



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung

Februar 2010

Forschungsprogramm

Energie in Gebäuden

Synthesebericht 2009 des BFE-Programmleiters

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Autor:

Charles Filleux, Basler & Hofmann AG, filleux.ren@bhz.ch

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

Programmschwerpunkte und anvisierte Ziele

Das Thema Energieeffizienz in Gebäuden hat im Jahr 2009 in Politik und Gesellschaft an Bedeutung gewonnen: Auf Anfang Jahr wurde die «Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKE n)» in Kraft gesetzt. Ebenso viel Aufmerksamkeit hat die Einführung des Gebäudeausweises der Kantone (GEAK) gebracht: Über 1000 akkreditierte Fachleute haben innert weniger Monate 15'000 Gebäudeausweise erstellt. Dadurch ist die Bevölkerung weiter sensibilisiert worden, und der Bekanntheitsgrad der diversen Gebäudestandards Minergie und Minergie-P ist gestiegen. Vor diesem Hintergrund, sowie dank der Mittel die über den Klimarappen in die Gebäudesanierung geflossen sind, ist das Interesse an neuen Produkten für die Wärmedämmung bei Bauherren und Fachplanern geweckt worden.

In keinem Forschungsbereich sind Politik und Forschung derart miteinander verknüpft, wie in der Energieforschung. Von ihr wird erwartet, dass sie einen Beitrag zur Steigerung der Energieeffizienz, der nachhaltigen Energieversorgung, sowie zur wirtschaftlichen Stärkung des Standorts Schweiz beiträgt. Das Forschungsprogramm *Energie in Gebäuden* verfolgt deshalb inhaltlich eine breite Abstützung.

Gestützt auf das *Energieforschungskonzept* der Eidgenössischen Energieforschungskommission CORE [63] verfolgt das Forschungsprogramm *Energie in Gebäuden* in der Periode 2008 – 2011 folgende Ziele:

- Energieverbrauchsreduktion;
- Steigerung der Energieeffizienz;
- Integration Erneuerbarer Energien;
- Minimierung des CO₂-Ausstosses durch verbesserte Technologien.

Dazu dienen nachfolgende fünf Schwerpunkte, die im Detailkonzept [64] weiter präzisiert sind.

Fünf Schwerpunkte des Forschungsprogramm *Energie in Gebäuden*

Gebäude- und Siedlungskonzepte für eine 2000-Watt-kompatible Bauwerksentwicklung

Unter «Bauwerk» wird das Zusammenwirken der Teilsysteme Nutzung, Struktur (Konstruktion, Form) und Prozess (Planungs-, Bau- und Betriebspro-

zess) über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes verstanden.

Zielsetzung: Es ist eine ganzheitliche, d.h. Disziplinen übergreifende Strategie sowie eine technologische Basis für das «Gebäude als Gesamtsystem» zu entwickeln, unter besonderer Berücksichtigung der grauen Energie und der standortinduzierten Mobilität.

Konzepte, Technologien und Planungswerkzeuge für die energetische Gebäudesanierung

Gebäude werden für 50 bis 80, manchmal sogar bis 100 Jahre Nutzungsdauer geplant. In der Schweiz sind ca. 65 % der Wohnbauten älter als 40 und ca. 40 % älter als 60 Jahre. Der Gebäudebestand wird zurzeit lediglich mit einer Rate von weniger als 1 % pro Jahr saniert und die Neubaurate beträgt rund 1 %. Die Ersatzbaurate (Abbruch und Neubau) ihrerseits liegt in der Schweiz deutlich unter 0,1 % pro Jahr. Somit werden insgesamt pro Jahr etwa 2 % des Gebäudebestandes durch Sanierung oder Neubau auf den aktuellsten Stand von zeitgemässen Neubauten gebracht. Das sind jährlich mehrere tausend Gebäude. In den nächsten 20 bis 30 Jahren dürften dies in der Schweiz einige hunderttausend Gebäude sein.

Zielsetzung: In Zusammenarbeit mit Industriepartnern sollen Konzepte, Technologien und Planungswerkzeuge für Gebäudeerneuerungen unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen in bestehenden Bauten (technisch, ökonomisch, konstruktiv) entwickelt werden.

Heizen, Kühlen und Lüften im 2000-Watt-kompatiblen Gebäude

Niedertemperaturwärme wird heute noch zu oft mit fossilen Energieträgern erzeugt, welche einen sehr hohen Exergieanteil enthalten. Die Klima- und Kältetechnik in zentralen Anlagen und mit Raumklimageräten zeigt ein grosses, noch weitgehend ungenutztes Energieeffizienzpotenzial, welches durch Nutzung geringer Temperaturdifferenzen genutzt werden könnte. Gleichzeitig ist ein hoher Deckungsbeitrag durch erneuerbare Energien möglich.

Zielsetzung: Entwickeln einfacher Gebäudetechnikkonzepte für Neubauten sowie für die Erneuerung des Gebäudebestands, welche auf Verzicht

fossiler Brennstoffe und Integration erneuerbarer Energien bauen.

Effizienzsteigerung beim Stromverbrauch in Gebäuden

Der Elektrizitätsbedarf nimmt unter anhaltendem Wirtschaftswachstum bei allen Verbraucherkategorien stetig zu. Der Anteil, welcher durch das Gebäude selbst verursacht wird (Haustechnik, Aufzüge, fest eingebaute Geräte und Beleuchtung) liegt deutlich über 50 %. In Wohnbauten werden 15 % des Stromverbrauchs alleine für die Beleuchtung eingesetzt. In Dienstleistungsgebäuden sind es im Mittel 22 %.

Zielsetzung: Es sind Technologien zu entwickeln, welche zu wesentlichen Verbesserungen der elektrischen Effizienz von Geräten in Gebäuden und der vermehrten Integration der Tageslichtnutzung im Gebäude führen.

Innovative Materialien und Komponenten für den Gebäudebereich

Materialien werden im Bauwesen traditionell meist nur eine Funktion zugedacht. Es besteht ein Mangel an multifunktionalen Materialien und Fassadenelementen.

Zielsetzung: Nutzen von Synergien aus Materialwissenschaften, Chemie, Physik und Nanotechnologie, um neuartige Baustoffe und Komponenten zu entwickeln.

Pilot- und Demonstrationsprojekte (P+D)

Das Forschungsprogramm *Energie in Gebäuden* ist für den zunehmend wichtigen Know-how-Transfer prädestiniert.

Zielsetzung: Förderung von Leuchtturmprojekten zur Demonstration von Schlüsseltechnologien mit Fokus auf die Gebäudesanierung sowie Erstanwendungen neuer Technologien und Systeme in Neubauten und Bestandsbauten.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse 2009

Laufende Aktivitäten in Forschung und Entwicklung sowie Projekte im Bereich Pilot- und Demonstrationsanlagen umfassen im Berichtsjahr 2009 ca. 60 Projekte mit einer Förderung durch das Bundesamt für Energie.

Für diejenigen Projekte, welche erst im zweiten Halbjahr 2009 in Angriff genommen wurden, liegen noch kaum Ergebnisse vor. Um eine Übersicht über die aktuellen Projekte zu vermitteln, wurden diese dennoch in die Liste der Projekte aufgenommen und kurz beschrieben.

Gebäude- und Siedlungskonzepte für eine 2000 Watt-kompatible Bauwerksentwicklung

Grundlagenarbeiten und Tools

An der HSLU ist eine grundlegende Arbeit durchgeführt worden, mit dem Ziel, das *System klimagerechte Bauwerke und Quartiere* [44] mit seinem Umfeld, Einflussfaktoren und inneren Zusammenhängen für einen Disziplinen übergreifende Diskurs zugänglich zu machen. Systemcharakter und Wirkungszusammenhänge werden anhand einer

systemischen Methode untersucht und grafisch visualisiert.

Klimagerechte Gebäude und Quartiere sind Teil eines Gesamtnetzwerkes, sowohl in räumlicher (Gebäudepark Schweiz) als auch in zeitlicher Hinsicht. Vor dem Hintergrund der Frage, ob und unter welchen Bedingungen die vorgeschlagenen Zielwerte der 2000-Watt-Gesellschaft erreicht werden können, wurde zusammen mit dem Amt für Hochbauten der Stadt Zürich eine Vorstudie zum *Gebäudeparkmodell Schweiz – Grundlagen zur Überarbeitung des SIA Effizienzpfades Energie* [48] in Auftrag gegeben.

Ein weiteres Projekt mit Grundlagencharakter ist die Untersuchung der *Gesamtenergieeffizienz von Minergie-P Wirtschaftsbauten* [13]. Dabei ging es um die Frage, inwiefern die Anforderung an die Gebäudehülle für Minergie-P-Bauten das entscheidende Kriterium ist, oder ob nicht die Effizienz auf Stufe Primärenergie einschliesslich Heizung, Kühlung und Beleuchtung ausschlaggebend für eine gute Gesamtenergieeffizienz ist.

Heute kommen vermehrt dynamische Gebäudesimulationsprogramme als Planungsinstrumente zum

Einsatz, mit welchen eine detaillierte Energiebedarfsanalyse, die Dimensionierung der HLK-Systeme und eine Beurteilung des thermischen Komforts erstellt werden können. Um die Resultate solcher Berechnungen nachvollziehbar und vergleichbar und damit behördenauglich machen zu können, sind Anforderungsprofile mit Standard-Eingabewerten (Randbedingungen), normierte Report-Formate und Gebäude-Testbeispiele zur Überprüfung der Programme erforderlich. Damit soll eine Zertifizierung der Programme künftig ermöglicht werden. Das Projektteam Empa / HSLU nimmt sich dieser Aufgabe im Rahmen des Projekts *Anforderungen an behördenaugliche Dynamische Simulationsprogramme* [10] an.

