

Nicht stationäre Analyse von Temperatur- und Feuchtigkeitszuständen in Ecken von Räumen mit unterschiedlicher Wärmedämmung unter Berücksichtigung der Möblierung

Tatsuaki Tanaka und Yuka Nonaka

Bei einer Umfrage der öffentlichen Bausparkasse gaben 70% der Bewohner von Neubauten an, dass sich in ihrem Wohnzimmer Kondenswasser bildet. Dabei treten Kondenswasser oder Schimmel meist an Stellen auf, die gewöhnlich nicht ins Auge fallen, so z. B. hinter Schränken oder unter Teppichen. Eigentlich sollte dies durch eine Wärmedämmung der Wohnungen zu vermeiden sein, aber wenn durch schlechte Lüftung oder Möblierung lokal hohe Luftfeuchte entsteht, kann die Gefahr der Kondenswasser- oder Schimmelbildung bestehen. Für ein gesundes Raumklima ist daher die Trockenhaltung kritischer Stellen von besonderer Bedeutung.

In dieser Arbeit wurde eine Methode zur Trockenhaltung der Innenfläche der Außenwand eines Raumes, der Ecken sowie der Fußbodenfläche unter dem Teppich einer nicht stationären Analyse von Temperatur und Feuchtigkeit unterzogen, bei unterschiedlicher Wärmedämmung des Raumes und Möblierung.

1. Beschreibung der Analyse

1.1 Modellwandkörper

Der Analyse wurde ein mehrschichtiges Betongebäude zu Grunde gelegt und die Außenwände sowie die Fußböden zwischen den Stockwerken in ein zweidimensionales Modell gefasst (Bild 1). Als Wärmedämmung wurden Innen- und Außendämmung betrachtet, für die Ausstattung des Raumes mit Teppich und Schrank wurden die in Tabelle 1 aufgeführten 4 Muster gewählt.

1.2 Das Programm

Als Programm für eine langfristige nicht stationäre Berechnung von mehrschichtigen Wandkörpern unter realen Klimabedingungen wurde WUFI verwendet [2], ein Produkt des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik in Stuttgart. Mit diesem Programm zur Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen wurde eine zweidimensionale nicht stationäre Analyse durchgeführt.

Tatsuaki Tanaka, Prof. em. Dr. Ochanomizu Univ., 2-1-1, Otsuka, Bunkyo, Tokio, JAPAN 112-8610, Yuka Nonaka, Master, Ochanomizu Univ., 2-1-1, Otsuka, Bunkyo, Tokio, JAPAN, 112-8610.

Tabelle 1. Anordnung der Möbel.

	Teppich	Schrank
Muster 1	+	+
Muster 2	+	-
Muster 3	-	+
Muster 4	-	-

1.3 Eingestellte Bedingungen

Als Außenluftbedingungen wie Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Temperatur, relative Luftfeuchte, Luftdruck, Niederschlagsmenge und direkte Sonneneinstrahlung wurden Daten des erweiterten AMeDAS gewählt.

Die Klimadaten bezogen sich auf die Städte Sapporo, Fukuoka und Naha, die unterschiedlichen Klimazonen entsprechen. Zur Berechnung von Raumtemperatur und Raumluftfeuchte an Hand der Außentemperatur wurde der europäische Richtlinienentwurf prEN15026 herangezogen. Inklusive einem Jahr Anlaufzeit betrug der Analysezeitraum 2 Jahre, wobei das zweite Jahr die Bewertungsgrundlage darstellt.

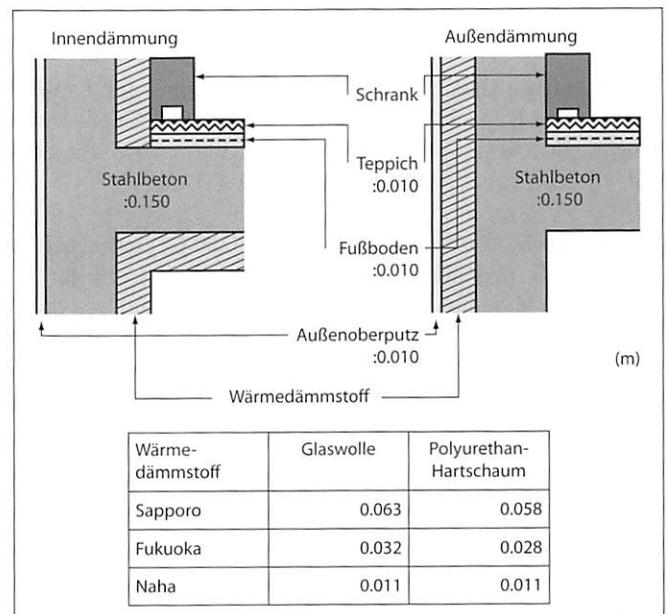


Bild 1. Analysenmodelle.

