

Empa

Überlandstrasse 129  
CH-8600 Dübendorf

T +41 44 823 55 11  
F +41 44 821 62 44

www.empa.ch



Materials Science & Technology

HAGA AG  
Naturbaustoffe  
Hübelweg 1  
5102 Rapperswil

## Prüfbericht Nr. 449 971\_r

**Prüfauftrag:** Bestimmen der Wasserdampfdurchlässigkeit  
Normen EN ISO 12572 (SN EN 12086) SIA 279

**Prüfobjekt:** Probe 1 HAGA Kalkfarbe  
Probe 2 HAGA Bio Grundputz  
Probe 3 HAGA Biotherm

**Ihr Auftrag vom:** 2008 - 07 - 14

**Eingang des Prüfobjektes:** 2008 - 07 - 14

**Ausführung der Prüfung:** 2008 - 10 - 01 bis 2008 - 11 -03

**Anzahl Seiten:** 8

**Beilagen:** -

### Inhalt

1. Auftrag
2. Produktebeschrieb
3. Probenahme / Behandlung der Probekörper
4. Messverfahren
5. Messdaten
6. Messergebnisse

Anhang  
Messverfahren  
Messunsicherheit

Dübendorf, 12.11.2008  
Prüfleiter:

*R. Vonbank*

R. Vonbank

Abteilung Bautechnologien  
Laborleiter Gebäudehülle:

*H. Simmler*

Dr. H. Simmler



STS 086

Anmerkung: Die Untersuchungsergebnisse haben nur Gültigkeit für das geprüfte Objekt. Das Verwenden des Berichtes zu Werbezwecken, der blosser Hinweis darauf sowie auszugsweises Veröffentlichen bedürfen der Genehmigung der EMPA (vgl. Merkblatt). Bericht und Unterlagen werden 10 Jahre archiviert.

## 1. Auftrag

Die Firma HAGA AG, Naturbaustoffe, Hübelweg 1, 5102 Rapperswil, vertreten durch Herrn Thomas Bühler, erteilte der Abteilung Bautechnologien der EMPA Dübendorf den Auftrag, die Wasserdampfdurchlässigkeit von 3 verschiedenen Anstrichen im Trockenbereich zu bestimmen.

## 2. Produktebeschrieb

(Angaben des Herstellers)

Probe 1 HAGA Kalkfarbe, 2 Anstriche  
bestehend aus

Probendicke im Mittel von 3 Proben 0.3 mm  
Sumpfkalk, Leitungswasser, Kalksteinmehl  
Kreidemehl, Tonerdemehl, Titandioxyde,  
Weisskalkhydrat, Talkum, Leinöl- Standöl,  
Cellulosepulver

Probe 2 HAGA Bio Grundputz + 2 Anstriche  
Kalkfarbe, bestehend aus

Probendicke im Mittel von 3 Proben 10.2 mm  
Kalksteingranulat, Kalksteinmehl,  
Weisskalkhydrat, Hydraulischer Kalk,  
Trasskalk, Tonerdemehl, Perlitegranulat,  
Perlitegranulatmehl, Pflanzenstärke,  
Cellulosefasern, Cellulosepulver

Probe 3 HAGA Biotherm  
bestehend aus

Probendicke im Mittel von 3 Proben 35.3 mm  
Perlitegranulat, Perlitegranulatmehl,  
Weisskalkhydrat, Weisszement,  
Tonerdemehl, Korkschrotgranulat,  
Glimmer, Pflanzenstärke, Cellulosefasern,  
Cellulosepulver