Mit der Einführung der SIA Norm 382/1:2007 «Lüftungs- und Klimaanlage – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen» wurde ein neues Verfahren für den Bedarfsnachweis klimatisierter Gebäude eingeführt. Neben der Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle und dem Sonnenschutz ist auch eine Anforderung an die Wärmespeicherfähigkeit einer Zone definiert. Da in der Norm nur homogene Bauteile beschrieben werden, können in den Berechnungstools keine inhomogenen Bauteile berechnet werden. Mit dem Projekt *Berechnung der Wärmekapazität von inhomogenen Konstruktionen* [14] soll diese Lücke geschlossen werden.

Beim Projekt *Design Performance Viewer 2.0: Evolution und Weiterentwicklung* [47] hat sich im Berichtsjahr herausgestellt, dass der Programmkern neu programmiert werden musste, um eine höhere Flexibilität zur Anbindung der diversen Module zu ermöglichen. Dennoch sollte das Werkzeug im Frühjahr 2010 bereitstehen.

Nachhaltige Gebäudekonzepte und Quartierentwicklung

Schwerpunkte für ein nachhaltiges Gebäudekonzept sind eine hohe Flexibilität, ein geringer Ressourcenverbrauch und eine optimale Erschliessung. Das Konzept *Swisswoodhouse* [26] setzt an diesen Punkten an. *Swisswoodhouse* ist ein mehrgeschossiges Gebäude, welches an zukünftige Wohnformen angepasst werden kann. Durch den hohen Vorfertigungsgrad für Bauhülle und Gebäudetechnik soll das Produkt wirtschaftlich sein. Ein investorenorientiertes Rating-System bildet die Grundlage für die Bewertung und die Promotion für nachhaltige Gebäude am Markt [65].



Figur 1: *Swisswoodhouse* (Bild: Bauart Architekten)

Bauten mit betonter Nutzung der Sonnenenergie sind in ihrer organisatorischen, strukturellen und formalen Sprache als Ausdruck eines Energiekonzeptes zu verstehen. Diese Klimarhetorik führt in ihrer konsequenten Anwendung zu neuen Typologien von klimagerechten Bauten und erfordert neue integrative und ganzheitliche Entwurfsstrategien. Je früher solare Strategien in den Entwurf einfließen, desto höher ist das Potenzial für die Umsetzung, und desto kostengünstiger deren Umsetzung. Das Projekt *Methodik zur Integration von solaren Strategien in der Architektur* [6] des CCTP an der HSLU untersucht anhand von zwei Fallstudien das Potenzial von aktiv- und passivsolaren Strategien für die Sanierung von Siedlungen und den Ersatzneubau im urbanen Kontext.

Ziel des Projekts *Nullenergiegebäude – die nächste Generation energieeffizientes Bauen* [20] ist die Dokumentation und Analyse exemplarischer Gebäude nahe der Nullenergiebilanz, um dabei Methodik und Werkzeuge für die Arbeit mit diesen Gebäuden zu entwickeln. Es sollen neue zukunftsweisende bauliche Energieeffizienzstandards auf der Basis von Nullenergiegebäuden geschaffen und verbreitet werden. Diese Grundlagen bieten dann die Basis für die marktreife Entwicklung von Nullenergiegebäuden in der Schweiz, z. B. unter dem Label von Minergie. Im Forschungsprojekt werden auch Arbeiten im Rahmen des Projekts der Internationalen Energieagentur (IEA) *Towards Net Zero Energy Solar Buildings (NZEB)* im IEA ECBCS Annex 52, IEA SHC Task 40 durchgeführt.

Der Ersatz der Siedlung Bernerstrasse im Grünauquartier (Altstetten, Zürich) durch die Ersatzneu-

bauten Werdwies stellt das erste und bisher grösste Ersatzneubauprojekt der Schweiz dar. Der Entscheid für den Ersatzneubau sowie die Prozesse zu Entwicklung, Bau und Bezug des Neubauprojektes sind beispielhaft und können schweizweit als Demonstrationsobjekt dienen. Im Sinne einer Erfolgskontrolle als auch einer Erfolgsdemonstration wurden mit dem Projekt *Nachhaltige Quartierentwicklung Grüna-Werdwies Zürich* [36] die wichtigsten Auswirkungen der Ersatzneubauten auf das Grünaquartier aus der Optik der nachhaltigen Quartierentwicklung und des nachhaltigen Bauens evaluiert.

Ein neues Forschungsfeld am Building Science and Technology Laboratory der Empa ist die *Untersuchung des Einflusses des Mikroklimas auf die städtische Umgebung* [5]. Dabei geht es primär darum, mittels CFD-Simulation und experimentellen Untersuchungen im neu erstellten Windkanal das Grundlagenwissen weiter zu entwickeln.

Gebäudehülle

Für VIP mit Pulverkern aus pyrogener Kieselsäure, die für Bauanwendungen hergestellt werden, gibt es noch keine Normierungsgrundlagen. Deshalb wurden im Projekt *Vakuumdämmung im Baubereich – Deklaration und Auslegung* [8] verschiedene Qualitätsverfahren erarbeitet und auf aktuelle Produkte angewendet. Die Kommission SIA 279 (Wärmedämmstoffe) unterstützt die Entwicklung und Anwendung von Qualitätsmassnahmen analog zu anderen Wärmedämmstoffgruppen. Der im Rahmen eines Teilprojekts erarbeitete *Wärmebrückenkatalog für VIP* liegt bereits in der definitiven Fassung vor [9].

Bei der Anwendung von VIP im Fassadenbereich besteht im Gegensatz zu Dach- und Bodenkonstruktionen noch wenig Erfahrung. Die Temperaturen, denen die VIP in der Fassade ausgesetzt sind, unterscheiden sich von den Boden- und Dachanwendungen. Im Stossbereich, wo Wärmebrücken entstehen, können Abzeichnungen an der Fassade sichtbar werden. Diese Fragen zusammen mit Langzeitmessungen von Temperatur und Feuchte an zwei Objekten wurden im Projekt *Vakuumdämmung in Fassadenanwendungen – messtechnische Begleitung und Leistungsuntersuchung* [17] untersucht. Mittels Thermografieaufnahmen kann auch festgestellt werden, ob die VIP nach

dem Einbau intakt (unbelüftet) sind (vgl. Bild auf Titelseite).

Für die g-Wert-Messung am Bau wird am SUPSI und an der HES-SO in Genf eine transportable Messeinrichtung entwickelt: *Mesure in situ des Performances énergétiques de façades transparentes et translucides* [37].

Sowohl Minergie-P als auch das Passivhaus fordern für die Zertifizierung die Einhaltung einer hohen Luftdichtigkeit der Gebäudehülle (bei Minergie ist die luftdichte Gebäudehülle eine Empfehlung aber keine Anforderung). Diese Luftdichtigkeit wird mit einem Luftdichtigkeitstest (bekannt auch als «Blower-door»-Messung) ermittelt. Die Erfahrung zeigt, dass die heute im Neubau geforderten Werte von 0,6 l/h meistens erreicht werden können, die Anforderung von 1,5 l/h bei der Modernisierung aber öfters nicht erreicht werden kann (gerade bei Holzbauten). Damit die geforderten Grenzwerte betreffend Luftdichtigkeit begründet werden können und auch die die Messwerte beeinflussenden Faktoren bekannt sind, soll in der Studie *Praxistest Luftdichtigkeitsmessungen bei Minergie-P- Bauten* [35] durch Recherche, Gespräche mit Fachleuten und durch eigene Messungen mehr Klarheit geschaffen werden.

Der Markt der Gebäudethermografie ist jung und entwickelt sich in verschiedene, qualitativ sehr unterschiedliche Richtungen. Eine auf diesem Markt wichtige Informationsquelle ist die vom Projektleiter Ch. Tanner verfasste Dokumentation *Infrarotaufnahmen von Gebäuden* [66]. Ziel des BFE-Projekts *Energetische Beurteilung von Gebäuden mittels IR-Bildern* [46] ist die Validierung und Weiterentwicklung der empirischen Methode Qualithermo, welche in begrenztem Rahmen eine energetische Gebäudebeurteilung auf Grund von Gebäude-Thermografieaufnahmen zulässt.

Sommerlicher Wärmeschutz

Der sommerliche Wärmeschutz – und damit auch der thermische Komfort in Holzbauten – ist nach wie vor Gegenstand von Untersuchungen. In einer experimentellen Untersuchung an acht Einfamilienhäusern in Holzbauweise sind die Autoren zum Schluss gekommen, dass die Wirksamkeit des Sonnenschutzes (als Folge des Öffnens und Schliessens) einen weit grösseren Einfluss auf die Raumlufttemperatur hat, als alle anderen Massnahmen, eingeschlossen die Nachtauskühlung

über Fenster und die Nutzung eines Lüfterdregisters [29].

Aufbauend auf dieser Studie führt die Berner Fachhochschule unter Beizug von Herstellern von Wohngebäuden in Holzbauweise im Rahmen des Projekts *Parameteruntersuchung des sommerlichen Raumklimas von Wohngebäuden* [24] extensive Simulationen durch, um die Wechselwirkung zwischen den verschiedenen Einflussparametern (Fensterfläche und Ausrichtung, Verschattung, Lüftung sowie Speicherfähigkeit) zu untersuchen.

An der HES-SO in Sion im Wallis wird ein intelligentes «Plug & Play»-System *Stores intelligents* [31] zur Steuerung von elektrisch angetriebenen Storen in Einzelräumen untersucht. Das vorgeschlagene System ist modular und reagiert auf Sonnenstrahlung, Raumlufttemperatur und Personenpräsenz und eignet sich insbesondere für die Nachrüstung in Bestandsbauten.

Elektrochrome Fenster sind eine Alternative zum konventionellen Sonnenschutz. Bisher erfolgte die Handhabung auf manuelle Weise. An der EPFL LESO-PB wird ein Algorithmus entwickelt, welcher den Betrieb bezüglich visuellem Komfort und Energieeffizienz optimieren soll: *Automatic control of an electrochromic window* [32].

Konzepte, Technologien und Planungswerkzeuge für die energetische Gebäudesanierung

Bei der Sanierung von Bestandsbauten wurden im Programm Energie in Gebäuden bisher zwei Stra-

tegien verfolgt: Einerseits «konventionelle» Sanierung unter Einbezug erneuerbarer Energien und andererseits Entwicklung und Demonstration der Anwendung vorgefertigter Elemente für Dach und Fassade.

