

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
18. Februar 2010 (18.02.2010)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2010/017947 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation: Nicht klassifiziert
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2009/005798
- (22) Internationales Anmeldedatum:
10. August 2009 (10.08.2009)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2008 037 292.7
11. August 2008 (11.08.2008) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SAINT-GOBAIN ISOVER [FR/FR]; Les Mi-
roirs, 18, avenue d'Alsace, F-92400 Courbevoie (FR).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): DORN, Rainer
[DE/DE]; Rilkeweg 5, 76448 Durmersheim (DE). KAS-
PER, Franz-Josef [DE/DE]; Hauptstrasse 53, 68526 La-
denburg (DE).
- (74) Anwalt: BOCKHORN & KOLLEGEN; Elsenheimer-
str. 49, 80687 München (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

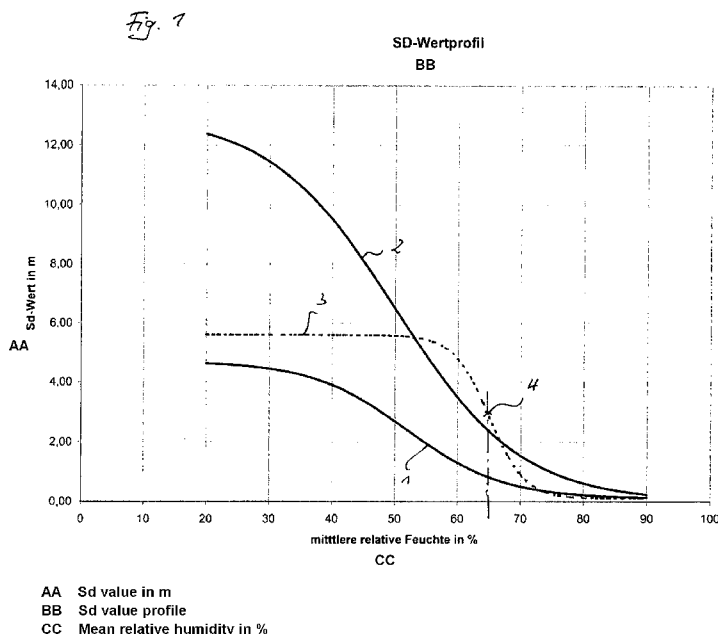
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN,
KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA,
MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG,
NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC,
SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR,
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,
TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,
DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT,
LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI,
SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN,
GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz
2 Buchstabe g)

- (54) Title: MOISTURE-ADAPTIVE VAPOUR RETARDER
- (55) Bezeichnung: FEUCHTEADAPTIVE DAMPFBREMSE



70% or more.

- (57) Zusammenfassung:

(57) **Abstract:** The invention relates to a moi-
sture-adaptive vapour retarder with at least one
moisture-adaptive functional layer, which is for-
med from a material which has a water-vapour dif-
fusion resistance that decreases with increasing
humidity in the atmosphere surrounding the va-
pour retarder in such a way that the vapour re-
tarder has a water-vapour diffusion resistance of 2 m
of diffusion-equivalent air layer thickness (sd-
value) and above in the case of a humidity of
30-50% and a water-vapour diffusion resistance <
1 m of diffusion-equivalent air layer thickness in
the case of a humidity of 60% or more. In this
case, hydrophobic or hydrophilic agents are incor-
porated in the moisture-adaptive functional layer
of the vapour retarder and/or the moisture-adap-
tive functional layer is provided with a coating
which has hydrophobic or hydrophilic agents in
such a way that the moisture-adaptive functional
layer of the vapour retarder has a water-vapour
diffusion resistance > 4 m of diffusion-equivalent
air layer thickness, preferably > 5 m, particularly
preferably > 10 m, in the case of an ambient hu-
midity of up to 50% and a water-vapour diffu-
sion resistance < 1 m of diffusion-equivalent air
layer thickness in the case of an ambient humidity of

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



Die Erfindung betrifft eine feuchteadaptive Dampfbremse mit mindestens einer feuchteadaptiven Funktionsschicht, die aus einem Material gebildet ist, das einen Wasserdampf-Diffusionswiderstand aufweist, der sich mit zunehmender Feuchte der die Dampfbremse umgebenden Atmosphäre verringert, derart, dass die Dampfbremse bei einer Feuchte von 30-50 % einen Wasserdampf-Diffusionswiderstand von 2 m diffusionsäquivalenter Luftschichtdicke (sd-Wert) und darüber und bei einer Feuchte ab 60 % einen Wasserdampf-Diffusionswiderstand < 1 m diffusionsäquivalenter Luftschichtdicke aufweist. Dabei sind in die feuchteadaptive Funktionsschicht der Dampfbremse hydrophobierende oder hydrophilierende Mittel eingebaut und/oder ist die feuchteadaptive Funktionsschicht mit einer Beschichtung versehen, die hydrophobierende oder hydrophilierende Mittel aufweist, derart, dass die feuchte-adaptive Funktionsschicht der Dampfbremse bei einer Umgebungsfeuchte bis 50 % einen Wasserdampf-Diffusionswiderstand > 4 m diffusionsäquivalenter Luftschichtdicke, vorzugsweise > 5 m, insbesondere vorzugsweise > 10 m und bei einer Umgebungsfeuchte ab 70 % einen Wasserdampf-Diffusionswiderstand < 1 m diffusionsäquivalenter Luftschichtdicke aufweist.

