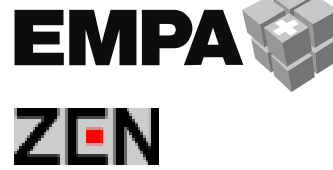




Bundesamt für Energie
Forschungsprogramm
Rationelle Energienutzung
in Gebäuden



Eidgenössische
Materialprüfungs- und
Forschungsanstalt

Zentrum für Energie und
Nachhaltigkeit im Bauwesen

BFE Projekt 58'369
EMPA Auftrag 200'036

Thermoaktive Bauteilsysteme *tabs*

Schlussbericht

Markus Koschenz

EMPA, Abteilung Energiesysteme/Haustechnik

November 2000

Inhalt

ZUSAMMENFASSUNG	3
ZIELSETZUNG DES PROJEKTES	4
DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN	4
Theoretische Grundlagen	4
Überprüfung des Modells mit FEM-Berechnungen	4
Einfluss von Akustikdecken auf die Raumlufttemperatur	5
Gebäudesimulationsprogramm TRNSYS 15	6
Handbuch für thermoaktive Bauteilsysteme tabs	6
UMSETZUNG DER ERKENNTNISSE	8
Vorträge, Unterricht, Veranstaltungen und Publikationen	8
Kundenunterstützung/ Kundenaufträge	9
PERSPEKTIVEN	10
PUBLIKATIONEN IM RAHMEN DES PROJEKTES	10
LITERATUR	11

Zusammenfassung

Thermoaktive Bauteilsysteme werden vielerorts zur Kühlung und Heizung von Büro- und Verwaltungsgebäude eingesetzt. Durch den Einbezug der Gebäudemasse in den Wärmetransportmechanismus zwischen dem Kühl- bzw. Heizsystem und dem Raum müssen neue Planungsmethoden angewandt werden. Statische Berechnungen, wie sie z.B. für die Dimensionierung von Fussbodenheizsysteme entwickelt wurden, genügen den Anforderungen nicht mehr. Im vorliegenden Projekt soll diese Lücke durch einen neuen Berechnungsansatz geschlossen werden. Der Berechnungsansatz soll so aufgebaut sein, dass er sowohl in thermischen Simulationsprogrammen als auch für Handrechnungen eingesetzt werden kann.

In einem ersten Schritt wurde ein auf der 2-dimensionalen Wärmeleitungsgleichung aufbauender analytischer Ansatz zur Berechnung thermoaktiver Bauteilsysteme entwickelt. Das Grundprinzip des Ansatzes besteht darin, dass die Einflüsse der im Bauteil wirksamen Rohre schrittweise in thermische Widerstände umgerechnet werden. Schliesslich resultiert eine Beziehung zwischen der Temperatur des Mediums am Rohreintritt und derjenigen des Bauteils. Im Gesamtwiderstand sind so alle massgebenden Einflussgrössen zusammengefasst. Die analytische Darstellung der einzelnen Einflussfaktoren ermöglicht eine sinnvolle Optimierung des Gesamtsystems. Jedes neue Modell hat aber nur seine Berechtigung, wenn auch ein Vergleich zu anderen Berechnungsmethoden durchgeführt wird. Zur Berechnung von Wärmeleitungsproblemen kommt häufig die Finite Differenzen Methode (FD) oder die Finite Elementen Methode (FEM) zur Anwendung. Diese anerkannten numerischen Berechnungsverfahren eignen sich ausgezeichnet zum Vergleich mit dem entwickelten analytischen Ansatz für thermoaktive Bauteilsysteme. Die Resultate der beiden Berechnungsvarianten für verschiedene Randbedingungen zeigen eine gute Übereinstimmung. Neben der rechnerischen Überprüfung von neuen Modellen ist auch immer ein Vergleich mit Labor- oder Feldmessungen anzustreben. Im vorliegenden Fall wurden im Neubau der Messe Zürich zahlreiche Messungen durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden 60 Temperaturfühler im Beton eingegossen um das thermische Verhalten der Bauteile unter realen Bedingungen zu studieren. Der Vergleich der berechneten Werte mit den Messdaten zeigt ebenfalls eine gute Übereinstimmung. Neben der Nutzung der Messdaten zum Vergleich mit dem analytischen Modell dienen diese auch noch zur Optimierung der Anlage Messe Zürich. Insgesamt wurden mehr als 10 Veranstaltungen durch die EMPA begleitet und das Betriebskonzept der Anlage so schrittweise angepasst.

