

Winterthur, 9. April 2009

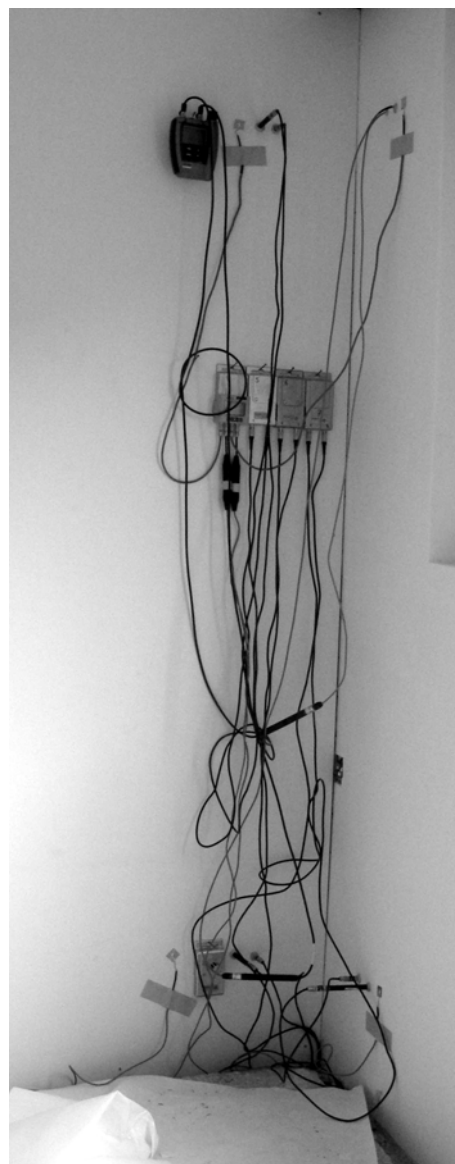
GESAMTSANIERUNG DORFLINDE MESSUNGEN AN MUSTERFLÄCHEN DER INNENDÄMMUNG (Altersheim, Zimmer 312)

1 MESSUNG MULTIPOR UND HOLZFLEX

Installation der Messgeräte am 27. Januar 2009, Messbeginn 15:00, Messtakt 1 Stunde.

Desinstallation der Messgeräte am 20. Februar 2009, Messende 12:00

1. Hydrolog NT, Multipor oben
Kanal 1: Raumklima oben
Kanal 2: Temperatur und Feuchte hinter Deckputz
Kanal 3: Temperatur und Feuchte in Putzoberfläche, hinter Dämmplatte
2. Testo 171, Aussenklima (Nordfassade)
Temperatur und Feuchte im Aussenklima
3. Testo 171, Raumklima unten
Temperatur und Feuchte
4. Testo 171, Oberflächentemperaturen
Kanal 1: Holzverkleidung oben
Kanal 2: Holzverkleidung unten
Kanal 3: Multipor oben
Kanal 4: Multipor unten
5. Testo 171, Holzverkleidung oben
Kanal 1: Temperatur und Feuchte hinter Holzverkleidung
Kanal 2: Temperatur und Feuchte in Putz, hinter Wärmedämmung
6. Testo 171, Holzverkleidung unten
Kanal 1: Temperatur und Feuchte hinter Holzverkleidung
Kanal 2: Temperatur und Feuchte in Putz, hinter Wärmedämmung
7. Testo 171, Multipor unten
Kanal 1: Temperatur und Feuchte hinter Deckputz
Kanal 2: Temperatur und Feuchte in Putzoberfläche, hinter Dämmplatte



2 MESSUNG MULTIPOR UND PAVADENTRO

Installation der Messgeräte am 3. März 2009, Messbeginn 12:00, Messtakt 1 Stunde.

Desinstallation der Messgeräte am 26. März 2009, Messende 12:00

1. Hydrolog NT, Multipor oben
 Kanal 1: Raumklima oben
 Kanal 2: Temperatur und Feuchte hinter Deckputz
 Kanal 3: Temperatur und Feuchte in Putzoberfläche, hinter Dämmplatte
2. Testo 171, Aussenklima (Nordfassade)
 Temperatur und Feuchte im Aussenklima
3. Testo 171, Raumklima unten
 Temperatur und Feuchte
4. Testo 171, Oberflächentemperaturen
 Kanal 1: Pavadentro oben
 Kanal 2: Pavadentro unten
 Kanal 3: Multipor oben
 Kanal 4: Multipor unten
5. Testo 171, Pavadentro oben
 Kanal 1: Temperatur und Feuchte hinter Deckputz
 Kanal 2: Temperatur und Feuchte in Putz, hinter Dämmplatte
6. Testo 171, Pavadentro unten
 Kanal 1: Temperatur und Feuchte hinter Deckputz
 Kanal 2: Temperatur und Feuchte in Putz, hinter Dämmplatte
7. Testo 171, Multipor unten
 Kanal 1: Temperatur und Feuchte hinter Deckputz
 Kanal 2: Temperatur und Feuchte in Putzoberfläche, hinter Dämmplatte

