

■ Energetische Sanierung von Altbauten

- Energetische Potenziale im Gebäudebestand
- Altbausanierung – technische Umsetzung in der Praxis:
 - Sanierung des Gemeindezentrums
 - Das Renewable Energy House (REH) in Brüssel
- Hygrothermische Lüftungskonzepte

Energetische Potenziale im Gebäudebestand

Hans Erhorn
Fraunhofer IBP
hans.erhorn@
ibp.fraunhofer.de

Prof. Dr. Gerd Hauser
Fraunhofer IBP
gerd.hauser@
ibp.fraunhofer.de

Peter Michael Nast
DLR
michael.nast@dlr.de

Dr. Dietrich Schmidt
Fraunhofer IBP
dietrich.schmidt@
ibp.fraunhofer.de

Das größte Reduktionspotenzial des Endenergieverbrauchs in Deutschland entfällt auf das Heizen von Gebäuden und deren Warmwasserbereitung. Im Rahmen der Analysen zum CO₂-Gebäudereport 2007¹ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) wurden die erschließbaren Einsparpotenziale herausgearbeitet, und die derzeitigen Hemmnisse bei deren Umsetzung durchleuchtet. Im Folgenden werden die wichtigsten Erkenntnisse zusammenfassend dargestellt.

Trendwende beim Heizenergieverbrauch durch mehr Energieeffizienz

Fast 40 Prozent der Endenergie in Deutschland entfallen auf das Heizen von Gebäuden und die Warmwasserbereitung. Deutlich mehr als die Hälfte davon wird für die Raumwärme in privaten Haushalten verwendet.

Erfreulicherweise ist der Energieverbrauch in diesem Bereich seit 1996 rückläufig und entsprach 2006 in etwa dem Stand von 1990, obwohl die Wohnfläche in der Zwischenzeit durch Neubaumaßnahmen um über zehn Prozent zunahm (*Abbildung 1*). Der Rückgang resultiert aus durchgeführten energetischen Modernisierungsmaßnahmen in der Gebäudehülle und der effizienteren Nutzung von Energie zur Erzeugung von Wärme. Dies hat, in Kombination mit einem verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien, den CO₂-Ausstoß privater Haushalte im Wohnbereich von 1990 bis 2005 um 16 Prozent gesenkt.

Gestiegene Sanierungsquote

Die Quote des jährlich umfassend sanierten Gebäudebestands stieg von 1,6 Prozent (1994) auf 2,2 Prozent (2006). Saniert wird vor allem, um Energiekosten zu senken. Klimaschutz allein wirkt bislang kaum als Motiv für Bauherren. Es ist festzustellen, dass in den letzten Jahren weniger Energie für die Beheizung von Wohngebäuden verbraucht wurde. Dies liegt nicht vorrangig an den hohen Anforderungen an Neubauten (denn jedes neu errichtete Gebäude benötigt zusätzliche Energie), sondern hauptsächlich an der sich allmählich beschleunigenden Altbausanierung.

Noch hohes Potenzial für Energie- und Kosteneinsparung

Insgesamt liegt der Energieverbrauch in Wohngebäuden immer noch auf einem hohen Niveau. Besonders Altbauten weisen erhebliche Modernisierungspotenziale auf, denn über 70 % der möglichen energetischen Sanierungsmaßnahmen in Altbauten wurden im Zeitraum von 1989 bis 2006 noch nicht durchgeführt und warten noch auf eine Sanierung (*Abbildung 2*). Im nichtsanierten Altbaubestand könnten Dämmmaßnahmen und modernisierte Heizungsanlagen erhebliche Mengen an Energie sparen und damit CO₂-Emissionen senken. Der kontinuierliche Anstieg der Energiekosten belastet die privaten Haushalte erheblich. Durch deutlich gesteigerte Sanierungsaktivitäten und -qualitäten sowie Anforderungen an den Neubau können bis 2020, je nach unterstelltem Szenario, zusätzlich zwischen 19 und 51 Milliarden Euro Heizkosten eingespart werden.

¹ BMVBS (Hrsg.): CO₂-Gebäudereport 2007

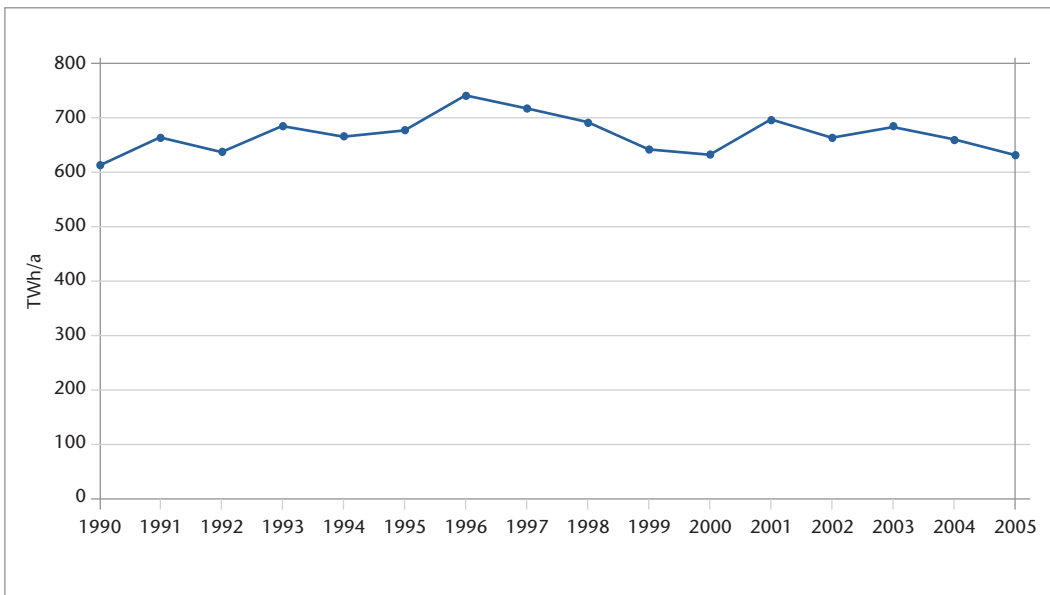


Abbildung 1
Endenergieverbrauch
in privaten Haushalten
für Heizwärme, inklusi-
ve Strom zum Heizen
und Fernwärme

Quelle: Umweltbundesamt
2007

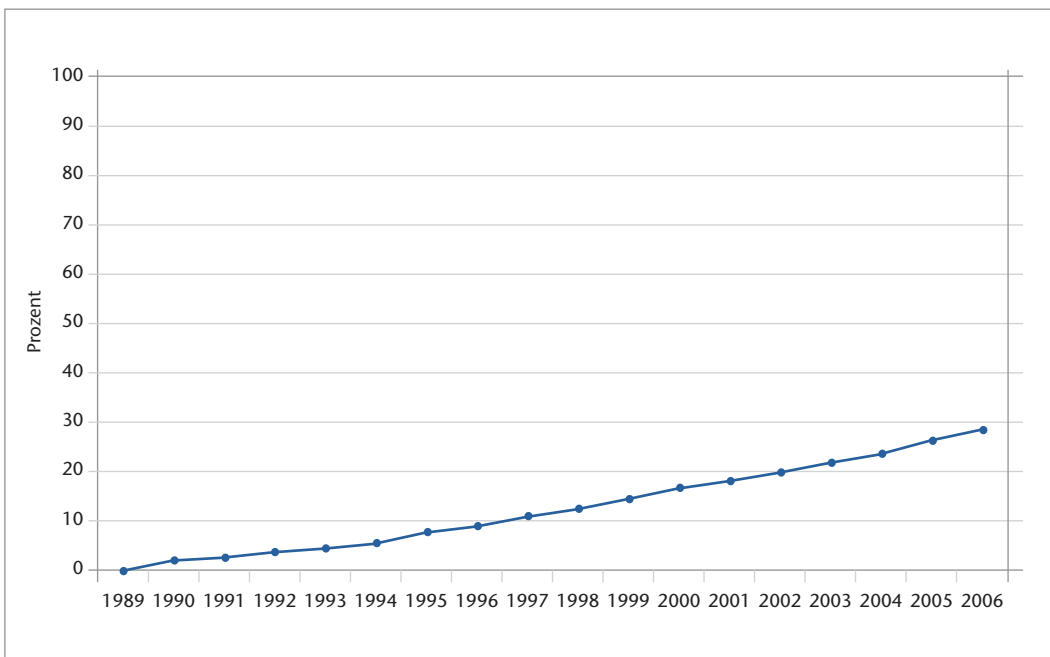


Abbildung 2
Kumulierte Quote der
vollsanisierten Altbauten
(Baujahr 1900 bis
1979), im Zeitraum
1989 bis 2006.

Quelle: Technomar
Eigentümerbefragung,
co2online

Dämmmaßnahmen gewinnen an Bedeutung

AltbauBesitzern ist oft nicht klar, wie sinnvoll und wirtschaftlich die energetische Modernisierung ihrer Gebäude meist ist. Denn sie sanieren vor allem, um Energiekosten zu sparen. Seit den 1990er wurden viele Ölheizungen und Kohleöfen durch Gasheizungen ersetzt. Bei den 2006 neu installierten Heizungsanlagen betrug der Anteil der Gasheizungen fast 60 Prozent².