## 3. Probenahme / Behandlung der Probekörper

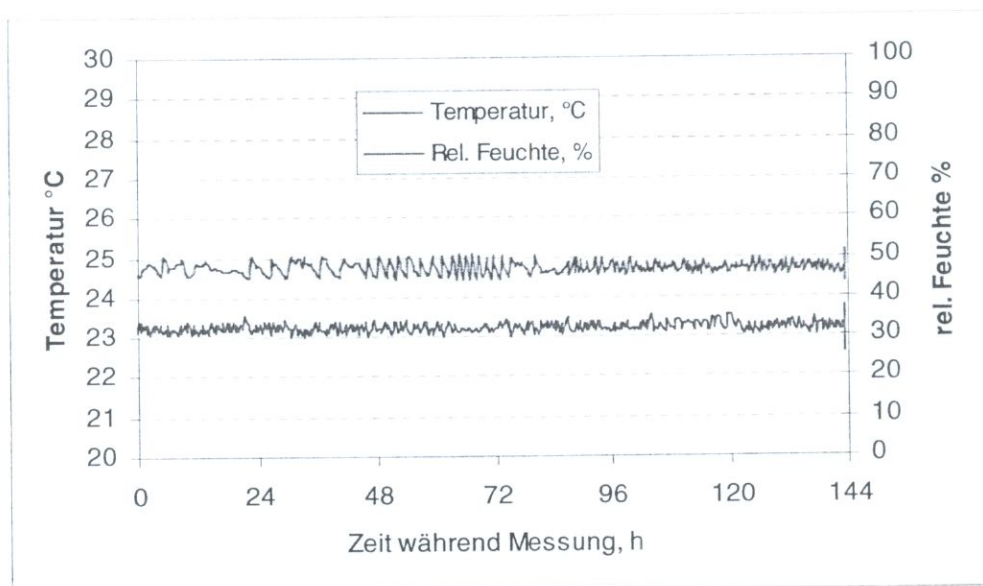
Die Aufbringung der Beschichtungen und die Anlieferung der Proben führte die Firma HAGA AG, Naturbaustoffe, Hübelweg 1, 5102 Rapperswil selbst durch.

Jedes der 3 Produkte wurde auf jeweils 4 von der EMPA abgegebenen Porenbetonplatten (mittlere Dicke 18.4 mm) aufgebracht. Zur Prüfung selbst wählte der Prüfleiter je 3 Platten aus.

#### 4. Messverfahren

Die Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit im Trockenbereich erfolgte gemäss dem Verfahren das in der Standardanweisung EMPA SOP Nr. 176.104 beschrieben ist. Damit können die Forderungen aus den angegebenen Normen erfüllt werden. Die detaillierte Beschreibung zum Messablauf und den Berechnungen befinden sich im Anhang.

#### 5. Messdaten      Daten des Klimaraumes während der Messung



## 6. Messergebnisse

Material : Probe 1 HAGA Kalkfarbe, 2 Anstriche  
 Abmessung : 275 x 375 mm  
 Bezugsfläche : 0.0905 m<sup>2</sup>  
 Nenndicken : ca. 0.3 mm  
 Trockenklima : Molekularsieb = 0 % r.F.  
 Feuchtklima : 23°C / 50% r.F.  
 Dampfdruckdifferenz :  $\Delta p = 1404 \text{ Pa}$

Bezeichnung	Probe Nr.	A 1	A 2	A 3	Mittel
Dicke	mm	0.26	0.31	0.31	<b>0.29</b>
Länge x Breite	m x m	0.375	0.275		<b>0.1031</b>
Durchlassfläche A	m <sup>2</sup>	0.355	0.255		<b>0.0905</b>
Trockengewicht	g	1136.21	1150.87	1140.72	
Flächengewicht	kg/m <sup>2</sup>	11.018	11.160	11.062	<b>11.080</b>
Rohdichte	kg/m <sup>3</sup>	42376.1	35999.8	35682.3	<b>38019.4</b>
Dampfstrom Messung 1	mg/h	454.3	475.0	455.0	
Dampfstrom Messung 2	mg/h	466.7	488.3	456.7	
Dampfstrom Messung 3	mg/h	463.9	486.1	452.8	
Dampfstrom Messung 4	mg/h	468.8	503.1	431.3	
Dampfstrom Messung 5	mg/h	446.4	496.4	450.0	
Dampfstrom Mittelwert G	mg/h	<b>460.0</b>	<b>489.8</b>	<b>449.2</b>	<b>466.3</b>
Diffusionswiderstand $Z_{\text{mess}}$	(m <sup>2</sup> h Pa)/mg				<b>0.273</b>
Diffusionswiderstand Apparatur $Z_{\text{app}}$	(m <sup>2</sup> h Pa)/mg				<b>0.257</b>
Diffusionswiderstand Z	(m <sup>2</sup> h Pa)/mg				<b>0.02</b>
Diffusionsdurchlasskoeffizient W	mg/(m <sup>2</sup> h Pa)				<b>62.5</b>
Diffusionsleitkoeffizient $\delta$	mg/(m h Pa)				<b>1.83E-02</b>
Diffusionswiderstandszahl $\mu$	(-)				<b>37</b>
Diffusionsäquiv. Luftschichtdicke $s_D$	m				<b>0.011</b>

### Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke $s_D < 0.05 \text{ m}$

Anmerkung zur genannten Luftschichtdicke: Untere Messgrenze des Prüfverfahrens erreicht.