In einem weiteren Teilprojekt wurde die Auswirkung von Akustikdecken mit definierten Wärmebrücken auf die Raumlufttemperatur studiert. Die Wärmebrücken dienen der thermischen Ankopplung des Raumes an die thermoaktiven Bauteilsysteme. Statische Messungen im U-Wert Prüfstand und thermische Gebäudesimulationen zeigen einen um ca. 1 K höhere Lufttemperatur im Vergleich zu Räumen ohne Akustikelemente.

Zur Planungsunterstützung von grösseren Büro- und Verwaltungsgebäuden werden vermehrt verschiedenste Simulationsprogramme eingesetzt. Dabei kommt häufig auch die thermische Simulationsberechnung zur Anwendung. Damit neue Haustechniksysteme auch simuliert werden können, müssen sie möglichst im Programmstandard zugänglich sein. Dies ermöglicht einerseits eine einfachere Bedienung des Modells und andererseits werden damit unnötige Fehleingaben ausgeschlossen. Speziell bei neuen Systemen, wo der Wissenstand noch begrenzt ist, sind Simulationsberechnungen wichtig. In enger Zusammenarbeit mit der Firma TRANSSOLAR Stuttgart, welche für den Vertrieb und den Unterhalt des Programmpaketes TRNSYS zuständig ist, wurde das im vorliegenden Projekt erarbeitete physikalische Modell in den Programmcode integriert. Die neue Möglichkeit zur Berechnung thermoaktiver Bauteilsysteme stiess auf der Seite der Käuferschaft auf reges Interesse.

In einem weiteren Teilprojekt wurden sämtliche Erkenntnisse und Erfahrungen aus dem Projekt in einem Planungshandbuch zusammengestellt. Das erarbeitete Buch wurde in einer Auflage von 1000 Stück gedruckt. In den ersten drei Monaten konnten bereits 480 Exemplare in der Schweiz, Deutschland und Österreich verkauft werden. Um die gewonnenen Erkenntnisse laufend an die Fachwelt weiterzugeben wurden während der Projektdauer an 24 Veranstaltungen Vorträge abgehalten und 16 Publikationen veröffentlicht. An 9 Objekten konnte das Wissen direkt in Form von Dienstleistungsaufträgen umgesetzt werden.

Eine Kursreihe in Zusammenarbeit mit der HTA-Luzern im Jahr 2001 soll den Transfer in die Praxis abrunden.

1. Zielsetzung des Projektes

Thermisch aktive, grossflächige Bauteile können sowohl zum Heizen als auch zum Kühlen eingesetzt werden. Durch den Betrieb mit geringen Temperaturdifferenzen zwischen der Wasser- und der Raumtemperatur wird einerseits ein autoregulatives Verhalten erreicht und andererseits können natürliche Kältequellen und Niedertemperaturwärme genutzt werden. Da dieses System sowohl die Gebäudeheizung als auch die Kühlung übernehmen kann, sind erhebliche Investitionsersparungen möglich.

Erste Anwendungen waren beim Projektstart bereits realisiert worden, jedoch fehlten praxisgerechte, fundierte Auslegungsrichtlinien für eine optimale Planung und einen optimalen Betrieb der Anlagen. Das Ziel des Projektes bestand nun in der Erarbeitung dieser Auslegeunterlagen. Um die Berechnungen zu überprüfen wurden neben rechnerischen Vergleichen auch Feldmessungen durchgeführt. Die bei der Durchführung des Projektes gesammelten Erkenntnisse wurden fortlaufend in Form von Vorträgen, Publikationen und Kundenaufträgen der interessierten Fachwelt präsentiert.