Feuchteadaptive Dampfbremse

Die Erfindung betrifft eine feuchteadaptive Dampfbremse gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Im Zusammenhang mit der Wärmedämmung von Gebäuden ist der Einsatz von Dampfsperren in Form von Folien bekannt, die einen Eintrag von Feuchte in Form von Wasserdampf in eine Baukonstruktion verhindern sollen. Derartige Folien zeichnen sich durch einen entsprechend hohen konstanten Wasserdampf-Diffusionswiderstand aus, der in der Baupraxis in die diffusionsäquivalente Luftschichtdicke (s_d -Wert) umgerechnet wird, Der s_d -Wert liegt in der Regel oberhalb von 10 m, vorzugsweise bei 100 m. Der Wasserdampfdiffusionswiderstand wird hierbei inzwischen üblicherweise nach der DIN EN ISO 12572:2001 gemessen. Da in vielen Fällen ein Blockieren des Feuchteaustausches durch die Dampfsperre, also ein Nicht-Austrocknen, unerwünscht ist, da dies mit einer Schädigung der Baukonstruktion einhergehen kann, werden derartige Dampfsperren mittlerweile durch Dampfbremsen ersetzt.

Diese Dampfbremsen sind von Hause aus in ihrer Dicke und/oder materialbedingt so ausgelegt, um eine Feuchteabfuhr aus der Baukonstruktion zu ermöglichen.

Um insbesondere Schäden an der Holzkonstruktion, etwa Dach- und Wandkonstruktionen aus Holz, durch Fäulnis und Schimmelbildung zu verhindern, sind sog. feuchteadaptive Dampfbremsen bekannt (vgl. WO 96/33321 A1), die durch ein Material gebildet sind, bei denen sich der Wasserdampf-Diffusionswiderstand mit zunehmender mittlerer Umgebungsfeuchte verringert, d. h. mit zunehmender mittlerer Umgebungsfeuchte die Dampfbremse einen größeren Wasserdampfdurchtritt er-

möglichst, die Dampfbremse sich also entsprechend öffnet. Für die in der WO 96/33321 A1 offenbarten Dampfbremsen sind die feuchteadaptiven Eigenschaften der Folien so eingestellt, dass diese bei einer mittleren Feuchte der die Dampfbremse umgebenden Atmosphäre von 30-50 % einen Wasserdampf-Diffusionswiderstand (s_d -Wert) von 2-5 m diffusionsäquivalente Luftschichtdicke und bei einer Feuchte der Umgebung im Bereich von 60-80 % einen Wasserdampf-Diffusionswiderstand (s_d -Wert) aufweisen, der kleiner als 1 m ist. Dies hat zur Folge, dass eine derartige feuchteadaptive Dampfbremse zur Winterzeit, bei denen in der Regel trockene Verhältnisse vorliegen, so dass sich an der Dampfbremse eine mittlere Umgebungsfeuchte von 30-50 % einstellt, die Dampfbremse insoweit bremsend wirkt, als infolge des vergleichsweise hohen Wasserdampf-Diffusionswiderstands die zumeist als Folie vorliegende Dampfbremse schließt, also nur wenig Wasserdampf durch die Folie hindurch diffundieren lässt. Dadurch wird verhindert, dass nennenswerte Feuchte aus dem Innenraum von Gebäuden durch die Folie nach außen bspw. in eine Holzkonstruktion eines Gebäudedaches und/oder einer Wand gelangt, wo sich die Feuchte dann niederschlägt und schließlich zu Fäulnis- und Schimmelbildung führen kann. Andererseits ist unter feuchten Bedingungen, wie sie vornehmlich in warmem Klima, also insbesondere in Sommermonaten vorherrscht, in Folge des geringen Diffusionswiderstands von kleiner 1 m äquivalente Luftschichtdicke ein Hindurchdiffundieren der Feuchte ermöglicht, was dazu führt, dass die Feuchte aus der Holzkonstruktion abgeführt werden kann, so dass Beschädigungen am Bauwerk, insbesondere der Holzkonstruktion, vermieden werden. Durch diesen Wechselcharakter des Feuchtedurchtritts abhängig vom Grad der Feuchte der Umgebung ist im Prinzip verhindert, dass es durch Feuchte zu Schädigungen an Gebäuden kommt. Unter Berücksichtigung der feuchteadaptiven Dampfbremse gemäß der eingangs genannten WO 96/33321 A1 bezieht sich der im Folgenden verwendete Begriff Umgebungsfeuchte jeweils auf die relative mittlere Feuchte der die Dampfbremse umgebenden Atmosphäre, also das arithmetische Mittel der beidseitig an der Folie anliegenden Feuchten. Bezüglich dieser Konvention wird auf die DIN EN ISO 12572:2001 verwiesen.

Die Erfinder haben erkannt, dass trotz der enormen Vorteile einer solchen feuchteadaptiven Dampfbremse Verbesserungen dahingehend erforderlich sind, die eine verbesserte Anpassung der feuchteadaptiven Eigenschaften einer Dampfbremse an bestimmte bauspezifische Anforderungen ermöglichen. Bspw. wird aufgrund des Umstands, dass der Innenausbau sich immer mehr in die Herbst- und Wintermonate verlagert, treten bei diesen Baumaßnahmen vermehrt Feuchtesituationen auf, in denen ein Öffnen der bekannten Dampfbremsen unerwünscht ist. Insbesondere bei Estricharbeiten und Trocknung von Heizstrichen, bei denen häufig die notwendige Innenraumlüftung unterbleibt, stellen sich an der Folie erhöhte Umgebungsfeuchten ein, die zur Folge haben, dass , zu einer Zeit, wo an sich die feuchteadaptive Dampfbremse im Prinzip schließen soll, sich diese jedoch infolge der erhöhten Feuchte innerhalb des Gebäudes nunmehr öffnet und damit einen entsprechend höheren Feuchtedurchtritt durch die Dampfbremse in die Holzkonstruktionen ermöglicht. Das hat aber zwangsläufig zur Folge, dass ein entsprechender Feuchteeintrag bspw. in das Holzgebälk eines Daches erfolgt, dort kondensiert, was zur Schädigung der Holzkonstruktion oder eingesetzter feuchteempfindlicher Holzwerkstoffe führen kann. Aber auch bei Verwendung der feuchteadaptiven Dampfbremse in besonders feuchten Umgebungen, wie sie etwa in Großküchen bzw. Kantinen vorherrschen, kann aufgrund der erheblichen Feuchte im Inneren des Gebäudes entstehende hier unerwünschte Effekt des Öffnens der Dampfbremse zu einem Feuchtedurchtritt durch die Dampfbremse und damit zu den beschriebenen Schädigungen führen.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine feuchteadaptive Dampfbremse zur Verfügung zu stellen, welche eine Anpassung ihrer feuchteadaptiven Eigenschaften an unterschiedliche bauspezifische Belange ermöglicht.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die im Anspruch 1 angegebenen Merkmale gelöst, wobei zweckmäßige Weiterbildungen der Erfindung durch die in den Unteransprüchen enthaltenen Merkmale gekennzeichnet sind.

