

H. M. Künzle, A. Holm, K. Sedlbauer

## Aktuelle Entwicklungen zum Feuchteschutz durch hygrothermische Modellierung

### Stand der Technik

Bereits seit einiger Zeit stehen dem Praktiker Verfahren zur instationären Berechnung des Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen zur Verfügung (z.B. MATCH [1], WUFI [2], Delfin vormals DIM [3]). Die steigende Anzahl von einschlägigen Fachveröffentlichungen zeigt, dass diese Verfahren zunehmend eingesetzt werden. Wegen der starken Einschränkungen der stationären Dampfdiffusionsbetrachtungen nach Glaser wird inzwischen auch in der Neufassung der DIN 4108-3 [4] zur Beurteilung von begrünten Dachkonstruktionen oder zur Berechnung der Austrocknung von Rohbaufeuchte auf diese instationären hygrothermischen Berechnungsmodelle verwiesen. Zur Qualitätssicherung der modernen Rechenverfahren und ihrer Nutzung wurden von der WTA (Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege) zwei Merkblätter erstellt, die dem Praktiker bei der Auswahl und Anwendung dieser Rechenverfahren helfen sollen. Darauf aufbauend wird zur Zeit auch ein entsprechender CEN-Normungsentwurf erarbeitet. Die Entwicklung der instationären Rechenverfahren ist jedoch nicht allein darauf ausgerichtet alte Beurteilungsmethoden zu ersetzen, sondern auch die Möglichkeiten des modernen Feuchteschutzes zu erweitern und andere Anwendungsgebiete zu erschließen. Im folgenden werden deshalb einige aktuellen Entwicklungen bzw. Tendenzen im Bereich der hygrothermischen Modellierung kurz skizziert.

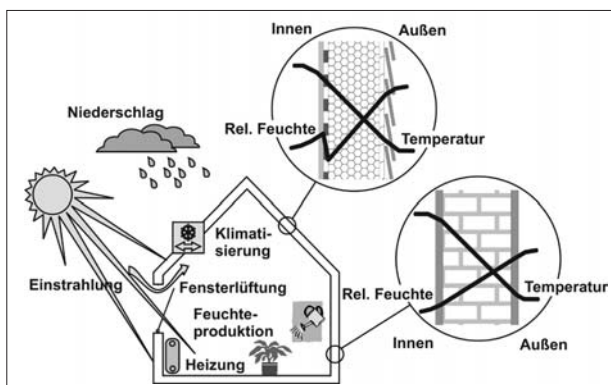


Bild 1: Schematische Darstellung zur hygrothermischen Gebäudeberechnung unter Berücksichtigung der hygrothermischen Wechselwirkung zwischen Raumluft und Gebäudehülle.

### Aktuelle Modell-Entwicklungen

Häufig reicht die detaillierte Kenntnis des hygrothermischen Bauteilverhaltens allein nicht aus, um Aussagen zur Gebrauchstauglichkeit machen zu können. Dazu sind spezielle Beurteilungskriterien bzw. Bewertungsmodelle erforderlich, die aus den instationären Temperatur- und Feuchteverläufen Aussagen zur Dauerhaftigkeit und zum Schadensrisiko ableiten können. Hier steht die Bauphysik am Anfang einer Entwicklung, die in Zukunft für eine deutlich bessere feuchtechnische Beurteilung und damit auch Schadensprävention im Bauwesen sorgen wird. Die zur Zeit international verfolgten Entwicklungen betreffen zum einen die Verbesserung der Bauteilberechnung durch Implementierung stochastischer Ansätze und Einbindung zusätzlicher Transportmodelle, wie z.B. Salztransportansätze oder Modelle, die die zeitliche Veränderung der Materialeigenschaften durch physikalische (Quellvorgänge, Auswaschung) oder chemische (Karbonatisierung, Hydratation) Prozesse sowie durch natürliche Alterung beschreiben. Zum anderen werden die bestehenden Verfahren mit anderen Modellen verknüpft, wie z.B. mit der Berechnung des energetischen Gebäudeverhaltens oder Ansätzen zur mechanischen Festigkeit.