3 AUFBAU DER MUSTERFLÄCHEN

Aussenwand Multipor 120 mm		U = 0.24 W/m²K			
Material, Baustoff	Dicke [mm]	inhomogen (%)	λ, α [W/m²K]	R [m²K/W]	
a	Überg. aussen		25.000	0.04	
Aussenputz	Kalk-Zement	20	0.870	0.02	
Backstein2	Modul-Verbund	320	0.370	0.86	
Verputz	Innenputz	15	0.700	0.02	
Multipor	Minerale Dämmplatte	120	0.040	3.00	
Verputz1	Kalkmörtel	10	0.700	0.01	
i	Überg. innen		8.000	0.13	
Total		485		4.09	

Die Musterfläche aus Multipor wurde mit einer 120 mm starken Dämmschicht aufgebaut. Der rechnerische U-Wert beträgt 0,24 W/m²K.

Die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl (μ-Wert) des Dämmstoffes wird mit 3 angegeben. Der μ-Wert für den Innenputz liegt etwa bei 12. Die diffusionsäquivalente Luftschichtdicke des gesamten Aufbaus beträgt somit rund 0,5 m.

Aussenwand Holzflex 100 mm			U = 0.28 W/m²K	
Material, Baustoff	Dicke [mm]	inhomogen (%)	λ, α [W/m²K]	R [m²K/W]
a	Überg. aussen		25.000	0.04
Aussenputz	Kalk-Zement	20	0.870	0.02
Backstein2	Modul-Verbund	320	0.370	0.86
Verputz	Innenputz	15	0.700	0.02
Holzlattung		10%	0.140	
Homatherm	holzFlex 040	90%	0.038	1.35
Homatherm	holzFlex 040	40	0.038	1.05
Dampfsperre		0.2	1.000	0.00
Spanplatte	<700 kg/m³	19	0.140	0.14
i	Überg. innen		8.000	0.13
Total		474	1	3.62

inhomogene Konstruktion mit Rk als Mittelwert zwischen Ru und Ro

Die *Musterfläche aus Holzflex* mit innerer Beplankung und Dampfsperre wurde aus 40 und 60 mm starken Platten in einem kreuzweise verlegten Lattenrost aufgebaut. Als innere Oberfläche wurde eine 19 mm starke Spanplatte eingesetzt.

Der rechnerische U-Wert erreicht 0,28 W/m²K. Mit 120 mm Dämmstärke würde ebenfalls ein U-Wert von 0,24 W/m²K erreicht.

Die diffusionsäquivalente Luftschichtdicke des gesamten Aufbaus ist nicht genau bekannt, sie dürfte aber über 100 m liegen.

Aussenwand Pavadentro 100 mm			U = 0.29 W/m²K	
Material, Baustoff	Dicke [mm]	inhomogen (%)	λ, α [W/m²K]	R [m²K/W]
a	Überg. aussen		25.000	0.04
Aussenputz	Kalk-Zement	20	0.870	0.02
Backstein2	Modul-Verbund	320	0.370	0.86
Verputz	Innenputz	15	0.700	0.02
Holzfaserverplatte5	Pavatherm	20	0.042	0.48
Dampfbremse	Funktionsschicht	0.7	1.000	0.00
Holzfaserverplatte5	Pavatherm	80	0.042	1.90
Verputz1	Kalkmörtel	15	0.700	0.02
i	Überg. innen		8.000	0.13
Total		471		3.48

Die *Musterfläche aus Pavadentro* besteht aus einer 100 mm starken Dämmung mit mehreren Schichten Holzfaserverplatten à 20 mm. Auf der warmen Seite der äussersten Schicht ist eine so genannte Funktionsschicht als Dampfbremse aufgezogen.

Der rechnerische U-Wert erreicht 0,29 W/m²K. Mit 120 mm Dämmstärke würde ein U-Wert von 0,25 W/m²K erreicht.

Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke des gesamten Aufbaus: 4,1 m.

4 RAUMKLIMA UND BEFEUCHTUNG

Die Raumtemperatur konnte nicht geregelt werden. Bei abgestellten Heizkörpern lag die Raumtemperatur durch Zwangswärmeeintrag mindestens bei 22°C, bei wärmerer Witterung erhöhte sie sich auf 24°C und, gegen Ende der zweiten Messperiode mit stärkerer Sonneneinstrahlung bis 26°C.