Die Erfindung geht davon aus, dass sich das Diffusionswiderstandsverhalten einer feuchteadaptiven Dampfbremse in einer S-Kurve darstellt, wenn man den s_d -Wert für den Wasserdampf-Diffusionswiderstand über der Umgebungsfeuchte aufträgt. Der einlaufende S-Schenkel dieser S-Kurve liegt bei herkömmlichen Dampfbremsen hierbei bis zu einer Feuchte der Umgebung von 50 % auf einem Diffusionswiderstandswert von 2 m für die diffusionsäquivalente Luftschichtdicke und darüber, wobei dann bei größerer Umgebungsfeuchte die Kurve mit im wesentlichen flacher Steigung in den auslaufenden S-Schenkel übergeht, der dann gewüschtermaßen auf einem Niveau kleiner 1 m diffusionsäquivalenter Luftschichtdicke bei einer Feuchte der Umgebung bzw. Atmosphäre ab 60 % liegt.

Bekanntermaßen lässt sich der s_d -Wert über die Dicke der Dampfbremse einstellen und zwar aufgrund der Formel

$$s_d = D \times \mu$$

wobei μ ein materialabhängiger, nur von der Umgebungsfeuchte beeinflusster Parameter der feuchteadaptiven Dampfbremse ist und D die Dicke der Dampfbremse angibt. Würde man den feuchteadaptiven Charakter der Dampfbremse über die Änderung der Dicke einstellen wollen, also die Dicke entsprechend erhöhen oder verringern, dann würde dies zu einer Verschiebung der S-Kurve längs der Ordinate führen, d. h. bei einer Vergrößerung der Dicke der Dampfbremse zu einer Erhöhung des s_d -Werts sowohl unter trockenen Bedingungen (Winter) und feuchten Bedingungen (Sommer) führen, was aber dann zu Folge hätte, dass die Charakteristik der feuchteadaptiven Dampfbremse zwar möglicherweise für Winterverhältnisse ideal aber für Sommerverhältnisse zu einer Verschlechterung wegen des damit verminderten Austrocknungsverhaltens führen würde.

Nach der Erfindung wird nunmehr erreicht, dass durch Einbau von hydrophobierenden oder hydrophilierenden Mitteln in die feuchteadaptive Funktionsschicht der Dampfbremse bzw. einer Beschichtung dieser feuchteadaptiven Funktionsschicht

der Dampfbremse gezielt der S-Schenkel bis zum Übergang in den Wendebereich der S-Kurve in Richtung der Abszisse des Diagramms verlängert und damit der Wendebereich der S-Kurve zwischen einlaufendem S-Schenkel und auslaufendem S-Schenkel im Diagramm der feuchteadaptiven Kurve weiter nach rechts versetzt wird. Wenn dann zugleich die adaptive Funktionsschicht bei einer Feuchte der Umgebung ab 70 % einen Wasserdampf-Diffusionswiderstand aufweist, der < 1 m diffusionsäquivalenter Luftschichtdicke ist, hat dies einen gewünscht steilen Wende- bzw. Umschlagbereich zwischen den S-Schenkeln der S_d -Wert-Kurve zur Folge, so dass es zum einen zu einer Beeinflussung des Öffnens der Dampfbremse infolge der Verschiebung des Wendebereichs längs der Abszisse nach rechts kommt, d. h. die Dampfbremse sich erst bei einer höheren Umgebungsfeuchte für den Wasserdampfdurchtritt öffnet, und andererseits der Übergang zwischen dem Schließen und Öffnen der Folie wesentlich schneller erfolgt als bei herkömmlichen nicht erfindungsgemäß modifizierten feuchteadaptiven Dampfbremsen. Im Falle von beispielsweise Estricharbeiten innerhalb eines Gebäudes zur Winterzeit hätte dies zur Folge, dass trotz des über mehrere Tage andauernden Trocknungsvorgangs des Estrichs mit dem dabei entstehenden hohen Feuchteaustrag die Dampfbremse gleichwohl erst bei einer höheren Innenraumfeuchte „öffnet“, d. h. ein erhöhter Wasserdampftransport durch die Dampfbremse „später“ als bei einer nicht entsprechend modifizierten Dampfbremse stattfindet. Im Falle von Estricharbeiten im Winter würde dies demnach zur Folge haben, dass die erfindungsgemäße feuchteadaptive Dampfbremse bei Estricharbeiten im Winter trotz des Feuchteintrags anders als die herkömmliche feuchteadaptive Dampfbremse nicht öffnet und damit ein vermehrtes Hindurchdiffundieren der aufgrund der Estricharbeiten zwangsweise entstehenden Feuchte in die Holzkonstruktion des Daches verhindert wird. Dies deswegen, weil der niedrige Wasserdampf-Diffusionswiderstand bei der erfindungsgemäßen feuchteadaptiven Dampfbremse erst bei Feuchtigkeitswerten der Umgebung ab 70 % vorliegen würde, also ab Werten der Umgebungsfeuchte, die bei Estricharbeiten im Winter in aller Regel nicht erreicht werden. Andererseits ist das geforderte Öffnen der feuchteadaptiven Dampfbremse zu Sommerzeiten gewähr-

leistet, so dass dann jederzeit eine entsprechende Austrocknung der Konstruktion gewährleistet ist.

