbeitet [13]. Sie soll dem Planer vor allem bei der Systemevaluation und im Entscheidungsablauf unterstützen.
- Mehr von der praktischen Seite her untersucht die *ETH-Lausanne* das **Solarpotential von Städten** [14a]. Anhand von drei städtischen Quartieren will die Studie exemplarisch aufzeigen, welches Potential mit Sonnenkollektoranlagen, Photovoltaikanlagen und mit Tageslichtnutzung effektiv ausgeschöpft werden könnte.
- Die *ETH Lausanne* beteiligt sich auch an einem *IEA*-Projekt **zur Optimierung der Tageslichtnutzung in Gebäuden** [14b]. Das Ziel ist die Erarbeitung von technischen Lösungsvorschlägen für die effiziente Kunst- und Tageslichtnutzung.

GEBÄUDEHÜLLE

Mit der Einführung der neuen *SIA-Norm 380/1* [50] erhält die dichte und gut gedämmte Gebäudehülle mehr Gewicht. Die Gebäudehülle ist im Wesentlichen massgebend für den für Bauvorhaben verlangten Wärmebedarfsnachweis. Dazu müssen neuerdings auch die Wärmebrücken konsequent einbezogen werden. Mit der laufenden thermischen Verbesserung der Gebäudehülle hat sich der Einfluss der Wärmebrücken verstärkt. Zur Einführung der Norm wird deshalb nicht nur der bisherige Bauteilkatalog überarbeitet, sondern auch ein umfangreicher, praxisgerechter **Wärmebrückenkatalog** [15] bereitgestellt. Beide Kataloge sind ab Sommer 2002 verfügbar.

Eine Lösung zur Verringerung der Wärmebrückenwirkung bei **Unterkonstruktionen hinterlüfteter Fassaden** wurde mit der Durchführung eines Wettbewerbs [8b] gesucht. Im laufenden Jahr konnten Demonstrationsprojekte für die drei prämierten Lösungen geplant werden, die im Jahr 2002 zur Ausführung gelangen sollen.

Einen ganz wichtigen Schwerpunkt des Forschungs- und Demonstrationsprogramms stellen **Hocheffiziente Wärmedämmsysteme** dar, welche die optimale Dämmdicke ($U\text{-Wert} < 0.2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) von 30 bis 40 cm auf weniger als 5 cm reduzieren sollen (s. Fig. 1). Diese Effizienzsteigerung ist vor allem bei Gebäudesanierungen und für die Isolation von Haushaltapparaten und -geräten wichtig, wo der Platz für dickere Dämmungen fehlt. Die Nachfrage nach solchen Hochleistungsdämmsystemen ist bereits sehr gross. Auf besonderes Interesse stossen sie, wenn Planungsfehler eine korrekte Dämmung mit herkömmlichen Dämmstoffen verunmöglichen.



Fig. 1: Dämmstoffpaneele mit Vakuum (im Bild rechts) dämmen bis zu 10 mal besser als herkömmliche Dämmstoffe (links). Sie haben dort ein grosses Anwendungspotential, wo der Platz für dicke Dämmschichten fehlt.

Die Schweiz führt auf dem Gebiet der **Hochisolationstechnik** ein internationales Projekt der *IEA* an [16]. An einer internationalen Konferenz über **High Performance Thermal Insulation Systems** [51] wurde anfangs 2001 der Stand der Technik an der *EMPA* vorgestellt und das *IEA*-Projekt gestartet. Die Schweiz beteiligt sich mit verschiedenen Projekten an der Erarbeitung von Grundlagen und von Prüfmethode zur **Qualitätssicherung** [17a] sowie an der Entwicklung neuer **Applikationen** [8c] [18] [19]. Erste Anwendungen konnten im Rahmen von Pilot- und Demonstrationsprojekten bereits erfolgreich eingesetzt werden [35b].

Im **Fassadenbereich** wurden in den vergangenen Jahren grosse Fortschritte erreicht. Auf dem Markt sind Verglasungen mit *U-Werten* um 0.8 bis 0.3 W/(m²·K) verfügbar. Der Trend zu extrem stark verglasten Bauten hat sich infolge des verbesserten Wärmeschutzes von Verglasungen bei Architekten und Bauherren massiv verstärkt. Bauten mit schlechtem Komfort und hohen Kühllasten sind oft die Folge. Um diesem Problem zu begegnen, wurde eine **Planungsrichtlinie für stark verglaste Bauten** [20] erarbeitet. Sie wird in der ersten Hälfte 2002 erscheinen.