- Gierga, M.:* Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel (Hrsg.): EnEV Energieeinsparverordnung. 2. Ausg. Aachen, Brimberg, 2002.
- Güthoff, J.:* Dienstleistungsqualität als strategischer Wettbewerbsvorteil. In: Wissenschaftliches Studium: WiSt, Heft Nr. 12, 1998, S. 610–615.
- Iselt, P.; Arndt, U.:* Die andere Klimatechnik. Split- und Multisplit-Anlagen in der Raumluftechnik. 1. Aufl. Heidelberg: C.F.Müller, 1999.
- Kraft, G.:* Heizungs- und Raumluftechnik. Band 1: Heizungstechnik. 1. Aufl. Berlin: Verlag Technik, 1991
- Loewer, H.:* Institutsberichte 1. Umwelteinflüsse auf das Wohlbefinden des Menschen. Mannheim: Institut für Klimatologie, 1971.
- Meffert, H.; Bruhn, M.:* Dienstleistungsmarketing. Grundlagen – Konzepte – Methoden, 3. Auflage, Wiesbaden 2000.
- Quaschnig, V.:* Regenerative Energiesysteme: Technologie – Berechnung – Simulation. 2. Aufl. München: Hanser, 1999.
- Ranft, F.; Frohn, B.:* Natürliche Klimatisierung. Basel: Birkhäuser, 2004.
- Recknagel/Schramek* (Hrsg.): Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. 71. Aufl. München: Oldenbourg, 2003.
- Reif, H.:* Moderne Flächenheizungssysteme. Heizen und Kühlen unter Einsatz polymerer Werkstoffe. 1. Aufl. Landsberg/Lech: Moderne Industrie, 1999.
- Rietschel, H.; Esdorn, H.:* (Hrsg.): Raumklimatechnik. Band 1: Grundlagen. 16. Aufl. Berlin: Springer, 1994.
- Stauss, B.:* Service Qualität als strategischer Erfolgsfaktor. In: Erfolgt durch Service-Qualität, Tagungsbericht, Hrsg. Prof. Dr. B. Stauss München 1991.
- Strähle, E.:* Wandflächenheizung in Wohnbauten. Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1986.
- Vahlens Kompendium der Betriebswirtschaftlehre. Band 2, Hrsg. M. Bitz, K. Dellmann, M. Domsch, H. Egner, 2. Auflage München 1990.
- VDI-Berichte 1811: Innovative Fassaden II. Wechselwirkung Mensch – Fassade. Düsseldorf: VDI-Verlag, 2004.
- Voss, K.* (Hrsg.): Bürogebäude mit Zukunft: Konzepte, Analysen, Erfahrungen. 1. Aufl. Köln: TÜV-Verlag, 2005.
- VWEW Energieverlag (Hrsg.): RWE-Bauhandbuch. 13. Ausg. Frankfurt a. M.: VWEW Energieverlag, 2004.
- Wimmer, F.; Roleff, R.:* Steuerung der Kundenzufriedenheit bei Dienstleistungen, in: Handbuch Dienstleistungs-Marketing, Hrsg. A. Meyer, Stuttgart 1998.
- Wöhe, G.:* Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre, 17. überarbeitete und erweiterte Auflage, München 1990.
- Zeidler, O.:* Fortschritt-Berichte VDI. Reihe 19, Nr. 134: Grenzen der thermischen Last bei Fensterlüftung in Bürogebäuden. Düsseldorf: VDI Verlag, 2001.

Buchbesprechungen

Neuerscheinungen

Die folgenden neuerschienenen Bücher sind der Redaktion zugegangen. Eine ausführliche Besprechung der einzelnen Werke bleibt vorbehalten.

Environmental Health Criteria 237: Principles for Evaluating Health Risks in Children Associated with Exposure to Chemicals. Genf: WHO 2007, 352 S., zahlr. Abb., Tab., ca. 500 Literaturquellen. English. Preis: CHF 50,00.