Durch entsprechenden Einbau von hydrophobierenden bzw. hydrophilierenden Mitteln lässt sich hierbei der Kurvenverlauf gewünscht an bauspezifische Besonderheiten einstellen. Durch den Einbau hydrophobierender Mittel wird erreicht, dass Feuchte verzögert in die feuchteadaptive Funktionsschicht eingebaut wird, was für das feuchteadaptive Verhalten ursächlich ist. Diese behinderte Einlagerung von Wasser hat den beabsichtigten Verschiebungseffekt zur Folge.

Überraschend lässt sich dieser Effekt auch mit dem Einbau von hydrophilierenden, also wasseraufnehmenden Mitteln erreichen, da die Feuchte dann durch diese hydrophilierenden Mittel gebunden und gehalten wird und erst mit Verzögerung der Eintrag in die feuchteadaptive Funktionsschicht erfolgt. Im Falle von hydrophilierenden Mitteln ist es beim Eintrag in die feuchteadaptive Funktionsschicht dabei zweckmäßig, wenn dieser Einbau jeweils nur im Oberflächenbereich bzw. oberflächennahen Bereichen der Dampfbremse erfolgt bzw. zusätzlich oder alternativ in einer auf der feuchteadaptiven Funktionsschicht vorgesehenen Beschichtung. Im Falle von hydrophobierenden Mitteln kann der Eintrag in die feuchteadaptive Funktionsschicht insgesamt bzw. zusätzlich und alternativ auch in die Beschichtung erfolgen.

Nach Maßgabe der Erfindung ist es zweckmäßig, wenn durch den Einbau von hydrophobierenden bzw. hydrophilierenden Mitteln der Wendebereich zwischen einlaufendem S-Schenkel und auslaufendem S-Schenkel gegenüber der nicht modifizierten Dampfbremse etwa um 10 %-Punkte der Umgebungsfeuchte nach rechts verschoben wird. Erreicht wird dies durch die Einstellung der Dampfbremse auf die in den Ansprüchen genannten Werte für den Wasserdampf-Diffusionswiderstand. Dadurch wird der annähernd parallele Verlauf des einlaufenden S-Schenkels rechts in Richtung der Abszisse, d. h. auf zunehmende Feuchte verlängert, was bei den vorgegebenen Werten für die höhere Feuchte der Umgebung dann zugleich auch zu

einem steileren Verlauf des Wendebereichs zwischen den beiden Schenkeln der S-Kurve unterschiedlich zu den S-Kurven herkömmlicher nicht entsprechend modifizierter feuchteadaptiver Dampfbremsen führt.

In besonders vorteilhafter Weise zeichnet sich die Erfindung dadurch aus, dass der Wendepunkt der S-Kurve sich bei einer Feuchte der Umgebung ab 60 % und darüber befindet. Unter Wendepunkt ist hierbei derjenige Punkt der S-Kurve zu verstehen, wo der einlaufende S-Schenkel in den auslaufenden S-Schenkel übergeht. In diesem Zusammenhang geht die Erfindung davon aus, dass das zweidimensionale s_d -Profil mit auf der Ordinate aufgetragenem s_d -Wert und auf der Abszisse aufgetragenem Feuchtegrad, welches den funktionalen Zusammenhang zwischen dem s_d -Wert und der an der Dampfbremse anliegenden mittleren relativen Feuchte $\bar{x}$, die aus den relativen Feuchten der an beiden Flächen der Dampfbremse anliegenden Atmosphäre berechnet wird, die Basis für die einschlägigen Berechnungsprogramme zum zeitlichen Feuchteverhalten in Konstruktionen darstellt. Ein weithin genutztes Beispiel für ein solches Berechnungsprogramm ist WUFI® des Fraunhofer Instituts Bauphysik (FH-IBP). Für diese Berechnungsprogramme ist es notwendig, einen solchen funktionalen Zusammenhang für beliebige Werte der mittleren relativen Feuchte bereitzustellen, um Unstetigkeiten zu vermeiden, die zu falschen Ergebnissen führen würden.

Die Messvorschrift für die Bestimmung eines einzelnen Wertes $S_d(\bar{x})$ ist in der internationalen Norm DIN EN ISO 12572:2001 beschrieben, die auf der Ausbildung eines dynamischen Gleichgewichts basiert. Aufgrund der Tatsache, dass die grundlegende Messvorschrift zum Zeitpunkt ihrer Entwicklung auf nicht-feuchteadaptive Dampfbremsen ausgelegt war, d.h. solchen mit einem im wesentlichen konstanten s_d -Wert, konzentriert sich auch die aktuelle Fassung der DIN EN ISO 12572:2001 auf zwei besonders bevorzugte Punkte, den sogenannten wet-cup und den dry-cup. Der wet-cup ist durch zwei anliegende Feuchten von 50% und 93% definiert, so dass sich eine mittlere relative Feuchte von 71,5 % einstellt, für den dry-cup werden 3% und 50 % Feuchte angelegt, so dass der Mittelwert 26,5 % beträgt. Aus messtechnischen Gründen wird eine der beiden Feuchten in einem Gefäß mit einem

Salz vorgegeben, während die zweite Feuchte mit einer regelbaren Klimakammer eingestellt wird, so dass auch andere als die „klassischen“ dry-cup und wet-cup Verhältnisse einstellbar sind. Dies ist insbesondere für feuchteadaptive Dampfbremsen erforderlich, da der genaue Funktionsverlauf ermittelt werden muss. Die DIN EN ISO 12571:2000 enthält eine Auflistung weiterer Salze, mit denen andere Feuchten einstellbar sind, so dass beliebige mittlere rel. Feuchten und Feuchtegradienten in der Kombination von Salz und regelbarer Klimakammer möglich sind.