Wichtig dazu ist die genaue Kenntnis der **Wärmelasten transparenter Bauteile und Sonnenschutzsysteme** [17b], welche am Solarprüfstand der *EMPA* für typische Systeme gemessen werden konnten. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass es selbst bei gutem Sonnenschutz schwierig ist, die Solargewinne auf unter 15 % der Einstrahlung zu reduzieren und gleichzeitig den Anforderungen der Tageslichtnutzung zu genügen. Deshalb werden nun die Messungen im Rahmen eines *IEA*-Projekts auf weitere Systeme ausgedehnt und so die Simulationsmöglichkeiten für Sonnenschutzsysteme verbessert [17c].

Fast ebenso wichtig wie der gute Wärmeschutz ist die Dichtheit der Gebäudehülle. Die Lüftungswärmeverluste lassen sich nur wirksam minimieren, wenn unkontrollierter Luftaustausch durch die Gebäudehülle vermieden werden kann.

Das Projekt *ATEMAC* [21] befasste sich mit der Tracergastechnik zur **Diagnose des mittleren Luftwechsels**. Die Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass dazu keine geeigneten Testgase verfügbar sind, da alle einfach einsetzbaren Gase durch die Bauteile absorbiert und dadurch die Messergebnisse verfälscht werden. Stattdessen lässt sich über die Veränderung der Kohlendioxidkonzentration in der Raumluft auf den Luftwechsel schliessen. Die Ergebnisse sind vielversprechend und die Technik sollte in einem Folgeprojekt weiterverfolgt werden.

Indirekt kann auch über Luftdichtheitsmessungen der natürliche Luftaustausch beurteilt werden. Allerdings sind die Anforderungen – zum Beispiel an *Passivhäuser* – so hoch, dass die Messung sehr schwierig und oft nicht genügend genau ist. Mit dem Projekt **Messung und Beurteilung der Luftdichtheit von Niedrigenergiehäusern** [22] soll die Messtechnik so verbessert und vereinfacht werden, dass sie sich auch zur Abnahme von Niedrigenergiehäusern eignet. Möglicherweise können dazu die hauseigenen Lüftungsanlagen verwendet werden.

HAUSTECHNIK

Planungswerkzeuge haben in der Haustechnik eine grosse Bedeutung. Diverse Software-Entwicklungen werden zurzeit im Umfeld der Programm-Familie *IDEA* der *HTA Luzern* realisiert. Diese Programm-Familie stellt eine wichtige Plattform für integrale Haustechnikanwendungen dar. Wichtige Entwicklungsarbeiten sind:

- **Harmonisierung der Nutzungsprofile SIA 382/2 und SWKI 95-3** [23a]: Genaue Angaben über die internen Wärmelasten verschiedener Nutzungen sind für Gebäudesimulationen wichtig. Dank der erfolgten Harmonisierung stehen nun in der Schweiz für alle Software-Programme detaillierte und aufeinander abgestimmte Lastannahmen zur Verfügung.
- Das **Kältetool SIA 380/4** zur Bestimmung des Elektrizitätsbedarfs durch Kühlung [23b] soll im Jahr 2002 zusammen mit den Modulen für Beleuchtung und Lüftung die Berechnung des Elektrizitätsbedarfs von Gebäuden ermöglichen.
- Das Programm *SIA 382/3* für den **Kühllastnachweis** wurde mit der Fachhochschule in Yverdon ins Französische übersetzt [24] und steht nun auch in der Westschweiz für Planung und Schulung zur Verfügung (www.eivd.ch/igt/index_n.html?freeware).
- Für die **Berechnung des Jahresenergiebedarfs von Lüftungsanlagen** [25] steht ein neues Planungsinstrument zur Verfügung. Es ermöglicht den Planern, mit einfachen Angaben den jährlichen Energieverbrauch von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung zu bestimmen.
- **Praxisnahe Validierung von Simulationsprogrammen** im Rahmen des *IEA Solar Task 22* [26].

Guten Erfolg verspricht man sich von neuen Regelalgorithmen, die nicht mehr auf physikalischen Zusammenhängen basieren, sondern auf **neuronalen Netzwerken und Fuzzy-Logik** aufbauen. Im Vordergrund

stehen nicht nur Energieeinsparungen, sondern vor allem eine einfachere Installation und Inbetriebnahme, da der Regler in der Lage ist, sich selbst zu optimieren. Allerdings gelang es bis jetzt nicht, den entwickelten Prototypen in ein industrielles Projekt zu überführen. Zurzeit laufen jedoch noch weitere Feldtests am CSEM in Neuenburg, welche die Praxistauglichkeit dieses Konzepts untermauern sollen [27].