2. Durchgeführte Arbeiten

Theoretische Grundlagen

Der Wärmetransport zwischen den wasserführenden Rohren im Bauteilkern und den oberhalb und unterhalb angeordneten Räumen kann unter Zuhilfenahme der 3-dimensionale Wärmeleitungs-Differentialgleichung sowohl für den stationären als auch den instationären Fall beschrieben werden. Zu diesem Zweck wird das Bauteil in diskrete Elemente eingeteilt. Anschliessend werden die Energieerhaltungsgleichungen in jedem einzelnen Element gelöst. Die nach diesem Konzept aufgebauten Methoden sind in der Literatur unter den Begriffen Finite Differenzen Methode (FD) oder Finite Elemente Methode (FEM) bekannt. Sie wurden in zahlreichen kommerziellen Berechnungsprogrammen umgesetzt (z.B. COSMOS). Die Diskretisierung des Bauteils mit den integrierten Rohren sowie die richtige Wahl der Randbedingungen auf der Raumseite benötigt vom Programmierer einiges an Know-How. Bei einer an die Problemstellung angepassten Elemententeilung und der korrekten Wahl der Randbedingungen sind mit diesen Methoden jedoch genaue Berechnungen des Wärmetransportes möglich.

Die im Bauteilkern eingelegten Rohre sind zwar auf den ersten Blick das auffälligste Merkmal, stellen aber nur eine Komponente des thermoaktiven Bauteilsystems dar. Die Rückkopplung des thermoaktiven Bauteilsystems auf den Raum muss ebenfalls in eine gesamtheitliche Betrachtungen mit einbezogen werden. Aus diesem Grund musste ein geeignetes Modell für den Einbau in ein thermisches Simulationsprogramm, wie z.B. TRNSYS [1], gefunden werden. Aus physikalischer Sicht kann die FD- oder FEM-Methode natürlich auch in ein thermisches Simulationsprogramm integriert werden. Gegen einen solchen Einbau spricht aber vor allem die lange Berechnungszeit und die umständliche Dateneingabe. Auf der Basis einer analytischen Lösung der Wärmeleitungs-gleichung [2] wurde ein neuer, erweiterter EMPA-Ansatz entwickelt. Anhand verschiedener Überlegungen, auf der Basis von thermischen Widerständen, konnte das anfänglich dreidimensionale Temperaturfeld auf ein eindimensionales Feld abgebildet werden. Dies vereinfacht die Berechnung in verschiedener Hinsicht. Auf der einen Seite kann der Ansatz, hervorgerufen durch seine einfache Handhabung, auch für Handrechnungen eingesetzt werden. Andererseits wird der Wärmetransport durch Bauteile in den meisten thermischen Simulationsprogrammen durch einen eindimensionalen Ansatz abgebildet. Somit ist die nötige Infrastruktur für die Berechnung von thermoaktiven Bauteilsystemen nach dem EMPA-Ansatz in den Programmen bereits vorhanden. Dadurch lässt sich der Ansatz in den meisten Programmen ohne grosse Anpassungen im Programmcode integrieren.

Überprüfung des Modells mit FEM-Berechnungen

Zur Überprüfung der Genauigkeit des EMPA-Ansatzes wurden für verschiedene Randbedingungen Vergleichsrechnungen mit der FEM durchgeführt. Der Vergleich der Berechnungsergebnisse zeigt eine gute Übereinstimmung zwischen den zwei Methoden.

Messungen Neubau Messe Zürich

Das auf der Basis theoretischer Überlegungen entwickelte Berechnungsmodell muss auch mit verschiedenen Messungen verglichen werden. Mit diesem Vorgehen kann sichergestellt werden, dass der EMPA-Ansatz in der Praxis auch angewandt wird. Aus diesem Grund wurde nach einer Möglichkeit für eine Feldmessung gesucht. Erich Schadegg von Gruenberg & Partner ist es zu verdanken, dass am Neubau der Messe Zürich solche Messungen durchgeführt werden konnten. Er hat ein Team aus Bauherr, Architekt und Ingenieuren gefunden, welches den Einbau eines thermoaktiven Bauteilsystems favorisierte und zusätzlich finanzielle Unterstützung in Form der installierten Messsysteme leistete. Die massgeblich beteiligten Firmen und Organisationen sind (in alphabetischer Reihenfolge):

Alfacel AG, Cham
Jacques Bosshard AG, Zürich
Gruenberg & Partner AG, Zürich
Meier Kopp AG, Zürich
Messe Zürich AG, Zürich
Karl Steiner AG, Zürich
Atelier WW, Zürich

In einem ersten Schritt wurde ein geeignetes Messkonzept erarbeitet. Anhand von 60 Temperatur-Messstellen, welche in zwei Geschossen im Beton eingegossen wurden, kann das thermische Verhalten des Betons studiert werden. Zahlreiche zusätzliche Messtellen, wie z.B. die Wasser- und Lufttemperaturen und die dazugehörigen Fluidmassenströme, ermöglichen eine detaillierte Berechnung der Wärmeströme. Der Vergleich der Messwerte, welche während verschiedenen Veranstaltungen gemessen wurden, zeigen eine gute Übereinstimmung mit den theoretisch berechneten Werten.