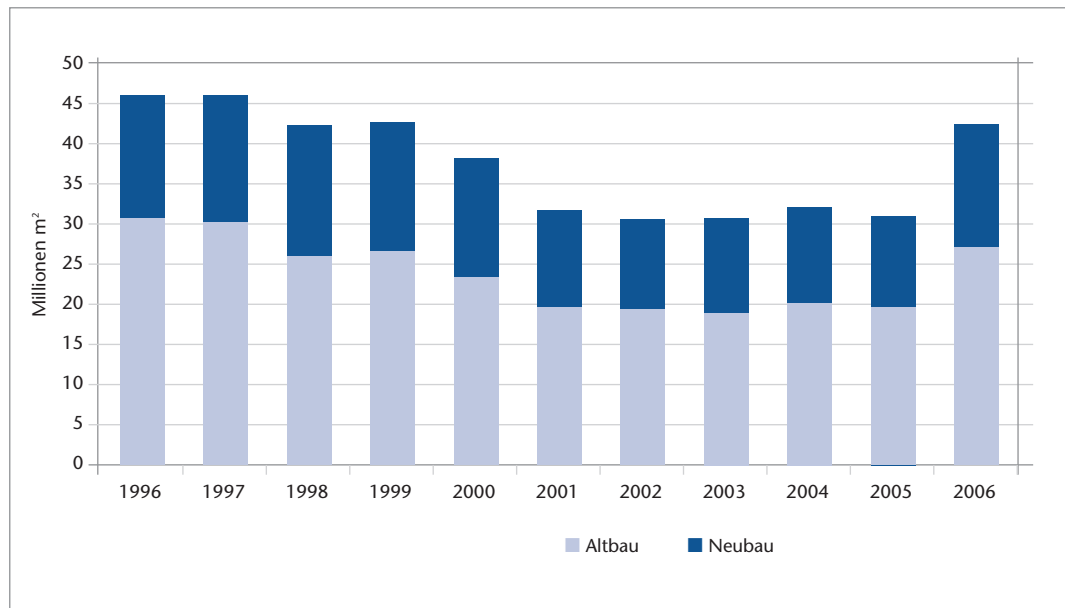
Auch die erneuerbaren Energien gewinnen an Bedeutung. Seit 2002 hat sich das Interesse für Heizungssysteme, die erneuerbare Energien nutzen, kontinuierlich erhöht. 2006 wurden in Deutschland so viele Wärmepumpen, Pelletheizungen und Solarthermieanlagen wie noch nie zuvor installiert.

Aktuell ist eine Verlagerung der Investitionen weg von der Erneuerung von Heizungen im

² Quelle: BDEW 2007

Abbildung 3
Verbaute Dämmfläche
von Wärmedämm-
Verbundsystemen in
Neu- und Altbauten

Quelle: FWDVS 2007



Altbaubestand hin zu Wärmeschutzmaßnahmen zu beobachten. Das Interesse an Gebäudedämmung ist sehr hoch, unter anderem weil viele Hauseigentümer nach Erneuerung ihrer Heizung nun auch die Dämmung angehen wollen (siehe *Abbildung 3*).

Förderungen bekannt machen

Insgesamt werden in allen Modernisierungsbereichen zwar verstärkt energieeffiziente Technologien gewählt. Dennoch werden die sich bietenden Möglichkeiten nicht vollständig genutzt. Hauptgrund dafür sind hohe Anfangsinvestitionen. Um das enorme Energiesparpotenzial besser auszuschöpfen, müssen Hauseigentümer wie Mieter weiter über ihren Nutzen informiert werden. Die hohen Anforderungen der Energieeinsparverordnung, die aufgestockten Fördermittel des CO₂-Gebäudesanierungsprogramms sowie Forschungs- und Demonstrationsprogramme haben maßgeblich zu den bisherigen Erfolgen beigetragen. Die Maßnahmen, die allein 2006 und 2007 durch die KfW-Bank gefördert wurden, bewirken zukünftig eine jährliche Minderung von nahezu 3 Mio. Tonnen CO₂-Emissionen.

Szenario für die Zukunft

Nachhaltige CO₂-Minderung durch steigende Anforderungen an den Neubau und intensivere Bemühungen im Gebäudebestand:

Die Bundesregierung hat weitreichende Beschlüsse im „Integrierten Klima- und Energieprogramm (IEKP)³ gefasst, die momentan umgesetzt werden. Aus wirtschaftlichen und ökologischen Überlegungen muss sowohl die Sanierungsquote als auch die Sanierungstiefe der energetischen Sanierungsmaßnahmen erhöht werden. Daneben empfehlen sich auch verschärfte Anforderungen an neu zu errichtende Gebäude, da sich energetisch effizientes Bauen für Mieter und Vermieter rechnet.

Wie die im CO₂-Gebäudereport 2007⁴ untersuchten Szenarien zeigen, ist durch eine Kombination von verschiedenen, wirtschaftlich vertretbaren Maßnahmen eine Reduktion des Endenergiebedarfs für Heizwärme und damit verbunden eine Minderung der CO₂-Emissionen zwischen 20 bis 40 Prozent möglich. Um die 40 Prozent zu erreichen, bedürfte es eines umfangreichen Maßnahmenpakets:

- Steigerung der energetischen Vollsanierungsrate von Gebäuden kurzfristig auf mindestens drei Prozent pro Jahr

³ BMU 2008

⁴ BMVBS (Hrsg.): CO₂-Gebäudereport 2007

- Anhebung der Anforderungen an die energetische Qualität der Sanierungsmaßnahmen um mindestens 30 Prozent
- Jährliche Steigerung des Anteils erneuerbarer Energiesysteme bei der Wärmeerzeugung
- Bei Neubauten müsste der Energiebedarf kurzfristig um 30 Prozent und mittelfristig um 50 Prozent (gegenüber der Energieeinsparverordnung von 2007) gesenkt werden.

Kontinuität in Forschungs- und Umsetzungsförderung zahlt sich aus

Die Bundesregierung betreibt seit Ende der 1970er Jahre ein intensives Forschungs- und Demonstrationsprogramm, um das energieeffiziente Bauen in Deutschland voran zu treiben. Die Erfolge dieser kontinuierlichen Förderprogramme sind heute in der zum Baustandard gewordenen Niedrigenergiebauweise sichtbar.

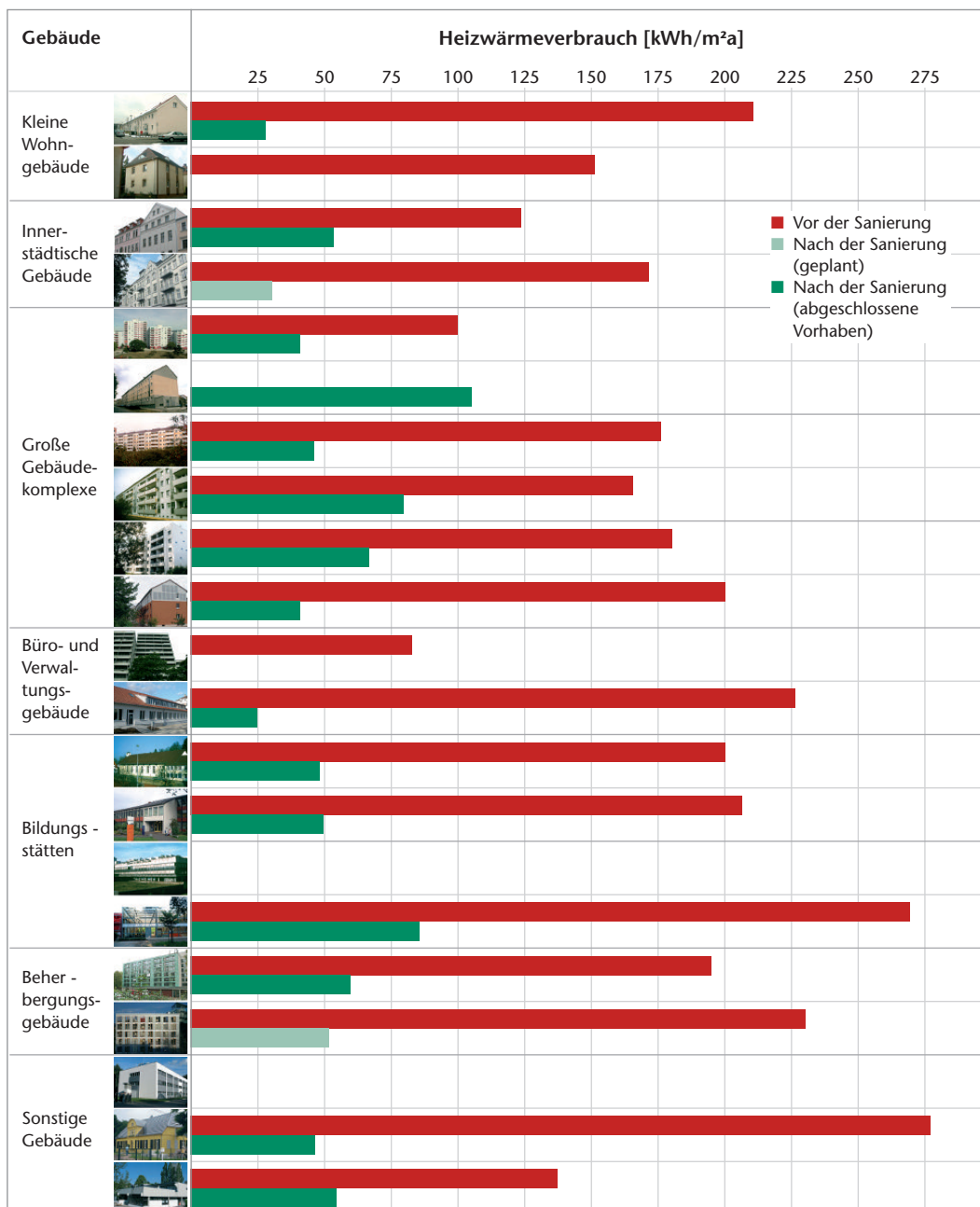


Abbildung 1 Heizwärmeverbrauchswerte vor und nach der energetischen Sanierung der Demonstrationsgebäude im Bundesförderprogramm EnSan. Bei gesplitteten grünen Balken sind die Ergebnisse von zwei Heizperioden eingetragen. Bei Häusern ohne grünen Balken erfolgte noch keine Messung des Heizwärmeverbrauchs nach der energetischen Sanierung.