Auch auf Energieeffizienz von haustechnischen Anlagen konzentriert sich das *IEA-Projekt Commissioning of Building HVAC Systems for Improved Energy Systems* [28]. Durch kontrollierte Inbetriebnahme und regelmässige Überwachung im Betrieb soll der Energieverbrauch haustechnischer Anlagen gesenkt werden. Schweizer Vertreter haben an den Vorbereitungen dieses neuen IEA-Projekts teilgenommen und sehen gute Chancen, die Projektergebnisse in der Schweiz umzusetzen.

Zwei Projekte befassen sich mit Energiesystemen für *Passivhäuser*. Durch den geringen Wärmebedarf entstehen neue Anforderungen und Möglichkeiten:

- Das Heizsystem gleicht häufig eher einer Energiezentrale als einem Heizkessel. Vielfach kommen sogenannte Kombigeräte zum Einsatz, welche das Haus nicht nur belüften, sondern auch beheizen und das Warmwasser bereitstellen. Die Effizienz dieser komplexen Systeme ist schwierig zu überwachen. An der *HTA Luzern* wurde deshalb ein **Prüfreglement für Kombigeräte** [29] erarbeitet.
- Der häufige Einsatz von **Warmflurheizungen in Passivhäusern** ist nicht ganz unproblematisch. Um zu erreichen, dass die neuen Möglichkeiten für Warmflurheizungen optimal genutzt werden, wird zurzeit eine Planungsrichtlinie erarbeitet [30a], welche auch die Problematik von Holzöfen in Niedrigenergiehäusern behandeln soll.

Nicht ganz Passivhaus-tauglich aber immerhin interessant für **energietechnische Sanierungen** sind sogenannte **Abluftsysteme**. Bei Sanierungen fehlt häufig der Platz zum Einbau einer Lüftungsanlage mit Zu- und Abluftkanälen. Abluftsysteme saugen deshalb die Aussenluft gezielt über die Fassade an und führen die verbrauchte Luft über das meist vorhandene Abluftsystem wieder ab. Die Wärme der Abluft kann zum Beispiel mit einer Wärmepumpe für die Warmwasseraufbereitung genutzt werden. Die laufenden Untersuchungen zu diesem System [30b] zeigen, dass eine gezielte Luftführung eine dichte Gebäudehülle und ein gut ausbalanciertes Lüftungssystem erfordert. Andernfalls ist die Wirkung ungenügend.

Nationale Zusammenarbeit

Von den laufenden 37 vom BFE unterstützten Forschungsprojekten wurden 15 Projekte mit **Fachhochschulen**, 16 Projekte mit **ETH-Instituten** und 10 Projekte mit der **Industrie** durchgeführt. An 21 Projekten waren planende **Ingenieurbüros** beteiligt und in 7 Projekten wurde mit **Branchenverbänden** zusammengearbeitet. Dadurch hat sich die Vernetzung der Projektpartner gegenüber dem Vorjahr weiter verstärkt.

Im Umweltbereich findet mit verschiedenen Bundesämtern eine enge Kooperation statt. Die Aktivitäten werden im Rahmen der **Koordinationsgruppe des Bundes für Energie- und Ökobilanzen**, in welcher nebst dem BFE das BUWAL, das BBL und das ASTRA vertreten sind, abgesprochen und zurzeit vor allem im Rahmen des Projekts *Ecoinvent* gemeinsam finanziert. Die Zusammenarbeit der Fachhochschulen mit der KTI hat noch nicht den gewünschten Umfang angenommen. Neue Impulse werden diesbezüglich mit der Gründung des **BRENET-Netzwerks** (*Building and Renewable Energies Network of Technology*) erwartet.

Internationale Zusammenarbeit

Die internationale Zusammenarbeit ermöglicht den wissenschaftlichen Erfahrungsaustausch mit wichtigen Industrienationen (vorwiegend EU- und OECD-Mitgliedstaaten) und fördert die internationale Harmonisierung der Bestrebungen um Energieeffizienz.

In den IEA-Programmen *Energy Conservation in Buildings and Community Systems (BCS)* und *Solar Heating and Cooling (SHC)* war die Schweiz 2001 an sieben Projekten engagiert.

- *Building energy analysis tools, SHC Task 22, Abschluss 2002 [26]*
- *Optimisation of solar use in large non residential buildings, SHC Task 23, Abschluss 2002 [13]*
- *Performance assessment of solar building envelope components, SHC Task 27, Abschluss 2003 [17c]*
- *Solar sustainable buildings, SHC Task 28, 2000 gestartet, Abschluss 2005 [6]*
- *Daylighting buildings in the 21st century, SHC Task 31, gestartet 2001, Abschluss 2005 [14b]*
- *High performance thermal insulation systems, BCS Annex 39, 2001 gestartet, Abschluss 2004 [16]*
- *Commissioning of building HVAC systems for improved energy performance, BCS Annex 31, 2001 gestartet, Abschluss 2004 [28]*