Parallel zu den Vergleichsrechnungen mit dem theoretischen Modell wurde der Betrieb der Anlage Messe Zürich in einem Team, bestehend aus dem Haustechnikplaner, dem Anlagebetreiber, einem Vertreter des Bauherrn und der EMPA, optimiert. Die Erfahrungen aus vorangegangenen Veranstaltungen wurden fortwährend in die Planung der folgenden Ausstellungen miteinbezogen. Die wichtigsten Anlageparameter, wie z.B. die Vorlauftemperatur des thermoaktiven Bauteilsystems, die Zulufttemperatur der Lüftungsanlage und deren Betriebszeit wurden durch die EMPA im voraus durch Simulationsberechnungen ermittelt und dem Anlagebetreiber in Form eines Formulars übermittelt. Mit diesem Vorgehen konnten im ersten Betriebsjahr 1998 10 verschiedene Veranstaltungen begleitet werden.

Das Gebäude der Messe Zürich befindet sich in einem Grundwassergebiet. Bei der Planung des Gebäudes wurden die Auswirkungen des Grundwassers auf den Wärmeverlust und somit auch auf die Raumtemperatur der untersten Ausstellungshalle unterschätzt. Durch den beträchtlichen Wärmefluss aus dieser Halle in das Erdreich besteht dort ein Heizenergiebedarf währenddem in den darüberliegenden Hallen ein Kühlbedarf entsteht. Die zwei verschiedenartigen Anforderungen an das thermoaktive Bauteilsystem führten zu einer unbefriedigenden Betriebsweise der Anlage. Aus diesem Grund wurden die zwei untersten Hallen zusätzlich mit Luftherzern ausgerüstet. Mit dieser Anpassung der Zuluftanlage ist es nun möglich, in allen Hallen die gewünschten Raumtemperaturen zu erreichen. Dies konnte durch neue Messungen im Jahr 1999 belegt werden.

Einfluss von Akustikdecken auf die Raumlufthtemperatur

Da bei einem thermoaktiven Bauteilsystem die Wärmelasten in die Bauteile eingespeichert und nicht von diesen ferngehalten werden sollen, ist der Auswahl von Boden- und Deckenbelägen erhöhte Aufmerksamkeit zu schenken. Zur Schalldämmung eingesetzte Deckenelemente haben die negative Eigenschaft, den Raum thermisch von den massiven Bauteilen abzukoppeln. Dies führt besonders bei hohen thermischen Lasten zu erhöhten Raumlufthtemperaturen. Akustik-Deckenelemente mit verbesserten Wärmeleitungseigenschaften (gewollte Wärmebrücken) sollen hier Abhilfe schaffen. Das neu entwickelte Produkt "Akustiktherm" wurde in einer U-Wert Prüfung (stationär) messtechnisch untersucht. Um das Verhalten der Deckenelemente auch unter wechselnden thermischen Randbedingungen (dynamisch) zu ermitteln, wurden thermische Simulationsberechnungen durchgeführt. Die Simulationsberechnungen, die auf den Grundlagen der U-

Wert Messung basieren, zeigen eine Raumlufttemperatur-Erhöhung von ca. 1 K im Vergleich zu einem Raum ohne Akustikelemente.

Gebäudesimulationsprogramm TRNSYS 15

Zur Planungsunterstützung von grösseren Büro- und Verwaltungsgebäuden werden vermehrt verschiedenste Simulationsprogramme eingesetzt. Dabei kommt häufig auch die thermische Simulationsberechnung zur Anwendung. Damit neue Haustechniksysteme auch simuliert werden können, müssen sie möglichst im Programmstandard zugänglich sein. Dies ermöglicht einerseits eine einfachere Bedienung des Modells und andererseits werden damit unnötige Fehleingaben ausgeschlossen. Speziell bei neuen Systemen, wo der Wissenstand noch begrenzt ist, sind Simulationsberechnungen wichtig.