Material : Probe 2 HAGA Bio Grundputz  
 Abmessung : 275 x 375 mm  
 Bezugsfläche : 0.0905 m<sup>2</sup>  
 Nenndicken : ca. 10.2 mm  
 Trockenklima : Molekularsieb = 0 % r.F.  
 Feuchtklima : 23°C / 50% r.F.  
 Dampfdruckdifferenz :  $\Delta p = 1404 \text{ Pa}$

Bezeichnung	Probe Nr.	B 1	B 2	B 3	Mittel
Dicke	mm	9.93	10.32	10.47	<b>10.24</b>
Länge x Breite	m x m	0.375	0.275		<b>0.1031</b>
Durchlassfläche A	m <sup>2</sup>	0.355	0.255		<b>0.0905</b>
Trockengewicht	g	2399.91	2395.34	2332.37	
Flächengewicht	kg/m <sup>2</sup>	23.272	23.228	22.617	<b>23.039</b>
Rohdichte	kg/m <sup>3</sup>	2343.6	2250.7	2160.2	<b>2251.5</b>
Dampfstrom Messung 1	mg/h	338.1	332.2	333.9	
Dampfstrom Messung 2	mg/h	335.4	327.9	328.8	
Dampfstrom Messung 3	mg/h	332.6	327.4	325.7	
Dampfstrom Messung 4	mg/h	328.9	322.4	320.6	
Dampfstrom Messung 5	mg/h	321.7	315.8	314.2	
Dampfstrom Mittelwert G	mg/h	<b>331.3</b>	<b>325.1</b>	<b>324.6</b>	<b>327.0</b>
Diffusionswiderstand $Z_{\text{mess}}$	(m <sup>2</sup> h Pa)/mg				<b>0.39</b>
Diffusionswiderstand Apparatur $Z_{\text{app}}$	(m <sup>2</sup> h Pa)/mg				<b>0.281</b>
Diffusionswiderstand Z	(m <sup>2</sup> h Pa)/mg				<b>0.11</b>
Diffusionsdurchlasskoeffizient W	mg/(m <sup>2</sup> h Pa)				<b>9.3</b>
Diffusionsleitkoeffizient $\delta$	mg/(m h Pa)				<b>9.51E-02</b>
Diffusionswiderstandszahl $\mu$	(-)				<b>7</b>
Diffusionsäquiv. Luftschichtdicke $s_D$	m				<b>0.07</b>

Messunsicherheit < 5% ( vgl. Anhang 2 )

**Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke  $s_D = 0.07 \text{ m}$**

Material : Probe 3 HAGA Biotherm  
 Abmessung : 275 x 375 mm  
 Bezugsfläche : 0.0905 m<sup>2</sup>  
 Nenndicken : ca. 35.3 mm  
 Trockenklima : Molekularsieb = 0 % r.F.  
 Feuchtklima : 23°C / 50% r.F.  
 Dampfdruckdifferenz :  $\Delta p = 1404 \text{ Pa}$