6 Projekte des 4. EU-Rahmenprogramms sind in Bearbeitung:

- *PRECIS: Assessing the potential for renewable energy in cities (Hemmer, Ecole d'Ingénieurs de Fribourg)*
- *ECOCOOL: Ecological cooling for buildings by combining a closed wet cooling tower with chilled ceilings (Borth, Sulzer Infra)*
- *DESICAIR COOLING: A novel desiccant cooling system using needle impeller rotors (Borth, Sulzer Infra)*
- *CEPHEUS: Cost efficient passive houses as European Standards (Renggli, Renggli AG)*
- *TOBUS: A decision-making tool for selecting office building upgrading solutions (Roulet, EPF Lausanne)*
- *Solar building façades (Frei, SPF Rapperswil)*

Im Rahmen des 5. EU-Rahmenprogramms hat sich die Zahl der unterstützten Projekte von 2 auf 9 erhöht.

- *INVENTNET: Network of industrial ventilation (Dorer, EMPA)*
- *DIAL-EUROPE: European integrated daylighting design tool (Scartezzini, EPFL und Paule, Estia Sàrl)*
- *EnerBuilt RTD: Energy in the built environment (Toggweiler, Enecolo AG)*
- *URBVENT: Natural Ventilation in Urban Areas, potential assessment and optimal façade design (Roulet, EPFL und Borth, Sulzer Infra)*
- *EVAPCOOL: Passive down draught cooling – development of key components (Borth, Sulzer Infra)*
- *SOLAR LOUVRE: Solar louvre building integrated collector (Borth, Sulzer Infra)*
- *IQ-Test: Improving quality in test and evaluation procedures of solar and thermal performances of building components (Frank, EMPA)*
- *RESHYVENT: Cluster project on demand controlled hybrid ventilation in residential buildings with specific emphasis of the integration of renewables (Dorer, EMPA)*
- *HOPE; Health optimisation protocol for energy-efficient buildings: pre-normative and socio-economic research to create healthy and energy-efficient buildings (Foradini, E4tech Sàrl)*

Pilot- und Demonstrationsprojekte

Dank der Ausschreibung im Forschungsprogramm konnten auch gezielt Pilot- und Demonstrationsprojekte initiiert und gestartet werden. Die Ankoppelung der P+D-Projekte an die Forschungsschwerpunkte hat sich bewährt.

2001 wurden relativ wenige Projekte abgeschlossen. Zum Jahresbeginn konnte das Messprojekt **Doppel-einfamilienhaus am Birkenweg** in Hochdorf [31] vorgestellt werden. Wichtigste Erkenntnisse sind, dass bei der Einbindung von Holzöfen in Luftheizungen die Zusammenarbeit zwischen Hafner und Lüftungsinstallateur von Anfang an sehr gut koordiniert sein muss, um die Dichtheit der Systeme zu gewährleisten.

Zudem müssen die Kanäle so kurz wie möglich und gut wärmegeklämt sein, damit die Wärme nicht passiv an die Gebäudekonstruktion abgegeben wird. Das Projekt **Luftheizung mit Holzofen bei einer EFH-Sanierung** [32], abgeschlossen Ende 2001, bestätigte diese Erkenntnisse weitgehend und legte die problematischen Punkte bei der Sanierung von Gebäuden offen. In der gleichen Reihe von Projekten mit verschiedenen Kombinationen von Lüftung und Holzofen konnte das dritte Projekt **Grasswil** [33] wegen Nachbesserungen noch nicht fertig ausgemessen werden. Die Resultate sind auf Frühjahr 2002 versprochen. Bis dann sollen auch Empfehlungen aus den drei Projekten zusammengestellt sein.

Bei den laufenden Projekten **Energetische Sanierung einer grossen Wohnsiedlung** (Zürich) [34], **Ökosiedlung Melchrüti** (Wallisellen) [35a], **Niedrigenergiehaus** (Erlenbach) [36] und **Synergiepark für erneuerbare Energien** [37] (Gams) sind die Messkampagnen voll im Gang. Der Passivhausstandard wird bei den *Projekten 1. Schweizerisches Wohn- und Gewerbebau im Passivhausstandard* (Rapperswil) [38], **TWD-Fassadenelement mit integriertem Latentspeicher und Sonnenschutz** (Ebnet-Kappel) [39], **Wohnen in Sunny Woods** (Zürich) [35b] und **Passiv-Acht-Familienhaus** (Stans) [40] näher untersucht. Dabei ist erstaunlich, wie rasch der *Passivhausstandard* im Mehrfamilienhausbau Fuss fassen konnte.