In enger Zusammenarbeit mit der Firma TRANSSOLAR Stuttgart, welche für den Vertrieb und den Unterhalt des Programmpaketes TRNSYS [1] zuständig ist, wurde das im vorliegenden Projekt erarbeitete physikalische Modell in den Programmcode integriert. Das durch die EMPA erweiterte Programm wurde der Öffentlichkeit erstmals am TRNSYS-Usertag 2000 [P13] präsentiert. Die neue Möglichkeit zur Berechnung thermoaktiver Bauteilsysteme stiess auf der Seite der Käuferschaft auf reges Interesse.

Das Konzept der thermoaktiven Bauteilsysteme mit den Rohren im Bauteilkern eignet sich nur für den Einbau in Neubauten. Für Sanierungen kommen Kapillarrohrmatten zur Anwendung. Diese, aus dünnen Kunststoffröhrchen bestehenden Matten, werden auf die Unterseite des Betons aufgeklebt und mit einer Gipsschicht überzogen. Da diese Bauart vermehrt zum Einsatz kommt, wurde das Standardmodell für diese Anwendung erweitert. Ein Grossteil der Anwender wollte das Modell, neben der Anwendung für thermoaktive Bauteilsysteme, auch für die Dimensionierung von Bodenheizungssystemen nutzen. Da die ursprüngliche Berechnungsmethode nicht für diese Anwendung ausgelegt war, mussten daran kleinere Ergänzungen vorgenommen werden.

Handbuch für thermoaktive Bauteilsysteme tabs

Sämtliche Erkenntnisse und Erfahrungen aus dem Projekt sind im vorliegenden Handbuch [P15] zusammengestellt. Der Aufbau des Handbuchs gliedert sich pro Kapitel in drei Teilbereiche. Im ersten Teil werden die theoretischen Grundlagen in Form von physikalischen Gleichungen dargestellt. Dies ermöglicht dem Leser das physikalische Verhalten zu verstehen und die Auswirkung der verschiedenen Parameter auf das Gesamtsystem zu berechnen. Im zweiten Teil sind die wichtigsten Gleichungen in ausgewerteter Form als Diagramme dargestellt. Dies ermöglicht die Nutzung des Handbuchs im täglichen Planungsprozess. Im dritten Teil wird der Berechnungsweg anhand je eines Beispiels erklärt. Bei komplizierteren Berechnungen wird der Leser anhand eines Flussdiagramms auf die verschiedenen Gleichungen verwiesen. Ergänzend zu jedem Kapitel sind Literaturhinweise zur Vertiefung aufgeführt. Der Aufbau des Handbuchs von der theoretischen Grundlage bis zum Berechnungsbeispiel wird z.B. auch bei den bekannten Handbüchern wie Recknagel, Sprenger, Schramek [3] oder den amerikanischen Standardwerken Ashrae Handbook [4] angewandt.

Die 100-seitige Schrift [P15] umfasst die im folgenden beschriebenen 10 Kapitel:

1. Bauliche Anforderungen

Anforderungen an die Gebäudehülle und den Sonnenschutz.

2. Behaglichkeit

Anforderungen an das Raumklima.

3. Physikalische Vorgänge

Unterschied zwischen Wärmestrahlung, Konvektion und Wärmeleitung. Wärmeabgabe verschiedener Wärmequellen.

4. Modellierung von Rohrsystemen im Bauteilkern

Dieses Kapitel zeigt den rechnerischen Weg zur Berechnung und Auslegung von **tabs** anhand eines eindimensionalen, instationären Modells. Die Einflüsse der im Bauteil wirksamen Rohre werden schrittweise in thermische Widerstände umgerechnet, sodass schliesslich eine Beziehung zwischen der Temperatur des Mediums am Rohreintritt und derjenigen des Bauteils resultiert.

5. Modellierung von Kapillarrohrsystemen

Bei geringen Rohrabständen, wie sie in Kapillarrohrsystemen vorkommen, stösst die erwähnte Berechnungsmethode an ihre Grenzen. Bei Rohren, deren Rohrabstand 5-mal kleiner – oder noch weniger – als der Rohrdurchmesser ist, sollte dieser modifizierte Rechenweg gewählt werden.

6. Dimensionierung des Rohrsystems

Wärmetauscherleistung, wasserseitiger Druckverlust, Minimierung des Rohrsystems und damit der Material- und Verlegekosten und schliesslich die Anzahl der Verteilanschlüsse sind die wesentlichen Kriterien zur Dimensionierung von Rohrsystemen.

