

Einsatz von hydrophobierten und nicht hydrophobierten Ziegeln als Ausfachungsmaterial im Fachwerkbau

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Leimer

1 Problemstellung

Gebäude werden durch ein sich im Jahreszyklus wechselndes Außenklima im Zusammenwirken mit einem nutzerspezifischen Innenklima feuchtetechnisch belastet.

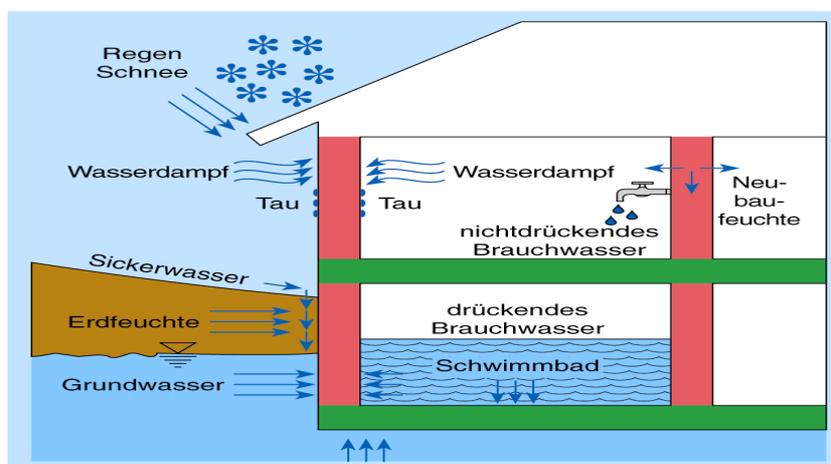


Bild 1 Belastungen auf das Außenbauteil

Die Feuchten belasten das Gebäude und können auch die Gebrauchstauglichkeit der einzelnen Baustoffe und Bauteile beeinflussen. Die Bestimmung von Grenzkriterien der zulässigen Feuchteänderung eines Baustoffes ist eine Möglichkeit, die Eignung der Baustoffe und die Zulässigkeit von Bauteilen beurteilen zu können. Da die Ausfachung im Fachwerkbau lediglich raumabschließende Funktionen erfüllt, ist von ihr vordergründig der Schutz des Innenraumes gegen das Außenklima zu gewährleisten.

1.1 Feuchtebelastung der Außenwand infolge Diffusion oder Feuchtekonvektion

Anhand umfangreicher Untersuchungen konnten in ^{1/} die Abhängigkeiten des wärme- und feuchtetechnischen Verhaltens bestimmt werden. Die Untersuchungen zeigen eine erhebliche Feuchtegefahr der Holzbauteile, wobei die Gefachbaustoffe hierbei in der Regel nicht feuchtegefährdet sind (siehe auch ^{2/,3/}). Die Feuchte im Bauteilquerschnitt resultiert aus Diffusion, z.B. bei Einbau von raumseitigen Wärmedämmungen, oder Feuchtekonvektion. Hierbei strömt feuchtwarme Raumluft, durch Fehlstellen von Dampfsperren oder im Bereich von Anschlüssen in Hohlräume, z.B. bei raumseitig vor die Außenwand gestellten und gedämmten Gipskartonwänden. Es zeigt sich, dass Ausfachungen und Wärmedämmstoffe, die über gute Kapillareigenschaften verfügen und indirektem Kontakt miteinander erstellt sind, die kritischen Feuchtemassen auf dem Weg der Kapillarleitung aufnehmen und in ungefährdete Bereiche weiterleiten (siehe auch ^{4/}).