Taschenbuch Wirtschaftspresse 2007/2008. Herausgeber: Talanx AG (Versicherungsgruppe), bearbeitet im Kroll-Verlag 82224 Seefeld/Obb. 784 S., Preis: € 32,00.

Cziesielski, Erich (Hrsg.): Lufsky Bauwerksabdichtung. Wiesbaden: B.G. Teubner/GWV Fachverlage GmbH, 6. Aufl. 2006. 444 S., Preis: € 52,90.

Wetzell, O. W. (Hrsg.): Wendehorst Bautechnische Zahlentafeln. Wiesbaden: B.G. Teubner/GWV Fachverlage GmbH, 32. Aufl. 2007. 1488 S., Tab., Tafeln, CD. Preis: € 49,90.

VOB für innerdeutsche und europaweite Vergabe. Fassung 2006. Stamsried: E. Vögel Druck und Verlag 2007. 224 S.,

Preis: € 9,00. VOB/A, Abschnitt 1–4, VOB/B, DIN18299, Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen, Vergabeverordnung, BGB, Auszüge.

VOB für innerdeutsche Vergaben. Fassung 2006. Stamsried: E. Vögel Druck und Verlag 2007. 84 S. Preis: € 6,00. Text der VOB/A Abschnitt 1, VOB/B, DIN 18299 und die Vorschriften des BGB zum allgemeinen Schuldrecht, Kauf- und Werksvertragsrecht.

Moos, J. (Hrsg.), Wagenleiter, H.W. und Wollinger, P.: Grundkenntnisse Metallbauer und Konstruktionsmechaniker nach Lernfeldern. Hamburg: Verlag Handwerk und Technik GMBH, 2007. 408 S., zahlr. Abb., Beispiele, Übungen, Aufgabeb., Preis: € 39,00.

Beuth Praxis: Fliegende Bauten nach DIN EN 13814. Herausgeber: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin, Wien, Zürich: Beuth Verlag 2007. Preis: € 268,00.

Amrhein, J.: Leitfaden Abfallrecht. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2007. 180 S., zahlr. Abb., Tab., Formulare, Preis: € 39,00.

Knaut, J. und Berg, Alexander: Handbuch der Bauwerkstrocknung. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag. 2. überarbeitete Aufl. 2007. 250 S., 182 farb. Abb., 3 Tab., Preis: € 32,00.

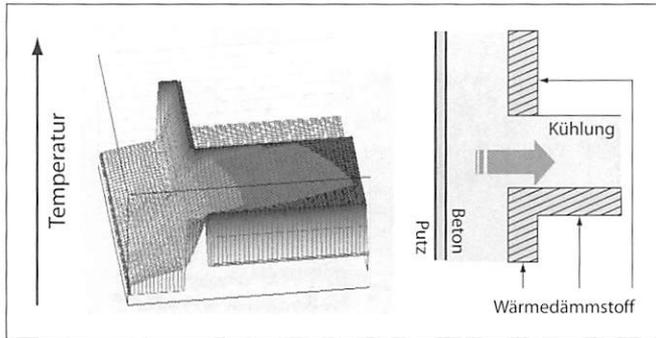


Bild 2. Temperaturverteilung im Wandkörper bei Innendämmung (Sapporo, 15. Januar).

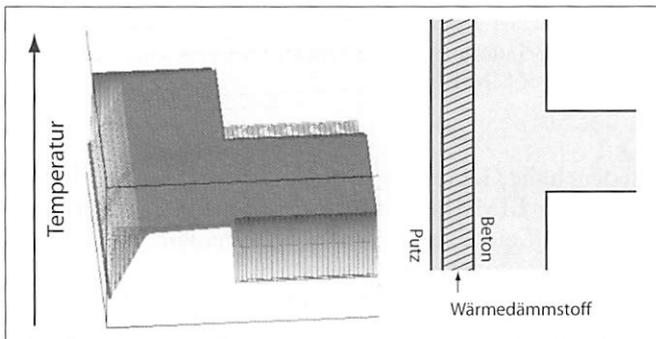


Bild 3. Temperaturverteilung im Wandkörper bei Außendämmung (Sapporo, 15. Januar).

Tabelle 2. Wärmeübergangszahl.

