

WUFI® in Normen, Richtlinien und unabhängigen Veröffentlichungen

Beate Stöckl
Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Holzkirchen, Germany
Stand: April 2022

Das am Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) entwickelte und an Freiland- und Labordaten weltweit validierte Rechenverfahren WUFI® (**W**ärme **u**nd **F**euchte **i**nstationär) erlaubt die realitätsnahe Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen unter natürlichen Klimabedingungen. WUFI® basiert auf den neuesten Erkenntnissen in Bezug auf Dampfdiffusion und Flüssigtransport in Baustoffen. Das Programm arbeitet sowohl mit Standardstoffkennwerten als auch mit einfach zu bestimmenden Speicher- und Flüssigtransportfunktionen.

Die Beurteilung einer Konstruktion mit dem hygrothermischen Simulationsverfahren WUFI® entspricht dem Stand und den anerkannten Regeln der Technik.

1 WUFI® in Normen und Richtlinien

1.1 Internationale Regelungen:

Die europäische Norm **EN 15026:2007-07** „Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulationen“ [1] regelt die Verwendung hygrothermischer Simulationen zur Bauteilbeurteilung europaweit. Diese basiert weitgehend auf dem WTA-Merkblatt 6-2 von 2001. Die Norm stellt bezüglich der verwendeten Simulationsmodelle und der erzielten Rechengenauigkeit Kriterien auf, welche von hygrothermischer Simulationssoftware erfüllt werden sollten. Diese Kriterien werden von allen WUFI®-Programmen erfüllt.

Die **WTA-Merkblätter 6-1-01** „Leitfaden für die hygrothermische Simulationsberechnung“ [2], **6-2-14** „Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse“ [3] und **6-3-05** „Rechnerische Prognose des Schimmelpilzwachstumsrisikos“ [4] stellen die Grundlage dar für die Feuchteschutzbeurteilung durch hygrothermische Simulationen bei der Altbauanierung und im Neubau.

Auch in folgenden Normen und Richtlinien wird auf das Programm verwiesen oder die zugrundeliegende Dissertation von Dr. Künzel zitiert:

- **ASTM International**: Moisture Analysis and Condensation Control in Building Envelopes [5]
- **ASHRAE Handbook – Fundamentals** [6]

- **ANSI/ASHRAE Standard 160-2016:** Criteria for Moisture-Control Design Analysis in Buildings [7]

1.2 Nationale Regelungen - Deutschland:

Die **DIN 4108-3:2018-10** „Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz – Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung“ [8] enthält ein 3-stufiges Bemessungskonzept zur Feuchteschutzbeurteilung:

1. Nachweisfreie Konstruktionen
2. Nachweis mithilfe des Periodenbilanzverfahrens (nach Glaser)
3. Nachweis mithilfe der hygrothermischen Simulation

Die Anwendung der Stufen 1 und 2 ist ausschließlich für nicht klimatisierte Wohn- oder wohnähnlich genutzte Gebäude zulässig. Das Berechnungsverfahren von Diffusionsvorgängen nach Glaser ist außerdem nicht anwendbar zur Berechnung

- von begrünten Dachkonstruktionen
- von erdberührten Bauteilen
- des Austrocknungsverhalten, wie z.B. im Fall der Abgabe von Rohbaufeuchte oder nach Aufnahme von Niederschlagswasser
- von nachträglichen Innendämmungen mit $R > 1,0 \text{ m}^2\text{K/W}$ auf einschaligen Außenwänden mit ausgeprägten sorptiven und kapillaren Eigenschaften
- von nicht belüfteten Holzdachkonstruktionen mit Abdichtung

Für diese Fälle, sowie für alle Anwendungsbereiche, die durch die DIN EN 15026 [1] abgedeckt sind oder solche, die beim Nachweis nach Stufe 2 durchfallen, können zur Feuchteschutzbeurteilung hygrothermische Simulationen nach Anhang D (Stufe 3) durchgeführt werden.

Entsprechend **DIN 68800-2** „Holzschutz - Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau“ [9] ist beim Nachweis mit numerischen Simulationsverfahren nach DIN EN 15026 [1] der konvektive Feuchteintrag bei Leichtbaukonstruktionen entsprechend der geplanten Luftdurchlässigkeit in Rechnung zu stellen. Dies kann in WUFI® über das Infiltrationsmodell des IBP berücksichtigt werden.

1.3 Nationale Regelungen - Österreich:

Die **ÖNORM B 8110-2:2020-01** „Wärmeschutz im Hochbau - Teil 2: Wasserdampfdiffusion, -konvektion und Kondensationsschutz“ [10] enthält nachweisfreie Konstruktionen, ein detailliertes Rechenverfahren und ein einfaches Rechenverfahren, um schadensverursachende Kondensation beziehungsweise Schimmelbildung zu vermeiden.