«Konventionelle» Sanierung von Wohnbauten unter Einbezug von thermischer Solarenergie

Anhand einiger exemplarischer Sanierungsbeispiele wurden im Rahmen des Projekts *Advanced Housing Renovation by Solar & Conservation* [22] die Möglichkeiten und Grenzen einer konventionellen Sanierung aufgezeigt.

In einer Studie der Universität Genf [50] ist die Sanierung zweier sechsstöckiger Gebäude aus den 1950er Jahren beschrieben. Die Gebäude sind im Inventar geschützter Bauten der Stadt Genf aufgeführt. Das erste Gebäude wurde mit 4 – 8 cm Aussendämmung, das andere mit 6 cm Innendämmung wärmetechnisch saniert. Der Heiz-Energiebedarf konnte auf die Hälfte reduziert werden, die Lösung mit Aussendämmung hat den Heizenergieverbrauch um weitere 15 % reduziert. Der Unterschied im Erscheinungsbild ist erst bei genauerem Hinsehen feststellbar.

Das Projekt *200Plus – Gute Detaillösungen im Fassadenbereich* [18] ist ebenfalls ein Teilprojekt aus IEA SHC Annex 37. Leider sind die Erwartungen bis jetzt noch nicht erfüllt worden.



Figur 2 : Tours Cayla in Genf vor Sanierung (links), mit Aussendämmung (Mitte) und mit Innendämmung (rechts) (Bild W. Weber)

An der HES-SO Valais ist die Bearbeitung des Projekts *Renovation des bâtiments: Aspects énergétiques et économiques* [1] gestartet worden.

Die Lucido-Solarfassade – eine Solare Wärmedämmung – ist eine Art atmungsaktiver Gebäudehaut, die die eigene Fassadentemperatur reguliert. Diese funktioniert wesentlich anders als eine konventionelle gedämmte Fassade, welche lediglich den Transmissionswärmefluss reduziert. Die Lucido-Solarfassade eignet sich auch für die Bauerneuerung, wie der Beitrag *Solarfassade für Wohnbau – Erneuerungen mit tiefstem Energieverbrauch* von Fent Solare Architektur im Rahmen der IEA SHC Task 37 zeigt [34].

Vorfabrizierte Systeme für die energetische Sanierung von Wohnbauten

Mit der bestehenden Gebäudesubstanz lässt sich keine nachhaltige Entwicklung im Sinne der 2000-Watt-Gesellschaft verwirklichen. Die bestehenden Gebäude, welche den schweizerischen Energieverbrauch auf Jahrzehnte hinaus massgeblich bestimmen, sollten mindestens 80 % weniger Energie verbrauchen. Dieses Ziel kann nicht mit behelfsmässigen Instandstellungsmassnahmen, sondern nur mit gesamtheitlichen Erneuerungskonzepten erreicht werden.



Figur 3: Mehrfamilienhaus-Erneuerung Zürich-Höngg [58]. Das Gebäude wurde nicht nur mit vorgefertigten Elementen gedämmt; gleichzeitig wurden auch die Wohnräume vergrössert, grosszügige Balkone vorgesetzt und eine neue Attikawohnung realisiert. Aus dem «Block» der 1950er Jahre ist ein modernes Mehrfamilienhaus entstanden (Projekt und Bildnachweis Arch. Beat Kämpfen, Zürich)

Besonders der anstehende Renovationsbedarf vieler Mehrfamilienhäuser aus den Jahren 1950 – 1970 ist eine Chance für eine grundlegende Erneuerung. Gleichzeitig lassen sich oft bauliche Anpassungen realisieren, die Mehrwerte schaffen,

und so alte Gebäude wieder für 40 bis 60 Jahre fit machen (Fig. 3).

Mit dem Projekt *Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Buildings* [53] werden neue Lösungen gesucht, welche die Gebäudeerneuerung effizienter und einfacher machen. Im Vordergrund steht die komplette Erneuerung der Gebäudehülle mit vorgefertigten Modulen, welche den höchsten Energie- und Qualitätsstandards gerecht werden.

Sanierung historischer Bauten

Die energetische Erneuerung von Altbauten mit wertvoller Fassadengestaltung ist oft problematisch. Dem Schutz der traditionellen Fassade stehen die Risiken einer bauphysikalisch heiklen Wärmedämmung von innen gegenüber. Es fehlen bewährte Rezepte und Technologien, um auch schützenswerte Bauten energetisch nachhaltig zu verbessern. Trotzdem ist es unabdingbar, diesen energetisch wie kulturell nicht unbedeutenden Gebäudebestand nachhaltig zu erneuern.

Die Problematik besteht primär in der schwierig kontrollierbaren Feuchtebelastung der Aussenwandkonstruktion. Um diese bauphysikalisch heikle Situation zu lösen, sollen neben klassischen Dämmstoffen auch neuartige Materialien und Tech-

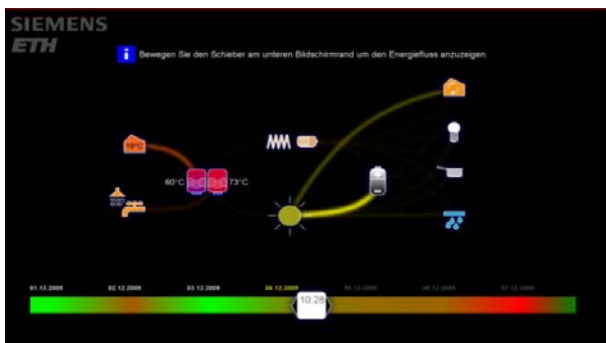


nologien wie Aerogele, VIP, Hochleistungsdämmputze, feuchteadaptive Putze im Hinblick auf eine Innen- resp. Innen-/Aussendämmung historischer Fassaden weiter entwickelt, geprüft und getestet werden. Ziel des Projekts *Nachhaltige Erneuerung historisch wertvoller Bauten* [3] sind robuste Lö-

sungen und mit der Denkmalpflege abgestimmte Planungsgrundlagen für bauphysikalisch heikle Situationen.

Heizen, Kühlen und Lüften im 2000-Watt-kompatiblen Gebäude

Der grösste Teil der Energie in Gebäuden wird dazu verwendet, eine Raumtemperatur von ungefähr 20 °C zu halten. Um dieses niedrige Temperaturniveau für Heizung und Kühlung zu erreichen, ist keine hochwertige Energie notwendig, da der Temperatursprung zur Aussenlufttemperatur gering ist. Dennoch wird heute hochwertige Energie wie Erdöl dafür eingesetzt. Für einen effizienteren Energieeinsatz unter Einbezug erneuerbarer Energiequellen sind neue Heiz- und Kühlsysteme auf der Basis von Energie mit niedriger Wertigkeit (LowEx) zu entwickeln. Dies wird im Projekt *Low Exergy Systems for High Performance Buildings and Communities* [28] behandelt.



Figur 4: Energiefluss-Visualisierung der neuen Monte Rosa Hütte (Bild: ETHZ/Siemens Building Technologies)

Das Energiesparpotenzial von Gebäuden lässt sich nur dann ganz erschliessen, wenn auch das Zusammenspiel der Einzelkomponenten der Gebäudetechnik optimiert wird. Das Ziel des Projekts *Integrierte Haussysteme für optimale Energie- und Stoffbewirtschaftung* [19] ist darum die Entwicklung neuer Algorithmen und Hardware-Lösungen für das optimale Management von Energie- und Stoffflüssen in Gebäuden. Die Schlüsselidee ist dabei, das Zusammenspiel von verschiedenen Energiequellen, Speichersystemen und Verbrauchern zu optimieren. Wetter- und Besuchervorhersagen sind dabei ein wichtiges Instrument, um dieses Ziel zu erreichen. Die Neue Monte Rosa Hütte wird als Demonstrationsobjekt verwendet, wobei das Hauptziel eine möglichst hohe Energieautarkie ist.

Im Projekt *Energie im Gebäude online (Egon)* [45] wurde mit finanzieller Unterstützung der Stiftung Klimarappen ein System entwickelt werden, welches es erlaubt, den jährlichen Heizenergieverbrauch eines Gebäudes nach einer Messdauer von wenigen Wochen mit kostengünstiger Hardware voll automatisiert zu bestimmen. Mit diesem System wurde es möglich, den tatsächlichen Heizenergieverbrauch und die Energiekennzahl eines Gebäudes zu ermitteln, zu prüfen ob der Heizenergieverbrauch eines Gebäudes mit den Erwartungen übereinstimmt, und den energetischen Erfolg von Sanierungsmassnahmen zu verifizieren.

Das Projekt *Gebäudeintegrierte polyvalente Energiebereitstellung* [15] startete im November 2009 und ist Teil des Brenet-Themenbereichs *Kraftwerk Haus* (Brenet: Nationales Kompetenznetzwerk Gebäudetechnik und erneuerbare Energien). Der Hauptakzent im vorliegenden Projekt liegt auf Wärme-Kraftanlagen (WKA), die in ihrer Leistung auf die Wärme- und Stromversorgung einer Wohneinheit zugeschnitten sind. Das Projekt will neuartige Konzepte der gebäudeintegrierten polyvalenten Energieversorgung mit WKA aufzeigen. An polyvalenten Energieanlagen wird neben der Energieversorgung im Gebäude neu ihr Potenzial für die Energieversorgung von Elektro- resp. Hybridfahrzeugen untersucht.