	Wärmeübergangszahl (W/m ² K)
Außenseite	23.2
Innenseite	9.3
Innenseite (Rückseite des Schrankes)	3.0

2. Analyseergebnisse und Interpretation

2.1 Temperaturverteilung in der Außenwand

In *Bild 2* und *3* sind die Ergebnisse im Winter (15. Januar) für Sapporo bei Außen- oder Innendämmung dargestellt. In der xy-Ebene ist das zweidimensionale Modell, in Richtung z-Achse die Temperatur aufgetragen.

Bei Innendämmung (*Bild 2*) steigt die Temperatur des Außenwandkörpers bis in die Nähe des Innenraums geringfügig an, sie entspricht bis dorthin weitgehend der kalten Außenluft. Im an den Raum grenzenden Teil der

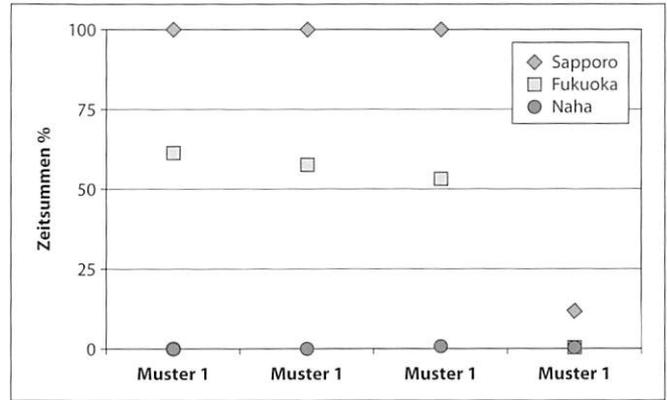


Bild 4. Zeit mit für Schimmelentwicklung günstigen Bedingungen (Zeitsummen).

Wand ist der Temperaturgradient damit groß, dies gilt aufgrund des ungeschützten Fußbodens besonders für die Ecken.

Bei Außendämmung (*Bild 3*) ist die Temperatur des Wandkörpers nahezu gleich der Temperatur des Innenraums (20°C), der Temperaturgradient ist damit im an den Raum grenzenden Teil der Wand und der Ecken klein.

2.2 Feuchtesituation an den Ecken und Schimmelprävention

Aus der Temperaturverteilung in 3.1 wurden die Temperaturverhältnisse in den Ecken der Wandinnenflächen ermittelt und die dortige Feuchtesituation mit den Entwicklungsbedingungen für Schimmel verglichen. Anhand früherer Untersuchungen [3] und der Deutschen Industrienorm [4] sind günstige Bedingungen für Schimmelentwicklung gegeben, wenn bei einer relativen Feuchte von über 80% der Zeitanteil solcher Feuchte innerhalb eines Jahres (die Zeitsumme) mehr als 80% beträgt. Die Ergebnisse sind in *Bild 4* und *Tabelle 5* dargestellt.

Bei Außendämmung liegt die relative Feuchte in Sapporo, Tokio, Fukuoka und Naha während des ganzen Jahres unter der 80% Marke, die Bedingungen für Schimmelentwicklung werden damit nicht erfüllt.

Bei Innendämmung ergab sich in Sapporo selbst im unmöblierten Zustand (Muster 4) eine Zeitsumme, die größer war als 0% (*Tabelle 4*), d. h. durch Möblierung des Raumes ist zu jeder Zeit ein für Schimmelentwicklung günstiges Umfeld gegeben. In Fukuoka lag ohne Möblierung

Tabelle 3. Außenwandbaumaterialeigenschaften.

	Rohdichte (kg/m ³)	Wärmekapazität (J/kgK)	Wärmeleitfähigkeit (W/mK)	Wasserdampfdiffusionswiderstandsfaktor (-)
Mörtel	1600	850	0.700	7
Stahlbeton	2300	850	1.600	180
Glaswolle	120	850	0.045	10000
Polyurethan-Hartschaum	40	1500	0.025	50
Wolle	60	850	0.040	1.3
Eiche	685	1500	0.130	140