Sieben neue Projekte wurden 2001 gestartet. Einen wichtigen Schwerpunkt bilden die Gebäude, welche den *Passivhausstandard* nach *Dr. W. Feist* erfüllen. In Zürich konnte das erste Projekt einer *Passivhaus-Sanierung* in Angriff genommen werden. Das **Passivhaus im Umbau** [41] an der Magnusstrasse erfüllt zwar nicht ganz alle Rahmenbedingungen (U-Werte, Luftdichtheit), doch soll der Energieverbrauch den Standard erreichen. Messungen von verschiedenen Teilprojekten dauern bis 2003. Bereits im Herbst 2002 wird ein erster Zwischenbericht vorliegen, der aufzeigen soll, ob die gesteckten Ziele erreicht werden konnten.

In Unterägeri wird das **Passiv-Mehrfamilienhaus Stämpfli** [42] durch das BFE unterstützt. Trotz intensiven Bemühungen konnte für die Wärmeerzeugung leider noch keine Brennstoffzelle eingesetzt werden. Im Frühjahr 2002 wird das Gebäude bezugsbereit sein. Dann wird eine modulierende WKK mit Flüssiggas das Gebäude mit Wärme und Strom versorgen. Eine spätere Umstellung auf eine Brennstoffzelle ist vorgesehen.

In Barga (Schaffhausen) wird das Projekt **Zweifamilienhaus "Im Tal" mit Duplex WP für Heizung und Warmwasser** [43] gefördert. Im ersten *Passivhaus* im Kanton Schaffhausen wurde eine Wärmepumpe gewählt, die im Wasch-/Trocknungsraum die Luft entfeuchtet und Wärme über die erdberührten Bauteile aus dem Erdreich bezieht. Zusätzlich steht noch die Wärme der Abluft der Komfortlüftung zur Verfügung.

Ein weiteres **Zweifamilienhaus**, das ebenfalls nahe an den *Passivhausstandard* herankommt wird im **Tessin** ausgemessen [44]. Es erreicht mit relativ einfachen architektonischen Mitteln und einem guten Wärmeschutz einen sehr geringen Energieverbrauch bei sehr gutem Wohnkomfort im Sommer wie im Winter. Das Projekt soll auch dazu dienen, die Vorteile der Niedrigenergiebauweise im Kanton Tessin besser bekannt zu machen.

Das innovative Projekt **Wellness Wärmerückgewinnung Brauchwarmwasser** [45] zeigt auf, wie mit einfachen Mitteln Energie aus Bädern mit hohem Warmwasserverbrauch in einem Speicher zwischengelagert und nutzungsabhängig wieder für die Vorwärmung genutzt werden kann. Das Messprojekt wird im Frühjahr 2003 abgeschlossen.

Die vollflächige **Integration eines solaren Luftsystems und einer PV-Anlage** [46a] in Braunwald demonstriert, wie selbst bei einer Gebäudesanierung mit einfachen Mitteln solare Komponenten in ein Haustechnikkonzept eingebunden werden können. Die zur Verfügung stehende südgerichtete Dachfläche kann vollständig für ein konvektives Luftsystem genutzt werden. Durch die Integration der Warmwasseraufbereitung in das Luftsystem wird die Sonnenenergie ganzjährig genutzt.

Beim Projekt **Integration einer konvektiven Fassade in ein Heimatschutzobjekt** [46b] in Herisau kann sehr gut gezeigt werden, dass der *Passivhausstandard* und die Solarnutzung durchaus mit einer Bauweise verträglich ist, wie sie die Denkmalpflege vorschreibt. Die Demonstration einer grossflächigen Sonnenenergienutzung bei einem Objekt, welches strengen architektonische Auflagen genügen muss, ist für den traditionellen Baustil in Appenzell neu.

Mit dem Projekt **Phönix light – Heizen und Kühlen mit PCM** (Phase Change Material) [47] sollen die rechnerischen Grundlagen geschaffen werden, um die Einbindung von PCM-Material in Lüftungsanlagen zu

dimensionieren. Die Grundidee wurde bereits an der *Swissbau 2001* vorgestellt und weitere Vorarbeiten wurden unternommen. Bei Bauten ohne oder mit wenig thermisch wirksamer Speichermasse kann die Anwendung von PCM die Haustechnik unterstützen.

Bewilligt wurde das Projekt ***Deckenstrahlung in Eishallen und überdeckten Ausseneisfeldern*** [48]. Der IR-Strahlungsaustausch zwischen einer Eishallendecke und dem darunter liegenden Eisfeld lässt sich beträchtlich reduzieren, wenn die Deckenuntersicht aus strahlungsreflektierendem Material (z. B. blankes Metall) besteht. Dadurch lassen sich Energieeinsparungen (Wärme und Kälte) von bis gegen 30 % realisieren. Mit dem vorliegenden Projekt sollen die rechnerisch ermittelten Einsparungen am realen Objekt messtechnisch untersucht werden.