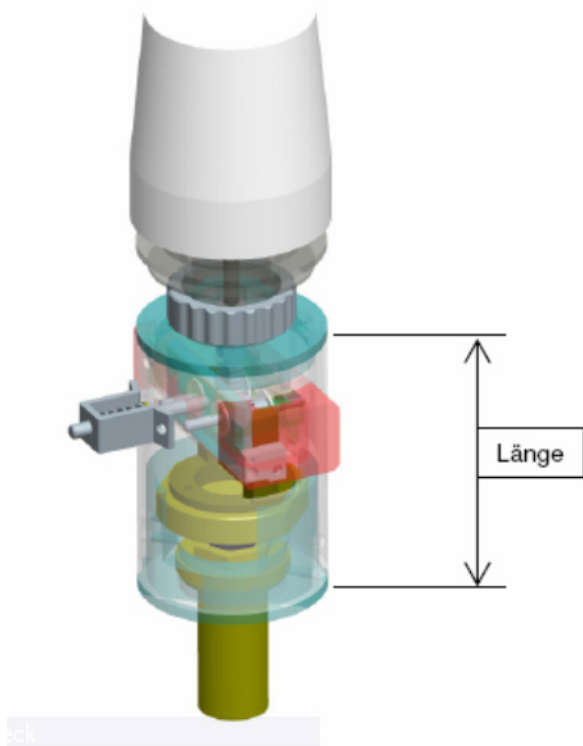


Figur 5: Am Ökozentrum Langenbruck installierte Biomasse-Wärme-Kraft-Anlage mit Messdatenerfassung (Bild: Ökozentrum Langenbruck)

Das Projekt *Kraftwerk Haus im ländlichen Raum – Umsetzung von Biomasse Wärme-Kraft-Anlagen und Strom-Lastmanagement* [39] hat zum Ziel, den ersten Schritt in der sukzessiven Transformation des Gebäudes vom reinen Energiebezüger zum Energielieferanten – zum *Kraftwerk Haus* – in der Praxis zu erproben und zu erforschen. Das Zusammenspiel von lokalem Lastmanagement (LLM)

und dezentraler Stromerzeugung (PV, WKA) wird in einem Messprojekt unter Praxisbedingungen am Institutsgebäude des Ökozentrum Langenbruck erprobt.

Im Projekt *Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur de l'environnement des bâtiments* [27] wurde die Möglichkeit geprüft, See- und Grundwasser über ein Kältenetz zur Kühlung von Gebäuden zu nutzen. Die Machbarkeitsstudie hat gezeigt, dass ein solches Netz für Freecooling im Sommer und zur Speisung von Wärmepumpen im Winter wirtschaftlich attraktiv sein kann.



Figur 6: Optimierter Umkehrthermostatkopf (Miniaturisierung) (Bild: NTB/Schnyder)

Im Projekt *Konventionelle Wärmeabgabesysteme und deren Regulierung für die Raumkühlung* [42] wurde untersucht, wie weit Heizkörper und Bodenheizungen zu Kühlzwecken dienen können, und ob deren Regulierung mittels einem selbsttätig, stromlos regulierenden Thermostaten mit Umkehrfunktion erfolgen könnte. Versuche im Labor mit einem Funktionsmuster sowie thermische Simulationen haben ergeben, dass Kühlleistungen zwischen rund 4 % und 11 % der Norm-Heizleistungen erreicht werden können. Ein Kühl-Heizkörper in einem Einzelbüro oder in einem Wohnzimmer erhöht die sommerliche Behaglichkeit spürbar und beeinflusst die Raumtemperatur positiv. Die sommerli-

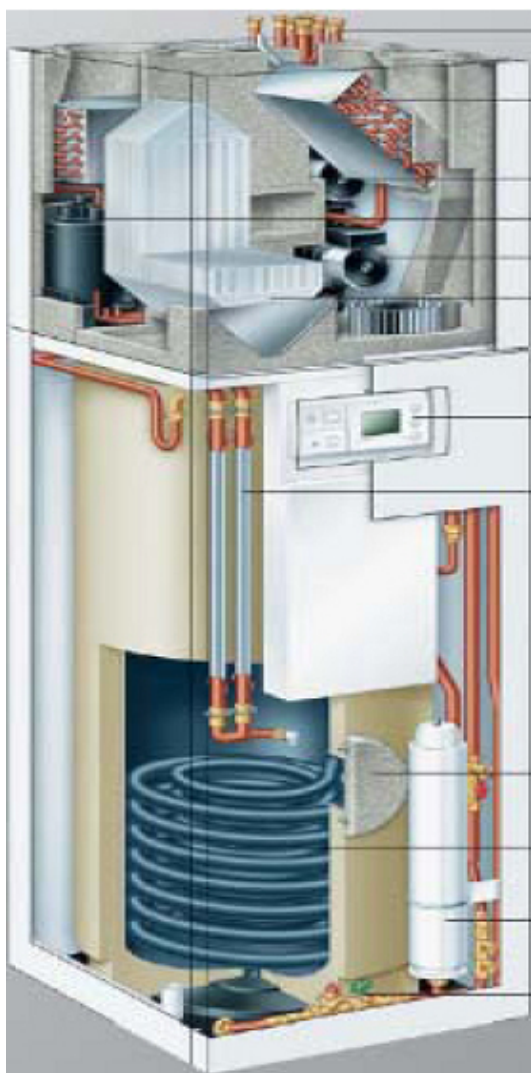
chen Raumtemperaturen können um 2 – 4 Kelvin gesenkt werden. Zur Miniaturisierung und wirtschaftlichen Herstellung eines seriennahen Prototyps, als Vorstufe zu einer Nullserie, sind unter anderem andere Materialien und Fertigungsverfahren zu überlegen und auszuwählen.

In Untersuchungen an grösseren Wärmerückgewinnungsanlagen wurde bereits früher erkannt, dass interne und externe Leckagen respektive Rezirkulation die Energieeffizienz massgeblich negativ beeinflusst. Aktuelle Untersuchungen im Rahmen des 2009 abgeschlossenen BFE Projekts *Reduktion des Elektrizitätsverbrauchs von Kleinlüftungsanlagen* [12] deuten ebenfalls auf ein grosses Effizienzsteigerungspotenzial hin. Die Erkenntnisse aus diesem BFE-Projekt weisen zudem darauf hin, dass in realisierten Anlagen mit nicht unbedeutenden internen und externen Leckagen zu rechnen ist. Deshalb sollen die im früheren BFE-Projekt untersuchten Anlagen im Rahmen des Projekts *Erhöhung der Energieeffizienz von Kleinlüftungsanlagen* [11] nochmals auf interne und externe Leckagen untersucht werden, damit diese Informationslücke geschlossen werden kann.

Basierend auf den hoch entwickelten natürlichen Lüftungssystemen für Nicht-Wohngebäude wird im Projekt *Optimierte automatische Fensterlüftung in Wohnbauten* [23] ein vereinfachtes standardisiertes System mit automatischer Fensterlüftung für Wohnungen in Mehrfamilienhäusern entwickelt und erprobt. Die eingesetzte Technik und Regelung soll für typische Wohnsituationen standardisiert werden. Bei der automatischen Fensterlüftung ist nicht nur an Einzellösungen für einzelne Räume gedacht, sondern auch an ein Konzept, welches integral die Wohnung umfasst. Durch eine energetisch optimale Steuerung der verschiedenen Fenster von typischen Wohnungen in Abhängigkeit vom Klima der einzelnen Räume und unter Berücksichtigung der lokalen Wetterverhältnisse soll eine effiziente Lüftung erreicht werden. Neben der Frage der optimalen Lüftung muss die Einsetzbarkeit der automatischen Fensterlüftung hinsichtlich der Akustik und Lärmproblematik sowie des Einbruchschutzes geprüft werden.

In der Schweiz werden pro Jahr gut 3000 Wohneinheiten mit wohnungsweisen Lüftungsanlagen (Komfortlüftungen) ausgerüstet, die Tendenz ist steigend (Quelle: www.energie-cluster.ch). Zusätzlich dürften in kleineren Dienstleistungs- und

Schulgebäuden ca. 2000 Anlagen gebaut werden, die eine ähnliche Grösse haben. Im Berichtsjahr konnte das Projekt *Haustechnik-Kompaktgeräte – Erkenntnisse aus der Praxis* [21] abgeschlossen werden. Der Einsatzbereich solcher Kompaktgeräte (Heizen, Lüften und Warmwasser) ist auf Bauten mit geringem Wärmebedarf beschränkt (Minergie-P). Der kleine Heizbedarf ermöglicht eine Wärmeverteilung über die Zuluft. Grundsätzlich sind die Luftverteilungen für die Luftheizungen genau gleich zu konzipieren wie für eine klassische Komfortlüftung. Das gesamte hydraulische Heizsystem kann somit entfallen und dies führt zu namhaften Kosteneinsparungen.



Figur 7: Kompaktgerät Viessmann/Vitotres 343

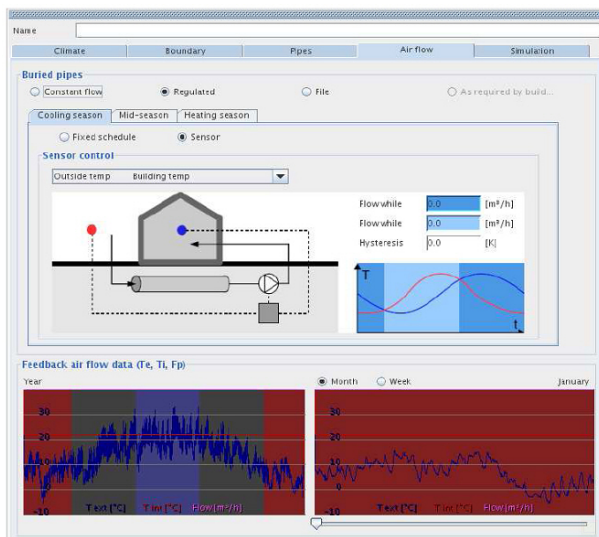
Ebenfalls abgeschlossen ist das Projekt *Hocheffiziente Kühlsysteme für Gebäudesanierungen* [2]. Nebst dem Forschungsbericht ist ein Merkblatt für Bauherren und Architekten gefertigt worden, welches einen Vergleich von Kälteabgabe- und -Erzeugersystemen sowie eine Entscheidungshilfe beinhaltet [68].