1.2 Feuchtebelastung der Außenwand infolge Schlagregen

Eine erhöhte Gefahr der Fachwerkaußenwandbauteile resultiert aus der Schlagregenbelastung. Untersuchungen ^{5/} zeigen, dass Fachwerkgebäude i. A. nur der Schlagregenbeanspruchungsgruppe I nach DIN 4108, Teil 3 zuzuordnen sind. Hieraus resultiert für die Baupraxis, dass Fachwerkaußenwände ohne Schlagregenschutz nicht herzustellen sind. Die durch Schlagregen beanspruchten Wetterseiten von historischen Fachwerkgebäuden waren in der Regel immer mit einem geeigneten Wetterschutz, Behang oder Vollverputz (Gefach und Holz), bekleidet. Bedingt durch den Wunsch im Zuge einer Sanierung oftmals auch das Holzfachwerk zu zeigen, wird dieser Wetterschutz entfernt. Zur Reduzierung der Feuchtegefahr infolge Schlagregen, könnten nun unterschiedlichste Systeme, so wasserabweisende Außenputze oder Hydrophobierungen bei Sichtmauerwerk, eingesetzt werden. Hierbei besteht die Gefahr, dass hohe Wassermengen an der Fassade ablaufen und ungehindert in Fehlstellen, Risse und Anschlusspunkte eindringen können (siehe auch ^{6/,7/}).

1.3 Zur Fragestellung der Untersuchung

Um über den Einsatz von Hydrophobierungen Aussagen machen zu können, wurde mittels Laboruntersuchungen das Feuchteverhalten von Ziegeln mit unterschiedlichen Hydrophobierungsgraden untersucht. Folgende Fragen sollten beantwortet werden: Inwieweit verändert die Hydrophobierung des Sichtmauerwerks die Feuchteaufnahme bzw. -abgabe im Bereich der hydrophobierten Ebene und der Grenzschicht Ausfachung/Innenwärmedämmung?

Inwieweit verändert der Grad der Hydrophobierung diese Feuchteaufnahme und -abgabe?

2 Laboruntersuchungen

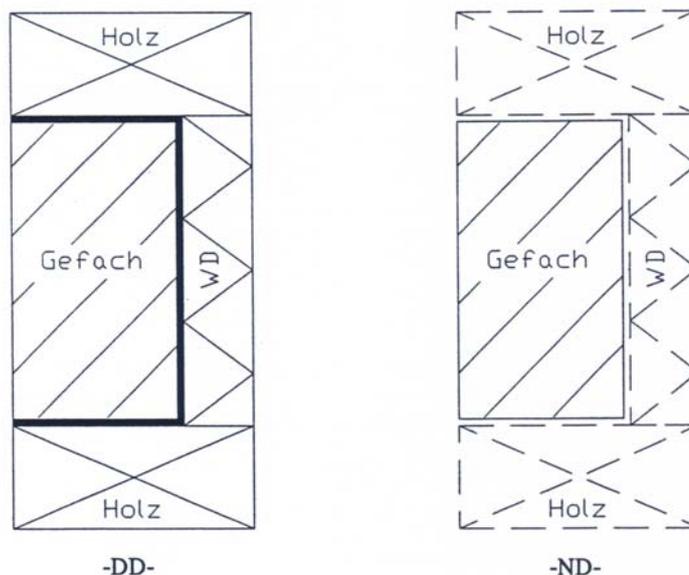


Bild 2 Darstellung der Situationen im Bauteil

Basis der Untersuchungen:

1. Situation

Bei den durchgeführten Untersuchungen handelt es sich um die Abbildung eines Baustoffes in situ. Hierbei werden die unterschiedlichen kapillaren Saugmechanismen sowie die Trocknungseigenschaften eines Gefachbaustoffes/Ziegels vergleichbar bei eingebautem Zustand

- mit direktem Kontakt Wärmedämmschicht bzw. Holzbauteil (Grenzwert dampfdicht DD)
- ohne Behinderung der Diffusion (Grenzwert nicht dampfdicht ND)

untersucht.

Die Baustoffproben wurden nach Aufbringen der Hydrophobierung keiner Bewitterung ausgesetzt, wie es für bei Langzeituntersuchungen hydrophobierte Baustoffe erforderlich ist. Der Verlust der hydrophoben Eigenschaften wurde jedoch durch einen unterschiedlichen Hydrophobierungsgrad der Proben erreicht.

2. w'- und w''-Werte

Bei der Bestimmung der w'- und w'' -Werte handelt es sich um die Bestimmung der kapillaren Saugmechanismen sowie der Rücktrocknungseigenschaften eines Baustoffes. Die Bestimmungen der Größen erfolgt analog zur Normprüfung, Bestimmung des w-Wertes (DIN52617). Im Unterschied dazu werden hier die Saug- bzw. Trocknungsgeschwindigkeiten des Baustoffes in der Einheit $[\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \sqrt{\text{h}}]$ ermittelt (siehe auch ^{1/}).