Bewertung 2001 und Ausblick 2002

Wichtige Ereignisse waren für das Programm die Evaluation durch internationale Experten und die Beurteilung durch die eidg. Energieforschungskommission *CORE*. Die Zielsetzungen des *CORE* Konzepts der Energieforschung des Bundes 2000-2003 werden gemäss Evaluation konsequent umgesetzt. Die Konzentration auf wenige, aber progressive Programmschwerpunkte wurde als richtig erachtet. Im wesentlichen sind es:

- Massnahmen zur Minimierung des Wärmebedarfs (hochdämmende, dichte Gebäudehüllen, Bedarfslüftung)
- Integrale Konzepte zur Sonnenenergienutzung (Passive und aktive Gewinne, Beschattung und Kühlung, Tages- und Kunstlicht)
- Haustechniksysteme für minimierten Bedarf (weg von konventioneller Zentralheizung)
- Berücksichtigung der Umweltaspekte (primär im Betrieb, sekundär bei der Erstellung von Gebäuden)

Als Minimumstandard für Forschung und Demonstration gilt *Minergie*, als Zielwert für Neubau und Sanierung der *Passivhausstandard*.

Mit dem Projekt *CEPHEUS*, mit der Leitung des *IEA*-Projekts ***Solar Sustainable Buildings*** [6] und ***High Performance Thermal Insulation*** [16] hat die Schweiz den Anschluss an die Entwicklung des *Passivhausstandards* gefunden. Bereits 2001 wurde eine ganze Reihe neuer *Passivbauten* realisiert, vor allem Mehrfamilienhäuser und sogar eine Passiv-Gebäudesanierung. Im Januar 2002 wird die *europäische Passivhaustagung* in der Schweiz (Basel, *Swissbau*) stattfinden.

Die Verbreitung der *Passivhaustechnologie* ist somit im Neubau bereits weit fortgeschritten. Nach wie vor hinkt jedoch die Gebäudesanierung dieser Entwicklung weit hinten nach. Es müssen zusätzliche Anstrengungen unternommen werden, um Energieeffizienz auch bei bestehenden Bauten zu erreichen.

Die erneute Ausschreibung des Programms im Jahr 2002 wird diesem Bedürfnis Rechnung tragen. Zudem soll auch die qualitative Verbesserung ganzer Quartiere verstärkt angegangen werden. Eine nachhaltige Entwicklung kann nicht auf das einzelne Gebäude beschränkt werden, sondern muss den gesamten Lebensraum unserer Gesellschaft umfassen. Der Einbezug ganzer städtischer Quartiere ist ein erster Schritt dazu.

Liste der F+E-Projekte

- (JB) Jahresbericht 2001 vorhanden
- (SB) Schlussbericht vorhanden
- (ZB) Zwischenbericht vorhanden

Alle Berichte können unter folgender Internet-Adresse heruntergeladen werden: www.empa.ch/ren. Wichtige Berichte sind auch in gedruckter Form (gegen Unkostenentschädigung) bei der Programmleitung erhältlich. Bestellformular: www.empa.ch/DEUTSCH/zentren/zen/ren/Bestell