### Stochastische Modelle

Ein wichtiger Aspekt für die rechnerische Feuchteschutzbeurteilung ist der Einfluss der Eingangsparameter - d.h. der Klima- und Materialdaten - auf die Rechenergebnisse. Durch stochastische Sensitivitätsanalysen soll eine Aussage über Bandbreite und Zuverlässigkeit der rechnerischen Prognosen erreicht werden. Auf diese Weise können auch die für den betrachteten Fall dominanten Einflussparameter von weniger wichtigen differenziert werden. Da nur für die dominanten Parameter möglichst genaue Angaben erforderlich sind, wird der Aufwand für die Zusammenstellung bzw. Ermittlung der Eingangsparameter reduziert. Eine genaue Beschreibung der stochastischen Vorgehensweise und deren Ergebnisse sind in [5] zu finden.

### Strömungsmechanische Modelle

In Belüftungsebenen von Bauteilen finden Konvektionsvorgänge statt, die von Auftriebskräften oder durch die windbedingte Gebäudeanströmung hervorgerufen werden. Vor allem in hohen Gebäuden kann das hygrothermische Verhal-

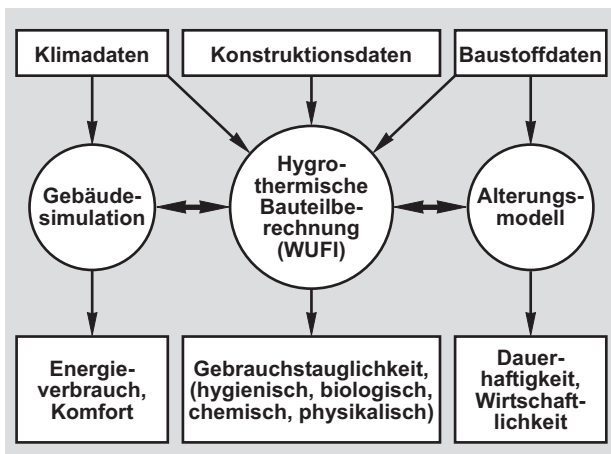


Bild 2: Verknüpfung der Modelle zur hygrothermischen Modellierung und Ergebnisverarbeitung.

ten von Außen- und Innenbauteilen auch durch Raumluftströmungen beeinflusst werden. Zur Modellierung solcher Vorgänge muss die hygrothermische Bauteilberechnung mit modernen Strömungssimulationsmodellen, den sog. CFD-Modellen (Computational Fluid Dynamics) verknüpft werden. Einfache Darcy-Ansätze, wie sie bisher in Bauteilberechnungsmodellen üblich sind, reichen nicht aus, um die komplexen Strömungsverhältnisse korrekt zu erfassen.

### Modelle zur hygrothermischen Gebäudeberechnung

Ein internationaler Schwerpunkt ist die Verknüpfung der hygrothermischen Bauteilberechnung und der Berechnung des energetischen Gebäudeverhaltens, durch die in Bild 1 dargestellte Kopplung von Raum und Gebäudehülle. Die sog. hygrothermische Gebäudeberechnung ermöglicht eine Analyse der Wärme- und Feuchte-Wechselwirkungen zwischen dem Gesamtgebäude und seinen Bauteilen, 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 Bauteiltemperierung oder Nachtabsenkung). Ein wesentlicher Zweck dieser Entwicklung ist die Schaffung von Planungswerkzeugen zur Reduzierung des Energieaufwandes in Gebäuden. Durch gezielte Nutzung des Wärme- und Feuchtespeichervermögens der Gebäudemasse oder spezieller Einbauten sollen Raumklimaschwankungen soweit wie möglich begrenzt werden. Ähnliches gilt für die Temperierung temporär genutzter Gebäude. Bei richtiger Auslegung und Steuerung kann dort der Energieeinsatz auf das zum Erhalt der Bau-substanz notwendige Minimum beschränkt werden.