3. Ziegel

In umfangreichen Untersuchungen ^{8/} wurden die feuchtetechnischen Abhängigkeiten von historischen sowie neuen Ziegeln für die Ausfachung von Fachwerkbauten untersucht. Hierbei konnten grundlegende Abhängigkeiten des Feuchteverhaltens von der Rohdichte festgestellt werden. Da Ziegel mit geringen Rohdichten, hieraus resultierend mit guten Diffusionseigenschaften und hohen Saugmechanismen, das feuchtetechnische Verhalten innerhalb der Fachwerkaußenwand positiv beeinflussen (s. ^{1/}), wurde ein Ziegel der Firma Boral (NF 401 Wasserstrich) mit folgenden bauphysikalischen Kennwerten für die weiteren Untersuchungen ausgewählt.

$$\rho \approx 1.66 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$w' \approx 310.30 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \sqrt{\text{h}}$$

$$w'' \approx 27.53 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \sqrt{\text{h}}$$

$$w_e \approx 0.22 \text{ ml}/\text{min} \cdot \text{cm}^2$$

4. Hydrophobierungsmittel

Aus der Vielzahl unterschiedlichster Hydrophobierungsmittel auf dem Markt wurde eine Fassadenimprägnierung der Fa. Colfirmat-Rajasil ausgewählt.

Wirkstoff: Oligomeres Siloxan

Siloxangehalt: $\approx 6.7 \text{ Gew-\%}$

Dichte: $\approx 0.78 \text{ kg}/\text{l}$

Im Rahmen der Versuche wurde dieses Material in unterschiedlichen Konzentrationen mit Testbenzin verdünnt. Zudem wurde das Material Rajasil Silicongrundierung, das auf den gleichen Wirkstoffen wie das oben genannte Material basiert, eingesetzt.

5. Laborbedingungen

Raumlufttemperatur	$\Theta_{L,i}$	= 20 °C	± 1K
Relative Luftfeuchtigkeit	φ_i	= 50 %	±5%
Versuchsdauer		ca. 8 Monate	

3 Versuchsaufbau

3.1 Der Probekörper

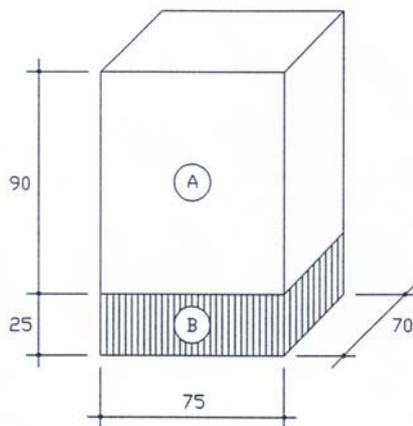


Bild 3 Versuchskörper
Fläche A behandelt (nach Bild 4), Fläche B unbehandelt

3.2 Versuchsmatrix

	Proben-Nr.	1.1 1.2 1.3	2.1 2.2 2.3	3.1 3.2 3.3	4.1 4.2 4.3	5.1 5.2 5.3	6.1 6.2 6.3
Fläche A	Hydrophobierungsgrad		100%	50%	25%	100%	50%
	Hydrophobierungsart	unbehandelt	Imprägnierung	Imprägnierung	Imprägnierung	Grundierung	Grundierung
Fläche B	Kapillarversuch	frei					
	Rücktrocknungsversuch	frei (ND)					
	Rücktrocknungsversuch	abgedeckt (DD)					
	Wassereindringvermögen $t_1 = 1$ Woche nach Auftrag $t_2 = 32$ Wochen nach Auftrag	bis zu 4 Materialseiten					

Bild 4 Versuchsmatrix
Imprä.: Fassadenimprägnierung
Grund.: Silicon-Grundierung

3.3 Versuchsaufbau

3.3.1 Bestimmung der kapillaren Saugmechanismen

Bei dem Versuch zur Ermittlung der kapillaren Saugfähigkeit werden die Flächen B ($h=2.5\text{cm}$) des ofengetrockneten Probekörpers in ein Wasserbad getaucht. Die Feuchteaufnahme wird über die Zeit ermittelt.