Für zukünftige Gebäude nach Anforderungen der 2000-Watt-Gesellschaft ist der Sommerbetrieb verstärkt zu beachten. Aufgrund von Klimawandel, Anforderungen an die Energieeffizienz der Gebäude, steigenden Glasanteilen in der Architektur sowie gestiegenen Komfortansprüchen an das Innenraumklima wird die Gebäudekühlung an Bedeutung gewinnen. Passive Kühlkonzepte bieten eine energieeffiziente Lösung für den wachsenden Kühlbetrieb. Neben eingeführten passiven Kühlkonzepten wie Nachtlüftung oder erdgekoppelter Kühlung kann Wärme auch über aussen liegende Gebäudebauteile an die Umgebung abgeführt werden. Ziel der Potenzialstudie *Heizen und Kühlen über thermisch aktivierte Aussenflächen* [51] ist es zu ermitteln, welche Komponenten und Systemlösungen hierfür geeignet sind, welche Leistungsfähigkeit und Effizienz sich für die Systeme ergibt, und welche Synergien für einen Heizbetrieb bestehen.

In bestehenden Bauten mit mehreren Wohneinheiten wie Ferienwohnungen, Mehrfamilienhäuser oder Apartmenthäuser wird die Heizung bei Abwesenheit der Bewohner oft nicht ausgeschaltet bzw. abgesenkt, da z.B. mehrere Wohn- und Nutzungseinheiten an der gleichen Heizgruppe angeschlossen sind, die Aufheizverzögerung zu lange ist (Komfortprobleme bei Wochenendbelegung), oder der Frostschutz nicht gewährleistet ist. Im Projekt *Internetbasiertes System zur energetischen Optimierung der Haustechnik mit Funktechnologie im Altbaubestand* [52] wird mit nur einer SPS pro Gebäude eine Applikation entwickelt, die es den Benutzern (Bewohner, Verwaltung, Vermieter, Hauswart, ...) ermöglicht, ihre Präsenzzeiten auf einer passwortgeschützten Webseite einzutragen. Dieses System ermöglicht es, die Betriebszeiten der Haustechnik auf ein Minimum zu reduzieren und somit Energie zu sparen.

Source froide solaire pour pompe à chaleur avec un COP annuel de 5 généralisable dans le neuf et la rénovation [30] ist ein Projekt der Universität Genf. Es wird nach geeigneten Energiequellen gesucht, um den COP von Wärmepumpen zu steigern.

Für die Auslegung von Luft-Erdwärmetauschern wurde im Projekt *Easypipes* [49] in Ergänzung zu bestehenden quasistationären Berechnungstools für das dynamische Simulationsprogramm Trnsys eine neue Routine (Type 260) entwickelt.



Figur 8: Kontrolle des Luftdurchflusses im Lufterdregister Trnsys Module 260 (Grafik: P. Hollmueller)

Effizienzsteigerung beim Stromverbrauch in Gebäude

Im Rahmen einer Dissertation an der EPFL zum Thema *High Performance Integrated Lighting Systems (Green Lighting)* [40] gezeigt werden, dass anidolische Tageslichtsysteme (engl. Anidolic Daylighting Systems, ADS) eine ideale Grundlage für hoch effiziente, integrierte Beleuchtungssysteme sind. Solche Tageslichtsysteme sind nicht nur in der Lage, in Büroräumen über weite Teile der normalen Bürozeiten, bei verschiedenen Himmels-typen und über das gesamte Jahr eine adäquate Beleuchtungsumgebung zu schaffen; vielmehr sind sie auch bei Büroinsassen sehr beliebt. Natürlich ist jedoch in jedem Fall zusätzlich elektrische Beleuchtung notwendig, um ein ADS zu Zeiten niedrigen Tageslichtflusses zu unterstützen. Im Rahmen dieses Projektes wurde gezeigt, dass die vorteilhaftesten Kompromisse zwischen Energieeffizienz und visuellem Komfort erzielt werden können, wenn für die elektrische Beleuchtung eine Kombination aus direkt strahlenden Deckenleuchten (Umgebungsbeleuchtung) und tragbaren Schreibtischlampen (temporäre Arbeitsbeleuchtung) verwendet wird. Als Leuchtmittel sind für die Deckenleuchten hoch effiziente Leuchtstoffröhren am besten geeignet. Für Schreibtischleuchten sind Kompaktleuchtstofflampen (so genannte Energiesparlampen) oder weisse LED-Glühlampen am besten geeignet.

Zusammenfassend lässt sich sagen: Das «Green Lighting»-Projekt hat gezeigt, dass installierte

Lichtleistungsdichten unter 5 W/m^2 und effektive Lichtleistungsdichten unter 3 W/m^2 heutzutage realisierbar sind, vorausgesetzt es werden moderne Tageslichtsysteme und hoch effiziente elektrische Beleuchtungssysteme in idealer Weise miteinander kombiniert. Anwendungen auf der Basis weisser LED können bereits heute in solchen Systemen zum Einsatz kommen; in naher Zukunft wird das Potenzial dieser Technologie ausserdem immer weiter wachsen. OLED-Anwendungen (OLED = engl. Abkürzung für organische Licht emittierende Diode) könnten auch eine interessante Option für zukünftige Beleuchtungsszenarien in Büroräumen werden.



Figur 9: Weiss strahlendes Lumiblade OLED «Pixel» als Demo-Kit im Labor des LESO-PB

Lichtlenksysteme kombiniert mit Sonnenschutzvorrichtungen bilden für Planungsteams ein komplexes Fenstersystem. Die Integration der künstlichen Beleuchtung verursacht zusätzlichen Planungsaufwand, will man die ergonomischen Anforderungen am Arbeitsplatz einhalten. Mittels neuer wissenschaftlicher Methoden «Goniophotomètre bidirectionnel à imagerie numérique» soll im Projekt *Outil informatique de conception et de visualisation de systèmes d'éclairage naturel* [41] ein Werkzeug für die Planer entwickelt werden, welches den neusten Erkenntnissen der Lichttechnik Genüge trägt.

Im Nachfolgeprojekt *Lampe au soufre à bulbe séparé* [4] der HEIG-VD ist es dem Forschungsteam gelungen, die Rotation des Leuchtkörpers zu unterdrücken indem die Stromversorgung verändert wurde. Dadurch, dass die Leuchtdichte um ein Vielfaches höher ist als bei einer LED und die Wärmeabfuhr gelöst werden konnte, versprechen sich die Forscher eine baldige Industrialisierung.

Ziel des Projekts *Prevision et justification des consommations d'électricité pour 3 categories de bâtiment* [16] ist es, aus Zählerablesungen und Strom-

rechnungen signifikante Vergleichswerte zu erhalten. Eine systematische Analyse der Verbraucherprofile in Hotels hat gezeigt, dass je nach Elektrizitätswerk die Hoch- und Niedertarife unterschiedlich ausgestaltet sind und zudem über die Jahre variieren. Um zu einer von Energielieferanten und der Beobachtungsperiode unabhängigen Analysemethode zu gelangen, wird als Vergleichsgrösse das Verhältnis der Leistung im Ruhezustand des Gebäudes zu jener im Betrieb verwendet.

Innovative Materialien und Komponenten für den Gebäudebereich

Mit dem an der Empa entwickelten Verfahren Anodische Fügetechnik mit Flüssiglot zur Herstellung des Glasrandverbundes von Vakuumverglasung konnten im Projekt *Development of Vacuum glazing with advanced thermal properties* [25] erfolgreich 0,5 m × 0,5 m grosse Prototypen gefertigt werden. Auf Grund eines Lebensdauermodells wird erwartet, dass während einer Lebensdauer von 30 Jahren der Druck nicht mehr als 0,1 Pa ansteigt.

Nationale Zusammenarbeit

Die Begleitgruppe des Forschungsprogramms *Energie in Gebäuden* hat im Berichtsjahr die Kompetenzzentren LESO-PB und SUPSI für die Durchführung ihrer halbjährlichen Sitzungen gewählt. Damit wurde die Gelegenheit wahrgenommen, Näheres über deren aktuelle Projekte zu erfahren. Seit Beginn des Jahres 2009 ist Frau Dr. Monica Duca Widmer von Ecorisana aus Manno TI neue CORE-Patin des Forschungsprogramms.

Die Kontakte mit Forschungsteams der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (Prof. Dr. Hj. Leibundgut, Prof. Dr. H. Wallbaum, Prof. Dr. L. Guzzella), sowie mit dem Forschungsteam von Prof. Dr. J. L. Scartezzini an der École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) sind weiter verstärkt worden.

Regelmässige Kontakte werden zum nationalen Kompetenznetzwerk Brenet (Building and Renewable Energies Network of Technology, www.brenet.ch) wahrgenommen, insbesondere zum «Building Integrated Solar Network (BiSol)».

Das Projekt wird dank Förderung durch den Innovationsfonds des EKZ unter Beizug der Glasindustrie weitergeführt. Bis zur industriellen Fertigung dürfte es noch einige Jahre dauern.

Im Projekt *Integrated Multifunctional Glazing for Dynamical Daylighting* [43] wird ein neuartiges dynamisches Tageslichtkonzept entwickelt. Dieses wird folgende Funktionen erfüllen:

- Lenkung des Tageslichts in grosse Raumtiefen entsprechend einem anidolischen System dank neuartigen Mikrostrukturen;
- Blendschutz und verbesserter visueller Komfort;
- Schutz vor Überwärmung im Sommer und niedrige Emissivität dank Verwendung von «M-Glas», einer Entwicklung von Prof. Ölhafen an der Universität Basel.

Das Projekt *Building Integrated Photovoltaics – Thermal Aspects* [33] am SUPSI hat zum Ziel, die thermischen und elektrischen Eigenschaften fas-sadenintegrierter PV Module zu untersuchen.

Unter der Federführung des Bereichsleiters Andreas Eckmanns fand Ende 2009 ein Koordinations-treffen mit den Programmleitern der Forschungsprogramme WP/Kälte/WKK und Solarwärme/Wär-mespeicherung statt.