Abschnitt 8 - Nachweisfreie Konstruktionen: Für Bauteile gemäß Abschnitt 8 darf ein rechnerischer Nachweis der schadensverursachenden Kondensation im Bauteil entfallen.

Bei Nichteinhaltung der in Abschnitt 8 angeführten Kriterien darf ein Nachweis nach Abschnitt 10 erfolgen oder alternativ nach Abschnitt 11, aber nur, wenn dies ausdrücklich angegeben ist.

Abschnitt 10 - Regelnachweis mit hygrothermischer Simulation für Feuchte im Bauteil und an den Oberflächen: Zur Nachweisführung durch numerische Simulation wird auf die EN 15026 verwiesen - diese ist uneingeschränkt für alle Bauteile gültig. Eine positive Beurteilung einer Baukonstruktion nach Abschnitt 10 bedeutet, dass Nachweise nach Abschnitt 11 bedeutungslos sind.

Abschnitt 11 - Vereinfachter Nachweis mit Glaser für dampfdiffusionsbedingte Feuchte im Bauteil: Hier wird auf die EN 13788 verwiesen. Der vereinfachte Nachweis ist nur zulässig, wenn es in Abschnitt 8 explizit angegeben ist. Flachdächer können nicht mit dem vereinfachten Rechenverfahren nachgewiesen werden.

1.4 Nationale Regelungen - Schweiz:

In der Schweizer Norm **SIA 180:2014** „Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden“ [11] kann zur Verhinderung von unzulässiger Feuchte in Bauteilen durch Diffusions- und Kapillarprozesse ein vereinfachter Nachweis oder ein Nachweis durch Berechnung geführt werden. Beim vereinfachten Nachweis sind verschiedene Konstruktionen aufgeführt, die bei normaler Wohn- und Arbeitsnutzung nachweisfrei sind. Der Nachweis durch Berechnung teilt sich in das Nachweisverfahren nach Glaser und das Nachweisverfahren durch numerische Simulation. Ein Nachweis mit dem Glaserverfahren ist nicht zulässig für Konstruktionen mit diffusionsdichter Außenschicht oder für Baustoffe, deren Dampfdurchlässigkeit sich entsprechend der Raumluftfeuchte stark ändert. Hier wird auf einen Nachweis gemäß EN 15026 verwiesen.

Entsprechend dem **Merkblatt „Feuchteschutz bei Flachdächern in Holzbauweise“** des Verbands Schweizer Gebäudehüllen-Unternehmungen [12] können heute ausgeführten Flachdächer zusammenfassend in folgende 3 Grundtypen eingeteilt werden:

- I: unbelüftete Flachdächer mit der Wärmedämmung über der Holztragkonstruktion
- II: Flachdächer mit einer Durchlüftung unterhalb der Abdichtung
- III: unbelüftete Flachdächer mit der Wärmedämmung innerhalb der Tragkonstruktion

Die beiden Flachdachtypen I und II sind bei fachgerechter Planung und Ausführung feuchte-technisch unproblematisch. Der Dampfdiffusionsnachweis kann normgerecht nach Glaser (SIA 180 [11]) erfolgen. Beim Flachdachtyp III ist das Glaserverfahren nicht zulässig – hier muss der Nachweis der feuchtetechnischen Funktionstüchtigkeit mit speziellen und validierten Simulationsprogrammen wie z.B. WUFI® erfolgen.

2 WUFI® in unabhängigen Veröffentlichungen

Außer von unseren Kooperationspartnern wird WUFI® von zahlreichen Universitäten, Forschungseinrichtungen und Ingenieurbüros für Forschung, Planung und Begutachtung eingesetzt. Eine kleine Auswahl der Veröffentlichungen aus diesen Quellen ist in der folgenden Liste aufgeführt:

- 1) Kordziel, S., et al. (Colorado School of Mines, USA): Hygrothermal characterization and modeling of cross-laminated timber in the building envelope. *Building and Environment* (2020) 177.
- 2) Juras, P. (University of Zilina, Slovakia): Impact of diffuse solar radiation on HAM simulation accuracy. *MATEC Web of Conferences, CESBP* (2019) 282.
- 3) Arregi, B. (TECNALIA Research & Innovation, Spain): Exploring the interplay of climate and hygrothermal risk for insulated wall assemblies in the Iberian peninsula. *Construction Pathology, Rehabilitation Technology and Heritage Management* (2018) p. 1684-1693.
- 4) Vertal, M., et al. (Technical University of Košice, Slovakia): Hygrothermal initial condition for simulation process of green building construction. *ENERGY and BUILDINGS* (2018) 167, p. 166-176.
- 5) Vertal, M., et al. (Technical University of Košice, Slovakia): Fallstudie zum Trocknungsverhalten von Außenwandkonstruktionen aus Porenbeton mit Wärmedämmverbundsystem. *Bauphysik* (2016) 36, p. 378-388.
- 6) Mundt-Petersen, O., Harderup, L.-E. (Lund University, Sweden): Predicting hygrothermal performance in cold roofs using a 1D transient heat and moisture calculation tool. *Building and Environment* (2015) p. 215-231.
- 7) Villmann, B., et al. (Universität Leipzig): Time-dependent Moisture Distribution in Drying Cement Mortars - Results of Neutron Radiography and Inverse Analysis of Drying Tests. *Restoration of Buildings and Monuments* (2014) 1, p. 49-62.
- 8) Capener, C.-M., et al. (Technical Research Institute of Sweden): Hygrothermal Performance of TES Energy Façade at two European residential building demonstrations - Comparison between Field Measurements and Simulations. *Lund University 2014 – Proc. 10th Nordic Symposium* (2014).
- 9) Ueno, K. (senior associate at Building Science Corporation, USA): Residential Exterior Wall Superinsulation Retrofit Details and Analysis. *Buildings XI Conference* 2010.
- 10) Dalehaug, A., Aunronning, O., Time, B. (Norwegian University of Science and Technology and Norwegian Building Research Institute, Norway): Measurement of water retention properties of plaster. A parameter study of the influence on moisture balance of an external wall construction from variations of this parameter. *Proceedings of the 7th Symposium 2005*, p. 94-101.
- 11) Oustad, M., Gustavsen, A., Uvslokk, S. (Norwegian University of Science and Technology, Norway): Calculation of Moisture and Heat Transfer in Compact Roofs and Comparison with Experimental Data. *Proceedings of the 7th Symposium 2005*, p. 632-640.

- 12) Ghazi Wakili, K., Frank, Th. (EMPA Zürich): A Humidity Dependent Vapour Retarder in Non-ventilated Flat Roofs. In Situ Measurements and Numerical Analysis. Indoor and Built Environment (2004) 13, p. 433-441.
- 13) Straube, J.F., Schumacher, C.J. (Waterloo University, Canada): Hygrothermal Enclosure Models: A Comparison with Field Data", Proc. of 2nd Int. Conf. on Building Physics, Leuven, Belgium, Sept. 14-18, 2003, pp. 319-326.
- 14) Kalamees, T., Vinha J. (Tallinn Technical University, Estonia und Tampere University of Technology, Finland): Hygrothermal calculations and laboratory tests on timber-framed wall structures. Building and Environment 38 (2003) pp. 689-697.
- 15) Jooß, M. (Universität Stuttgart): Berechnung des Feuchteverhaltens von Betonspeicherwänden ohne und mit Rissen. Bauphysik 24 (2002) Heft 3, S. 161-166.

3 Literaturverzeichnis

- [1] DIN EN 15026: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation. Juli 2007, Beuth Verlag, Berlin.
- [2] WTA-Merkblatt 6-1-01/D: Leitfaden für die hygrothermische Simulationsberechnung. Mai 2002.
- [3] WTA-Merkblatt 6-2-14/D: Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse. Dezember 2014.
- [4] WTA-Merkblatt 6-3-05/D: Rechnerische Prognose des Schimmelpilzwachstumsrisikos. April 2006.
- [5] ASTM (American National Standards Institute) Manual 40: Moisture Analysis and Condensation Control in Building Envelopes, H.R. Trechsel (Hrsg.), West Conshohocken, PA, 2001.
- [6] ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) Handbook – Fundamentals. Chapter 25 to 27: Building Envelope – Heat, Air and Moisture Control in Building Assemblies. 2021.
- [7] ANSI/ASHRAE Standard 160-2016: Criteria for Moisture-Control Design Analysis in Buildings. 2016.
- [8] DIN 4108-3: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz – Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung. Oktober 2018, Beuth Verlag, Berlin.

- [9] DIN 68800-2: Holzschutz - Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau. Februar 2012, Beuth Verlag, Berlin.
- [10] ÖNORM B 8110-2: Wärmeschutz im Hochbau – Teil 2: Wasserdampfdiffusion, -konvektion und Kondensationsschutz. Januar 2020.
- [11] SIA 180: Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden. Juli 2014.
- [12] Verband Schweizer Gebäudehüllen-Unternehmungen: Feuchteschutz bei Flachdächern in Holzbauweise. Technische Kommission Flachdach. Merkblatt FD 02/07. März 2018.