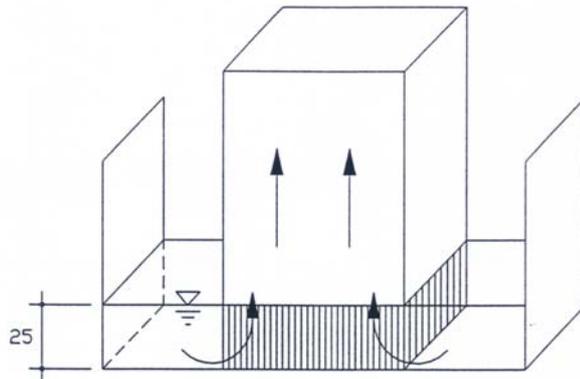


Bild 5 Darstellung des Versuchsaufbaus

3.3.2 Bestimmung der Rücktrocknungseigenschaften

Bei der Rücktrocknung auf die Ausgleichsfeuchte wird der Probekörper frei aufgelagert und die Feuchteabgabe über die Zeit untersucht.

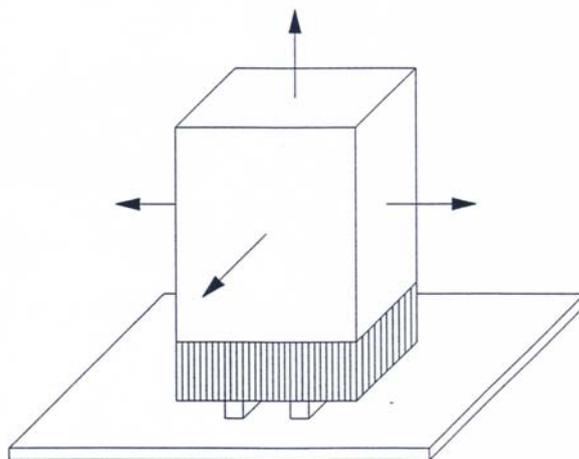


Bild 6 Darstellung des Versuchsaufbaus

3.3.3 Wassereindringversuch

Mit Hilfe des Karsten'schen Prüfröhrchens wird das Wassereindringvermögen auf den Materialflächen ermittelt.

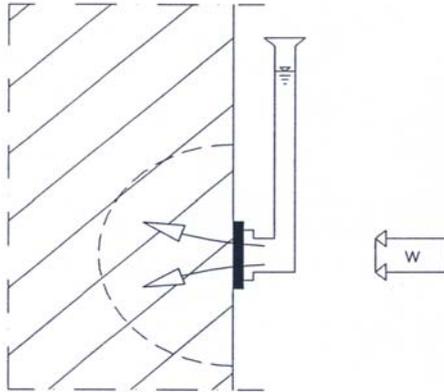


Bild 7 Darstellung des Versuchsaufbaus nach Karsten

4 Ergebnisse und Auswertung

Bei der Auswertung der Proben werden im Weiteren die Mittelwerte aller Proben eines Versuchsdurchganges bewertet, da sich hierbei nur geringe Abweichungen der Einzelwerte zum Mittelwert ergaben.

Es werden die Verhaltensweisen der hydrophobierten Proben ($2_H - 6_H$) im Vergleich zum nicht hydrophobierten Material (1_{nH}) dargestellt.