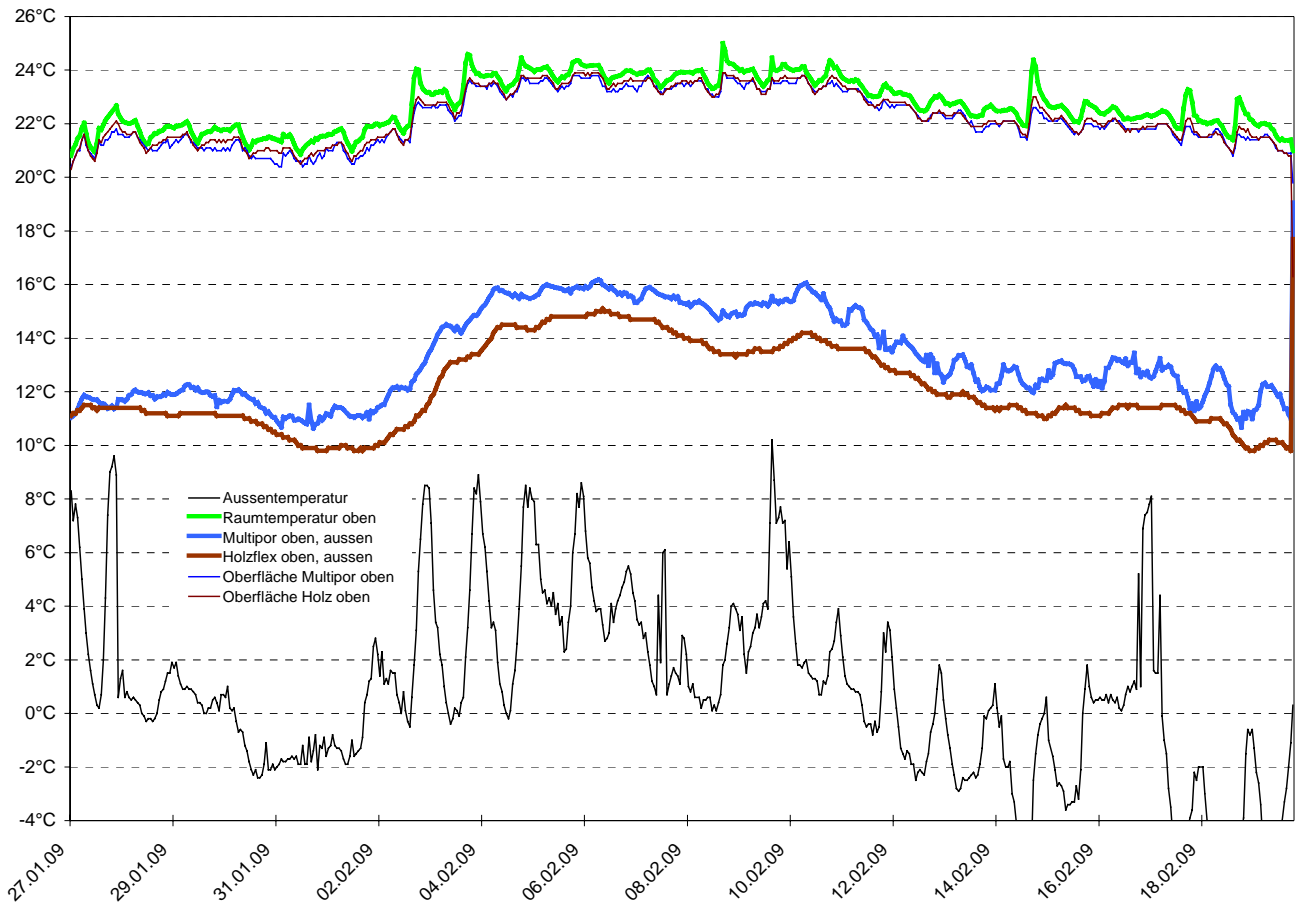
Die Raumluftfeuchte wurde mit einem Verdampfungsgerät geregelt. Trotz Abdichtungen an Rolladenkästen und Abluftventilen mussten fast täglich 5 l Wasser nachgefüllt werden, um eine relativ hohe Raumluftfeuchte von 55 % erzeugen zu können.

Übers Wochenende sank die Raumluftfeuchte teilweise ab, weil kein Wasser nachgefüllt wurde. Diese Schwankungen geben insgesamt ein realistisches Bild eines Raumklimas mit hoher Feuchtelast und unregelmässigen Lüftungsverhalten.