Idealerweise sollte eine solche Messkurve bspw. in Form einer inkrementellen Messreihe ermittelt werden. Dies kollidiert mit dem Praxisproblem, dass die Messung eines einzigen Punkts bei s_d -Werten größer 2-3 m bereits mehrere Wochen dauern kann, bis sich das dynamische Gleichgewicht eingestellt hat, so dass die Anzahl an Stützstellen in Form gemessener Wertetupel $S_d(\bar{x})$ auf üblicherweise 5 bis 7 reduziert wird, um den gesamten zeitlichen Aufwand für die Messung auf einen Zeitraum von 3 bis 4 Monaten beschränken zu können. Diese Stützstellen werden geeignet über den Bereich der mittleren Feuchte von 0 bis 100 % verteilt.

Beispielhaft wird eine in der Praxis bewährte Stützstellenaufteilung mit 6 Wertetupeln angegeben: (3/50); (33/50); (33/65); (50/75); (50/93); (80/93). Dabei stehen die beiden Zahlenwerte für die jeweilige Feuchte einer an der Dampfbremse anliegenden Atmosphäre, so dass sich mittlere relative Feuchten von 26,5%, 41,5%, 49%, 62,5%, 71,5% und 81,5% ergeben. Als Salze werden Silicagel (3%), Magnesiumchlorid (33%), Natriumchlorid (75%) und Ammoniumdihydrogenphosphat (93%) verwendet, die Gegenseite wird mit einer geregelten Klimakammer eingestellt.

Die Messergebnisse, d.h. die Wertetupel werden in einer Regressionsanalyse nach der Methode der kleinsten Quadrate unter Verwendung einer Approximationsfunktion ausgewertet, um die Datenbasis für die Berechnungsprogramme bereitzustellen. Prinzipiell kann jede beliebige Funktion verwendet werden. Geeignete Programme sind in den bekannten Statistikprogrammpaketen enthalten.

In der Praxis zeigt sich, dass bei allen feuchtevariablen Dampfbremsen sich der Kurvenverlauf am besten mit einer sog. S-Kurve approximieren lässt. Dies lässt sich auch aus grundlegenden physikalischen Überlegungen begründen, da bei einem „Öffnen“ einer Dampfbremse im Feuchtbereich, was eine Abnahme des s_d -Wertes bedeutet, prinzipiell ab einem gewissen Öffnungsgrad eine geringere Wirkung eines weiteren Öffnens resultiert, da eine Diffusion von Wasserdampf durch die Dampfbremse relativ immer weniger behindert ist. Somit resultiert zwangsläufig ein asymptotisches Verhalten gegen einen unteren Grenzwert. Analoge Überlegungen gelten für das Schließen der Dampfbremse im Trockenbereich. Auch hier resultiert aus einer Zunahme des Diffusionswiderstands infolge abnehmender mittlerer Feuchten ein immer geringerer Effekt, so dass sich hier ein asymptotischer Verlauf gegen einen oberen Grenzwert ausbildet. Der demnach physikalisch begründete Kurvenverlauf wird durch eine S-Kurve wiedergegeben.

Eine S-Kurve wird mathematisch durch folgende Gleichung beschrieben:

$$f(x) = \frac{A}{1 + e^{B \cdot (x-C)}} + D$$

Aus Grenzwertbetrachtungen und Differentialanalysen ergibt sich die Bedeutung der 4 Regressionsparameter A, B, C, D.

D steht für den asymptotischen unteren Grenzwert der Kurve, also im Fall einer feuchtevariablen Dampfbremse näherungsweise für $s_{d,min}$, was aus einer Grenzwertbetrachtung für x gegen ∞ unter Berücksichtigung der oberen Schranke des physikalisch möglichen Feuchtebereichs zwischen 0 und 100% folgt.

A steht für die Spreizung der Funktion zwischen Minimal- und Maximalwert, somit ergibt sich also im Fall der feuchteadaptiven Dampfbremse der Wert $s_{d,max}$ näherungsweise zu $A+D$, was aus einer Grenzwertbetrachtung für x gegen $-\infty$ und der Beschränkung unter Berücksichtigung der unteren Schranke des physikalisch möglichen Feuchtebereichs zwischen 0 und 100% folgt.

B beschreibt die Spreizung des Übergangsbereiches: für $B=0$ entartet die S-Kurve in eine Parallele zur Abszisse, mit steigenden Werten von B wird der Spreizungsbereich immer enger und nähert sich einer Sprungfunktion an.

C gibt die Lage des Wendepunkts an ($C; A/2+D$).

Es ergibt sich folgendes Gleichungssystem zur Bestimmung der Parameter A – D:

$$S = \sum_{i=1}^n [y_i(x_i) - y(x_i)]^2 \longrightarrow \min$$

$$\frac{dS}{dA \dots D} = 2 \cdot \sum_{i=1}^n \left[[y_i(x_i) - y(x_i)] \cdot \frac{dy}{dA \dots D} \right] = 0, \text{ mit}$$

$$\frac{dy}{dA} = \frac{1}{1 + e^{B \cdot (x_i - C)}},$$

$$\frac{dy}{dB} = \frac{-1}{(1 + e^{B \cdot (x_i - C)})^2} \cdot (x_i - C) \cdot e^{B \cdot (x_i - C)}$$

$$\frac{dy}{dC} = \frac{1}{(1 + e^{B \cdot (x_i - C)})^2} \cdot B \cdot e^{B \cdot (x_i - C)}$$

$$\frac{dy}{dD} = 1$$

Eingesetzt ergeben sich die 4 Gleichungen dann zu:

$$1) \sum_{i=1}^n \left[\left[y_i(x_i) - \left(\frac{A}{1 + e^{B \cdot (x_i - C)}} + D \right) \right] \cdot \frac{1}{1 + e^{B \cdot (x_i - C)}} \right] = 0$$

$$2) \sum_{i=1}^n \left[\left[y_i(x_i) - \left(\frac{A}{1 + e^{B \cdot (x_i - C)}} + D \right) \right] \cdot \frac{-1}{(1 + e^{B \cdot (x_i - C)})^2} \cdot (x_i - C) \cdot e^{B \cdot (x_i - C)} \right] = 0$$

$$3) \sum_{i=1}^n \left[\left[y_i(x_i) - \left(\frac{A}{1 + e^{B \cdot (x_i - C)}} + D \right) \right] \cdot \frac{1}{(1 + e^{B \cdot (x_i - C)})^2} \cdot B \cdot e^{B \cdot (x_i - C)} \right] = 0$$

$$4) \sum_{i=1}^n \left[y_i(x_i) - \left(\frac{A}{1 + e^{B \cdot (x_i - C)}} + D \right) \right] = 0$$

Dieses Gleichungssystem ist nicht geschlossen lösbar. Üblicherweise wird es mit einem iterativen Verfahren ausgehend von geeigneten Startwerten berechnet.

Für das in Fig. 1 der WO96/33321A1 dargestellte Ausführungsbeispiel einer feuchteadaptiven Dampfbremse ergeben sich mit dem Messdatentupel (26,5%; 4,5m); (41,5%; 3,8m); (62,5%; 1m); (71,5%; 0,44m); ergänzt um einen weiteren Messpunkt (90%; 0,1m) die Schätzer für die Parameter zu:

A	4,7	Iterationsschritt: 1 Nachkommastelle
B	0,127	Iterationsschritt: 3 Nachkommastellen
C	52	Iterationsschritt: 0,5
D	0,04	Iterationsschritt: 2 Nachkommastellen

Durch gezielte Beeinflussung der in die Regressionsparameter eingehenden Stoffeigenschaften durch Einbau der oben beschriebenen Mittel lässt sich somit ausgehend von einem herkömmlichen Dampfbremsenmaterial die S-Kurve gewünscht auf bestimmte bauspezifische Bedingungen einstellen.

In besonders vorteilhafter Weise lässt sich hierbei somit die Dampfbremse unterschiedlichen bauspezifischen Bedingungen anpassen, indem der Wendepunkt der S-Kurve von den üblichen Feuchtebereichen nicht modifizierter Dampfbremsen von kleiner 60% Umgebungsfeuchte in einen Umgebungsfeuchtebereich von 60-70 % verschoben wird, was für die beschriebenen Winterbausituationen vorteilhaft ist. Eine Einstellung des Umschlagpunktes in den Feuchtebereich von 70-80 % der Umgebung ist dann vorteilhaft, wenn Baukonstruktionen außenseitig zusätzliche dampfdichte Schichten aufweisen, etwa in Form einer Bitumenbahn, was die Austrocknung nach außen behindert.

Im Zusammenhang mit der Erfindung hat es sich als zweckmäßig herausgestellt, dass der Kurvenverlauf der feuchteadaptiven Dampfbremse bis zu einer Umge-

bungsfeuchte von 50 % oberhalb eines s_d -Wert größer 4 m diffusionsäquivalente Luftschichtdicke liegt, vorzugsweise größer 5 m diffusionsäquivalente Luftschichtdicke. Ferner hat es sich gezeigt, dass es zweckmäßig ist, dass der auslaufende Schenkel der S-Kurve der feuchteadaptiven Dampfbremse einen s_d -Wert $\leq 0,5$ m ab 75 % Umgebungsfeuchte, vorzugsweise ab 70 % Umgebungsfeuchte aufweist. In Verbindung mit den vorstehend genannten Parametern ergibt dies einen entsprechend steilen Kurvenverlauf im Wendebereich der S-Kurve.

Generell lässt sich sagen, dass erwünschte Effekte sich mit einer Einstellung der feuchte-adaptiven Eigenschaften der Dampfbremse erzielen lassen, wenn der Wendepunkt der S-Kurve sich insbesondere im Bereich einer Feuchte ab 63 % vorzugsweise ab 65 % und darüber befindet, woraus ein schnelles Umschlagen der Dampfbremse von „geschlossen“ in „offen“ erfolgt.

Die Praxis hat gezeigt, dass sich vorteilhafte Ergebnisse für eine feuchteadaptive Dampfbremse erzielen lassen, wenn sich das Verhältnis des Wasserdampf-Diffusions-widerstands (s_d -Wert) bei einem Mittelwert von 26,5 % der relativen Feuchte nach der dry-cup Messung gem. DIN EN ISO 12572:2001 zum s_d -Wert einer mittleren relativen Feuchte dieser DIN-Norm von 71,5 % (wet-cup) auf größer 10 einstellen lässt, was bspw. sich erzielen lässt, wenn im trockenen Bereich der einlaufende S-Schenkel der Kurve oberhalb eines s_d -Werts von 5 m diffusionsäquivalenter Luftschichtdicke eingeregelt ist und der auslaufende Schenkel sich auf ein Niveau kleiner 0,5 m diffusionsäquivalenter Luftschichtdicke für den Feuchtebereich einpendelt. Hierbei ist es zweckmäßig, wenn sich das Verhältnis s_d -Wert (trocken) : s_d -Wert (feucht), d. h. bei einer relativen mittleren Feuchte von 26,5 % bzw. 71,5 % auf < 50 einpendelt, also das Verhältnis zwischen 10 und 50 liegt.