Quelle: Fraunhofer IBP

Abbildung 5
Bundesbauminister
Wolfgang Tiefensee
(BMVBS) präsentiert
den Energieausweis,
der die Gesamtenergie-
effizienz von Gebäuden
aufzeigt

Quelle: BMVBS



Besonders wichtig waren dabei die großen Demonstrationsprojekte, in denen sich konkurrierende Unternehmen der Bau- und Heizungsindustrie im offenen Wettbewerb den neuen Herausforderungen stellten.

Forschung und Entwicklung konzentrierten sich bis Mitte der 1990er Jahre im Wesentlichen auf den Neubau, seit Ende der 1990er Jahre werden auch die bestehende Bausubstanz in die Forschungsprogramme eingebunden. Im Rahmen der Demonstrationsprojekte werden energieeffiziente Musterlösungen für verschiedene Gebäudetypen und Baualtersgruppen umgesetzt. Die dabei erzielten Energiverbrauchswerte lagen in aller Regel zwei Drittel unter den Werten vor der Sanierung und sie unterschreiten häufig sogar die Mindestanforderungen an vergleichbare Neubauten.

Die Ergebnisse aus den Forschungsprogrammen machen das erhebliche Einsparpotenzial deutlich, das mit dem energieeffizienten Bauen und der energetischen Sanierung in allen Gebäudetypen weiterhin erschließbar ist, fördern neue Technologien zur Marktreife und setzen Impulse für weitergehende, breitenwirksam angelegte Modellvorhaben der Deutschen Energie Agentur (dena) und Förderprogramme der KfW zum energieeffizienten Bauen und Sanieren.

Energieausweise zeigen Potenziale auf

Die Europäische Kommission verlangt in ihrer Richtlinie „Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“, dass bei Neubau, Kauf oder Vermietung von Gebäuden künftig ein Energieausweis vorgelegt wird. Diese Richtlinie wurde in Deutschland mit Wirkung vom 1. Oktober 2007 durch eine Novellierung der Energieeinsparverordnung (EnEV) erlassen.

Feldversuche haben ergeben, dass Einfamilienhausbesitzer und Privatvermieter, die den Ausweis in Auftrag gaben, mit der Kompetenz, Neutralität und der Erläuterung des Energieausweises sowie dem Verfahren „zufrieden“ bis „sehr zufrieden“ waren. Die Wohnbaugesellschaften waren hinsichtlich der Zeitdauer, des eigenen Aufwands und der Erläuterungen etwas kritischer. Bei etwa der Hälfte der Befragten entsprach die Gesamtbewertung des Hauses den Erwartungen; knapp 30 Prozent hatten ein besseres und unter zehn Prozent ein schlechteres Ergebnis erwartet.

Der Energieausweis kann dazu beitragen, das Kostenbewusstsein von Mietern und Vermietern für Heizung und Warmwasserbereitstellung zu verändern.

Altbausanierung – technische Umsetzung in der Praxis

I. Sanierung des Gemeindezentrums „Zum Guten Hirten“ in Ulm-Böfingen

Einleitung

Die Diözese Rottenburg-Stuttgart möchte mit der Sanierung des Gemeindezentrums „Zum Guten Hirten“ in Ulm-Böfingen zeigen, welchen Beitrag die Kirche zum Klimaschutz und zur Ressourcenschonung leisten kann. Die Diözese besitzt ca. 5000 Gebäude und investiert jährlich ca. 40 Mio. €, wobei über 90% aller baulichen Maßnahmen derzeit im Bestand erfolgen. Das Vorhaben wurde im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Förderkonzepts „Energetische Sanierung der Gebäudesubstanz“ durchgeführt [1].

Anlässlich einer anstehenden Dachsanierung am Gemeindehaus wurde der Vorschlag gemacht, das gesamte Gemeindezentrum energetisch zu sanieren und solare Energien zu nutzen. Die Idee fand im Kirchengemeinderat breite Zustimmung. Für diese komplexe Aufgabe wurde Ende 2000 ein Architektenwettbewerb durchgeführt. Bei der Entwurfsanforderung sollten bei der architektonischen Umsetzung der Modernisierungsmaßnahmen sowohl die Gesamtansicht des Gemeindezentrums als auch die unterschiedlichen Qualitäten der einzelnen Gebäude berücksichtigt werden. Das äußere Erscheinungsbild des Gesamtensembles sollte sich also durch die Sanierung nicht verändern. Durch die Sanierung sollte der Endenergieverbrauch für die Beheizung und Trinkwarmwassererwärmung einschließlich der Hilfsenergien für Pumpen und Ventilatoren um mindestens 50% gesenkt werden.

Ist-Zustand des Gebäudes

Das katholische Gemeindezentrum „Zum Guten Hirten“ wurde ab 1966 in zwei Bauabschnitten erstellt. 1966 entstanden Kirche und Gemeindehaus, 1974 kamen Pfarrhaus und Kindergarten hinzu. Die Sanierung umfasst nun das Gemeindehaus, den Kindergarten und das Pfarrhaus. Alle drei Gebäude sind mit einem Flachdach ausgeführt. Die Außenwände bestehen aus Sichtbeton. Sie sind beim Gemeindehaus mit einer nur 4 cm dicken Innendämmung versehen. Beim Kindergarten und beim Pfarrhaus liegt die Dämmung der Außenwände zwischen der Tragschale und der Vorsatzschale, die nicht hinterlüftet ist. Der im Erdgeschoss liegende Kindergarten ist nicht unterkellert. Mit einer 4 cm dicken Dämmung weist der Boden einen schlechten Wärmeschutz auf.

Die Dächer weisen mit einer 6 cm dicken Dämmung einen ebenfalls unzureichenden Wärmeschutz von ca. 0,6 W/m²K auf. Der U-Wert der Holz-Verbundfenster liegt bei 2,5 W/m²K. Die Gebäude des Gemeindezentrums werden mit Fernwärme versorgt. Die Übergabe erfolgt im Technikraum des Gemeindehauses. Alle Gebäude sind mit Heizkörpern ausgestattet. Die Erwärmung des Trinkwarmwassers erfolgt jeweils im Trinkwarmwasserspeicher, der im Technikraum des Kindergartens und des Pfarrhauses aufgestellt ist. Im Gemeindehaus ist nur die Küche mit Trinkwarmwasser versorgt, das elektrisch erwärmt wird. Vor der Sanierung wurde ein Jahr lang der Heizwärme- und Stromverbrauch gemessen.

Johann Reiß
Fraunhofer IBP
johann.reiss@
ibp.fraunhofer.de

Sanierungsmaßnahmen

Die Außenwände des Gemeindehauses erhielten eine insgesamt 10 cm dicke Innendämmung. Die vorhandene Dämmung aller Dächer wurde abgetragen und durch eine 22 cm dicke Hartschaumdämmung ersetzt. Der Boden im Untergeschoss des Gemeindehauses wurde bis auf den Rohboden ausgebaut, neu gegen aufsteigende Feuchtigkeit isoliert und mit 7 cm Hartschaum gedämmt. Die Fenster wurden gegen Zweifach-Wärmeschutzglas ausgetauscht. Die Innendämmung erforderte eine umfangreiche Flankendämmung an der Decke. Bei den Außenwänden des Kindergartens wurden die äußere Beton-Vorsatzschale abgetrennt und die vorhandene 6 cm dicke Dämmung ausgebaut und durch eine 14 cm dicke Mineralwolldämmung ersetzt und als Wetterschale eine 1 cm dicke Faserzementplatte angebracht.

Um einen höheren Wärmeschutz des Fußbodens im Kindergarten zu erhalten, ohne den Bodenaufbau zu erhöhen, wurde der neue Boden mit 2 cm dicken Vakuumdämmpaneelen ausgelegt. Auf diese Weise konnte ein U-Wert von 0,21 W/m²K erreicht werden. Bei den Außenwänden des Pfarrhauses wurden die äußere Betonvorsatzschale abgetrennt und die vorhandene Dämmung ausgebaut. Statt dessen wurde die Fassade mit 3 cm dicken Vakuumdämmpaneelen gedämmt. Ohne den Wandaufbau zu erhöhen, konnte auf diese Weise der U-Wert der Außenwand von 0,55 W/m²K auf 0,28 W/m²K verbessert werden. Die Wetterschutzschale wurde mit 1 cm dicken Faserzementplatten ausgeführt. Durch diese Dämmmaßnahmen an den Außenwänden war es möglich, die Außenansicht der Fassaden zu erhalten. Die Fenster des Kindergartens und des Pfarrhauses wurden in Holz mit Dreifach-Wärmeschutzglas ausgeführt.

Die Wärmeversorgung mit Fernwärme wurde beibehalten. Ein Wärmetauscher zwischen Primär- und Sekundärkreis ermöglicht die Vorlauftemperaturanpassung entsprechend dem Wärmebedarf des Gebäudes. Alle Heizkreispumpen wurden durch differenzdruckgesteuerte Pumpen ausgetauscht. Die Räume aller drei Gebäude sind mit einer Einzelraumregelung ausgestattet worden. Bisher war im Gemeindehaus eine Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung

installiert gewesen, die nur selten in Betrieb war. Diese Anlage wurde außer Kraft gesetzt. Die Belüftung der Räume erfolgt jetzt über die Fenster. Kindergarten und Pfarrhaus erhielten eine Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung und eine Solaranlage zur Unterstützung der Trinkwarmwassererwärmung. Auf dem Dach des Gemeindehauses wurde eine PV-Anlage mit der Leistung von 19,0 kWp installiert. Weitere PV-Paneele, die gleichzeitig als Sonnenschutz dienen (1,95 kWp), sind vor den raumhohen Fenstern des Gemeindehauses angebracht. Auf drei runden Säulen sind insgesamt 8 m² PV-Elemente mit der Gesamtleistung von 1,0 kWp montiert. Die vorhandene Beleuchtung wurde komplett durch eine energiesparende ausgetauscht.

