

# **Energieoptimiertes Bauen; Beurteilung der instationären hygrothermischen Vorgänge in Gebäuden - Deutsche Beteiligung an IEA-ECBXS-Annex 41: Whole building heat, air and moisture response "Moist-Eng"**

## **Einleitung**

Während auf dem Gebiet des hygrothermischen Bauteilverhaltens dank des IEA-Projektes Annex 24 "HAMTIE" große Fortschritte erzielt wurden und daraus auch praxisgerechte Werkzeuge entstanden sind, fehlen für die Beschreibung der Vorgänge in den Gebäuden noch viele grundlegende Erkenntnisse. Ziel des neuen Annexes 41 ist es, genaue Kenntnisse über den Wärme-, Feuchte und Lufthaushalt im Gebäude bzw. Gebäudehülle und dessen Auswirkungen auf Innenraumklima, Energieverbrauch (für Heizen, Kühlen, Luftbefeuchtung, Trocknung) und Dauerhaftigkeit der Gebäudehülle zu erhalten.

Im Rahmen des Projektes sollen neue Erkenntnisse über das Feuchteverhalten von verschiedenen Innenraummaterialien erarbeitet werden und des weiteren ist ein wesentlicher Punkt die Weiterentwicklung eines Softwaretools zur Simulation des Innenraumklimas unter Berücksichtigung der Interaktion zwischen Gebäudehülle und Raumklima durch Feuchte-, Temperatur- und Lufttransportvorgänge.

## **Vorgehensweise im Vorhaben**

Die methodische Vorgehensweise und Erarbeitung neuer Fragestellungen ergibt sich anhand des Projektaufbaus des internationalen IEA Annex 41-Projektes. Dieses Projekt teilt sich in vier Themengebiete auf, in denen verschiedenen Schwerpunkte gesetzt und untersucht werden. Die nachfolgende Aufstellung zeigt die Aufgaben- bzw. Themenverteilung:

Subtask 1: Modeling and common exercises

- Entwicklung von Softwaretools zur Simulation von Innenraumklimata, unter Berücksichtigung von hygrothermischen Randbedingungen.

- Validierung der entwickelten Softwaretools anhand von vorgegebenen Aufgabenstellungen bzw. Nachrechnung von durchgeführten Experimenten.

Subtask 2: Experimental verification

- Durchführung von Ringversuchen zur Ermittlung der feuchtetechnischen Kennwerte von Innenraummaterialien.

- Zusammentragen von vorhandenen Materialkennwerten

- Entwicklung von Messverfahren zur Bestimmung des Feuchtepufferverhaltens von Innenraummaterialien.

### Subtask 3: Boundary conditions

- Ermittlung von typischen Innenraumklimaverhältnissen, in Abhängigkeit von verschiedenen Klimazonen.

- Untersuchungen zur korrekten Ermittlung von Schlagregendaten

### Subtask 4: Applications

- Anwendung der ermittelten Erkenntnisse und Softwaretools bei bauphysikalischen Fragestellungen.

Im Rahmen des Projektes wurden am IBP für die verschiedenen Themenschwerpunkte Weiterentwicklungen, neuartige Messverfahren und die Umsetzung der erarbeiteten Ergebnisse in verschiedenen Forschungsarbeiten ermittelt.

## Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen des durchgeführten Projektes wurden verschiedene Arbeiten auf experimenteller Basis und Weiterentwicklung eines Softwaretools zur Simulation von hygrothermischen Bedingungen in Gebäuden und der angrenzenden Bauteile durchgeführt. Einige der experimentellen Untersuchungen dienen direkt für die Weiterentwicklung des Softwaretools WUFI<sup>®</sup>plus, andere zeigen Anwendungsbeispiele einer solchen Software und ein Teil der Untersuchungen zeigen Ergebnisse aus messtechnischer Sicht, die am bestehenden Gebäude durchgeführt wurden auf.

