

Nicht stationäre Simulation von hygrothermalen Aspekten einer Dampfsperrenmembran in Holzwohnbauten

Tatsuaki Tanaka und Lei Yumoto

Die Autoren haben ein gemeinsames Forschungsprojekt mit dem *Fraunhofer*-Institut für Bauphysik durchgeführt. Hierbei konnte bestätigt werden, dass das vor allem durch *Hartwig Künzel* vom *Fraunhofer*-Institut für Bauphysik entwickelte Programm zur gleichzeitigen Analyse von nicht stationären Temperatur- und Feuchtigkeitsverläufen WUFI sich auch für die Analyse von japanischen Holzgebäuden verwenden lässt.

1. Einleitung

Die Kondenswasserbildung im Innern von Gebäuden, besonders in Gebäudeaußenwänden, ist ein ernstes Problem, weil sie zu Schimmelbildung oder Korrosion von Baumaterialien führt und sie die Wärmedämmung herabsetzen kann; bei Wohngebäuden aus Holz besteht die Gefahr, dass leicht verderbliches Bauholz angegriffen wird. Der Schutz vor Kondenswasserbildung dieser Art ist daher eine besonders wichtige Maßnahme zum Erhalt von Gebäuden und zur Einsparung von Energie.

In Japan sind in den letzten Jahren Gebäude zunehmend gegen Luft- und Wärmeverluste geschützt worden. Besonders auf Hokkaido und in vergleichbar kalten Gebieten wird dazu in Holzbauten gewöhnlich eine Dampfsperrenmembran verwendet, die der Kondenswasserbildung im Innern vorbeugen soll. Die Topographie Japans mit vielen Gebirgen, Ebenen und regionalen Klimaunterschieden ist allerdings außerordentlich vielfältig, deshalb kann eine regional geeignete Gebäudestruktur in einer anderen Region nicht sinnvoll sein. Für die Planung von Gebäuden wäre die Kenntnis regional geeigneter Strukturen sehr hilfreich.

Zur Simulation des Verhaltens von Gebäudestrukturen können stationäre Berechnungen verwendet werden. Bei diesen Berechnungen werden aber die Beziehungen zwischen Wärme und Feuchte, Wasserspeicherfähigkeit der Materialien, Flüssigkeitstransport, Sonneneinstrahlung und der Einfluss des auf die Oberfläche auftreffenden Regens nicht berücksichtigt. Deshalb kann man damit das wichtige Phänomen der Sommerkondenswasserbildung oder die Ansammlung von Feuchtigkeit nicht erfassen.

In WUFI, einem Programm zur gleichzeitigen Analyse von Wärme- und Feuchtedatenverläufen, wurde dieser Mangel behoben. Detailliert können hier Gebäudestrukturen und Klimadaten eingestellt werden, so dass die Software einen breiten Anwendungsbereich abdeckt. Mit dem Ergebnis der Simulation kann entschieden werden, ob eine entsprechende Struktur für regionale Klimate geeignet ist oder nicht.

Zur Verifizierung der Ergebnisse dieser nicht stationären Simulationen wurden Versuche im kalten Klima Sapporos, im feuchtwarmen Klima Nahas und im dazwischen liegenden Klima Tokios durchgeführt mit dem Ziel, den Einfluss von Dampfsperrenmembranen auf Feuchte- und Wärmebedingungen in Wänden von Wohnholzbauten zu ermitteln. Die Ergebnisse sind in dieser Arbeit dargestellt.

2. Methode

2.1 Programm

Die Simulationen wurden mit dem Programm „WUFI Pro 4.0 for Japan“ des *Fraunhofer* Instituts für Bauphysik durchgeführt, es kann gleichzeitig Änderungen von Feuchte- und Wärmewerten berücksichtigen.

2.2 Klimabedingungen

In *Tabelle 1* und *Bild 1* sind die Temperatur- und Luftfeuchtwerte der entsprechenden Gebiete im Freien sowie der zeitliche Verlauf der Temperatur- und Luftfeuchtwerte im Gebäude angegeben.