4.1 Kapillarversuch

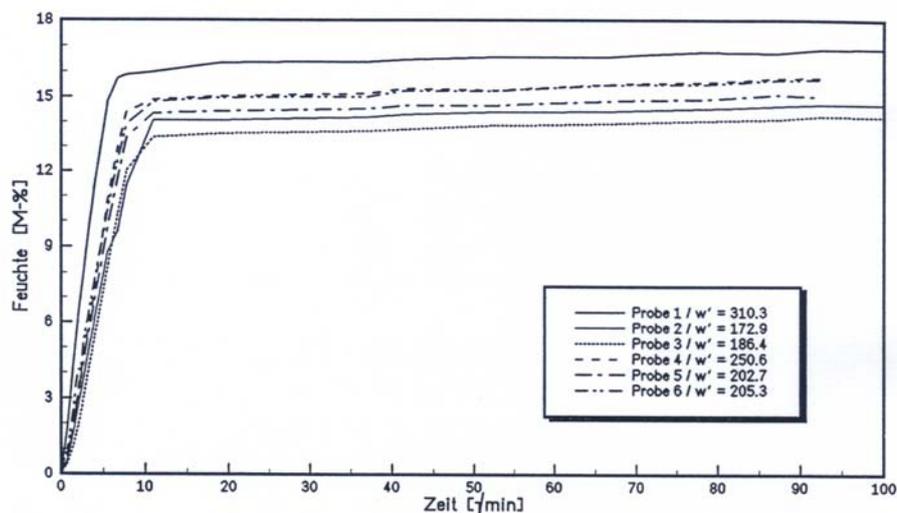


Bild 8 Kapillarversuch, Mittelwerte aller Proben

Es zeigen sich folgende Abhängigkeiten:

$$\begin{aligned}
 w'_H &< w'_{nH} \\
 u_{\max,H} &< u_{\max,nH} \\
 t(u \approx \max)_H &> t(u \approx \max)_{nH} \quad [\text{gering}]
 \end{aligned}$$

Bewertung:

Die hydrophobierten Proben 2,4-6 zeigen Kapillareigenschaften in Abhängigkeiten ihres Hydrophobierungsgrades. Der sich aus dem Versuch bestimmte Feuchteverlauf der Probe 3 ist im Hinblick auf die Größe der maximalen Feuchte u_{\max} aufgrund von Fehlmessungen nicht heranzuziehen.

Die Stofffeuchte u_{\max} ist bei Probe 1 nach ca. 1 h annähernd erreicht. Die Zeit, in der die hydrophobierten Proben diesen Wert erzielen, wird um ca. 0.5 h verlängert. Die maximale Stofffeuchte reduziert sich um ca. 2 %.

Es wird deutlich, dass der Hydrophobierungsgrad die kapillaren Saugeigenschaften eines Ziegels über die nicht hydrophobierten Bereiche nur geringfügig beeinflusst. Für den baupraktischen Bereich ist dieses vernachlässigbar.

4.2 Rücktrocknungsversuch

4.2.1 Rücktrocknungsversuch ohne Behinderung der Diffusion (ND)

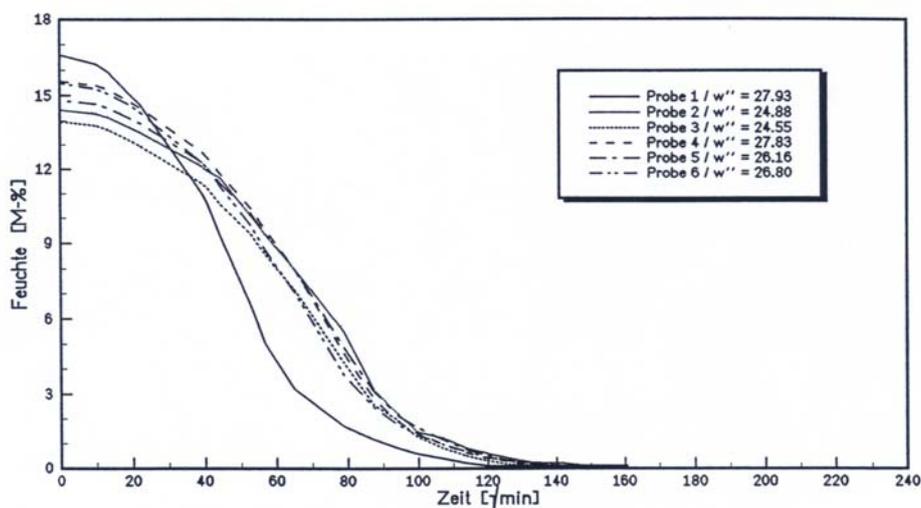


Bild 9 Rücktrocknungsversuch (ND), Mittelwerte aller Proben

Bei der Auswertung der Versuche ND zeigen sich folgende Abhängigkeiten:

$$w''_H < w''_{nH} \quad [\text{gering}]$$

$$t(u=\min)_H > t(u=\min)_{nH}$$

Bewertung:

Die hydrophobierten Proben 2-6 zeigen Rücktrocknungseigenschaften in Abhängigkeiten ihres Hydrophobierungsgrades.