Überprüfungsmessungen

Für die energetische und thermische Gebäudeanalyse unter realen Nutzungs- und Klimabedingungen sowie zur Absicherung des geplanten und umgesetzten Energiekonzeptes und zur Ermittlung des Nutzerverhaltens in einem Gemeindezentrum sind Langzeitmessungen über zwei Jahre durchgeführt worden. Diese sollen auch die Langzeitstabilität der Vakuumdämmpaneele überprüfen.

Bei den umfangreichen Ergebnissen, die während der zweijährigen Messung gewonnen wurden, sind vor allem die Klimarandbedingungen sowie die Raumlufttemperaturen und Energieverbräuche von zentraler Bedeutung. Während der beiden Messjahre lagen die Heizgradtage Gt 20/15 mit 3.890 Kd¹ in 2006 und mit 3.607 Kd in 2007 unter dem langjährigen Mittelwert von 4.296 Kd, der für die Region Ulm repräsentativ ist. Im ersten Messjahr war die Einzelraumregelung noch nicht umfassend in Betrieb, da es Probleme und Verzögerungen bei der Einweisung in die Programmierung und Handhabung gab. Die mittlere Raumlufttemperatur während der Heizperiode lag im Gemeindehaus bei 18,2 °C, im Kindergarten bei 20,9 °C und im Pfarrhaus bei 19,5 °C. Die klimabereinigten Heizwärmeverbräuche vor der

¹ Kd (Kelvindays) ist die Maßeinheit für Heizgradtage.

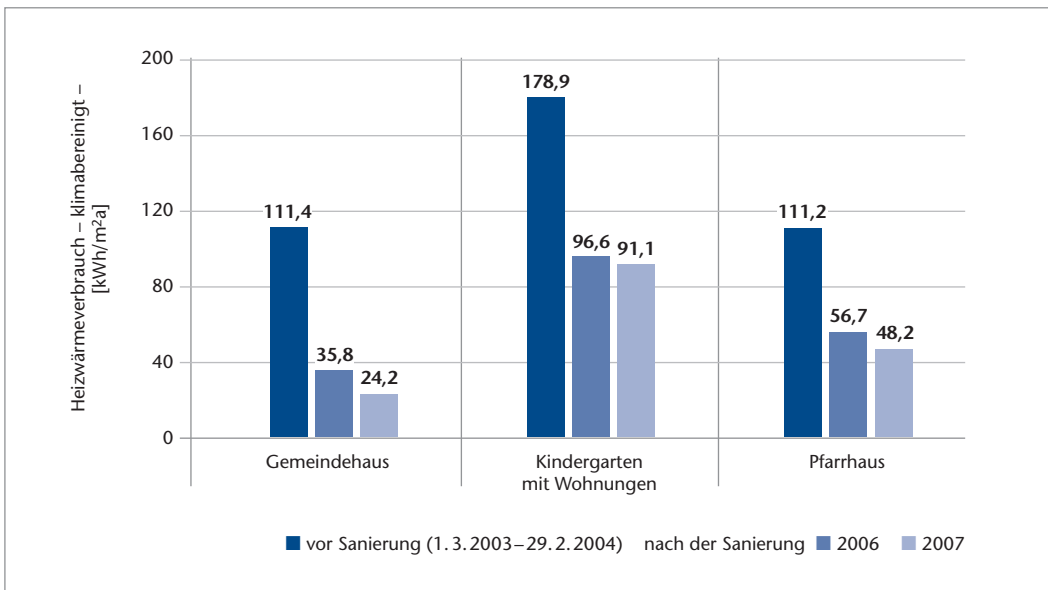


Abbildung 1
Die klimabereinigten Heizwärmeverbräuche vor Sanierung und nach der Sanierung

Zeitraum	Primärenergieverbrauch [kWh/m²a]		
	Brutto-Verbrauch	Gutschrift durch Einspeisung	Gesamt-Netto-Verbrauch
vor der Sanierung	150,5	0	150,5
nach der Sanierung:			
2006	89,4	36,7	52,6
2007	82,3	40,1	42,2

Tabelle 1
Mittlerer Primärenergieverbrauch der drei Gebäude und Primärenergiegutschriften aus der Stromgewinnung. Der flächenbezogene Wert bezieht sich auf die Gesamtnettogrundfläche der drei Gebäude von 1.579 m².

Sanierung sowie nach der Sanierung in den Jahren 2006 und 2007 sind in *Abbildung 1* dargestellt.

Der Mittelwert aus den in den Jahren 2006 und 2007 gemessenen Verbräuchen zeigt, dass die Reduzierung beim Gemeindehaus bei 73 %, beim Kindergarten bei 48 % und beim Pfarrhaus bei 53 % liegt. Obwohl das Beleuchtungssystem und die Heizkreispumpen ausgetauscht wurden, nahmen in allen drei Gebäuden die Stromverbräuche zu. Dies ist im Wesentlichen auf den Verbrauch der Lüftungsanlagen und die größere Anzahl von Bürogeräten zurückzuführen. In *Tabelle 1* ist der Primärenergieverbrauch der drei Gebäude vor und nach der Sanierung nettoflächenbezogen angegeben. Weiterhin enthält die Tabelle die nettoflächenbezogene Summe des eingespeisten Stromes. Er ist hierbei primär-energetisch angegeben.

Im Messjahr 2006 konnte somit der Primärenergieverbrauch von 89,4 kWh/m²a auf 52,6 kWh/m²a und im zweiten Messjahr von 82,3 kWh/m²a auf 42,2 kWh/m²a abgesenkt werden.

Schlussfolgerungen

Die Diözese Rottenburg-Stuttgart hat sich zum Ziel gesetzt, zur „Wahrung der Schöpfung“ künftig beispielhaft in die Steigerung der Energieeffizienz ihrer Gebäude zu investieren. Denn die Kirche hat auch für die Öffentlichkeit eine Vorbildfunktion. Die Kirchengemeinde „Zum Guten Hirten“ in Ulm-Böfingen entschied sich für die energieeffiziente Sanierung ihres Gemeindezentrums. Es erfolgte eine integrale Planung und nach Fertigstellung der Sanierung eine zweijährige Überprüfungsmessung. Es konnten u. a. die folgenden wichtigen Erkenntnisse gewonnen werden:

Eine integrale Planung ist die Voraussetzung für die Durchführung eines solchen Vorhabens, das von der Standardsanierung deutlich abweicht. Es verlangt von den Beteiligten ein Engagement, das über das Gewohnte hinausgeht. Mitarbeiter von Planungsbüros, die solche Projekte im gewohnten Zeitrahmen durchführen müssen, geraten dabei in einen erheblichen Zeitdruck. Die integrale Planung muss ausreichend honoriert werden, dann steht den Mitarbeitern auch die notwendige Zeit zur Verfügung. Der Einbau der Vakuumdämmplatten im Boden des Kindergartens verlief ohne Schwierigkeiten, da vorab eine exakte Vermessung der zu verlegenden Platten erfolgte. Schwieriger zeigte sich die Verlegung an den Außenwänden des Pfarrhauses. Die Unebenheiten der Wandoberfläche mussten zuerst mit einem Ausgleichsputz geglättet werden. Die anschließende Vermessung der Fläche erfolgte nicht exakt genug, so dass immer wieder Fugen von 1 bis 2 cm aufgetreten sind, die anschließend mit Polyurethan-Ortschaum² ausgefüllt wurden. Durch die Messung der Oberflächentemperaturen im Schichtaufbau des Fußbodens konnte nachgewiesen werden, dass die Paneele, die messtechnisch erfasst wurden, während des Messzeitraumes intakt waren. Dies erfolgte stichprobenartig, wobei ca. 6% der Paneele messtechnisch untersucht wurden. Um das Langzeitverhalten sicher zu erfassen, müssten die Messungen noch einige Jahre weitergeführt werden. Die an der Pfarrhausfassade verlegten und der Messung unterzogenen Vakuumdämmpaneele waren während des Messzeitraums intakt. Eine Aussage für die Zukunft lässt sich auch hier nicht ableiten.

Der Heizwärmeverbrauch aller drei Gebäude zusammen wurde gegenüber dem Zustand vor der Sanierung um 59% reduziert. Es konnte allerdings nur eine 50%ige Reduzierung des Endenergieverbrauchs erreicht werden, da der Stromverbrauch nach der Sanierung angestiegen ist.

Bei der integralen Planung wurde das Augenmerk stark auf die Hüllflächendämmung gelegt, bei der das Ziel vollkommen erreicht wurde. Die stromverbrauchenden Aggregate wurden jedoch zu wenig beachtet. Bei der Planung muss künftig eine gezielte Auswahl getroffen werden, denn der Primärenergiefaktor des Stroms ist um ein vielfaches größer als der der Fernwärme.

Die CO₂-Emission konnte nicht soweit gesenkt werden, wie dies zu Beginn geplant war, denn durch die Inbetriebnahme des Biomasse-Heizkraftwerks ist die CO₂-Emission nicht wie von der Fernwärme Ulm zuerst prognostiziert auf 0,072 kg/kWh, sondern lediglich auf 0,160 kg/kWh gesunken.