- [1] R. Dones (roberto.dones@psi.ch), PSI, Villigen: *Ecoinvent 2000 – Ökoinventare für Energiesysteme* (JB+ZB)
- [2] R. Frischknecht (frischknecht@esu-services.ch), ESU, Uster: *Ökoinventare für Solar- und Heizsysteme*
- [3] A. Lalive (alalive@bhz.ch), Basler&Hofmann, Zürich: *Ökologische Optimierung von Solargebäuden über deren Lebenszyklus* (Beitrag IEA/SHC Task 28)
- [4] W. Ramseier (ra@adp-architektur.ch), ZHW, Winterthur: *Standards zur Beurteilung von Nachhaltigkeitsaspekten im Architekturwettbewerb (Snarc)*
- [5] J.-L. Hersener (hersener@pop.agri.ch), Ingenieurbüro, Wiesendangen: *Einblasdämmstoff aus Faserhanf und Altpapier* (JB)
- [6] R. Hastings (robert.hastings@freesurf.ch), AEU, Wallisellen: *IEA/SHC Task 28: Solar Sustainable Buildings (Nachhaltige Solar-Wohnbauten)* (JB)
- [7] T. Andris (tom.andris@renggli-haus.ch), Renggli AG, Schötz: *Marktanalyse Passivhaus Schweiz* (Beitrag IEA/SHC Task 28)
- [8] A. Binz (a.binz@fhbb.ch), FHBB, Muttenz: *a) Minergie und Passivhaus: Zwei Gebäudestandards im Vergleich* (JB) • *b) Thermisch optimierte Unterkonstruktionen für hinterlüftete Fassaden* (JB) • *c) Vakuum-Dämmung im Baubereich – Systeme und Applikationen* (Beitrag IEA BCS Annex 39) (JB)
- [9] Y. Kaiser (sonnenarchitektur@energienetz.ch), Kaiser & Partner, Winterthur: *Solargebäude – Strategien und Erfahrungen des energieoptimierten Bauens* (JB)
- [10] A. Gütermann (amena.ag@energienetz.ch), amena ag, Winterthur: *Messprojekt "Mehrfamilien-Passivhaus mit solarem Luftsystem"* (JB)
- [11] Ch. Filleux (chfilleux@BHZ.ch), Basler + Hofmann, Zürich: *Planungsrichtlinie für solare Luftheizsysteme* (JB)
- [12] S. Kropf (kropf@hbt.arch.ethz.ch), ETH, Zürich: *Integration von kombinierten PV- und thermischen Kollektoren in Gebäudesystemen* (JB)
- [13] P. Jaboyedoff (sorane@worldcom.ch), Sorane, Lausanne: *IEA/SHC Task 23: Optimisation of solar energy use in large buildings* (JB)
- [14] J.-L. Scartezzini (jean-louis.scartezzini@epfl.ch), EPF LESO-PB, Lausanne: *a) Optimisation du potentiel d'utilisation de l'énergie solaire en milieu urbain* (JB) • *b) Daylighting Buildings in the 21st Century* (Beitrag IEA Solar Task 31)
- [15] Th. Kersten (thorsten.kersten@infomind.ch), infomind gmbh, Zürich: *Wärmebrücken-Atlas WBB 2000* (JB)
- [16] M. Erb (markus.erb@eicher-pauli.ch), Eicher+Pauli AG, Liestal: *High Performance Thermal Insulation in Buildings (IEA BCS Annex 39 – Vorphase)* (JB)
- [17] H. Simmler (hans.simmler@empa.ch), EMPA-Dübendorf: *a) Vakuum-Dämmsysteme im Baubereich – Qualitätssicherung und bauphysikalische Grundlagen* (Beitrag IEA BCS Annex 39) • *b) Wärmelasten transparenter Bauteile und Sonnenschutzsysteme* (SB) • *c) Messung und Simulation von transparenten Bauteilen mit Sonnenschutz* (Beitrag IEA Solar Task 27) (JB)
- [18] R. Weber (robert.weber@empa.ch), EMPA, Dübendorf: *Vorabklärung zur Herstellung hochisolierender Leitungen* (SB)
- [19] M. Damani/U.Vogt (ulrich.vogt@empa.ch), EMPA, Dübendorf: *Vorabklärung zur Herstellung hochisolierender Keramik-Dämmstoffe* (SB)
- [20] C.U. Brunner (Conrad.U.Brunner@cub.ch), Büro CUB, Zürich: *Richtlinie für Gebäude mit hohem Glasanteil* (JB)
- [21] C. Roulet (Claude.Roulet@epfl.ch), EPF, Lausanne: *ATEMAC, Application des traceurs passifs pour l'étude des mouvements d'air et de contaminants* (SB)

- [22] Ch. Tanner (christoph.tanner@empa.ch), EMPA, Dübendorf: **Messung und Beurteilung der Luftdichtigkeit von Niedrigenergiehäusern** (JB)
- [23] W. Seidinger (seidinger@lemonconsult.ch), Lemon Consult, Zürich: **a) Harmonisierung der Nutzungsprofile SIA 382/2 und SWKI 95-3, ♦ b) Entwicklung eines Kälte-Tools zur Methodik SIA 380/4 "Elektrische Energie im Hochbau"** (JB)
- [24] O. Sari (Osmann.Sari@eivd.ch), HES-SO - EIVD, Yverdon: **Version française du logiciel "IDEA 382/3: Preuve des besoins pour les installations de ventilation et climatisation"** (SB, März 2001)
- [25] A. de Martin, G. Zweifel (gzweifel@hta.fhz.ch), SWKI, Bern: **Ein- und Ausgabeprogramm für Berechnung des jährlichen Energiebedarfs von Lüftungstechnischen Anlagen gemäss SWKI-Richtlinie 95-3** (JB)
- [26] G. Zweifel (gzweifel@hta.fhz.ch), HTA, Luzern/Horw: **IEA/SHC Task 22: Validierung von Simulationsprogrammen** (JB)
- [27] J. Kraus (jens.krauss@csem.ch), CSEM Neuenburg: **Demonbat (Pilotinstallation Neurobat)** (JB)
- [28] J.-M. Chuard (chuard@enerconom.ch), Enerconom, Bern: **Commissioning of Building HVAC Systems for Improved Energy Performance (IEA BCS Annex 40 – Vorphase)** (JB)
- [29] R. Furter (rfurter@hta.fhz.ch), HTA, Luzern/Horw: **Ausarbeitung eines Prüfglements für Kompakt-Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung und/oder Wärmepumpe** (SB)
- [30] V. Dorer (viktor.dorer@empa.ch), EMPA, Dübendorf: **a) Optimierte Luftheizsysteme für Passivhäuser** (JB), ♦ **b) Energieeffiziente und bedarfsgerechte Abluftsysteme mit Abwärmenutzung (ENABL)** (JB)