Die feuchteadaptive Funktionsschicht selbst zeichnet sich insbesondere durch eine Dicke im Bereich von 30 μm bis 100 μm aus. Ferner wird die Funktionsschicht zweckmäßigerweise durch eine Folie gebildet. Für die Funktionsschicht sind Schichten bzw. Folien aus Polyamid; Polyvinylalkohol, insbesondere EVOH (Ethy-

len-Vinylalkohol); Polyethylen-Copolymere mit Ionomeren oder Polyethylenpolyacrylsäurecopolymere (insbesondere als Mehrschichtaufbau) geeignet.

Als hydrophobierende oder hydrophilierende Mittel lassen sich die üblichen geeigneten Mittel verwenden, etwa Fluorcarbone, fluorierte Ester oder Mittel auf Silikonbasis, insbesondere organische Silikonverbindungen. Als hydrophilierende Mittel kommen Polyether, organische Ammoniumsalze und organische Säuren in Frage. Ebenso kommen als hydrophilierende oder hydrophobierende Mittel auch ein von dem Material der Funktionsschicht abweichendes Material aus der genannten Gruppe von Polyamid; Polyvinylalkohol, insbesondere EVOH (Ethylen-Vinylalkohol); Polyethylen-Copolymere mit Ionomeren oder Polyethylenpolyacrylsäurecopolymere in Frage. Diese Mittel sind an sich bekannt, so dass sie hier nicht eigens aufgezählt werden müssen.

Im Falle einer Beschichtung der Folie mit hydrophilierenden oder hydrophobierenden Mitteln ist es zweckmäßig, die Beschichtung beidseits der Funktionsschicht bzw. der Folie, wenn die Funktionsschicht als Folie ausgebildet ist, vorzusehen, so dass unabhängig von der Einbaulage vor Ort jeweils die gewünschte Wirkung der Dampfbremse eintritt. Ein Falscheinbau der Dampfbremse ist hierdurch unmöglich. Zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit der Beschichtung können Haftvermittler auf der Basis von Oxiran-modifizierte Oligomere oder Polymere oder Diamine oder Diole eingesetzt werden. Zur Erhöhung der mechanischen Festigkeit ist es zweckmäßig, die Funktionsschicht ein- oder beidseitig geeignet zu kaschieren, etwa durch ein Vlies, insbesondere Glasvlies, oder durch geeignete Gelegesichten, wie etwa Gittergewebe u. dgl.

Da, wie bereits oben dargestellt wurde, das Profil der s_d -Werte über die Feuchte bei feuchteadaptiven Dampfbremsen in Form einer S-Kurve darstellen lässt, können durch geeignete Stoffparameter ohne weiteres die Steilheit des Wendebereichs zwischen dem einlaufenden S-Schenkel und auslaufenden S-Schenkel gewünscht ein-

gestellt werden, wobei ein besonders steiler Verlauf bevorzugt ist. Hierfür bedarf es nur üblicher Versuchsreihen mit den geeigneten Materialien.

Was den Einbau der Hydrophobierungsmittel und hydrophilierenden Mittel anbelangt, so gibt es verschiedene Möglichkeiten. Als geeignet hat sich herausgestellt, dass die Hydrophobierungs- und Hydrophilierungsmittel in ein Compound bzw. Batch zur Herstellung einer Dampfbremse, etwa auf der Basis von Polyamid, bei der Herstellung der Dampfbremse, zugesetzt wird, wodurch sich eine gleichmäßige Verteilung dieser Mittel innerhalb der feuchteadaptiven Funktionsschicht erreichen lässt und ein einschichtiger Aufbau der Dampfbremse resultiert.

Im Falle einer Beschichtung erfolgt der Auftrag durch ein Tränkverfahren, in dem die vorzugsweise als Folie ausgelegte Dampfbremse durch ein Bad geführt wird, so dass unter Zwischenschaltung eines Haftvermittlers die hydrophilierenden oder hydrophobierenden Mittel als Schicht aufgetragen werden können. Anstelle eines Tränkverfahrens eignet sich auch das Aufsprühen der Mittel bzw. die Aufbringung der Mittel in Art einer Lackdispersion. Diese oben aufgezählten Herstellverfahren sind aber keines Falls als einschränkend anzusehen.

Fig. 1 zeigt beispielhaft s_d -Profile für verschiedene Dampfbremsen. Die Kurven 1 und 2 bilden den S-Kurvenverlauf herkömmlicher feuchteadaptiver Dampfbremsfolien ab, deren Wendepunkt deutlich sichtbar unter 60% Umgebungsfeuchte liegt. Die mit 3 bezeichnete Kurve stellt die S-Kurve einer erfindungsgemäß modifizierten feuchteadaptiven Dampfbremse dar, bei der ausgehend von einer Dampfbremsfolie gem. Kurve 1 durch Einbau hydrophober Mittel in die feuchteadaptive Funktionsschicht der Wendebereich der Kurve insgesamt nach rechts verrückt wurde. Ersichtlich öffnet sich die S-Kurve 3 erst bei höherer Feuchte der Umgebung. Der mit 4 bezeichnete Wendepunkt der Kurve 3 liegt hierbei im Bereich der mittleren relativen Feuchte von 65 %. Das Diagramm zeigt auch, dass die Kurve 3 im Wendebereich wesentlich steiler verläuft als die Kurven 1 und 2. Als Basismaterial für eine hier einschichtige Dampfbremsfolie eignen sich insbesondere Polyamide, vorzugs-

weise Polyamid 6. Ebenso eignet sich Polyamid 3, 4, 12 oder 66. Erfindungsgemäße Folien können im sog. Cast-Verfahren oder im Blasverfahren hergestellt werden, beispielsweise durch die Fa. MF Folien in Kempten.