Die Dämmung des Bodens im Kindergarten und die Außendämmung des Pfarrhauses mit Vakuumdämmplatten waren Schwerpunkte des Vorhabens. Es zeigte sich, dass im Wandbereich noch Entwicklungs- und Forschungsbedarf besteht. Die hervorragende Dämmwirkung der Platte darf nicht durch metallische Anker, die der Befestigung der Abdeckschicht dienen, zunichte gemacht werden.

Literatur

- [1] Reiß, Johann: Energetische Verbesserung der Bausubstanz, Teilkonzept 3: Messtechnische Validierung der Sanierung eines Gemeindezentrums unter Einsatz von Vakuumdämmpaneelen. Abschlussbericht. IBP-Bericht WB 140/2008. http://archiv.ensan.de/pub_index81.html

² PUR-Schaumstoffe können aus flüssigen Komponenten an Ort und Stelle hergestellt werden (Ortschaum).

Altbausanierung – technische Umsetzung in der Praxis

II. Das Renewable Energy House (REH) in Brüssel

Dass auch historische Gebäude zu 100 % mit erneuerbaren Energien versorgt werden können, zeigt das „Renewable Energy House“ in Brüssel. Es ist der Hauptsitz vieler europäischer Verbände, die im Bereich erneuerbarer Energien tätig sind, wie zum Beispiel der European Renewable Energy Council (EREC), der European Biomass Association (AEBIOM), der European Geothermal Energy Council (EGEC), der European Solar Thermal Industry Federation (ESTIF) und der EUREC Agency. Das 140 Jahre alte Gebäude wurde mit effizienter Energienutzung und dem Einsatz von erneuerbaren Energiequellen zum Vorzeigebau ausgebaut. Das Gebäude mit rund 2.800 m² Fläche wird als Bürogebäude genutzt und hat dabei gleichzeitig Demonstrationscharakter: Architekten und Planer können sich vor Ort über unterschiedliche Methoden zur Integration von erneuerbaren Energien unter Einhaltung der Anforderungen des Denkmalschutzes informieren.

Mit Hilfe einer dynamischen Gebäudesimulation wurde ein speziell auf das Gebäude und seine Umgebung ausgerichtetes Energiekonzept entworfen, das aus drei Kernstücken besteht:

- Verringerung des Wärmeaustausches mit der Umgebung
- Einsatz von Wärmerückgewinnung
- Nutzung von effizienten Energiesystemen mit erneuerbaren Energiequellen

Ziel war es, ein Energiekonzept zu realisieren, mit dem es möglich ist, den Energiebedarf für Heizung und Kühlung des Gebäudes zu 100 % aus erneuerbaren Energiequellen zu decken. Dazu wurden zunächst Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz getroffen, um den jährlichen Energieverbrauch für Heizung, Lüftung und Klimatisierung so weit wie möglich zu senken.

Durchführung der Maßnahmen

Oft sind aufgrund von Vorgaben des Denkmalschutzes im historischen Gebäudebestand nicht alle technisch möglichen Maßnahmen durchführbar und es sind oft Kompromisse und Speziallösungen nötig. Mit dem „Renewable Energy House“ in Brüssel wird aber demonstriert, dass sich Klima- und Denkmalschutz nicht ausschließen müssen.

Die durchgeführten Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz umfassten neben dem Einbau einer Wärmedämmung in Dach und rückseitiger Fassade einen Austausch der Fenster, den Einbau einer mechanischen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und Lüftungskontrollsystem und den Einsatz von besonders energiesparenden Neonröhren (T5 Fluoreszenz Lampen). Damit konnte der Energiebedarf verglichen mit einem Standard-Sanierungsprojekt um 50 % gesenkt werden.

Der restliche Energiebedarf wird durch den Einsatz erneuerbarer Energien gedeckt. Mit einer Kombination aus fester Biomasse (Holzpellets), Solarthermie und Geothermie erzeugt die eingesetzte Heizungs-, Kühlungs- und Klimatisierungstechnik des Gebäudes einen hohen Komfortstandard während des gesamten Jahres mit Raumtemperaturen von 21 °C im Winter und einem Maximum von 25 °C im Sommer. Im Winter wird die von den Pelletkesseln (85 kW + 15 kW) und den Solarkollektoren (30 m² Flachkollektoren + 30 m² Vakuumröhrenkollektoren) erzeugte Energie in zwei 2.000 Liter-Warmwassertanks gespeichert, die sowohl die Heizungskreise als auch das Gebäude-Lüftungssystem versorgen. Räume, in denen früher Kohle gelagert wurde, wurden in Speicherräume für Holzpellets umfunktioniert. Zweimal pro Jahr werden 13 Tonnen Pellets von

Elke Streicher
 Universität Stuttgart
 Institut für Thermo-
 dynamik und
 Wärmetechnik (ITW)
 streicher@
 itw.uni-stuttgart.de



Abbildung 1
REH in Brüssel
Gartenhaus mit
PV-Anlage

einem Lastwagen in zwei zusammenhängende Räume geblasen, die die Pelletkessel automatisch befüllen. Die kombinierte Lösung aus Solarenergie und Biomasse wird benutzt, um die drei vorderen Gebäude mit einer Nutzfläche von 2.600 m² zu beheizen. Eine Erdwärmepumpe beheizt das hintere Bürogebäude und die Konferenzräume (200 m²). Die 25 kW Wärmepumpe ist mit vier vertikalen Erdwärmesonden mit je 115 m Tiefe gekoppelt und wandelt Wärme mit einer Temperatur von 10-12 °C in Wärme mit einer Temperatur von 35-45 °C um, die in einem 400 Liter Warmwassertank gespeichert wird. Im Sommer wird eine thermisch betriebene Absorptionskältemaschine verwendet, um das gesamte Gebäude zu kühlen. In diesem Fall wird die Absorptionskältemaschine hauptsächlich durch die Solarkollektoren betrieben und die Holzpellets dienen als Backup. Das heiße Wasser (80-85 °C) beliefert den Absorptionskreis, um Kühlwasser (7-9 °C) zu erzeugen. Die Kühlenergie wird in einem 1.000 l Wasserspeicher gespeichert und versorgt die Lüftungsanlage. Die Abwärme (der Überschuss Niedertemperaturwärme der Absorptionskältemaschine) wird mit den vier Erdwärmesonden zurück in den Boden geleitet.

Das denkmalgeschützte Gebäude liefert die Möglichkeit zur Integration unterschiedlicher Technologien von Photovoltaikmodulen. Ziel war es, viele unterschiedliche Technologien zu installieren, um die Besucher mit den vielfältigen Integrationsmöglichkeiten der Stromerzeugung vertraut zu machen. Es wurden sowohl mono- und polykristalline Module als auch Dünnschichtmodule installiert. Architektonisch ansprechend sind die verschiedenen halbtransparenten Zellen, die teilweise in die Fenster integriert

wurden. Die gesamte installierte Kapazität beträgt 3 kWp und erzeugt jährlich ca. 2.550 kWh Strom. Der restliche Strombedarf wird durch Zukauf von „green electricity“ gedeckt, die von einem Mix aus der Energie von Wind, Bioenergie, KWK und kleinen Wasserkraftwerken besteht.

Erfolgreiches Demonstrationsprojekt

Das „Renewable Energy House“ dient sowohl als Bürogebäude zahlreicher europäischer Verbände quasi als Hauptsitz für erneuerbare Energien in Europa als auch als Demonstrationsobjekt für Architekten und Planer. Das Gebäude lockte innerhalb von zweieinhalb Jahren mehr als 15.000 Besucher in die belgische Hauptstadt. Mittlerweile wurde ein EU-Projekt im Rahmen des Förderprogramms „Intelligent Energy for Europe“ (IEE) initiiert. Die Koordination liegt bei dem European Renewable Energy Council (EREC) [1], der Organisation, die das „Renewable Energy House“ mit initiiert hat. Die Idee zur Renovierung des 140 Jahre alten Gebäudes hatte Prinz Laurent von Belgien mit seiner Stiftung GRECT, deren Ziel es ist, das architektonische Kulturgut Europas zu schützen und zu erhalten. Das Ziel des Projektes „New Energy for old Buildings (New4Old)“ [2], ist es, die Integration von erneuerbaren Energien und die Steigerung der Energieeffizienz im historischen Gebäudebestand zu erleichtern. Während der Projektlaufzeit sollen auf Basis der gewonnenen Erfahrungen weitere „Renewable Energy Houses“ in Europa etabliert werden.

Literatur

- [1] <http://www.erec.org/projects/ongoing-projects/new4old.html>
- [2] <http://www.itw.uni-stuttgart.de/~www/ITWHHomepage/News/new4old.pdf>

Hygrothermische Lüftungskonzepte

Einleitung

Insbesondere im Bestand ist die Anzahl von Gebäuden mit Schimmelpilzproblemen in den letzten Jahrzehnten gestiegen. Der Hauptgrund für dieses Phänomen liegt an der mit wärmeschutztechnischen Maßnahmen (Fenster austausch) gleichzeitig einhergehende Verbesserung der Luftdichtheit der Gebäudehülle, die ohne zusätzliche, bewusst eingesetzte Lüftungsmaßnahmen zu einer Erhöhung der Raumluftfeuchte führen kann. Die in diesem Zusammenhang häufig propagierte Stoßlüftung durch den Nutzer hat sich leider als wenig wirksam erwiesen, da sie das reale Feuchteverhalten in Gebäuden zu wenig berücksichtigt. Das Ziel der Stoßlüftung ist ein nahezu vollständiger Austausch der Raumluft bei gleichzeitig möglichst geringem Wärmeverlust, d. h., die Wärme in den Decken und Wänden soll durch die kurze Dauer der Außenluftzufuhr keine Gelegenheit haben, zu entweichen. Geht es um die Beseitigung von Gerüchen oder Kohlendioxid aus der Raumluft ist eine Stoßlüftung sicher sinnvoll. Soll allerdings auch die von den Bewohnern produzierte Feuchte abgeführt werden, ist ihre Wirksamkeit begrenzt. Da ein großer Teil der Feuchte – ähnlich wie bei Wärme – in der Gebäudehülle und im Mobiliar gespeichert ist, bleibt sie für die Stoßlüftung unerreichbar, denn die Feuchteaustauschprozesse sind noch deutlich langsamer als der Wärmeaustausch zwischen Raumluft und Gebäudehülle.