Eine erfolgreiche Zusammenarbeit besteht mit dem Verein Energie-Cluster.ch (www.energie-cluster.ch) im Rahmen der Innovationsgruppen *Hoch-leistungswärmedämmung* und *Komfortlüftung*. Neu ist eine Innovationsgruppe *Plusenergiehaus* ins Leben gerufen worden, an deren Workshops die Programmleitung vertreten ist.

Die Programmleitung vertritt das BFE in der Begleitgruppe des Projekts *Use of Weather and Occupancy Forecasts for Optimal Building Climate Control (OptiControl)* der ETHZ, MeteoSchweiz, Empa und der Industrie, welches durch Swisselectric Research unterstützt wird.

Auf Programmebene werden unregelmässige Kontakte zu KTI, BAFU und Swisselectric Research gepflegt.

Internationale Zusammenarbeit

Internationale Kontakte werden sowohl in direkter Zusammenarbeit in Projekten, in Netzwerken wie auch durch Teilnahme an internationalen Konferenzen wahrgenommen. Die bisherigen Erfahrungen und der Nutzen dieser Zusammenarbeit für die Schweiz können allgemein als sehr gut eingestuft werden. Im Vordergrund stehen die nachfolgend aufgeführten Institutionen.

Internationale Energieagentur (IEA)

Auf der Ebene Projektarbeit findet eine intensive Zusammenarbeit mit den IEA-Programmen *Energy Conservation in Buildings and Community Systems* (ECBCS) und *Solar Heating and Cooling* (SHC) statt. Die Schweiz ist im Rahmen des BFE-Forschungsprogramms *Energie in Gebäuden* in mehreren Projekten engagiert:

- M. Zimmermann von Empa Building Technologies und P. Schwehr von der HSLU vertreten die Schweiz im IEA ECBCS Annex 50 *Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Buildings* [53].
- R. Hastings von AEU hat die Schweiz im IEA SHC Task 37 *Advanced Housing Renovation by Solar & Conservation* vertreten [22].
- EPFL LESO-PB hat die Schweiz im IEA ECBCS Annex 45 *Energy Efficient Electric Lighting for Buildings* [40] vertreten.
- Die ETHZ vertritt die Schweiz im Projekt *Low Exergy Systems for High Performance Buildings and Communities* [28]. Die Newsletters sowie der Midterm Report [69] können unter www.annex49.com/materials.html heruntergeladen werden.

Seit Mitte 2009 beteiligt sich die Schweiz in folgenden weiteren Projekten der IEA:

- IEA SHC Task 41 *Solar Energy and Architecture*. Die Schweizer Vertretung wird durch die HSLU (CCTP) und das SUPSI (ISAAC-DACD) wahrgenommen [7].
- Die FHNW ist am kombinierten IEA ECBCS Annex 52 / IEA SHC Task 40 *Nullenergie-Gebäude – Die nächste Generation Energieeffizienter Bauten* [20] beteiligt.
- D. Robinson von der EPFL LESO-PB vertritt die Schweiz im IEA ECBCS Annex 51 *Energy Efficient Communities: Case Studies and Strategic Guidance for Urban Decision Makers* [38].

Mehrere dieser Projekte sind erst kürzlich gestartet worden, so dass in den zitierten Jahresberichten lediglich Zielsetzung und Arbeitsplan Eingang gefunden haben.

ERA-Net im Rahmen EU Framework Programme 7 (FP7)

Das Ende 2008 gestartete Eracobuild ERA-Net [69] dient der Vernetzung und dem Informationsaustausch der Programmverantwortlichen aus den verschiedenen Mitgliederstaaten und verfolgt das Ziel, die Zusammenarbeit zwischen den nationalen Programmen zu fördern. Neun Mitgliedstaaten haben im Dezember 2009 eine gemeinsame Ausschreibung (Joint Call for Proposals) zum Thema «Sustainable Renovation of Buildings» mit einem Budget von € 4 Mio. gestartet. Das Forschungsprogramm *Energie in Gebäuden* des BFE beteiligt sich an dieser Ausschreibung mit € 200'000.

Pilot- und Demonstrationsprojekte

Die Anzahl Demonstrationsprojekte hat gegenüber dem Vorjahr wieder leicht zugenommen.

Abgeschlossene P+D Projekte

- Anlässlich der Informationsveranstaltung vom 23. Januar 2009 ist die *Energie-Detailbilanz des Eawag Forum Chriesbach* [57] einem Publikum mit 140 Interessierten vorgestellt worden. Der Primärenergiebedarf lag für das Messjahr 2007

ca. 30 % über dem Planungswert, jedoch deutlich tiefer als Minergie-P für ein vergleichbares Gebäude. Durch Betriebsoptimierung wird der Wert laufend verbessert. Erstmals wurde eine detaillierte Erhebung der Mehrkosten durchgeführt. Diese belaufen sich laut Angaben des Generalunternehmers auf 4,7 % der Gesamtinvestition.

- In Basel wurde 2007 mit *CosyPlace* [55], [56] das erste Mehrfamilienhaus nach Minergie-P-Standard erstellt. Es wird im Winter mit einer erdgekoppelten Wärmepumpe beheizt und im Sommer mit der Erdwärmesonde passiv gekühlt. Die Wärmeabgabe im Heizbetrieb und die Wärmeaufnahme im Kühlbetrieb erfolgen über eine Niedertemperatur-Fussbodenheizung. Aus den Erkenntnissen einer ersten Messperiode zwischen November 2007 und Oktober 2008 wurde die Reglereinstellung optimiert. Seit Oktober 2008 sind überdies sämtliche Wohnungen bezogen. Die Effizienz der Wärmepumpenanlage konnte gegenüber der ersten Messperiode gesteigert werden. Verantwortlich dafür sind die neuen Reglereinstellungen sowie ein grösserer Warmwasserbedarf infolge einer höheren Personenbelegung. Im Heizbetrieb betrug der Wärmeerzeugernutzungsgrad 4,3. Im passiven Kühlbetrieb erreichte der wöchentliche Nutzungsgrad dank Optimierung während der Sommerperiode 2009 Werte bis 15,2. Die gute erreichte thermische Behaglichkeit zeigt sich bei den Raumtemperaturen, die vorwiegend im Bereich 20 °C bis 26 °C lagen, auch wurde im Sommer ein registrier- und spürbarer Kühleffekt erreicht. Die Raumluftfeuchte war in der Winterperiode eher gering. Der gemessene Heizwärmebedarf liegt mit 111 MJ/m² gegenüber dem Vorjahreswert von 103 MJ/m² wenig höher, und noch immer deutlich über dem Nachweiswert von 36 MJ/m². Eine befriedigende Erklärung konnte noch nicht gefunden werden.
- Das Langzeitmessprojekt *Solarix-Wandheizsystem* [61] konnte im Berichtsjahr abgeschlossen werden. Die Erwartungen wurden im Winter 2008/2009 nur teilweise erfüllt, was die Sensibilität des Systems auf die Sonneneinstrahlung untermauert.

Sanierungen im Minergie-P Standard

Die folgenden P+D-Projekte hatten zum Ziel, den Nachweis zu erbringen, dass bei einer Sanierung der Minergie-P Standard erreicht werden kann.

- Beim *Zweifamilienhaus Rohrer, Stansstad* (Baujahr 1965) [59] ist eine messtechnische Erfolgskontrolle durch die HSLU durchgeführt worden. Die Übereinstimmung mit den Planungswerten ist gut. Das Gebäude wurde gemäss Minergie-P-Antrag bei einer Energiebezugsfläche von

373 m² mit einem effektiven Heizwärmebedarf von 16,9 kWh/m²·a bei einer Raumlufttemperatur von 20 °C berechnet. Der gemessene effektive Heizwärmebedarf von 19,7 kWh/m²·a bezieht sich auf eine mittlere Raumlufttemperatur von 20,9 °C. Im Vergleich mit dem theoretischen Heizenergiebedarf bei 21 °C wird der reale effektive Heizwärmebedarf um ca. 4 % überschritten. Der Energiebedarf für Warmwasser liegt mit 19,1 kWh/m² um 38 % höher als der Standardnutzungswert von SIA 380/1. Der von Energieberatern kommunizierte Energiebedarf von 1000 kWh/a pro Person wird um 19 % überschritten.

- *Sanierung eines Mehrfamilienhauses aus dem Jahre 1946 – Profit statt Dynamit* [60]. Im vorliegenden Fall wurden auf einer unternutzten Parzelle an herrlicher Wohnlage mit Seesicht durch Anbau und Aufstockung zusätzliche Wertschöpfung und Attraktivität bei sinkender Umweltbelastung generiert. Der thermische Komfort kann überall in den Wohnungen – Winter wie Sommer – unabhängig von den Aussentemperaturen zwischen 20 °C bis 25 °C gehalten werden. Im Jahre 2009 betrug der Stromverbrauch für alle 8 Wohnungen 23'729 kWh, wovon 7'744 kWh (33 %) auf die Wärmepumpe (Heizung und Warmwasser) entfielen. Bilanzmässig stellte die hauseigene PV-Anlage dazu mit 6'958 kWh einen Grossteil der elektrischen Energie bereit.
- Im Rahmen des CCEM Retrofit *Nachhaltige Wohnbausanierung* wurde das Projekt *Nachhaltige Modernisierung eines typischen Mehrfamilienhauses der 1950er Jahre – Erfolgskontrolle im Rahmen IEA Annex 50 initiiert* [58]. Die Sanierung erfolgte mit dem Ziel, den Minergie-P-Standard zu erreichen (vgl. Fig. 3). Die Ergebnisse der Erfolgskontrolle stehen noch aus.

Laufende P+D Projekte

- Erfolgskontrolle *Marché International Support Center: Bilanziertes Nullenergiebürogebäude* [61]. Es sind erste viel versprechende Messergebnisse vorhanden. Eine Aussage, inwieweit das Ziel «Nullenergiegebäude» erreicht wird, ist noch verfrüht.
- *Wohnsiedlung Burgunder, Bern* [54]. Die autofreie Wohnsiedlung Burgunder in Bern setzt mit ihren Zielen einen schweizweit neuen Massstab.