7. Kühlfall

Mit 20 Seiten das umfangreichste Kapitel, mit einer Einführung zum Wechselspiel zwischen Raumluft und Baumasse und zur speicherbaren Wärmeleistung, mit Infos zu geeigneten Boden- und Deckenbelägen sowie zum Wärmeübergangskoeffizient als Rechengrösse. Ausführlich ist die Handrechenmethode dargestellt und mit Beispielen ergänzt.

8. Dimensionierung der Rückkühlung

Zu den thermoaktiven Bauteilsystemen steht die Rückkühlung zweifelsohne peripher; gleichwohl ist sie Teil des Gesamtsystems **tabs**. Thematisiert werden in diesem Kapitel die Temperaturverhältnisse, die Rückkühlmöglichkeiten, die Auslegung und der Betrieb des Rückkühlers sowie der Temperaturengleich innerhalb eines Gebäudes.

9. Heizfall

Mit der Infrastruktur zur Kühlung von Räumen lassen sich diese auch heizen. Aufgrund grosser Speichermassen und niedrigeren Temperaturen folgt die Wärmeabgabe völlig anderen Zeitschemen als dies bei Räumen mit Heizkörpern der Fall ist.

10. Variantenstudie zum Heizfall

Simulationen auf der Basis des vereinfachten **tabs**-Modells zur Untersuchung des Verhaltens im Heizfall. Als Beispiel dient ein Bürohaus, simuliert wurden insgesamt zehn Fälle (Normalbüros und Eckbüros).

Das Handbuch wurde in einer Auflage von 1000 Stück gedruckt. Seit der Einführung Ende August 2000 konnten bis heute bereits ca. 480 Exemplare in der Schweiz, Deutschland und Österreich verkauft werden.

3. Umsetzung der Erkenntnisse

Vorträge, Unterricht, Veranstaltungen und Publikationen

Beinahe jedes neue Büro- oder Verwaltungsgebäude wird heute mit einem thermoaktiven Bauteilsystem ausgerüstet. Schon zu Beginn des Projektes zeigte sich ein reges Interesse an dieser Technik. Aus diesem Grund wurden die, während des Projektes erarbeiteten Erkenntnisse so rasch als möglich an die Industrie weitergegeben. Die Umsetzung erfolgte einerseits über zahlreiche Publikationen [P1]-[P16] und andererseits durch Vorträge und Veranstaltungen. Die durchgeführten Vorträge und Veranstaltungen können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden.

Datum	Veranstaltung Titel / Thematik	Ort	Anzahl Teilnehmer
12.06.1996	ENET-Tagung zu Gebäudesimulation Erfahrungen aus der Simulation von Objekten mit Bauteilkühlung	SBG Zürich	ca. 70
17.07.1996	Roomvent '96 Design of Air Systems with Concrete Slab Cooling	Yokohama, Japan	-
12.09.1996	9. Schweizerisches Status-Seminar Praxisgerechtes Dimensionierungsverfahren für Anlagen mit Bauteilkühlung	ETH Zürich	ca. 40 (von total 150)
15.11.1996	TRNSYS-Usertag 1996 Modellierung und Auslegung von Anlagen mit Bauteilkühlung (analog ENET-Tagung)	Stuttgart	ca. 50
14.09.1997	Ventilation '97 Design Criteria and Methods for Concrete Slab Cooling Applications	Ottawa	-
22.04.1998	Ingenieurtagung Clima Suisse Modellierung von tabs , erste Messresultate Messe Zürich	Messe Zürich	ca. 50
10.09.1998	10. Schweizerisches Status-Seminar Thermoaktive Bauteilsysteme, Potentialabschätzung und Erfahrungen	ETH Zürich	ca. 40 (von total 200)
08.01.1999	Vorlesungsreihe 'Spezialfragen der Bauphysik' Thermoaktive Bauteilsysteme	ETH Hönggerberg	-
22. 04.1999	Forum Energie Zürich Leistungsvermögen von thermoaktiven Bauteilsystemen / Resultate aus Messungen in der Messe Zürich	Technopark Zürich	ca. 60
Mai 1998 26.05.1999 03.07.2000	Vorträge im Rahmen der HLK-Vorlesung Thermoaktive Bauteilsysteme tabs	HTA Luzern	je ca. 20 Studenten
08.09.1999 15.09.1999 22.09.1999 29.09.1999 26.11.1999 26.01.2000	Ingeniermeetings der Firma VESCAL Thermoaktive Bauteilsysteme in der Praxis	Rüdlingen ZH Winterthur St. Gallen Kestenholz SO Rapperswil Glattbrugg	Total ca. 150 externe Teilnehmer
28.01.2000	Vorlesung über Gebäudetechnik Einführung in thermoaktive Bauteilsysteme	SH Biel	ca. 20 Studenten
25.02.2000	TRNSYS User-Tag 2000, Stuttgart Thermoaktive Bauteilsysteme tabs , eine einfache und trotzdem genaue Methode zur Modellierung	Stuttgart	ca. 80