Wie wird also richtig gelüftet? Wie muss ein Lüftungskonzept aussehen, das die Raumluftfeuchte so steuert, dass eine Schimmelpilzbildung im Gebäude mit Sicherheit auszuschließen ist? Um diese Fragen beantworten zu können, benötigt man

1. so genannte instationäre – also zeitabhängige – Raumklimamodelle, die den Wärme- und Feuchteaustausch mit der Gebäudehülle praxisnah beschreiben

2. ein Modell, das eine Einschätzung des Schimmelpilzwachstumsrisikos auf den sensiblen Bauteiloberflächen (z. B. Wärmebrücken) erlaubt

Erst durch die Kombination solcher Modelle können Lüftungskonzepte entwickelt werden, die geeignet sind, unter Aufrechterhaltung eines hohen Hygienestandards und Nutzerkomforts die Lüftungswärmeverluste im Gebäude zu minimieren. Über den Hintergrund dieser Modelle und ihrer Einsatzmöglichkeiten soll hier berichtet werden.

Wärme- und Feuchtetransportvorgänge in der Gebäudehülle

Das Fraunhofer IBP hat ein PC-Programm zur instationären Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen – WUFI® (**W**ärme und **F**euchte **i**nstationär [1]) – für den Praktiker entwickelt. Die steigende Anzahl von einschlägigen Fachveröffentlichungen zeigt, dass diese Verfahren zunehmend eingesetzt werden. Wegen der starken Einschränkungen der stationären Dampfdiffusionsbetrachtungen wird inzwischen auch in der Neufassung der DIN 4108-3 [2] auf diese instationären hygrothermischen Berechnungsmodelle verwiesen. Seit letztem Jahr wird dem Praktiker der Einsatz hygrothermischer Berechnungsverfahren für die feuchtetechnische Beurteilung von Bauteilen durch die EN 15026 [3] nahegelegt. Die Grundlagen und Voraussetzungen der hygrothermischen Simulation werden hier am Beispiel des Rechenverfahrens WUFI® beschrieben. Aus den in [1] beschriebenen physikalischen Grundlagen des Wärme- und Feuchtetransports lässt sich ein geschlossenes Differentialgleichungssystem entwickeln, mit dem man das Feuchteverhalten mehrschichtiger Bauteile unter natürlichen Klimarandbedingungen berechnen kann. Dabei sind folgende Transportmechanismen zu berücksichtigen:

Prof. Dr. Klaus
Sedlbauer
Fraunhofer IBP
sedlbauer@
hoki.ibp.fraunhofer.de

Dr. Hartwig M.
Künzel
Fraunhofer IBP
kuenzel@
hoki.ibp.fraunhofer.de

Prof. Dr. Anton Maas
Universität Kassel
Fachbereich Architektur,
Stadtplanung,
Landschaftsplanung;
Fachgebiet Bauphysik
maas@asl.uni-kassel.de

- **Dampfdiffusion:** thermische Eigenbewegungen der Moleküle im gasförmigen Zustand.
- **Oberflächendiffusion:** Flüssigtransport im Sorbatfilm hygroskopischer Stoffe.
- **Kapillarleitung:** Flüssigwassertransport in den Kapillaren poröser Baustoffe.

Für die Berechnung des nicht-isothermen Feuchtetransports in porösen Stoffen sind zwei unabhängige treibende Potenziale erforderlich sind. Einfache und physikalisch plausible Transportkoeffizienten ergeben sich bei der Wahl der echten Feuchtetriebkräfte „Dampfdruck“ und „Kapillardruck“. Der schwer messbare Kapillardruck lässt sich über die Kelvin-Beziehung¹ in die relative Feuchte umwandeln. Der Dampfdruck und die relative Feuchte stellen somit zwei physikalisch begründete Feuchtetransportpotenziale dar, die allgemein bekannt und einfach zu messen sind. Für die Berechnung des Wärme- und Feuchteverhaltens von Bauprodukten mit dem Programm WUFI® ist die Kenntnis folgender Informationen erforderlich:

- Der Aufbau des zu berechnenden Bauteils und das numerische Gitter², dessen Elementgrößen dem Schichtaufbau und der zu erwartenden lokalen Klimaeinwirkungen angepasst werden.
- Die thermischen und hygrischen Stoffkennwerte und -funktionen der am Aufbau beteiligten Baustoffe; d. h. die Rohdichte, die Porosität, die spezifische Wärmekapazität, die feuchteabhängige Wärmeleitfähigkeit, der feuchteabhängige Wasserdampfdiffusionswiderstand sowie bei hygroskopischen, kapillaraktiven Stoffen auch die Feuchtespeicherfunktion und die Flüssigleitfunktionen für den Saugvorgang und die Weiterverteilung.
- Die inneren und äußeren klimatischen Randbedingungen sowie die Vorgabe der Zeitschritte, die von den Klimadaten und der geforderten Rechengenauigkeit abhängt. Als Klimaparameter dienen Stundenmittelwerte der Temperatur und der relativen

¹ Über die Kelvin-Beziehung besteht ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Kapillardruck und relativer Luftfeuchte.

² Mit Hilfe eines numerischen Gitters können reale Bauteile simuliert und berechnet werden.

Luftfeuchte sowie der solaren Einstrahlung, des Niederschlags und der Windgeschwindigkeit.

Als Rechenergebnisse werden die stündlichen Veränderungen der Temperatur- und Feuchtefelder sowie der Wärme- und Feuchteströme über die Bauteilgrenzen erhalten. Aus diesen Ergebnissen können sowohl die langzeitlichen Verläufe der hygrothermischen Parameter (Temperatur, relative Feuchte, Wassergehalt) an verschiedenen Positionen im Bauteil als auch deren örtliche Verteilungen (Profile) zu bestimmten Zeitpunkten ermittelt werden. Eine zweckmäßige und sehr anschauliche Art der Ergebnisdarstellung ist die filmähnliche Abfolge der instationären Feuchte- und Temperaturprofile. *Abbildung 1* zeigt beispielhaft einen „Schnappschuss“ aus einem solchen Ergebnisfilm, der bei der Berechnung des hygrothermischen Verhaltens einer zweischaligen Wand entstanden ist.

Raumklimamodelle

Im Gegensatz zur weit verbreiteten energetischen Gebäudesimulation berücksichtigen Raumklimamodelle auch die komplexen instationären Feuchtetransport- und -austauschvorgänge in Gebäuden. Das heißt, solche Modelle basieren auf einer Verknüpfung von Gebäudesimulation und hygrothermischer Bauteilberechnung [4]. Durch diese Verknüpfung können auch die Wärme- und Feuchte-Wechselwirkungen zwischen der Raumluft und der Gebäudehülle berücksichtigt werden, wie beispielsweise die Feuchtepufferwirkung der Umschließungsflächen bei Änderungen der Feuchtelast im Raum oder die Feuchtesorption bzw. -desorption bei Temperaturänderungen an den Bauteiloberflächen (z. B. durch strahlungsbedingte Bauteilerwärmung oder nächtliche Abkühlung). Ein wesentlicher Zweck dieser Entwicklung ist die Schaffung von Planungswerkzeugen zur Sicherstellung eines hygienischen und behaglichen Raumklimas bei gleichzeitiger Reduzierung des Energieaufwandes für die Klimatisierung von Gebäuden. Durch gezielte Nutzung des Wärme- und Feuchtespeichervermögens der Gebäudemasse oder spezieller Einbauten sollen Raumklimaschwankungen