In den drei Hauptbereichen der Nachhaltigkeit Ökologie, Ökonomie und Gesellschaft sollen die Möglichkeiten, Grenzen sowie Auswirkungen einer konsequent nachhaltigen Quartierentwicklung ausgelotet werden. Im P+D-Projekt werden

die beiden Hauptziele des autofreien Wohnens (Mobilität) und des Standards Minergie-P-ECO evaluiert und in den Kontext mit den übrigen Themen der Nachhaltigkeit gestellt.

Bewertung 2009 und Ausblick 2010

Wie bereits im einleitenden Kapitel dieses Überblicksberichts erwähnt, war das Jahr 2009 für das Thema «Energieeffizienz in Gebäuden» ein dynamisches und weitgehend auch erfolgreiches Jahr. Diese Dynamik hat sich auch auf die Energieforschung im Gebäudebereich übertragen: Die Zusammenarbeit mit den diversen Kompetenzzentren im Gebäudebereich ist gut etabliert und konnte dank der Forschungsaufträge des BFE weiter ausgebaut werden. Das Qualitätsniveau der Schweizer Forschung ist gut und wird im In- und Ausland anerkannt.

Die Projektnehmer des Forschungsprogramms *Energie in Gebäuden* sind international gut vernetzt und die Bereitschaft, in führenden Positionen mitzuwirken, ist gross.

Erfreulich ist, dass in vielen Projekten der Beitrag der Industrie substantiell ist. Damit wird das Interesse an unseren Projekten dokumentiert. Die Um-

setzung am Markt erfolgt auf unkomplizierte Weise.

Die inhaltlichen Schwerpunkte liegen bei «Gebäude- und Siedlungskonzepte für eine 2000-Watt-kompatible Bauwerksentwicklung», «Konzepte, Technologien und Planungswerkzeuge für die energetische Gebäudesanierung», sowie «Heizen, Kühlen und Lüften im 2000-Watt-kompatiblen Gebäude». In den Schwerpunkten «Effizienzsteigerung beim Stromverbrauch in Gebäuden» und «Innovative Materialien und Komponenten für den Gebäudebereich» konnten nur unterdurchschnittlich viele Projekte generiert werden.

Erfreulich ist auch die Verdoppelung der Anzahl P+D-Projekte. Die Webseite des Programms www.bfe.admin.ch/forschungsgebaeude wird beachtet und regelmässig besucht.

Ausblick: Das Ziel für das Jahr 2010 ist, die angekauften Projekte gut zu betreuen, und trotz Budgetengpässen neue Projekte generieren zu können.

Liste der F+E-Projekte

Unter www.bfe.admin.ch/forschungsgebaeude/ (Rubrik Projekte) sind die Jahres- und Schlussberichte sowie weitere Informationen verfügbar.

- [1] M. Bonvin (michel.bonvin@hevs.ch), HES-SO Valais, Enerconseil Sàrl, Signa-Terre SA, Sion, *Renovation des bâtiments: Aspects énergétiques et économiques* (Rapport annuel projet 103334)
- [2] P. Benz-Karlström (petra.benz@baslerhofmann.ch), Basler & Hofmann Ingenieure Planer und Berater AG, Zürich, *Hocheffiziente Kühlsysteme für Gebäudesanierungen* (Schlussbericht Projekt 101464)
- [3] J. Carmeliet (jan.carmeliet@empa.ch) ETH-HBT c/o Empa Building Technologies, Dübendorf, *Nachhaltige Erneuerung historisch wertvoller Bauten* (Jahresbericht Projekt 103139)
- [4] G. Courret (gilles.courret@heig-vd.ch), AIT-CeTT et HEIG-VD, Yverdon-les-Bains, *Lampe au soufre à bulbe séparé* (Rapport annuel projet 103152)
- [5] V. Dorer (viktor.dorer@empa.ch), Empa Building Science and Technology Laboratory, Dübendorf, *Urban Climate and Energy Demand in Buildings* (Jahresbericht Projekt 103151)
- [6] D. Ehrbar (doris.ehrbar@hslu.ch), S. Moosberger, HSLU Technik & Architektur CCTP und ZIG, Horw, *Methodik zur Integration von Solaren Strategien in der Architektur* (Jahresbericht Projekt 103216)
- [7] D. Ehrbar (doris.ehrbar@hslu.ch), Hochschule Luzern Technik & Architektur CCTP, Horw, und K. Nagel (kim.nagel@supsi.ch), ISAAC-DACD-SUPSI, Trevano, IEA SHC TASK 41: *Solar Energy and Architecture* (Jahresbericht Projekt 103423)
- [8] M. Erb (markus.erb@eicher-pauli.ch), Dr. Eicher + Pauli AG, Basel, *Vakuumdämmung im Baubereich – Deklaration und Auslegung* (Jahresbericht Projekt 102134)
- [9] M. Erb (markus.erb@eicher-pauli.ch), Dr. Eicher + Pauli AG, Basel, *Vakuumdämmung im Baubereich – Deklaration und Auslegung* (Schlussbericht zu Teilprojekt Wärmebrückenkatalog Projekt 102134)
- [10] T. Frank (thomas.frank@empa.ch), Empa Abteilung Bautechnologien, Dübendorf, *Anforderungen an behörden-taugliche Dynamische Simulationsprogramme* (Jahresbericht Projekt 103232)

- [11] B. Frei (beat.frei@hslu.ch), Hochschule Luzern Technik & Architektur ZIG, Horw, *Erhöhung der Energieeffizienz von Kleinlüftungsanlagen* (Jahresbericht Projekt 103227)
- [12] R. Furter (rudolf.furter@hslu.ch), HTA, Luzern/Horw: *Reduktion des Elektrizitätsverbrauchs von Kleinlüftungsanlagen* (Schlussbericht Projekt 101977)
- [13] R. Gadola (reto.gadola@hslu.ch), Hochschule Luzern Technik & Architektur, Luzern, HLSU, Luzern: *Gesamtenergieeffizienz von Minergie-P-Wirtschaftsbauten* (Schlussbericht Projekt 102773)
- [14] R. Gadola (reto.gadola@hslu.ch), Hochschule Luzern Technik & Architektur ZIG, *Berechnung der Wärmekapazität von inhomogenen Konstruktionen* (Jahresbericht Projekt 103223)
- [15] Ch. Gaegauf (christian.gaegauf@oekozentrum.ch), Ökozentrum, Langenbruck, *Gebäudeintegrierte polyvalente Energiebereitstellung* (Jahresbericht Projekt 103333)
- [16] F. Gass (fga@weinmann-energies.ch), S. Pache, Weinmann-Energies SA et Ecost, Echallens: *Prevision et justification des consommations d'électricité pour 3 catégories de bâtiment* (Rapport annuel projet 102747)
- [17] K. Ghazi Wakili (karim.ghaziwakili@empa.ch), Empa Building Technologies, Dübendorf, *Vakuumdämmung in Fassadenanwendungen – messtechnische Begleitung und Leistungsuntersuchung* (Jahresbericht Projekt 102945)
- [18] A. Gütermann (ag@amena.ch), Amena ag, Winterthur, IEA SHC Task 37: 200Plus – *Gute Detaillösungen im Fassadenbereich* (Jahresbericht Teilprojekt 101968)
- [19] L. Guzzella (lguzzella@ethz.ch), S. Fux, IDSC ETH Zürich, *Neue Monte Rosa Hütte: Integrierte Haussysteme für optimale Energie- und Stoffbewirtschaftung* (Jahresbericht Projekt 102946)
- [20] M. Hall (monika.hall@fhnw.ch), A. Binz, Institut Energie am Bau HABG FHNW, IEA ECBCS Annex 52 / IEA SHC Task 40: *Nullenergie-Gebäude – Die nächste Generation Energieeffizienter Bauten* (Jahresbericht Projekt 103325)
- [21] W. Hässig (haessig@sustech.ch), Hässig Sustech GmbH, Uster: *Haustechnik-Kompaktgeräte – Erkenntnisse aus der Praxis* (Schlussbericht Projekt 101714)
- [22] R. Hastings (robert.hastings@aeu.ch), AEU, Wallisellen: *IEA-SHC Task 37: Advanced Housing Renovation by Solar & Conservation* (Schlussbericht Projekt 101968)
- [23] H. Huber (heinrich.huber@fhnw.ch), FHNW Institut Energie am Bau, *Optimierte automatische Fensterlüftung in Wohnbauten* (Jahresbericht Projekt 103321)
- [24] D. Kehl, A. Müller (andreas.mueller@bfh.ch), Berner Fachhochschule – Architektur, Holz und Bau, Biel, *Parameteruntersuchung des sommerlichen Raumklimas von Wohngebäuden* (Jahresbericht Projekt 103215)
- [25] M. Koebel (matthias.koebel@empa.ch), Empa Building Technologies, Dübendorf, *Development of Vacuum glazing with advanced thermal properties* (Schlussbericht Projekt 102341)
- [26] M. Koschenz (markus.koschenz@reuss-engineering.ch), Reuss Engineering AG, Gisikon: *Swisswoodhouse – Ein Gebäude für die 2000-Watt-Gesellschaft - Synthesebericht* (Schlussbericht Projekt 102526)
- [27] B. Matthey (info@masai-conseils.com), Bernard Matthey Ingenieurs-Conseils SA, Montezillon, *Freecooling en milieu urbain* (Rapport final projet 101229)
- [28] F. Meggers (meggers@hbt.arch.ethz.ch), ETH Zürich, P. Benz-Karlström (petra.benz@baslerhofmann.ch), Basler & Hofmann, Zürich: *IEA-ECBCS Annex 49 Low Exergy Systems for High Performance Buildings and Communities* (Jahresbericht Projekt 102532)
- [29] M. Ménard (menard@lemonconsult.ch), P. Keller (patrick.keller@hslu.ch), Lemon Consult GmbH, Zürich und Hochschule Luzern Technik & Architektur Zentrum für Integrale Gebäudetechnik, *Sommerlicher Wärmeschutz bei Wohngebäuden in Holzbauweise – Messungen in acht Minergie Einfamilienhäusern* (Schlussbericht Projekt 102675)
- [30] F. Mermoud (floriane.mermoud@unige.ch), B. Lachal, Université de Genève Institut des Sciences de l'Environnement, Carouge, COP5: *Source froide solaire pour pompe à chaleur avec un COP annuel de 5 généralisable dans le neuf et la rénovation* (Rapport annuel projet 103235)
- [31] F. Moghaddam Bützberger (mof@hevs.ch), HES-SO Valais, 1950 Sion, *Stores Intelligents* (Rapport annuel projet 103261)
- [32] N. Morel (nicolas.morel@epfl.ch), EPFL bâtiment LESO station 18, Ecublens, *Automatic control of a electrochromic window* (Rapport annuel projet 103320)
- [33] K. Nagel (kim.nagel@supsi.ch), Isa Zanetti, ISAAC-DACD-SUPSI, Trevano, *Building Integrated Photovoltaics – Thermal Aspects* (Jahresbericht Projekt 103155)
- [34] E. Nelson (Eric.Nelson@fent-solar.com), G. Fent (Giuseppe.Fent@fent-solar.com), Fent Solare Architektur, Wil, IEA SHC Task 37: *Solarfassade für Wohnbau – Erneuerungen mit tiefstem Energieverbrauch* (Schlussbericht zu Teilprojekt 101968)
- [35] G. Notter (gregor.notter@hslu.ch), Hochschule Luzern Technik & Architektur, Zentrum für Integrale Gebäudetechnik, Horw, *Praxistest Luftdichtheitsmessungen bei Minergie-P-Bauten* (Jahresbericht Projekt 103222)
- [36] W. Ott (walter.ott@econcept.ch), Econcept, Zürich, *Nachhaltige Quartierentwicklung Grünau-Werdwies Zürich* (Schlussbericht Projekt 102531)
- [37] D. Pahud (daniel.pahud@supsi.ch), R. Camonovo (reto.camponovo@leea.ch), ISAAC-DACD-SUPSI, Trevano et LEEA-HEPIA-HESSO, Genève, G-Box: *Mesure in situ des Performances énergétiques de façades transparentes et translucides* (Rapport annuel projet 102947)
- [38] D. Robinson (darren.robinson@epfl.ch), LESO-PB Station 18 EPFL, Ecublens, IEA ECBCS Annex 51 *Energy Efficient Communities: Case Studies and Strategic Guidance for Urban Decision Makers* (Annual Report Project 103322)
- [39] M. Sattler (michael.sattler@oekozentrum.ch), Ökozentrum, Langenbruck, *Kraftwerk Haus im Ländlichen Raum* (Jahresbericht Projekt 103330)
- [40] J.-L. Scartezzini, (jean-louis.scartezzini@epfl.ch), EPF LESO-PB, Lausanne: *High Performance Integrated Lighting Systems* (Green lighting) (Rapport final projet 101352)
- [41] J.-L. Scartezzini (leso@epfl.ch), LESO-PB Bâtiment LE, 1015 Lausanne, *Outil informatique de conception et de visualisation de systèmes d'éclairage naturel* (Rapport annuel projet 103331)
- [42] J. Schnyder (schnyder-energie@bluewin.ch), Energie-Dienstleistungen, Bronschhofen, R. Rusterholtz (roger.rusterholtz@ntb.ch), NTB, Buchs: *Konventionelle Wärmeabgabesysteme und deren Regulierung für die Raumkühlung* (Schlussbericht Projekt 102523)
- [43] A. Schüler (andreas.schueler@epfl.ch), LESO-PB Bâtiment LE 1015 Lausanne, *Integrated Multifunctional Glazing for Dynamical Daylighting* (Annual Report Project 103326)
- [44] P. Schwehr (peter.schwehr@hslu.ch), Y. Kaiser Sägeser, HLSU Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur, Horw: *CO₂-minimiertes Bauwerk – Systemische Betrachtung von klimagerechten Bauten* (Schlussbericht Projekt 102376)