Die Ausgleichsfeuchte wird nach ca. 240 Stunden (Probe 1) erreicht. Die Hydrophobierung beeinflusst die Trocknungseigenschaften des Baustoffes (hier ca. 60 h \approx 2.5 Tage). Der Hydrophobierungsgrad ist weitgehend vernachlässigbar. Der w'' - Wert wird in allen Varianten um ca. 10 % reduziert.

4.2.2 Rücktrocknungsversuch mit Behinderung der Diffusion (DD)

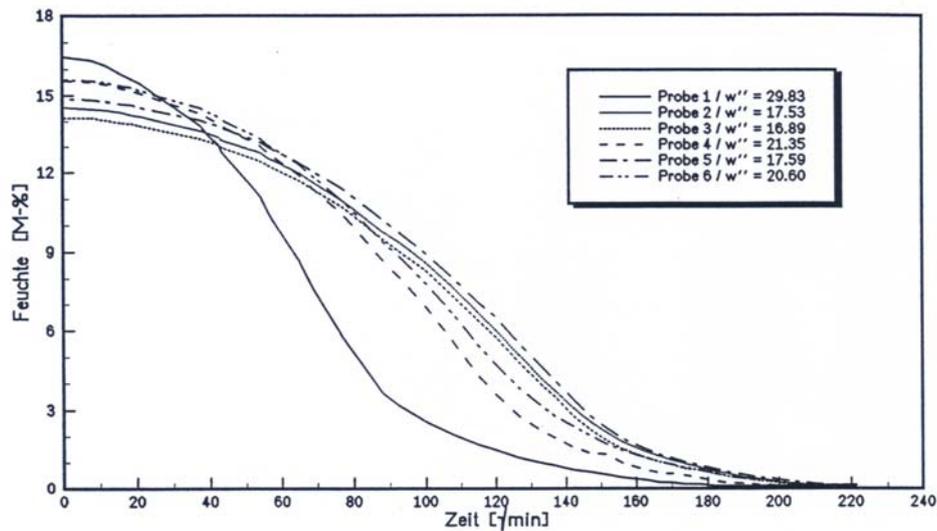


Bild 10 Rücktrocknungsversuch (DD), Mittelwerte aller Proben

Bei der Auswertung der Versuche DD zeigen sich folgende Abhängigkeiten:

$$w''_H \ll w''_{nH}$$

$$t(u=\min)_H \gg t(u=\min)_{nH}$$

Bewertung:

Die hydrophobierten Proben 2-6 zeigen Rücktrocknungseigenschaften in Abhängigkeiten ihres Hydrophobierungsgrades.

Für die Probe 1 kann das Erreichen der Ausgleichsfeuchte nach ca. 550 Stunden ermittelt werden. Die Hydrophobierung beeinflusst die Trocknungseigenschaften des Baustoffes erheblich (hier ca. 200 h \approx 8 Tage). Der Hydrophobierungsgrad ist auch hier nahezu vernachlässigbar.

Der w'' - Wert wird auf ca. 60 % reduziert.

4.2.3 Vergleich Rücktrocknungsversuch mit/ohne Behinderung der Diffusion

Beim Vergleich der Versuche ND/DD (s. Bild 11) zeigen sich folgende Ergebnisse:

$$w''_{ND} > w''_{DD}$$

$$t(u=\min)_{ND} \ll t(u=\min)_{DD}$$

Bewertung:

Die Tendenzen beim Rücktrocknungsverhalten des nicht hydrophobierten zum hydrophobierten Baustoff sind grundsätzlich vergleichbar. Es zeigt sich, wie zu erwarten, dass die Rücktrocknung des in der Diffusion nicht behinderten Baustoffes (ND) schneller ist, als die des in der Diffusion behinderten (DD) Baustoffes (ca. 300 h \div 12.5 Tage). Weiterhin ist zu sehen, dass dieser Einfluss bei den hydrophobierten Proben stärker ist.