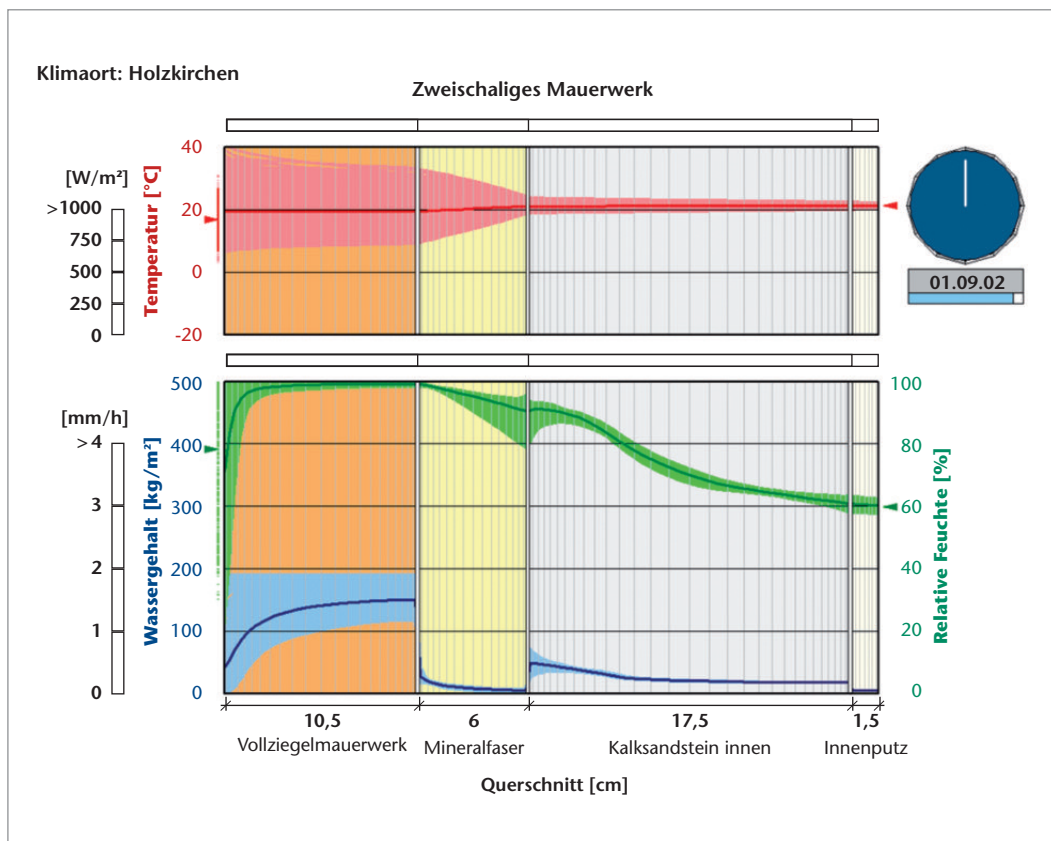


Abbildung 1
Momentaufnahme der
Filmdarstellung der
instationären
Temperatur- und
Feuchteverteilung
(Bereiche und
Mittelwerte) in einer
zweischaligen, nach
Westen orientierten
Außenwand mit
Kerndämmung im
Verlauf des Monats
August

Grafik: Fraunhofer IBP

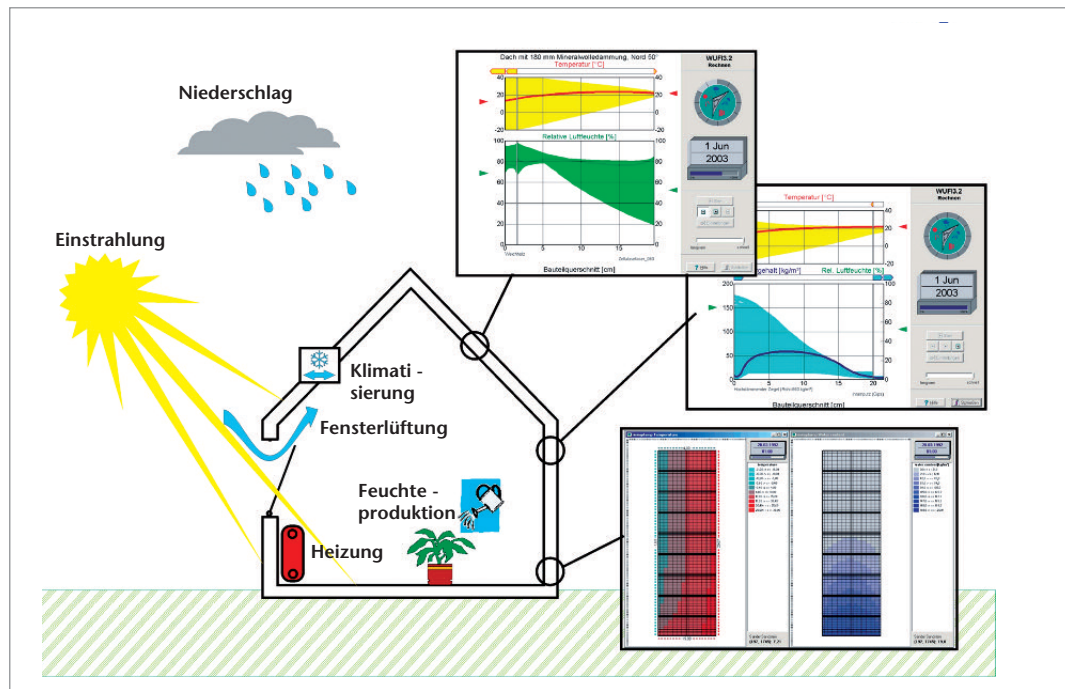
soweit wie möglich ohne den Einsatz einer aufwändigen Anlagentechnik begrenzt werden.

Dazu wurde das Raumklimamodell WUFI®-Plus entwickelt. WUFI®-Plus besteht aus einem Raumbilanzierungsmodul, an das beliebig viele eindimensionale WUFI®-Bauteilsimulationen gekoppelt werden können. Die Zahl richtet sich nach Anzahl der sowohl im Aufbau als auch in der Orientierung unterschiedlichen Raumschließungsflächen. Diese Ankopplung ist in *Abbildung 2* beispielhaft für eine Dach- und eine Außenwandfläche dargestellt. Eventuelle Wärmebrücken haben zwar im Vergleich zu den flächenmäßig wesentlich größeren ungestörten Bereichen (Bauteilregelquerschnitt) meist keinen großen Einfluss auf das Raumklima, umkehrt hat aber das Raumklima bedeutende Auswirkungen auf die Temperatur- und Feuchteverhältnisse und damit auch auf das Schimmelpilzrisiko an der Wärmebrücke. Ähnliches gilt für Wände, die noch anderen Feuchtebeanspruchungen ausgesetzt sind, wie z. B. lokal begrenzte Baufeuchte oder aufsteigende Grundfeuchte. In solchen

Fällen können die Ergebnisse des Raumklimamodells WUFI®-Plus als Eingabe für zweidimensionale Bauteilberechnungen (z. B. mit WUFI®-2D) dienen, wie ebenfalls in *Abbildung 2* rechts unten angedeutet ist. Dadurch lassen sich die instationären hygrothermischen Bedingungen an kritischen Punkten der Gebäudehülle recht genau bestimmen.

Abbildung 2
Beispielhafte
Darstellung der
Modellverknüpfungen
zur Berücksichtigung
der hygrothermischen
Wechselwirkung
zwischen Raumluft
und Gebäudehülle

Grafik: Fraunhofer IBP



Modelle zur Prognose des Schimmelpilzwachstumsrisikos

Zur Vorhersage der Schimmelpilzbildung werden die biologischen Wachstumsvoraussetzungen (Soll-Werte) mit den hygrothermischen Bedingungen verglichen. Die Ermittlung der „Ist-Werte“ sollte alle Einfluss nehmenden bauphysikalischen Vorgänge berücksichtigen. Die modernen hygrothermischen Berechnungsverfahren bieten dazu gute Voraussetzungen. Von besonderer Bedeutung für die Baupraxis ist die Beurteilung des Wachstumsrisikos von Schimmelpilzen auf Gebäudeoberflächen und im Inneren von Bauteilen. Da die Temperatur- und Feuchteverhältnisse wesentliche Einflussfaktoren für das Schimmelpilzwachstum darstellen, kann aus der genauen Kenntnis der hygrothermischen Bedingungen und deren zeitlicher Veränderung eine Wachstumswahrscheinlichkeit für Schimmelpilze abgeleitet werden. Um die Wirkungsweise der wesentlichen Einflussgröße auf die Auskeimung von Sporen bauphysikalisch beschreiben zu können, wurde ein biohygrothermisches Modell entwickelt (WUFI®-Bio) das in der Lage ist, den Feuchtehaushalt einer Spore in Abhängigkeit von instationären Randbedingungen rechnerisch zu ermitteln, also auch ein zwischenzeitliches Austrocknen der Pilzsporen zu berücksichtigen.

Dieses instationäre Verfahren beruht auf dem Grundgedanken, dass eine Pilzspore wegen der in ihr vorhandenen Stoffe ein gewisses osmotisches Potenzial besitzt, mit dessen Hilfe Wasser aus der Umgebung aufgenommen werden kann. Dieses Potenzial wird rechnerisch mit Hilfe einer Feuchtespeicherfunktion beschrieben. Die Feuchtaufnahme der Spore durch die Sporenwand hindurch wird im Modell mittels eines Diffusionsansatzes erfasst. Ist ein bestimmter Wassergehalt im Sporennieren vorhanden, der den Beginn des Stoffwechsels zulässt, kann der Pilz unabhängig von äußeren Bedingungen seinen Stoffwechsel selbst regulieren. Der komplizierte Regelmechanismus ist weitgehend unbekannt und kann daher nicht modellhaft beschrieben werden. Dies ist aber auch nicht erforderlich, weil der kritische Wassergehalt (Grenzwassergehalt), ab dem die biologische Aktivität einsetzt, erst gar nicht überschritten werden darf. Dieser Grenzwassergehalt wird mithilfe der in *Abbildung 3* dargestellten substratabhängigen Minimalbedingungen (LIM) festgelegt, die die untere hygrothermische Grenze für eine mögliche Keimung von Schimmelpilzsporen bilden. Details zu diesem Modell, das bereits mehrfach erfolgreich zur Beurteilung von Schimmelpilzschäden angewandt wurde, sind in [5] enthalten.