	Integration des EMPA- tabs –Modells in die neue Version des Gebäudesimulationsprogramms TRNSYS 15		
18.05.2000	tabs / CLIMA-Suisse Ostschweiz Fachapéro	Chur	30
11.09.2000	EMPA Akademie, Buchvorstellung	Dübendorf	ca. 15
15.09.2000	11. Schweizerisches Status Seminar Handbuch für "Thermoaktive Bauteilsysteme tabs "	ETH Zürich	ca. 40
05.12.2000	Forum Energie Zürich "Erkenntnisse von Feldmessungen, Leistungsgrenzen, das tabs -Handbuch für den Planer"	Kantonsschule Stadelhofen	100

Kundenunterstützung/ Kundenaufträge

Die Kundenanfragen gliederten sich in zwei Kategorien. Die erste Kategorie umfasste telefonische Anfragen, die direkt oder durch eine kurze Sitzung an der EMPA beantwortet werden konnten. Die zweite Kategorie Beratungs- und Simulationsaufträge für HLK-Planungsbüros. Während der Projektdauer konnte das bis dahin erarbeitete Wissen in den folgenden Projekten angewandt werden:

Objekt	Standort	Architekt	Planer tabs	Jahr
Messe Zürich	Zürich	Atelier WW, Zürich	Gruenberg & Partner, Zürich	1996
Novartis Biolabor Stein	Stein	Wilhelm + Partner, Lörrach	Suiselectra Ingenieurunternehmung AG, Basel	1997
Flughafen Bangkok	Bangkok	Murphy/Jahn, Chicago	TRANSSOLAR, Stuttgart	1998
Neubau City Bernina	Zürich	Atelier WW, Zürich	Electrowatt Engineering AG, Zürich	1998
Migros Schweizerhof	Luzern	Diener + Diener, Basel	Migros Genossenschaftsbund, Zürich	1998
Neubau Mehrzwecksaal EMPA	Dübendorf	Straub + Kleffel, Zürich	Gruenberg & Partner, Winterthur	1998
Swiss Re, Soodring 6	Adliswil	sam Schnebli Ammann Menz, Zürich	Gruenberg & Partner, Zürich	1999
Geschäftshaus "Octavo"	Zürich Nord	Bob Gysin & Partner, Dübendorf	3-Plan Haustechnik, Winterthur	2000
diAx Tower Geschäftshaus	Zürich	Arbeitsgemeinschaft Atelier WW/Max Dudler Zürich	Gruenberg & Partner	2000

4. Perspektiven

Die Anwendung thermoaktiver Bauteilsysteme hat sich in der HLK-Branche etabliert. Mit dem Handbuch ist eine Grundlage geschaffen worden, mit welcher solche Systeme dimensioniert und bewertet werden können. Durch den Einbezug der Gebäudestruktur in den Wärmetransportmechanismus hat sich für den HLK-Planer eine Veränderung im Planungsprozess ergeben. Bekannte, meist einfache Berechnungsansätze oder Kataloginformationen können nicht mehr verwendet werden. Die Planung thermoaktiver Bauteilsysteme benötigt ein tieferes Studium der physikalischen Vorgänge. Dieser zusätzliche Aufwand muss durch den HLK-Planer geleistet werden. Um einerseits diesen Aufwand in Grenzen zu halten und andererseits den effizienten Umgang mit dem Handbuch zu zeigen, wird am 07.03.2001 und am 30.05.2001 je ein eintägiger Kurs abgehalten. Die Kurse werden in Zusammenarbeit mit der HTA-Luzern wechselweise in Horw und Dübendorf durchgeführt. Am 22.02.2001 findet in Stuttgart eine Einführung in die Thematik der thermoaktiven Bauteilsysteme und der Benützung von TRNSYS 15 statt. Am jährlichen TRNSYS-Usertag vom 23.02.2001 werden die Neuerungen, wie z.B. die Berechnung von Kapillarrohrmatten und Fussbodenheizungen, gezeigt.