Als Testorte wurden das kalte Sapporo, das feuchtwarme Naha und das räumlich wie klimatisch dazwischen liegende Tokio ausgewählt.

Tabelle 1. Außentemperatur und relative Luftfeuchtigkeit in den 3 Großstädten.

Versorgungsart	Stadt	Mittelwert	Maximum	Minimum
Temperatur (°C)	Sapporo	8,9	32,6	-13,2
	Tokio	16,1	35,3	-0,8
	Naha	22,7	32,7	10,9
Relative Feuchtigkeit (%)	Sapporo	71	100	26
	Tokio	62	100	17
	Naha	75	100	33

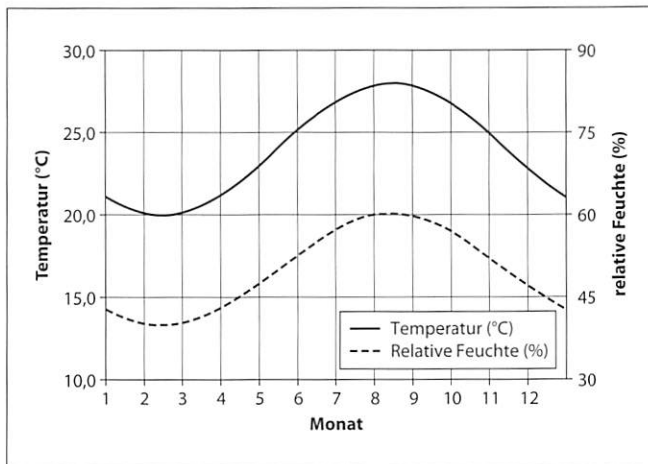


Bild 1. Einstellung der Zimmertemperatur und Luftfeuchte.

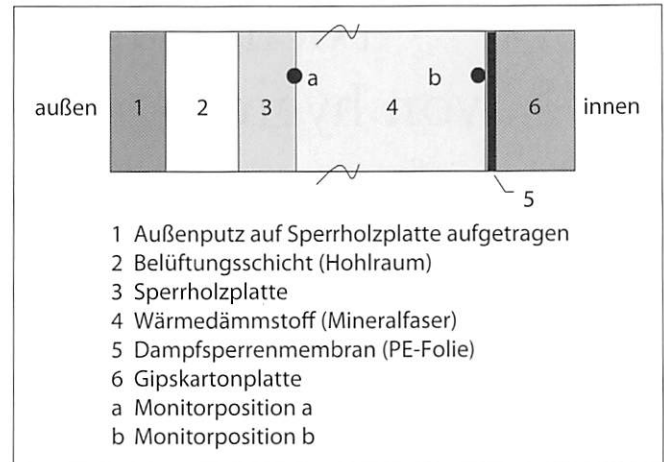


Bild 2. Aufbau der Wand im Schnitt und Messpunkte für Temperatur und Feuchtigkeit.

Zur Einstellung der Klimabedingungen wurden erweiterte AMeDAS-Klimadaten (Japanische wissenschaftliche Gesellschaft der Architektur) für WUFI verwendet.

Die Kurven von Zimmertemperatur und relativer Luftfeuchte wurden durch je zwei Grenzwerte festgelegt: die minimalen Werte von 20°C und 40% am 15. Februar und die maximalen Werte von 28°C und 60% am 15. August.

2.3 Struktur

In Bild 2 werden der für die Analysen verwendete Wandaufbau im Schnitt und die Messpunkte für Temperatur und Feuchtigkeit dargestellt, in Tabelle 2 die Materialwerte der einzelnen Baumaterialien.

Von außen sieht der Wandaufbau folgendermaßen aus: Sperrholzplatte (1), Lüftungsschicht (2), Sperrholzplatte (3), Wärmedämmstoff (4) (Mineralfaser), Dampfsperrenmembran (5) und Gipsplatte (6). In diesem Fall wurden in der Lüftungsschicht die gleichen Änderungen wie in der Außenluft angenommen [2].