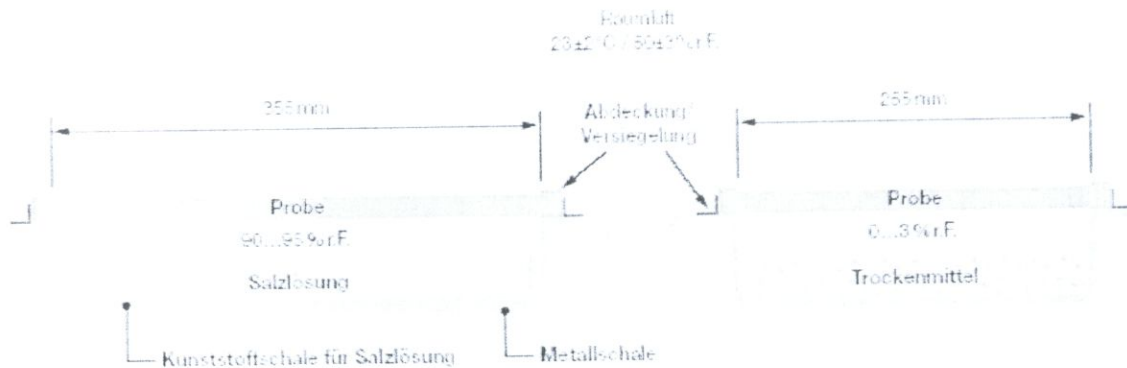
Bezeichnung	Probe Nr.	C 1	C 2	C 3	Mittel
Dicke	mm	35.55	36.07	34.26	<b>35.29</b>
Länge x Breite	m x m	0.375	0.275		<b>0.1031</b>
Durchlassfläche A	m <sup>2</sup>	0.355	0.255		<b>0.0905</b>
Trockengewicht	g	2513.86	2658.68	2573.26	
Flächengewicht	kg/m <sup>2</sup>	24.377	25.781	24.953	<b>25.037</b>
Rohdichte	kg/m <sup>3</sup>	685.7	714.8	728.3	<b>709.6</b>
Dampfstrom Messung 1	mg/h	276.0	220.8	245.6	
Dampfstrom Messung 2	mg/h	261.7	215.8	236.7	
Dampfstrom Messung 3	mg/h	261.3	207.5	236.7	
Dampfstrom Messung 4	mg/h	243.8	205.2	234.3	
Dampfstrom Messung 5	mg/h	248.5	211.8	236.0	
Dampfstrom Mittelwert G	mg/h	<b>258.3</b>	<b>212.2</b>	<b>237.9</b>	<b>236.1</b>
Diffusionswiderstand $Z_{\text{mess}}$	(m <sup>2</sup> h Pa)/mg				<b>0.54</b>
Diffusionswiderstand Apparatur $Z_{\text{app}}$	(m <sup>2</sup> h Pa)/mg				<b>0.281</b>
Diffusionswiderstand Z	(m <sup>2</sup> h Pa)/mg				<b>0.26</b>
Diffusionsdurchlasskoeffizient W	mg/(m <sup>2</sup> h Pa)				<b>3.9</b>
Diffusionsleitkoeffizient $\delta$	mg/(m h Pa)				<b>1.37E-01</b>
Diffusionswiderstandszahl $\mu$	(-)				<b>5</b>
Diffusionsäquiv. Luftschichtdicke $s_D$	m				<b>0.18</b>

Messunsicherheit < 10% ( vgl. Anhang 2 )

**Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke  $s_D = 0.18 \text{ m}$**

## Anhang 1

### Bestimmen des Wasserdampf-Durchgangs



#### Ablauf der Messung

Die Proben werden auf die erforderlichen Masse von 0.375 x 0.275 m zugeschnitten und anschliessend während 28 Tagen oder bis zum Erreichen der Ausgleichsfeuchte in einem Klima von 23°C/50% r.F. gelagert. Vor der Messung werden die Ränder der Proben durch 10 mm tiefes Eintauchen in Paraffin oder durch Abkleben mit Aluminiumklebeband abgedichtet. Die diffusionsaktive Fläche verringert sich dadurch auf 0.355 x 0.255 m. In spezielle Metallschalen wird Trockenmittel für Messungen im Trockenbereich oder eine Salzlösung für Messungen im Nassbereich gegeben. Für die Versuche an der EMPA wird Molekularsieb (ca. 0 % r.F.) als Trockenmittel und Amoniumdihydrogenphosphat (ca. 93% r.F.) als Salzlösung verwendet. Die Menge des Trockenmittels richtet sich nach dem zu erwartenden Dampfdurchgang und variiert zwischen 1 bis 3 kg.

Anschliessend werden die Proben in die Schalen eingesetzt und mit einem plastischen Kitt oder durch Abkleben mit Aluminiumklebeband an den Rändern hermetisch abgedichtet. Durch periodisches Wägen wird die Gewichtszunahme bzw. -abnahme der gefüllten Schalen bestimmt. Bei Messungen im Trockenbereich werden die Messschalen nach jeder Wägung geschüttelt um die Aufnahmefähigkeit des Trockenmittels möglichst konstant zu halten. Die Wägungen werden so lange fortgesetzt, bis normalerweise fünf aufeinanderfolgende Messungen einen konstanten Dampfdurchgang ergeben. Der Dampfdurchgang wird als konstant beurteilt, wenn keiner der einzelnen Messwerte mehr als 5% vom Mittelwert abweicht. Das Messintervall hängt vom Wasserdampfdiffusionswiderstand der Proben ab und wird so gewählt, dass die Massenänderung zwischen den Wägungen 0.5 bis maximal 2 g beträgt. Das Messintervall kann daher zwischen einer Stunde und einem Monat variieren.