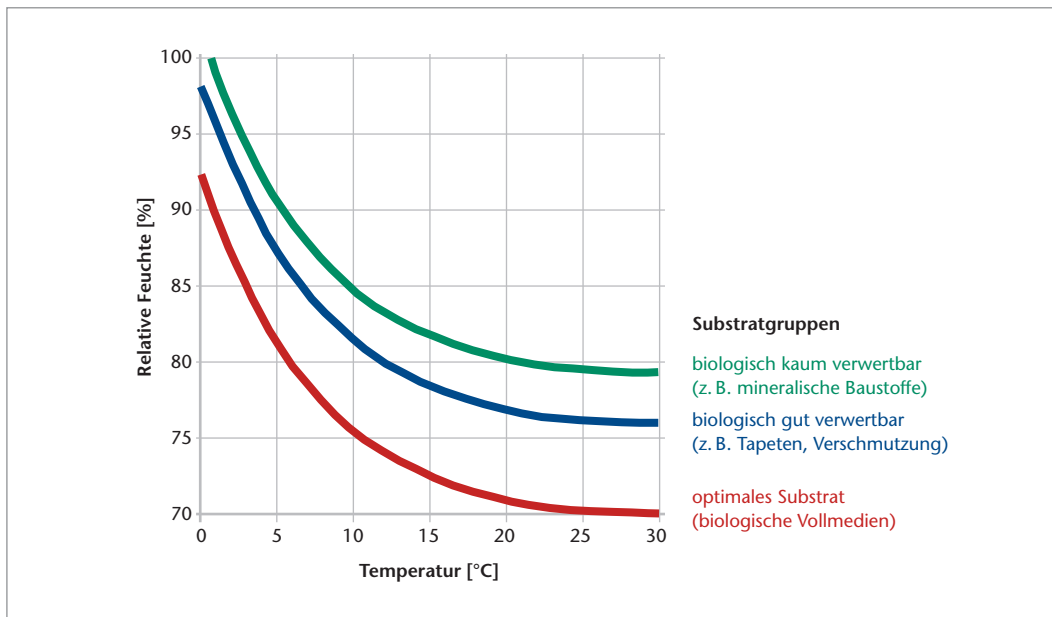


Abbildung 3
Substratabhängige
hygrothermische
Minimalbedingungen
(LIM) für das Auskei-
men von Schimmel-
pilzsporen nach [5]

Grafik: Fraunhofer IBP

Kombination von Raum- klimamodell und Schimmel- pilzprognosemodell

Die zunehmende Anzahl von einschlägigen Veröffentlichungen zeigt, dass Gesundheitsgefährdung durch Schimmelpilze trotz steigendem Dämmstandard immer noch ein wichtiges Thema ist. Ein Hauptgrund dafür ist ein falsch verstandenes Energiesparbewusstsein, das dazu führt, dass zu wenig und falsch gelüftet wird. Dies liegt auch daran, dass die für die Schimmelpilzvermeidung erforderliche Lüftung in komplexer Weise von den Klimarandbedingungen, der Baukonstruktion, den unterschiedlichen nutzungsabhängigen Feuchtelasten sowie den sorptiven Eigenschaften der Innenoberflächen und des Mobiliars abhängt. Bei unsachgemäßer manueller Fensterlüftung kann es besonders bei hohen internen Feuchtelasten zu einem Befall mit Schimmelpilzen kommen. Eine ausreichende Lüftung, auch bei Abwesenheit der Nutzer, ist vor allem zur Vermeidung von Feuchteschäden notwendig. Dabei ergeben sich aufgrund der unterschiedlichen Nutzung verbunden mit den jeweiligen Feuchtelasten für unterschiedliche Räume verschiedene Lüftungserfordernisse [6]. Mit Hilfe der Kombination eines Raumklimamodells (WUFI®-Plus) und eines Modells zur Prognose des Schimmelpilzwachstumsrisikos (WUFI®-Bio) können sinnvolle Lüftungsstrate-

gien ermittelt werden. Bei der Berechnung ist jedoch zu beachten, dass es besonders in den Raumecken aufgrund der Wirkung der geometrischen Wärmebrücke und der reduzierten Wärmeübergangskoeffizienten zu niedrigeren Oberflächentemperaturen und somit höheren Oberflächenfeuchten kommt.

Die Ermittlung der erforderlichen Luftwechselrate oder Fensteröffnungszeiten für Stoßlüftung oder Spaltlüftung erfolgt iterativ, indem bei vorgegebenem Lüftungsprofil die instationären Temperatur- und Feuchteverläufe in den Raumecken ermittelt werden. Anhand dieser erfolgt mit Hilfe von WUFI®-Bio die Beurteilung des Schimmelpilzwachstumsrisikos mit anschließender Anpassung des Lüftungsprofils bis zum Erreichen des gerade erforderlichen Luftwechsels.

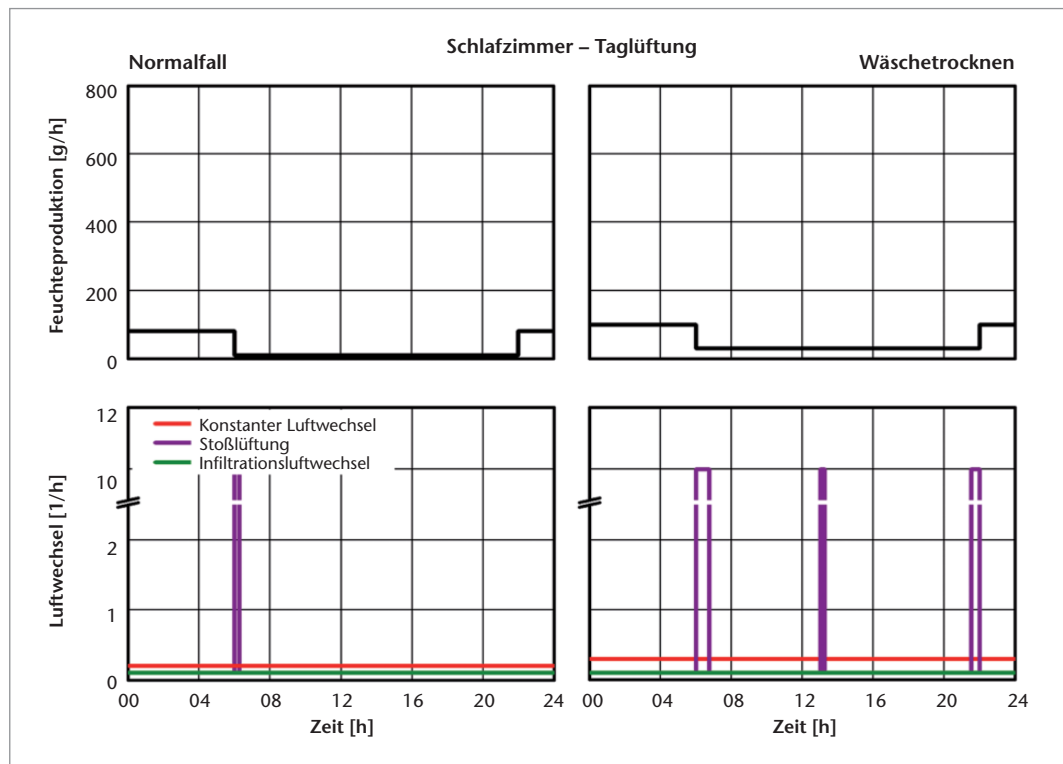
Als Beispiel zeigt *Abbildung 4* den zeitlichen Verlauf der Feuchteproduktion sowie die daraus zur Schimmelpilzvermeidung resultierenden Lüftungserfordernisse im Falle der Dauerlüftung bzw. der Stoßlüftung für ein Schlafzimmer einer mit einem Wärmedämmverbundsystem gedämmten Wohnung ohne und mit Wäschetrocknung. Bei dem dargestellten konstanten Mindestluftwechsel (rote Linie) bzw. dem Mindeststoßluftwechsel (lila Linie) ergeben sich in den Raumecken Oberflächenfeuchten, die gemäß den Berechnungen mit WUFI®-Bio gerade unterhalb der für Schimmelpilzbildung erforderlichen Wachstumsvoraussetzungen

Abbildung 4

Oben: Zeitverlauf der angenommenen Feuchteproduktion im Schlafzimmer einer gut gedämmten Wohnung ohne (links) und mit (rechts) Wäschetrocknung im Wohnraum.

Unten: Ermittelte zur Schimmelpilzvermeidung notwendige Dauerlüftung bzw. Stoßlüftung. Mit dargestellt ist der Infiltrationsluftwechsel.

Grafik: Fraunhofer IBP



liegen. Als grüne Linie ist der dabei angesetzte und im konstanten Mindestluftwechsel enthaltene Infiltrationsluftwechsel angegeben. Der Einfluss der erhöhten Feuchtebelastung durch Wäschetrocknen ist deutlich zu erkennen. Mit Wäschetrocknung reicht eine morgendliche Stoßlüftung nicht mehr aus, um Schimmelpilzbildung zu vermeiden; hier müssen dreimal täglich die Fenster geöffnet werden.

Fazit

Mit der vorgestellten Kombination von Raumklima- und Schimmelpilzprognosemodell besteht die Möglichkeit, erforderliche Luftwechsel zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung auf Bauteiloberflächen zu quantifizieren. Damit können Vorgaben für einzustellende Luftmengen in Lüftungstechnischen Anlagen bzw. Sollwerte der relativen Raumluftfeuchte bei bedarfsgeführten Systemen ermittelt werden. Für die freie Lüftung (Fensterlüftung) können Empfehlungen hinsichtlich der Lüftungsstrategie ausgesprochen werden; die sinnvolle Umsetzung durch den Nutzer muss dabei vorausgesetzt werden.

Literatur

- [1] Künzel, H.M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Dissertation Universität Stuttgart 1994.
- [2] DIN 4108-3: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Klimabedingter Feuchteschutz. Juli 2001.
- [3] DIN EN 15026: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation. Juli 2007.
- [4] Holm, A.; Radon, J.; Künzel, H. M.; Sedlbauer, K.: Berechnung des hygrothermischen Verhaltens von Räumen. WTA-Schriftenreihe (2004), H. 24, S. 81–94. Hrsg.: WTA-Publications, München.
- [5] Sedlbauer, K.: Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen. Dissertation Universität Stuttgart (2001).
- [6] Richter, W.; Hartmann, Th.: Mindestluftwechsel zur Verhinderung der Schimmelpilzbildung in Wohnungen. VDI-Berichte Nr. 1603, (2001), S. 121–130.