Liste der P+D-Projekte

- [31] Bachmann, Langenick und Partner (ivo.langenick@bluewin.ch), Hochdorf: **DEFH am Birkenweg 8, 6280 Hochdorf** (SB)
- [32] H. Huber (hjhuber@hta.fhz.ch), HTA-Luzern: **Luftheizung mit Holzofen bei einer EFH-Sanierung** (SB)
- [33] J. Bienz (juerg.bienz@chiquet-sopra.ch), Chiquet-Energietechnik, Ormalingen: **Messprojekt Grasswil** (JB)
- [34] W. Hässig (whaessig@BHZ.ch), B+H, Zürich: **Energetische Sanierung einer grossen Wohnsiedlung** (JB)
- [35] R. Naef (naef@igjzh.com), Naef Energietechnik, Zürich: **a) Öko-Siedlung Melchrüti (Wohnpark Balance Wallisellen)** (JB) ♦ **b) Wohnen in Sunny Woods** (JB)
- [36] Th. Nordmann (clavadetscher@tnc.ch), Erlenbach: **Messprojekt Niedrigenergiehaus Erlenbach**
- [37] Werner Vetsch (vetsch-bauplanung@bluewin.ch), Grabs: **Synergiepark für erneuerbare Energien** (JB)
- [38] W. Setz (setzw@bluewin.ch), Architekt, Rapperswil: **1. Schweizerischer Wohn- und Gewerbebau im Passivhausstandard** (JB)
- [39] D. Schwarz (schwarz@schwarz-architektur.ch), Architekt, Domat/Ems: **TWD-Fassadenelement mit integriertem Latentwärmespeicher und Sonnenschutz** (JB)
- [40] B. Bossard (barbos@tic.ch), Barbos Bauteam, Stans: **Passiv-Acht-Familienhaus** (JB)
- [41] K. Viridén (viriden@viriden-partner.ch), Viridén+Partner, Zürich: **Passivhaus im Umbau** (JB)
- [42] Ch. Breu (breu_christoph@bluewin.ch), Architekt und Ingenieur, Rickenbach: **Passiv-Mehrfamilienhaus Stämpfli Unterägeri** (JB)
- [43] M. Stüssi (mstuessi@dplanet.ch) Barga: **Neubau Zweifamilienhaus "Im Tal" 8233 Barga SH, Heizung - Warmwasser - Wäschetrocknung mit einer Duplex-Wärmepumpe**
- [44] D. Pahud (daniel.pahud@dct.supsi.ch), LEE-SUPSI, Trevano: **Low Energy Housing in Ticino**

(Beitrag IEA SHC Task 28) (JB)

- [45] P. Stähli (Peter.Staehli@swisseeconomic.ch), IEM AG, Gwatt-Thun: **Wellness Wärmerückgewinnungsanlage Brauchwarmwasser, Parkhotel Adelboden**
- [46] A. Gütermann (amena.ag@energienetz.ch), amena ag, Winterthurr: **a) Integration eines solaren Luftsystems und PV bei einer Gebäudesanierung, Braunwald ♦ b) Integration einer konvektiven Fassade in ein Heimatschutzobjekt, Herisau** (JB)
- [47] E. Hächler (ernst.haechler@suisselectra.ch), Suisselectra, Basel: **Phönix light – Heizen und Kühlen mit PCM**
- [48] F. Gachnang (gachnang@eta-energietechnik.ch), eta Energietechnik, Winterthur: **Deckenstrahlung in Eishallen und überdeckten Ausseneisfeldern**

Referenzen

- [49] M. Zimmermann: **Forschungsprogramm Rationelle Energienutzung in Gebäuden 2000-2003, EMPA ZEN, November 2001**
- [50] Binz, Frank, Fregnan, Hartmann, Manz, Zimmermann, Zweifel: **SIA Dokumentation D 170: Energie im Hochbau, SIA Zürich, 2001**
- [51] M. Zimmermann, M. Erb et al: **High Performance Thermal Insulation Systems, Conference and Workshop Report, EMPA ZEN, January 22-24, 2001**

Zim, 8.2.2002