Patentansprüche

1. Feuchteadaptive Dampfbremse, mit mindestens einer feuchteadaptiven Funktionsschicht, die aus einem Material gebildet ist, das einen Wasserdampf-Diffusionswiderstand aufweist, der sich mit zunehmender Feuchte der die Dampfbremse umgebenden Atmosphäre verringert, derart, dass die Dampfbremse bei einer Feuchte von 30-50 % einen Wasserdampf-Diffusionswiderstand von 2 m diffusionsäquivalenter Luftschichtdicke (s_d -Wert) und darüber und bei einer Feuchte ab 60 % einen Wasserdampf-Diffusionswiderstand ≤ 1 m diffusionsäquivalenter Luftschichtdicke aufweist,

dadurch gekennzeichnet, dass

in die feuchteadaptive Funktionsschicht der Dampfbremse hydrophobierende oder hydrophilierende Mittel eingebaut und/oder die feuchteadaptive Funktionsschicht mit einer Beschichtung versehen ist, die hydrophobierende oder hydrophilierende Mittel aufweist, derart, dass die feuchteadaptive Funktionsschicht der Dampfbremse bei einer Umgebungsfeuchte bis 50 % einen Wasserdampf-Diffusionswiderstand ≥ 4 m diffusionsäquivalente Luftschichtdicke, vorzugsweise größer 5 m, insbesondere vorzugsweise > 10 m und bei einer Umgebungsfeuchte ab 70 % einen Wasserdampf-Diffusionswiderstand (s_d -Wert) < 1 m diffusionsäquivalente Luftschichtdicke aufweist.

2. Feuchteadaptive Dampfbremse nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass

der Wasserdampf-Diffusionswiderstand bei einer Umgebungsfeuchte bis 50 %, vorzugsweise bis 55 %, größer als 4 m diffusionsäquivalente Luftschichtdicke vorzugsweise größer als 5 m diffusionsäquivalente Luftschichtdicke aufweist.

3. Feuchteadaptive Dampfbremse nach Anspruch 1 oder 2,

dadurch gekennzeichnet, dass

der Wasserdampf-Diffusionswiderstand bei einer Umgebungsfeuchte ab 75 % vorzugsweise bereits ab 70 % einen Wert $\leq 0,5$ m diffusionsäquivalente Luftschichtdicke aufweist.

4. Feuchteadaptive Dampfbremse, insbesondere Dampfbremse nach einem der Ansprüche 1-3,

dadurch gekennzeichnet, dass

die feuchteadaptive Funktionsschicht im Diagramm Wasserdampfdiffusions-Widerstand als s_d -Wert (Koordinate) über die Umgebungsfeuchte (Abszisse) eine S-Kurve darstellt, bei der der einlaufende S-Schenkel der S-Kurve bei einer Feuchte im Bereich bis 50 % auf einem Niveau des s_d -Werts des Wasserdampf-Diffusionswiderstands von ≥ 4 m diffusionsäquivalenter Luftschichtdicke und der auslaufende S-Schenkel ab einer Umgebungsfeuchte von 70 % unterhalb eines Wasserdampf-Diffusionswiderstands (s_d -Wert) von 1 m diffusionsäquivalenter Luftschichtdicke verläuft, und dass der Wendepunkte der S-Kurve zwischen einlaufendem und auslaufendem S-Schenkel sich bei einer Umgebungsfeuchte von 60 % und darüber befindet.

5. Dampfbremse nach Anspruch 4,

dadurch gekennzeichnet, dass

der Wendepunkt der S-Kurve sich im Bereich einer Feuchte von 63 %, vorzugsweise von 65 %, und darüber befindet.

6. Dampfbremse nach einem der vorhergehenden Ansprüche

dadurch gekennzeichnet, dass

das Verhältnis des Wasserdampf-Diffusionswiderstands bei einer relativen mittleren Umgebungsfeuchte von 26,5 % zum Wasserdampf-Diffusionswiderstand bei einer relativen mittleren Umgebungsfeuchte von 71,5 % mindestens 10:1 ist.

7. Dampfbremse nach Anspruch 6

dadurch gekennzeichnet, dass

das Verhältnis s_d -Wert bei 26,5 % : s_d -Wert bei 71,5 % $\leq$ 50:1 ist.

8. Dampfbremse nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

die feuchteadaptive Funktionsschicht eine Dicke im Bereich von 30 μm bis 100 μm aufweist.

9. Dampfbremse nach einem der vorhergehenden Ansprüche

dadurch gekennzeichnet, dass

die feuchteadaptive Funktionsschicht aus Polyamid, EVOH (Ethylen-Vinylalkohol), Polyäther-Copolymer mit eingebauten Ionomeren oder einem Polyethylenpolyacrylsäurecopolymer gebildet ist.

10. Dampfbremse nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

die feuchteadaptive Funktionsschicht durch eine Folie gebildet ist.

11. Dampfbremse nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

als hydrophobierende Mittel solche auf Basis Fluorcarbon, fluorierter Esther oder Mittel auf Silikonbasis insbesondere organische Silikonverbindungen, als hydrophilierende Mittel Polyether, organische Ammoniumsalze oder organische Säuren verwendet sind.

12. Dampfbremse nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

die feuchteadaptive Funktionsschicht ein- oder beidseitig zur Erhöhung der mechanischen Festigkeit mit einem Vlies, insbesondere Glasvlies, oder einer festigkeitserhöhenden Gelegesicht, insbesondere Gittergewebe kaschiert ist.

13. Dampfbremse nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

im Falle einer Beschichtung der feuchteadaptiven Funktionsschicht mit hydrophilierenden oder hydrophobierenden Mitteln die Beschichtung beidseits der Dampfbremse vorgesehen ist.

14. Dampfbremse nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

das hydrophobe oder hydrophile Material in einer Menge von $\leq 5 \%$, vorzugsweise $\leq 2 \%$ (Masseprozent) bezogen auf die feuchteadaptive Funktionsschicht vorgesehen ist.

Fig. 1