Die Grundidee zur Entwicklung eines hygrothermischen Gebäudesimulationstools entsteht durch die Annahme, dass eine Interaktion zwischen Gebäudehülle und -innerem besteht und die Feuchte- und Wärmeverhältnisse somit voneinander abhängig sind. Experimentelle Untersuchungen kosten heutzutage sehr viel Geld, benötigen viel Zeit und sind selten geeignet um Parameterstudien durchzuführen. Hierin liegt der Vorteil von numerischen Simulationen, denn diese erlauben durch meist einfache und schnelle Maßnahmen die Veränderung des Gebäudeaufbaus, des Bauteilaufbaus, die Eingabe von verschiedenen Außenrandbedingungen, sowie die Veränderung von Materialeigenschaften. Deshalb wurde im Rahmen des Projektes das Softwareprogramm WUFI<sup>®</sup>plus für die Simulation von Gebäuden und des Innenraumklimas weiterentwickelt und durch verschiedene Validationen erfolgreich getestet. Nichts desto trotz sollten noch weitere Validierungsberechnungen durchgeführt werden, um die Software weiter zu verbessern und die Genauigkeit belegen zu können.

Hygrothermische Gebäudesimulationstools sollen helfen energetische Simulationen durch die Berücksichtigung von Latentwärmeeffekten und Berechnungen von zeitlichen Verläufen in Abhängigkeit der Randbedingungen zu erweitern. Somit wird die Vorhersage des Innenraumklimas und der Oberflächenbedingungen in Gebäuden realistischer. Dies sind zwei wichtige Punkte bei der Betrachtung und Beurteilung der hygienischen und behaglichen Bedingungen. Des Weiteren können bessere Ergebnisse mit Vorhersagemodellen für Schimmelpilzwachstum und Korrosion ermittelt werden, da die Ergebnisse der hygrothermischen Simulationsberechnung realistischer sind als bei einfachen energetischen Systemen. Ein weiterer Vorteil eines hygrothermischen Gebäudesimulationstools ist, dass das Feuchtepufferverhalten von Materialien zur Beurteilung des sich einstellenden Innenraumklimas bei Nutzung von Klimaregelungsgeräten bei der Berechnung berücksichtigt wird. Bei denkmalgeschützten Gebäuden und Museen liegt hier ein großes

Anwendungsgebiet, da durch Simulationsberechnungen verschiedene Sanierungsmaßnahmen betrachtet und die beste Variante umgesetzt werden kann, was Kosten und Probleme reduzieren kann.

Die Umsetzung des hygrothermischen Softwaretools ist bisher noch nicht beendet. Es wurden erst einfache Fragestellungen mit der Realität verglichen. Bisher können nur eindimensionale Feuchte- und Wärmetransporte durch die Bauteile betrachtet werden, in Wirklichkeit findet aber ein-, zwei- bzw. dreidimensionaler Transport in Materialien statt. Das Modell bildet zum gegenwärtigen Zeitpunkt nur die Interaktion von Umschließungsflächen mit dem Raum in einer Zone ab. In realen Gebäuden interagieren aber auch unterschiedliche Zonen innerhalb des Gebäudes miteinander. Es findet ein Energie- und Massetransport durch Bauteile aber auch durch Luftbewegung in Abhängigkeit der jeweils herrschenden Bedingungen statt. Diese Zusammenhänge können noch nicht abgebildet werden.

Des Weiteren wird momentan von einem optimalen Luftaustausch bzw. - optimaler Durchmischung in Räumen ausgegangen. Die Berechnung von Undichtigkeiten und deren Einfluss auf den Luftwechsel in Gebäuden ist nicht möglich. Eine genaue Definition, wo die Undichtigkeiten bzw. Luftein- oder -auslässe von Lüftungsanlagen sind, wäre hierfür notwendig. Dieses Wissen ist in Betracht auf den Feuchtetransport und den Energieverbrauch in Gebäuden wichtig.