Entsprechend wurde für die Analysen festgelegt, dass die Sperrholzplatte als außen liegende Schicht mit der Außenluft in Kontakt kommt, aber kein Regenwasser aufnimmt, da der Regen nicht direkt auftrifft.

Als Dampfsperrenmembran wurde eine PE-Folie verwendet, die zwischen Wärmedämmstoff und Gipsplatte eingebracht wurde. Im Folgenden wird die Verwendung einer Dampfsperrenmembran durch die Formulierung „mit PE-Folie“ ausgedrückt, andernfalls durch „ohne PE-Folie“.

Die Monitorposition_a liegt an der Grenzfläche von Wärmedämmstoff (Außenseite) und Sperrholzplatte_2, die Monitorposition_b an der Grenzfläche von PE-Folie (Außenseite) und Wärmedämmstoff (Innenseite).

2.4 Weitere Bedingungen

Zu Beginn der Versuche wurde für die Gesamtstruktur der Wand als Ausgangswert ein Wassergehalt zugrunde gelegt, wie er sich bei einer Temperatur von 20°C und 80% relativer Luftfeuchtigkeit einstellt.

Um den Wassergehalt über einen längeren Zeitraum zu kontrollieren, dauerten die Messungen 3 Jahre an.

Untersucht wurde ein Gebäude mit Ausrichtung nach Süden, und einer Höhe von 10 m.

2.5 Beurteilungsmaßstab

Wenn im Laufe der Jahre der Wassergehalt der Wandstruktur zunimmt und sich Wasser ansammelt, wird diese Struktur als ungeeignet beurteilt.

In Kenntnisnahme der DIN 4108-3 zu Feuchtigkeit in Gebäuden, wonach in der Gesamtstruktur nicht mehr Wassergehalt als 1,0 kg/m² enthalten sein darf [4], wurde zunächst bestätigt, dass der Ausgangswert diesen Grenzwert nicht überschritt [4].

Die relative Luftfeuchtigkeit betreffend wurde auch untersucht, ob die Gefahr der Schimmelpilzbildung bestand, die ein Ausdruck lang anhaltender, hoher Luftfeuchte oder von Kondenswasserbildung ist.

Tabelle 2. Materialwerte der jeweiligen Baumaterialien.

	Sperrholzplatte	Mineralfaser	Polyethylen-Folie	Gipskartonplatte
Rohdichte (kg/m ³)	500	60	130	850
Porosität (m ³ /m ³)	0,5000	0,9500	0,0001	0,6500
Wärmekapazität trocken (J/kgK)	1500	850	2300	850
Wärmeleitfähigkeit trocken (W/mK)	0,10	0,04	2,30	0,20
Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl (-)	700,0	1,3	500000,0	8,3

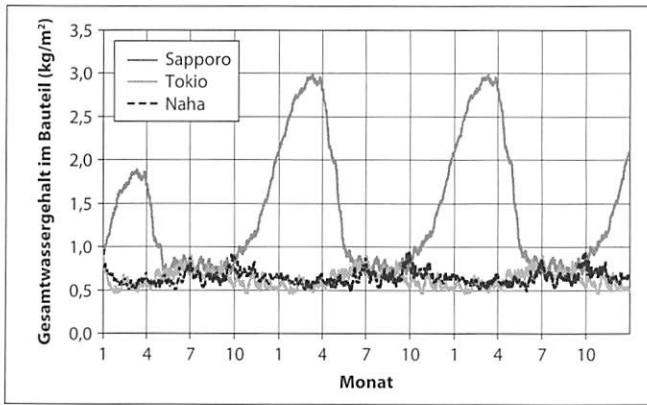


Bild 3. Wassergehalt in der Gesamtstruktur, ohne PE-Folie.