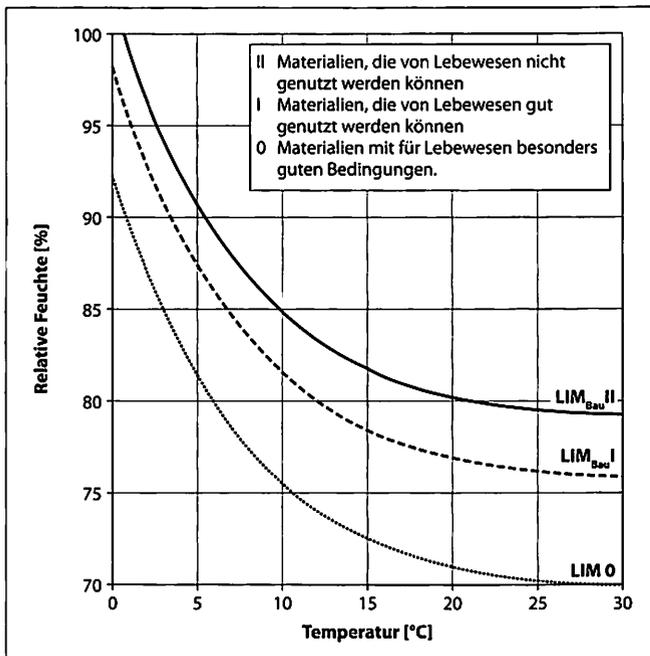


Bild 5. LIM-Kurve. Die 3 Kurven stehen für verschiedene Materialien.

Tabelle 4. Aus der Außentemperatur errechnete Zimmertemperatur und relative Feuchte.

Außenlufttemperatur: T (°C)	Zimmertemperatur: t (°C)	relative Feuchte im Zimmer: h (%)
T < -10, T = -10	t = 20	h = 30
-10 < T < 10	t = 20	h = T + 40
T = 10, 10 < T < 20, T = 20	t = 0.5 T + 15	h = T + 40
20 < T	t = 25	h = 60

Tabelle 5. Zeiten mit für Schimmelentwicklung günstigen Bedingungen (Zeitsummen).

		Muster 1	Muster 2	Muster 3	Muster 4
Innendämmung	Sapporo	100.0	100.0	100.0	11.1
	Fukuoka	61.1	57.4	52.8	0.0
	Naha	0.0	0.0	0.0	0.0
Außendämmung	Sapporo	0.0	0.0	0.0	0.0
	Fukuoka	0.0	0.0	0.0	0.0
	Naha	0.0	0.0	0.0	0.0

zung die Zeitsumme bei 0%, das Umfeld war für eine Schimmelentwicklung also nicht günstig, durch Möblierung stieg die Zeitsumme aber an und es entstanden für Schimmelbildung günstige Bedingungen.

2.3 Abgleich mit der LIM-Kurve

Als Richtlinie zur Prävention von Schimmel gibt es die Methode des Abgleichs mit der LIM-Kurve. Die LIM-Kurve ist eine Kurve, die in ein Koordinatensystem eingetragen wird, bei dem auf der x-Achse die Temperatur und auf der y-Achse die Feuchtigkeit abgetragen ist. Unterhalb dieser Kurve liegt der Bereich mit den Bedingungen,

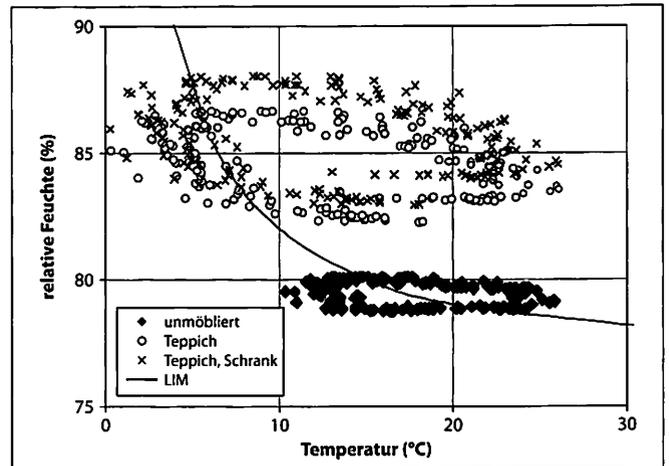


Bild 6. Temperatur und relative Feuchte im Jahresverlauf bei Innendämmung mit LIM-Kurve.

bei denen die Gefahr der Schimmelentwicklung gering ist. Da bei der LIM-Kurve neben der Feuchte auch die Temperatur mit einbezogen wird, sind genauere Vorhersagen möglich.