5. Publikationen im Rahmen des Projektes

- [P1] Koschenz M., Dorer V.: *Erfahrung aus der Simulation von Objekten mit Bauteilkühlung*, ENET Tagung "Gebäudesimulation- Fortschritt mit Qualitätslücken?", Zürich, 1996
- [P2] Koschenz M., Dorer V.: *Design of Air Systems with Concrete Slab Cooling*, ROOMVENT'96, Japan, 1996
- [P3] Koschenz M., Dorer V.: *Praxisgerechtes Dimensionierungsverfahren für Anlagen mit Bauteilkühlung*, 9. Schweizerisches Statusseminar, Zürich, 1996
- [P4] Koschenz M., Dorer V.: *Modellierung und Auslegung von Anlagen mit Bauteilkühlung*, TRNSYS User Tag, Stuttgart, 1996
- [P5] Koschenz M., Dorer V.: *Design Criteria and Methods for Concrete Slab Cooling Applications*, Ventilation '97, Ottawa CA, 1997
- [P6] Koschenz M., Lehmann B.: *Modellierung von **tabs**, erste Messresultate der Messe Zürich*, Ingenieurtagung Clima Suisse, Zürich, 1998
- [P7] Koschenz M., Lehmann B.: *Thermoaktive Bauteilsysteme, Potentialabschätzung und Erfahrungen*, 10. Schweizerisches Statusseminar, Zürich, 1998
- [P8] Wäschle W., Schadegg E., Koschenz M., Lehmann B.: *Architektur und Technik für das nächste Jahrtausend*, Schweizer Energiefachbuch 1999, Zürich, 1999
- [P9] Koschenz M., Lehmann B.: *Effizient Kühlen über Bauteile, Pilot- und Demonstrationsanlage Messe Zürich, Faltpalast der Reihe Energie Innovation / Energie 2000*, Aarau, 1999
- [P10] Zimmermann M. et.al.: *Handbuch der passiven Kühlung, Kap. 8 Bauteilkühlung*, EMPA ZEN, Dübendorf, 1999
- [P11] Koschenz M., Dorer V.: *Interaction of an Air System with Concrete Core Conditioning*, Energy and Buildings 30 (1999) 139-145, UK, 1999
- [P12] Koschenz M.: *Beitrag zur Spezialausgabe "Thermoaktive Bauteile" Gebäudetechnik, α ist Entscheidend*, Intelligent Building, 1-2000, Aarau, 2000
- [P13] Koschenz M., Lehmann B.: *Thermoaktive Bauteilsysteme **tabs**, eine einfache und trotzdem genaue Methode zur Modellierung*, TRNSYS Usertag 2000, Stuttgart, 2000
- [P14] Humm O.: ***tabs**, über Bauteile kühlen und heizen*, Gebäudetechnik, Intelligent Building, 4-2000, Aarau, 2000
- [P15] Koschenz M., Lehmann B.: *Handbuch: Thermoaktive Bauteilsysteme **tabs***, EMPA Dübendorf, Zentrum für Energie und Nachhaltigkeit im Bauwesen ZEN, Dübendorf, 2000
- [P16] Koschenz M.: *Thermoaktive Bauteilsysteme **tabs**, Mehr als nur ein Modetrend in der Haustechnik*, Schweizer Energiefachbuch 2001, Zürich, 2001

6. Literatur

- [1] *TRNSYS Transient System Simulation Program Version 15*, Solar Energy Laboratory Wisconsin and Transsolar Stuttgart, Stuttgart 2000
- [2] Glück B.: *Strahlungsheizung – Theorie und Praxis*, Verlag C. F. Müller, Karlsruhe, 1992
- [3] Recknagel H., Sprenger E., Schramek E. R., *Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik*, Oldenbourg Verlag, München, 2000
- [4] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, *Ashrae Handbook*, Atlanta, 1999