Massiven Einfluss auf das resultierende Raumklima in realen Gebäuden hat die verwendete Anlagentechnik. Die Art der durch die Anlagentechnik realisierten Wärme- und Feuchtequellen bzw. -senken bestimmen maßgeblich, wie sich das Raumklima einstellt. Momentan werden bei der Simulation durch das hygrothermische Gebäudesimulationstool nur die benötigten Heiz- bzw. Kühlenergien und die benötigten Be- und Entfeuchtungslasten ermittelt. Wie diese Lasten in den Raum eingebracht werden, das zeitabhängige Verhalten der Heizung, Kühlung, Be- und Entfeuchtung sowie der Lüftungsanlage und möglicher Steuerungen kann nicht betrachtet werden. Dies ist ein weiterer wichtiger Schritt auf dem Weg zu einer realitätsnahen instationären hygrothermischen Gebäudesimulation.

Die oben genannten notwendigen Erweiterungen der Software sind nur als wissenschaftlich fundiert zu betrachten, wenn entsprechende Validierungen vorliegen. Im Rahmen dieses Projektes konnten einige Validierungsfälle geschaffen werden, die der Überprüfung und Weiterentwicklung dienen können. Validierungsfälle für mehrzonale hygrothermische Modelle liegen nicht vor. Diese sind jedoch Grundvoraussetzung, um zu entwickelnde Modelle zu testen, zu überprüfen und zu verbessern. Das gleiche gilt für Modelle zur Abbildung der anlagentechnischen Ausrüstung der Gebäude. Rein thermische Validierungsfälle können der Literatur entnommen werden, das hygrothermische Zusammenwirken von feuchtepuffernden Raumumschließungsflächen und entsprechender Anlagentechnik ist noch durch Versuche zu unterlegen.

Um eine breite Akzeptanz und Anwendung der entwickelten Tools zu fördern ist es weiterhin notwendig, dem Nutzer Hilfen und Anleitungen an die Hand zu geben, um einerseits eine einfache Eingabe zu fördern und andererseits die berechneten Ergebnisse beurteilen zu können. Eine Unterstützung bei der Findung möglicher Aussagen über den Energieverbrauch, den Komfort im Raum und über die Schadensfreiheit der Gebäudehülle ist wünschenswert.

Hierzu ist es notwendig das Pre- und Postprocessing des Simulationstools entsprechend zu erweitern.

Ergebnisse, die man durch das hygrothermische Gebäudesimulationstool erhält sind derzeit deterministisch. Das heißt es werden feste Eingangsgrößen verwendet, die mit festgelegten mathematischen Zusammenhängen in feste Ergebnisse umgewandelt werden. In der Realität sind viele Eingangsgrößen Schwankungen unterworfen. Materialkennwerte schwanken produktionsbedingt, Klimarandbedingungen können nur durch eine wahrscheinliche Verteilung angegeben werden oder das Nutzerverhalten kann nur statistisch verteilt modelliert werden. Bezieht man diese Unsicherheiten mit ein, wäre eine Risikoanalyse bei der Berechnung möglich. Die Genauigkeit der Simulation kann abgeschätzt und die Bandbreite der Ergebnisse ermittelt werden.

Im Rahmen dieses Projektes konnte die Anwendbarkeit von hygrothermischer Gebäudesimulation gezeigt werden. Das existierende Softwaretool wurde verbessert und erweitert. Validierungsbeispiele wurden geschaffen, die die Funktionsfähigkeit der Software und die Genauigkeit entsprechender Berechnungen zeigen. Durch Anwendung der Software für verschiedene Fälle konnte der Nutzen und die Notwendigkeit einer hygrothermischen Gesamtgebäudebetrachtung gezeigt werden. Jedoch ist die im Rahmen dieses Projekts erfolgte Weiterentwicklung nur ein Schritt auf dem Weg zu einer realitätsnahen Simulation von Gebäuden.

Ein weiteres Ziel in der Entwicklung sollte es sein, das bestehende Modell auf ein mehrdimensionales und mehrzoniges Modell auszuweiten. Anlagentechnik muss in das Modell integriert werden. Validierungsfälle müssen geschaffen, das theoretische Modell mit den realen Messwerten verglichen werden. Eine Erweiterung des Modells um probabilistische Ansätze würde erweiterte Aussagen ermöglichen.