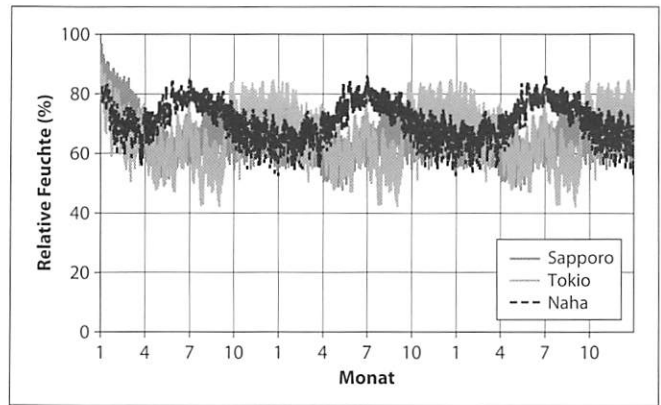


Bild 5. Verlauf der relativen Feuchte an der Monitorposition a, mit PE-Folie.

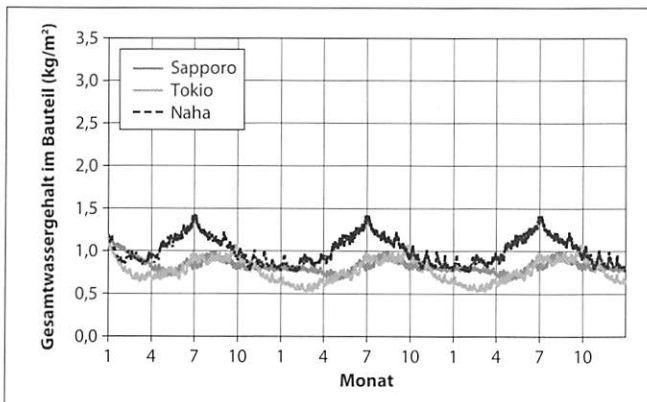


Bild 4. Wassergehalt in der Gesamtstruktur, mit PE-Folie.

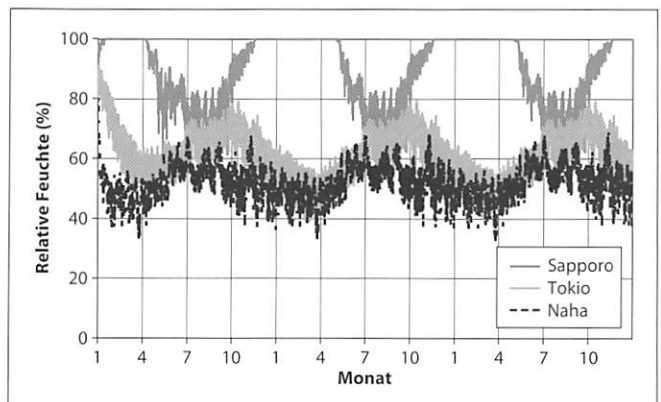


Bild 6. Verlauf der relativen Feuchte an der Monitorposition a, ohne PE-Folie.

3. Ergebnisse und Interpretation

3.1 Wassergehalt

Bild 3 zeigt die Änderung des Wassergehalts der Gesamtstruktur ohne PE-Folie, Bild 4 die Änderung des Wassergehalts mit PE-Folie (jeweils in kg/m^2).

In Sapporo konnten in der Wandstruktur ohne PE-Folie im zweiten Jahr erhöhte Feuchtigkeitswerte gemessen werden, deshalb ist eine Ansammlung von Wasser im Laufe der Jahre denkbar. Zwischen Sommer und Winter wurde weiterhin ein Unterschied im Wassergehalt von etwa $5 \text{ kg}/\text{m}^2$ festgestellt. Damit wird der Richtlinienwert überschritten, der maximal $1,0 \text{ kg}/\text{m}^2$ Kondenswasser zulässt. Entsprechend konnte bestätigt werden, dass in Sapporo zur Feuchtigkeitsabwehr der Einbau einer PE-Folie als Dampfsperrenmembran wirksam ist.

3.2 Änderungen der relativen Feuchte

In Bild 5 ist die Änderung der relativen Feuchte an der Monitorposition a bei Verwendung einer PE-Folie dargestellt, in Bild 6 die Änderung der relativen Feuchte an gleicher Position ohne Verwendung der Folie.