- [45] S. Stettler, P. Toggweiler, (info@enecolo.ch), Enecolo AG, Mönchaltorf: Energie im Gebäude online (Egon) – Hauptphase (Schlussbericht Projekt 102242)
- [46] Ch. Tanner (christoph.tanner@hslu.ch), T. Frank (thomas-frank@empa.ch), Hochschule Luzern, Technik & Architektur, Horw und Empa Building Technologies, Dübendorf, *Energetische Beurteilung von Gebäuden mittels IR-Bildern – QualiThermo* (Jahresbericht 102850)
- [47] F. Thesseling, (thesseling@hbt.arch.ethz.ch), ETHZ Professur für Gebäudetechnik Zürich: *Design Performance Viewer 2.0, Evolution und Weiterentwicklung* (Jahresbericht Projekt 102781)
- [48] H. Wallbaum (wallbaum@ibb.baug.ethz.ch), ETH, Zürich, M. Jakob TEB Energy GmbH, Zürich: *Vorstudie zum Gebäudeparkmodell Schweiz – Machbarkeitsuntersuchung anhand des neuen SIA-Effizienzpfades Energie* (Schlussbericht Projekt 102824)
- [49] W. Weber (willi.weber@unige.ch), Université de Genève, Carouge, P. Holmüller, Université de Lisbonne, Lisbonne: *EasyPipes* (Rapport final projet 102371)
- [50] W. Weber (willi.weber@unige.ch), Peter Haefeli, ISE CUEPE, Genève, IEA SHC Task 37: *Renovation of Historic, Protected Buildings in Geneva* (Schlussbericht zu Teilprojekt 101968)
- [51] C. Wemhöner (carsten.wemhoener@fhnw.ch), Institut Energie am Bau Fachhochschule Nordwestschweiz, Muttenz, *Heizen und Kühlen über thermisch aktivierte Aussenflächen – Potenzialstudie* (Jahresbericht Projekt 103213)
- [52] M. Woodtli (mail@hetag.ch), Huber Energietechnik AG, Zürich, *Internetbasiertes System zur energetischen Optimierung der Haustechnik mit Funktechnologie im Altbaubestand* (Jahresbericht Projekt 103228)
- [53] M. Zimmermann (mark.zimmermann@empa.ch), Empa, Dübendorf: IEA-ECBCS Annex 50 *Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Buildings* (Jahresbericht Projekt 101902)

Liste der P+D-Projekte

- [54] Hp. Bürgi (hanspeter.buergi@bsr-architekten.ch), BSR Bürgi Schärer Raaflaub Architekten sia AG, Bern, *Wohnsiedlung Burgunder Bern* (Jahresbericht Projekt 103325)
- [55] R. Dott (ralf.dott@fhnw.ch), FHNW, Muttenz: *Cosy Place – Sanfte Kühlung mit Erdwärmesonden im Minergie-P Wohngebäude* (Zwischenbericht Projekt 102265)
- [56] R. Dott, (ralf.dott@fhnw.ch), FHNW, Muttenz: *Cosy Place – Sanfte Kühlung mit Erdwärmesonden im Minergie-P Wohngebäude* (Jahresbericht Projekt 102265)
- [57] H. Güttinger (www.herbert.guettinger@eawag.ch), EA-WAG, Dübendorf, Empa, Dübendorf, 3-Plan Haustechnik AG, Winterthur: *Energie-Detailbilanz des Eawag Forum Chriesbach* (Schlussbericht Projekt 102374)
- [58] B. Kämpfen (info@kaempfen.com), Kaempfen architektur, Zürich, *Nachhaltige Modernisierung eines typischen Mehrfamilienhauses der 1950er Jahre – Erfolgskontrolle im Rahmen IEA Annex 50* (noch keine Messergebnisse vorhanden)
- [59] P. Keller (patrick.keller@hslu.ch), Hochschule Luzern, Technik & Architektur, Luzern: *Erfolgskontrolle Zweifamilienhaus Rohrer in Stansstad* (Schlussbericht Projekt 102664)
- [60] R. P. Miloni (miloni@swissonline.ch), Miloni & Partner, Lichtplanung Architektur, Hausen, Aargau: *Minergie-P-Sanierung eines Mehrfamilienhauses aus dem Jahre 1946 – Profit statt Dynamit* (Schlussbericht Projekt 102680)
- [61] R. Naef (naef@naef-energie.ch), Naef Energietechnik, Zürich, *Marché International Support Center: Bilanziertes Nullenergiebürogebäude* (Jahresbericht Projekt 102377)
- [62] P. Oesch (p.oesch@twdmueller.ch), Gebr. Mueller AG, Bern: *Messungen Solarix-Wandheizsystem* (Schlussbericht Projekt 100404)

Referenzen

- [63] Konzept der Energieforschung des Bundes 2008 bis 2011, Eidgenössische Energieforschungskommission CORE, 2007, <http://www.energieforschung.ch>.
- [64] Konzept des Energieforschungsprogramms *Energie in Gebäuden* 2008-2011, Bundesamt für Energie, 2008, <http://www.bfe.admin.ch/forschunggebäude>
- [65] ESI Immobilienbewertung – Nachhaltigkeit inklusive, Juni 2009, Center for Corporate Responsibility and Sustainability (ccrs) der Universität Zürich (<http://www.ccrs.uzh.ch/>)
- [66] Ch. Tanner: Infrarotaufnahmen von Gebäuden, www.theCH.ch, 11/2009
- [67] Edition Minergie Sommerlicher Wärmeschutz in Wohnbauten, 2010, www.minergie.ch/edition-minergie
- [68] BFE, Merkblatt Hocheffiziente Kühlsysteme für Gebäudesanierungen. Bezugsquelle: www.bundespublikationen.admin.ch
- [69] Eracobuild – Strategic network of RDI Programmes in Construction and Operation of Buildings, <http://www.eracobuild.eu>
- [70] ECBCS Annex 49 Low Exergy Systems for High Performance Buildings and Communities, www.annex49.com.