#### Berechnung der Resultate

Wasserdampf-Diffusionskoeffizient		$W = m_D / (A \cdot \Delta p)$	[mg/m <sup>2</sup> ·h·Pa]
Wasserdampf-Diffusionswiderstand		$Z = 1/W$	[m <sup>2</sup> ·h·Pa/mg]
Wasserdampf-Diffusionsleitkoeffizient		$\delta = W \cdot d$	[mg/m·h·Pa]
Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl		$\mu = \delta_{Luft} / \delta$	[-]
Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke		$s_D = \mu \cdot d$	[m]
Darin bedeutet:	$m_D$	[mg/h]	Dampfdurchgang pro Stunde (Mittelwert aus min. drei Einzelmessungen oder als Mittelwert der Messperiode)
	$A$	[m <sup>2</sup> ]	Messfläche (Standard : 0.0905 m <sup>2</sup> )
	$\Delta p$	[Pa]	Dampfdruckdifferenz
	$d$	[m]	Dicke der Probe
	$\delta_{Luft}$	[mg/(m h Pa)]	Wasserdampf-Diffusionsleitkoeffizient der umgebenden Luft. Für die EMPA Dübendorf kann der Wert 0.72 mg/m h Pa (23°C und 960 mbar) eingesetzt werden.

Die Angabe der Messunsicherheit erfolgt gemäss Berechnungsgrundlagen im SOP 176.104. Die Messunsicherheit liegt normalerweise bei ca. 7 %. Sie kann bei kleinen diffusionsäquivalenten Luftschichtdicken bedeutend grösser werden. Die Grenzen für die quantitative Angabe eines  $s_D$ -Wertes liegen zwischen 0.10 m und 1000 m.



## Anhang 2

### Messunsicherheit

#### Standardmessung

Die Messunsicherheit des Wasserdampf-Durchlasskoeffizienten  $W$  bzw. -widerstands  $Z$  setzt sich primär zusammen aus einer abgeschätzten Unsicherheit der Wasserdampfdruckdifferenz (ca.  $\pm 2.5$  % r.F. / 50 % r.F.  $\approx 5$  %) und einer statistischen Unsicherheit des gemessenen mittleren Dampfstroms (typisch  $< 5$  % in Anlehnung an das Abbruchkriterium 6.5.1 EMPA SOP Nr. 176.104).

Die relative Unsicherheit beträgt somit typisch:

$$r_{W,Z} = \sqrt{r_g^2 + r_{\Delta p}^2} \approx 7.1\%$$

Im Speziellen kann für die Messunsicherheit des Dampfstromes  $r_g$  eingesetzt werden:

$$r_g = \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot P$$

s Standardabweichung der korrigierten Messwerte

n Anzahl Messungen

P Faktor für zweiseitiges Vertrauensintervall 90% bei Gausscher Verteilung (1.8 für  $n = 15$ )

Für die äquivalente Luftschichtdicke  $s_D$  geht zusätzlich multiplikativ die Unsicherheit der Wasserdampfleitfähigkeit von ruhender Luft ein (primär Luftdruckeinfluss, rel. Unsicherheit typisch  $< 3$  %).  
Damit ergibt sich:

$$r_{s_D} = \sqrt{r_Z^2 + r_{\delta_{Luft}}^2} \approx 7.6\%$$

Als Standardunsicherheit der Kennwerte  $W$ ,  $Z$  und  $s_D$  kann somit 8% angesetzt werden.  
Für die Wasserdampfleitfähigkeit  $\delta$  bzw. die Diffusionswiderstandszahl  $\mu$  ist zusätzlich die Dicke  $d$  massgeblich. Im Normalfall ist die zusätzliche Unsicherheit vernachlässigbar, muss aber bei geringer bzw. stark streuender Dicke der Probekörper (z.B. dünne Folien) berücksichtigt werden:

$$r_\delta = \sqrt{r_W^2 + r_d^2} \quad r_\mu = \sqrt{r_{s_D}^2 + r_d^2}$$

#### Differenzmessung (gleichzeitig)

Für die Kennwerte  $W$ ,  $Z$  und  $s_D$  aus Differenzmessungen sind folgende Unsicherheiten einzusetzen:

$$r_{W,Z} = \sqrt{r_g^2 \frac{Z_{\text{Total}}^2 + Z_{\text{Träger}}^2}{(Z_{\text{Total}} - Z_{\text{Träger}})^2} + r_{\Delta p}^2} \quad r_{s_D} = \sqrt{r_Z^2 + r_{\delta_{Luft}}^2}$$

Nimmt man für das Trägermaterial  $s_D = 0.3$  m an (2 cm Porenbeton), erhält man als Unsicherheit für eine diffusionsoffene Beschichtung  $\sigma(s_D) \approx 0.02$  m. Wird eine einseitige 90%-Vertrauensgrenze berücksichtigt, liegt die untere Grenze für die Angabe eines  $s_D$ -Wertes von diffusionsoffenen Beschichtungen bei  $s_D < 0.05$  m.