In Bild 7 ist die Änderung der relativen Feuchte an der Monitorposition b, d. h. an der äußeren Fläche der PE-Folie und der inneren Fläche des angrenzenden Wärmedämmstoffs, dargestellt.

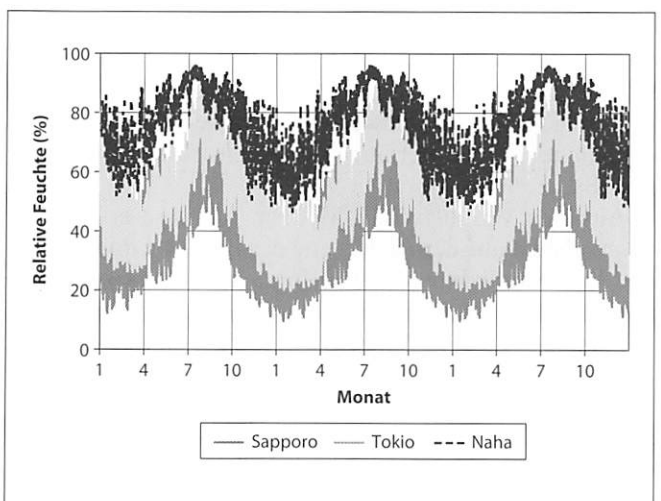


Bild 7. Verlauf der relativen Feuchte an der Monitorposition b, mit PE-Folie.

In Sapporo betrug die relative Feuchte an der Monitorposition a ohne PE-Folie in den Wintermonaten von Januar bis April 100 %, so dass die Gefahr der Kondenswasserbildung bestand.

Bei Verwendung einer PE-Folie überschreitet in Naha die relative Feuchte an der Monitorposition b von April bis Oktober den Wert von 80 %, in Tokio von Juli bis September, so dass in dieser Zeit dort die Gefahr der Schimmelpilzansiedlung bestand.

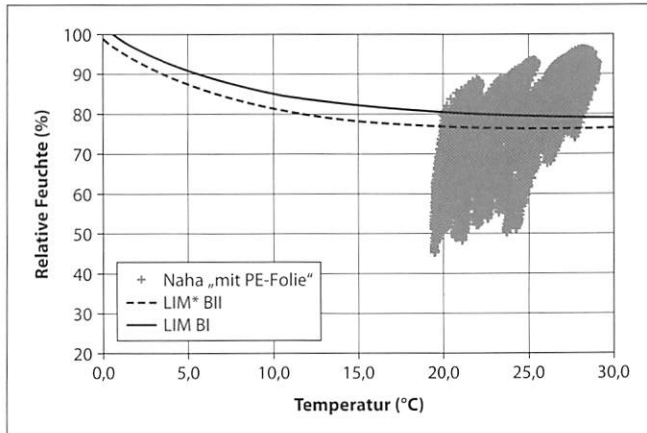


Bild 8. Schimmelgefahr an der Monitorposition b in Naha, mit PE-Folie.

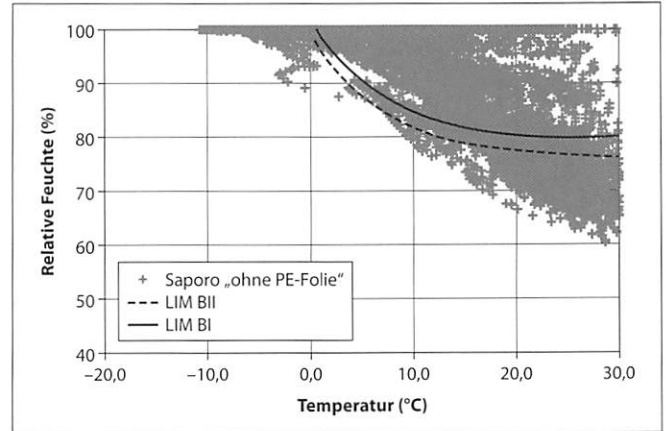


Bild 9. Schimmelgefahr an der Monitorposition a in Sapporo, ohne PE-Folie.