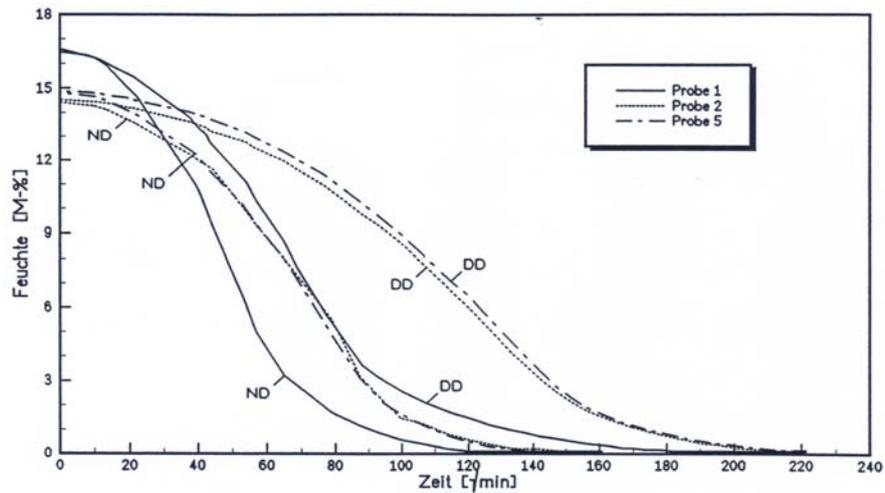


Bild 11 Rücktrocknungsversuch, Vergleich ND/DD

4.3 Wassereindringversuch

Die Versuchsergebnisse durchgeführt in der 1. sowie 32. Woche nach Auftrag der Hydrophobierung zeigen keine signifikanten Unterschiede.

Auffällig ist, dass unabhängig vom Hydrophobierungsgrad das Wassereindringvermögen nahezu immer ≈ 0 ist.

Abweichende Werte treten lediglich im Bereich von Fehlstellen der Hydrophobierung (z.B. bei genarbten Oberflächen) auf. Nachfolgend sind die charakteristischen Verläufe der Feuchteaufnahme der hydrophobierten (sodann sie auftreten) und nicht hydrophobierten Flächen im normierten Maßstab dargestellt. Augenscheinlich sind hier die Unterschiede im Anfangsbereich: Bei der nicht hydrophobierten Fläche ist zu Beginn die erhöhte Wasseraufnahme, bei hydrophobierten Flächen erst ein Ansteigen auf diesen Maximalwert zu verzeichnen, was in einem zunächst notwendigen Durchdringen der Hydrophobierungsbarriere begründet liegt.

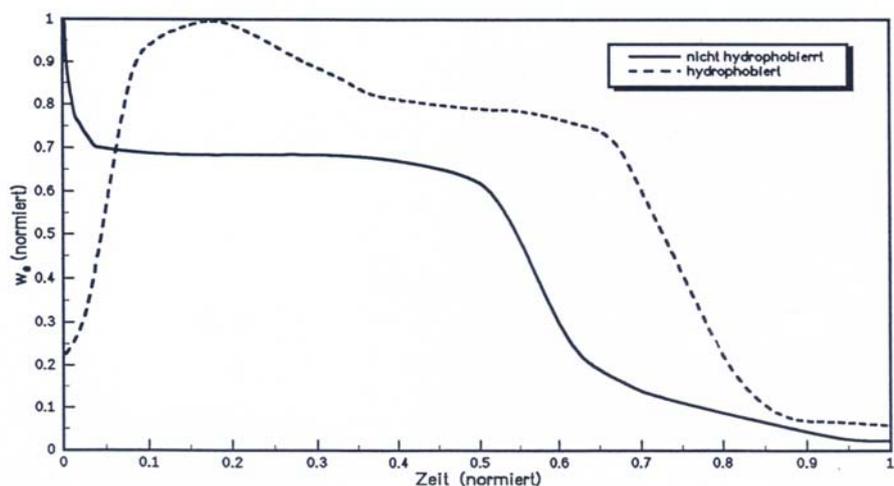


Bild 12 Charakteristika des Wassereindringvermögens beim Versuch nach Karsten
- nicht hydrophobiert / hydrophobiert -

5 Zusammenfassung

- Eine Hydrophobierung eines Ausfachungsmaterials hat kaum signifikante Auswirkungen auf die kapillare Feuchteaufnahme durch nicht behandelte Flächen (Fuge oder Grenzschicht Ausfachung/Dämmung).
- Deutliche Auswirkungen sind hingegen bei der Rücktrocknung des Materials zu verzeichnen. Die Rücktrocknungszeit verlängert sich um einen Faktor bis zu 1.5 (ND), was die Gefahr einer ständigen Erhöhung des Feuchtehaushalts vergrößert.
- Eine Trocknung mit Behinderung der Diffusion (DD) verzögert diesen Prozess um den Faktor $800/300 \approx 2.5$.
- Der Hydrophobierungsgrad zeigt kaum Auswirkungen auf die Feuchteaufnahme und -abgabe.
- Ein Einstellen des w -Wertes auf geforderte Werte (z. B. $w \leq 0.5 \text{ kg/m}^2 \cdot \sqrt{h}$) vor Ort mit Hilfe eines Hydrophobierungsmittels erscheint unmöglich.