### Biohygrothermische Modelle

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 Kenntnis der hygrothermischen Bedingungen und deren zeitlicher Veränderung mit Hilfe eines neuartigen biohygrothermischen Modells eine Wachstumswahrscheinlichkeit für Schimmelpilze abgeleitet werden. Details zu diesem Modell,

das bereits mehrfach erfolgreich zur Beurteilung von Schimmelpilzschäden angewandt wurde, sind in [6] enthalten. Ähnliche Modelle werden derzeit auch zur Prognose von Algenwachstum auf Fassaden entwickelt

### Auswertemodelle (Ergebnisverarbeitung)

Die Ergebnisse der hygrothermischen Gebäude- oder Bauteilberechnung zeigen die in der Praxis auftretenden instationären Temperatur- und Feuchtefelder sowie Wärme- und Feuchteströme auf. Wie in Bild 2 skizziert lassen sich daraus in Verbindung mit weiteren Modellansätzen Rückschlüsse auf das energetische Verhalten und die Ökobilanz der untersuchten Bauprodukte ziehen. Beispielsweise sind die feuchtebedingten Transmissions- oder Latentwärmeverluste sowie die erforderlichen Lüftungs-raten zum Abführen der Feuchte über die Nutzungsdauer eines Gebäudes bilanzierbar. Solche Ergebnisse können dann auch in die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit einfließen.

### Ausblick

Von großer praktischer Bedeutung ist die Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit von Baustoffen und Bauteilen in Abhängigkeit von ihren hygrothermischen Beanspruchungen. Wie die Bauschadensforschung zeigt, kann die Gebrauchstauglichkeit durch Frost, Salzsprenghwirkung, Fäulnis oder Korrosion sowie durch hygrothermische Materialermüdung beeinträchtigt werden (Bild 2). Entsprechende Auswertemodelle müssten in der Lage sein, aus den lokalen Temperatur- und Feuchteverhältnissen im Bauteil Schadenswahrscheinlichkeiten abzuleiten, die unter Berücksichtigung eines Sicherheitszuschlages Aussagen zur Gebrauchstauglichkeit des untersuchten Bauteils zulassen.

Die hygrothermischen Wechselbeanspruchungen von Bauteilen führen zu einer langfristigen Veränderung der Materialien. Dieser Alterungsprozess kann durch chemische Umwandlung oder auch durch physikalische Vorgänge wie z.B. das Auswaschen oder Ausgasen von Baustoffbestandteilen vorstatten gehen. Häufig ist mit der Alterung eine Veränderung der hygrothermischen Stoffeigenschaften verbunden, was dann wiederum das instationäre Temperatur- und Feuchteverhalten des betrachteten Bauteils beeinflusst. Durch die Integration von Alterungsfunktionen in die hygrothermische Bauteilsimulation sollen langfristige Prognosen unter Praxisbedingungen ermöglicht werden.

### Literatur

- [1] Rode Pedersen, C. Combined heat and moisture transfer in building constructions. Diss. TU Denmark 1990.
- [2] Künzel, H.M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Diss. Univ. Stuttgart 1994.
- [3] Grunewald, J.: Diffusiver und konvektiver Stoff- und Energie-transport in kapillarporösen Baustoffen. Diss. TU Dresden 1997.
- [4] DIN 4108-3: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Klimabedingter Feuchteschutz. Juli 2001.
- [5] Holm, A.: Ermittlung der Genauigkeit von instationären hygrothermischen Bauteilberechnungen mittels eines stochastischen Konzeptes. Diss. Universität Stuttgart 2001.
- [6] Sedlbauer, K.: Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen. Dissertation Universität Stuttgart 2001



**Fraunhofer**  
Institut  
Bauphysik

## FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR BAUPHYSIK (IBP)

Leiter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. mult. Dr. E.h. mult. Karl Gertis  
D-70569 Stuttgart, Nobelstr. 12 (Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart), Tel. 07 11/9 70-00  
D-83626 Valley, Fraunhoferstr. 10 (Postfach 11 52, 83601 Holzkirchen), Tel. 0 80 24/6 43-0