Für Sapporo, wo bei Innendämmung ein für Schimmelentwicklung besonders günstiges Umfeld zu verzeichnen war, wurde ein Abgleich mit der LIM-Kurve vorgenommen:

Die Auswertung von Bild 6 ergab, dass bei Möblierung nach Muster 4 im Sommer für Schimmelentwicklung günstige Bedingungen herrschten. Die relative Feuchte stieg um weitere 5%, nachdem ein Teppich verlegt wurde, damit überschritten die Werte auch die LIM-Kurve.

Im Fall eines auf dem Teppich abgestellten Schrankes stieg die relative Feuchte weiter. Aus diesen Gründen sollten Möbel mit Kontakt zu den Außenwänden zur Trocknung der Ecken und Wandflächen mit einem geringen Wärmewiderstandswert ausgestattet sein.

Allgemein ist festzustellen, dass durch Möblierung eines Raumes die relative Feuchte steigt und sich der für Schimmelentwicklung günstige Zeitraum verlängert.

3. Zusammenfassung

Die Temperatur- und Feuchtebedingungen in den Ecken von Außenwänden unterschieden sich bei Innen- und Außendämmung. Bei Außendämmung ergab sich unabhängig von der Möblierung kein für Schimmelentwicklung günstiges Umfeld. Bei Innendämmung verschlechterten sich durch Möblierung sowohl in Sapporo als auch in Fukuoka die Bedingungen, so dass Schimmelbildung möglich wurde. Bei Gebäuden mit Innendämmung ist daher unter dem Gesichtspunkt der Prävention von Kondenswasser und Schimmel auf geeignete Möblierung zu achten. Möbel sollten nicht an Außenwände gestellt werden, lässt es sich nicht umgehen, sollten sie einen niedrigen Wärmewiderstandswert besitzen. Besonders in kälteren Klimazonen sollte darauf geachtet werden.

Danksagung

Beim Verfassen dieses Manuskripts erhielten wir viel Unterstützung von den Herren *Dr. Hartwig Künzel*, *Daniel Zirkelbach*, *Keisuke Tanaka* und Frau *Eri Tanaka* vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik, ihnen sei hiermit gedankt. Ebenso sprechen wir der Stiftung TOS-TEM-Foundation for Construction Materials Industry Promotion für die Förderung dieser Arbeit unseren herzlichen Dank aus.

Literatur

- [1] Architectural Institute of Japan: INTERNATIONAL ENERGY AGENCY Energy Conservation in Buildings and Community Systems IEAANNEX 24 Heat, Air and Moisture Transfer Through New and Retrofitted Insulated Envelope Parts (Hamtie) Final Report Volume 3 TASK 3; MATERIAL PROPERTIES (Japanisch); MARUZEN (2001).
- [2] *Künzel, H. M.* und *Tatsuaki, Tanaka*: Transient Analysis of Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components by WUFI; Construction Finishing Techniques (Japanisch), Vol. 30 No. 355 p. 49–p. 60 (2005).
- [3] *Komine Hiromi* et. al.: The survey on fungal contamination in indoor air and the prevention method. Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering (Japanisch), No. 484 p. 33–p. 41 (1996).
- [4] DIN 4108, Wärmeschutz im Hochbau.
- [5] Architectural Institute of Japan: Expanded AMeDAS Weather Data (Japanisch) (2000).
- [6] *Künzel, H. M.*: Außen dampfdicht, vollgedämmt? Die rechnerische Simulation gibt Hinweise zu dem Feuchteverhalten außen dampfdichter Steildächer. *bauen mit holz* (1998).
- [7] Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden Teil 3: DIN4108.
- [8] *Sedlbauer, K.*: Prediction of mould fungus formation on the surface of and inside building components. Dissertation Universität Stuttgart (2001).



**10. Fachmesse für Gebäude-
und Elektrotechnik,
Klima und Automation**

**24. – 27. Oktober 2007
Leipzig-Messegelände**

Ein Ticket – drei Messen!

SHKG **baufach**

Zeitgleich auf dem Messegelände.

**Gebäudetechnik:
Zukunft und Chancen!**

Rahmenprogramm

- **ep**-Forum
- Forum:
- „Regenerative Energien“ und
- „Digitaler Rundfunk“ (DVB-T)

**Faxanforderung für Ticket-
Gutscheine: 03 51/85 06 444**

www.efa-messe.de