Folgerungen für die Anwendung:

1. Fall (DD, nicht hydrophobiert):

In Versuchen nach ^{1/} wurde ein den Gefachbaustoff belastendes Feuchtepotential aus Diffusion in einer Höhe von bis zu 10 kg/m^2 festgestellt. Nach ^{5/} wurden Feuchteänderungen aus Schlagregen bei Ziegeln bis ca. 20 kg/m^2 beobachtet. Bei dem hier verwendeten Ziegelmaterial kann eine kapillar mögliche Wasseraufnahme in Höhe von ca. $15 \text{ M-\%} \approx 30 \text{ kg/m}^2$ festgestellt werden. Es zeigt sich somit, dass der Ziegel die auftretenden Feuchtemengen aufnehmen kann. Die hierfür anzusetzende Rücktrocknungszeit beträgt ca. $550 \text{ h} \approx 23$ Tage.

2. Fall (DD, hydrophobiert):

Im Falle einer Hydrophobierung reduziert sich die Feuchteaufnahme aus Schlagregen auf ca. 10 kg/m^2 ^{5/}. Betrachtet man die Rücktrocknungszeiten für das Bauteil mit $u \approx 10 \text{ M-\%}$, so kann hier in Annäherung eine Zeit von $600 \text{ h} \approx 25$ Tage angesetzt werden.

Zur Ausbildung der Fugen:

Problematisch ist die Feuchteanreicherung infolge Schlagregens in den Fugenbereichen zu sehen. Diese Fugen sind trotz umfangreicher Maßnahmen baupraktisch nicht zu vermeiden (s. ^{4/}).

Aufgrund der dargestellten Abhängigkeiten ist bereits bei mittlerer Regenbeanspruchung ein Wetterschutz der Fachwerkfassade (z.B. Behang) erforderlich.

Die Frage, ob Hydrophobierungen von Ausfachungsmaterialien im Fachwerkbau eingesetzt werden sollen, kann und sollte an dieser Stelle nicht abschließend beantwortet werden. Die Fragestellung bleibt weiterhin Teil der Diskussion und Forschung.

6 Literatur

1. H.-P. Leimer
Beitrag zur Bestimmung des wärme- und feuchtetechnischen Verhaltens von Bauteilen bei der Sanierung historischer Fachwerkgebäude; Dissertation Weimar 1991
2. .J. Achtziger
Praktische Untersuchung der Tauwasserbildung im Innern von Bauteilen mit Innendämmung; wksb-Sonderausgabe Mai 1985
3. K. Kießl
Wärmeschutzmaßnahmen durch Innendämmung / Beurteilung und Anwendungsgrenzen aus feuchtetechnischer Sicht; wksb Heft 31/1992
4. J.W. Herlyn, P. Böttcher, H.-P. Leimer
Feuchtwanderung zwischen Holz und angrenzenden Baustoffen; Bauen mit Holz 1991
5. H. Künzel
Regenbeanspruchung und Regenschutz von Holzfachwerk-Außenwänden; Statusseminar Fulda 1990
6. M. Stuis, W. Kratz
Untersuchung des Wärme- und Feuchteschutzes von Fachwerkkonstruktionen.
Teil 1: Holzfeuchte - Formänderung; Statusseminar Fulda 1990
7. P. Böttcher
Untersuchung des Wärme- und Feuchteschutzes von Fachwerkkonstruktionen.
Teil 2: Holzschutz - Oberflächenbehandlung; Statusseminar Fulda 1990
8. BBS INGENIEURBÜRO
Untersuchungen der Abhängigkeiten der Rohdichte auf das Kapillarverhalten sowie das Rückrocknungsverhalten von Ziegeln; Wolfenbüttel