In Sapporo ist somit im Winter zur Vermeidung von Kondenswasser eine Dampfsperrenmembran erforderlich, in Naha dagegen kann diese zur Ursache überhöhter Feuchtigkeit in der Wand werden.

3.3 Zusammenhang zwischen relativer Feuchte und Temperatur

Die Kurve für kritische Temperatur- und Feuchtwerte LIM (Lowest Isopleth for Mould) drückt aus, dass bei Werten unterhalb dieser Kurve kein Schimmel entsteht, bzw. dass bei langfristiger Überschreitung der Temperatur- und Feuchtwerte die Möglichkeit der Schimmelbildung besteht [4]. LIM BI ist die Kurve für Materialien, die von Lebewesen genutzt werden können (Tapeten, biologisch abbaubare Produkte) und LIM BII die Kurve für Materialien, die nur schwer von Lebewesen genutzt werden können, wie Materialien mit Porenstruktur (mineralische Baustoffe usw.).

Aus dem Verlauf von LIM BI in *Bild 8* ist ersichtlich, dass in Naha auf der Außenseite der PE-Folie im Kontakt mit dem Wärmedämmstoff (Monitorposition b) langfristig die Gefahr der Schimmelpilzentwicklung besteht.

Andererseits ist in *Bild 9* aus dem Verlauf von LIM BII zu erkennen, dass in Sapporo an der Kontaktfläche von Wärmedämmstoff und Sperrholzplatte (Monitorposition a) ohne PE-Folie über die Hälfte des Analysezeitraums die Gefahr der Schimmelpilzentwicklung bestand.

An der Oberfläche von Außenwänden kann es aufgrund äußerer Einflüsse (Außenluft, hohe Temperaturen, UV-Strahlung) allerdings auch vorkommen, dass Schimmelpilzentwicklung unterdrückt wird. Hier konnte bestätigt werden, dass solche Bedingungen bei der Schimmelpilzentwicklung berücksichtigt werden sollten.

4. Folgerungen

Durch nicht stationäre Simulation von Temperatur- und Feuchteigenschaften der Wandstruktur eines Holzwohn-

hauses bei Installation einer Dampfsperre konnte Folgendes herausgearbeitet werden:

- Wird in Sapporo keine PE-Folie als Dampfsperrenmembran installiert, bildet sich Kondenswasser an der Außenseite des Wärmedämmstoffs und die Gefahr der Schimmelpilzbildung ist erhöht.
- Wird in Naha eine PE-Folie als Dampfsperrenmembran installiert, sammelt sich Feuchtigkeit an der Außenseite der PE-Folie (und der Innenseite des Wärmedämmstoffs) und es besteht Schimmelgefahr.

Die Ergebnisse der Simulation wurden durch Experimente in Sapporo, Tokio und Nara bestätigt, so dass „WUFI Pro 4.0 for Japan“ für die nicht stationäre Simulation hygrothermaler Aspekte japanischer Holzwohnbauten hilfreich eingesetzt werden kann.

Bereits bei der Planung zu prüfen, ob eine vorgesehene Wandstruktur dem regionalen Klima entspricht, hat sich als notwendig erwiesen. Die nicht stationäre Simulation hygrothermaler Aspekte von Wandstrukturen ist hierzu ein geeignetes Mittel.

Danksagung

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

Literatur

- [1] Architectural Institute of Japan: Expanded AMeDAS Weather Data (Japanisch) (2000).
- [2] *Künzel, H. M.*: Außen dampfdicht, vollgedämmt? Die rechnerische Simulation gibt Hinweise zu dem Feuchteverhalten außen dampfdichter Steildächer. In: *Bauen mit Holz* (1998).
- [3] Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden DIN 4108-3.
- [4] *Sedlbauer, K.*: Prediction of mould fungus formation on the surface of and inside building components. Dissertation Universität Stuttgart (2001).