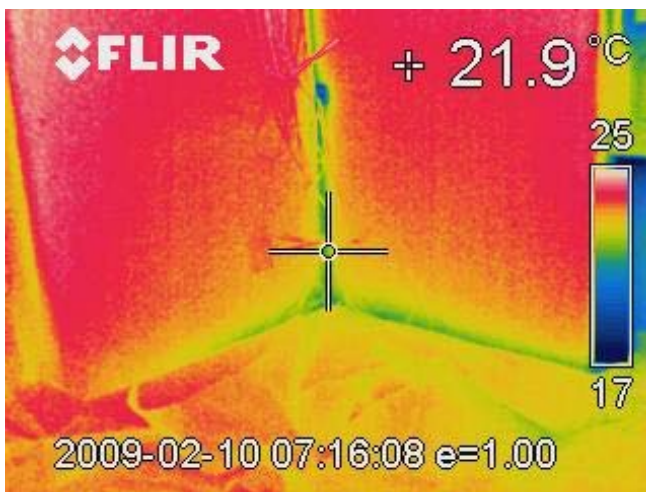
Gegen Ende der Messperioden wurde bewusst kein Wasser mehr nachgefüllt, um auch das Austrocknungsverhalten sehen zu können.

5 MESSREIHE MIT MULTIPOR UND HOLZFLEX

Temperaturen



Die Raumtemperatur lag am Anfang und am Ende der Messperiode, bei tiefen Aussentemperaturen um 22°C. In der Mitte der Messperiode, bei etwas wärmerer Witterung erhöhte sie sich auf 24°C. Die Aussentemperatur sank gegen Ende der Messperiode auf Tiefstwerte um -9°C.



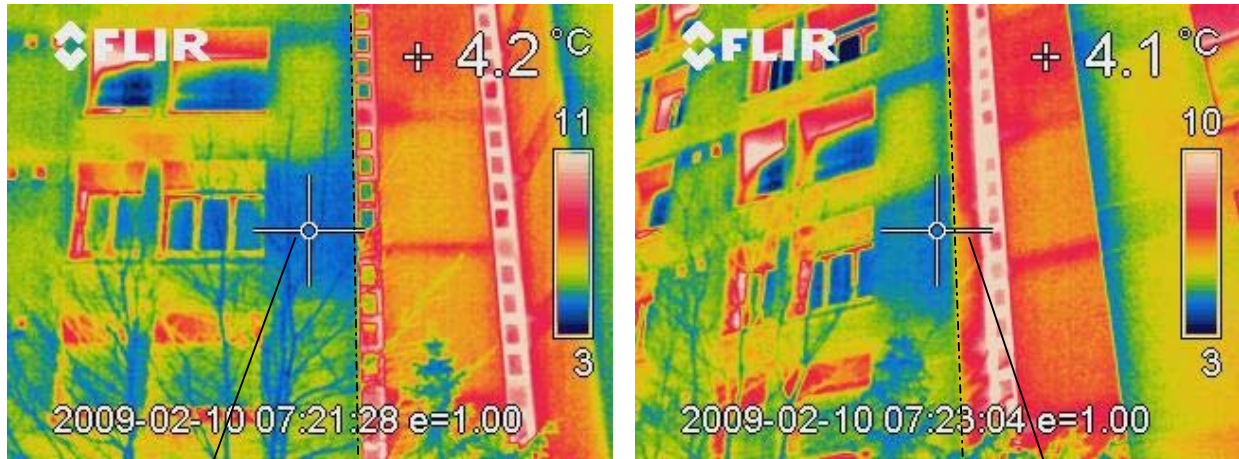
Die Aufnahme mit der Infrarotkamera zeigt den Fussbereich der Musterflächen von innen:

Links die Holzflex-Dämmung mit der beschichteten Spanplatte, rechts die verputzte Multipor-Innendämmung.

Die Temperaturen in der ungestörten Fläche sind identisch, am Rand zeigen sich deutliche Flankeneffekte: im Fussbereich ist der Unterlagsboden als Wärmebrücke erkennbar und in der Ecke zeigt sich ein Lufthohlraum am Stoss der beiden Materialien.

Die Ecke links ist deutlich wärmer, weil sie an das warme Gebäudeinnere angrenzt, während die Ecke rechts deutlich kälter ist, weil sie ans Fenster angrenzt. Am kältesten zeigt sich unten rechts die Heizkörpernische, da der Heizkörper abgestellt war.

Die Infrarotaufnahmen zeigen die Musterfläche von aussen:



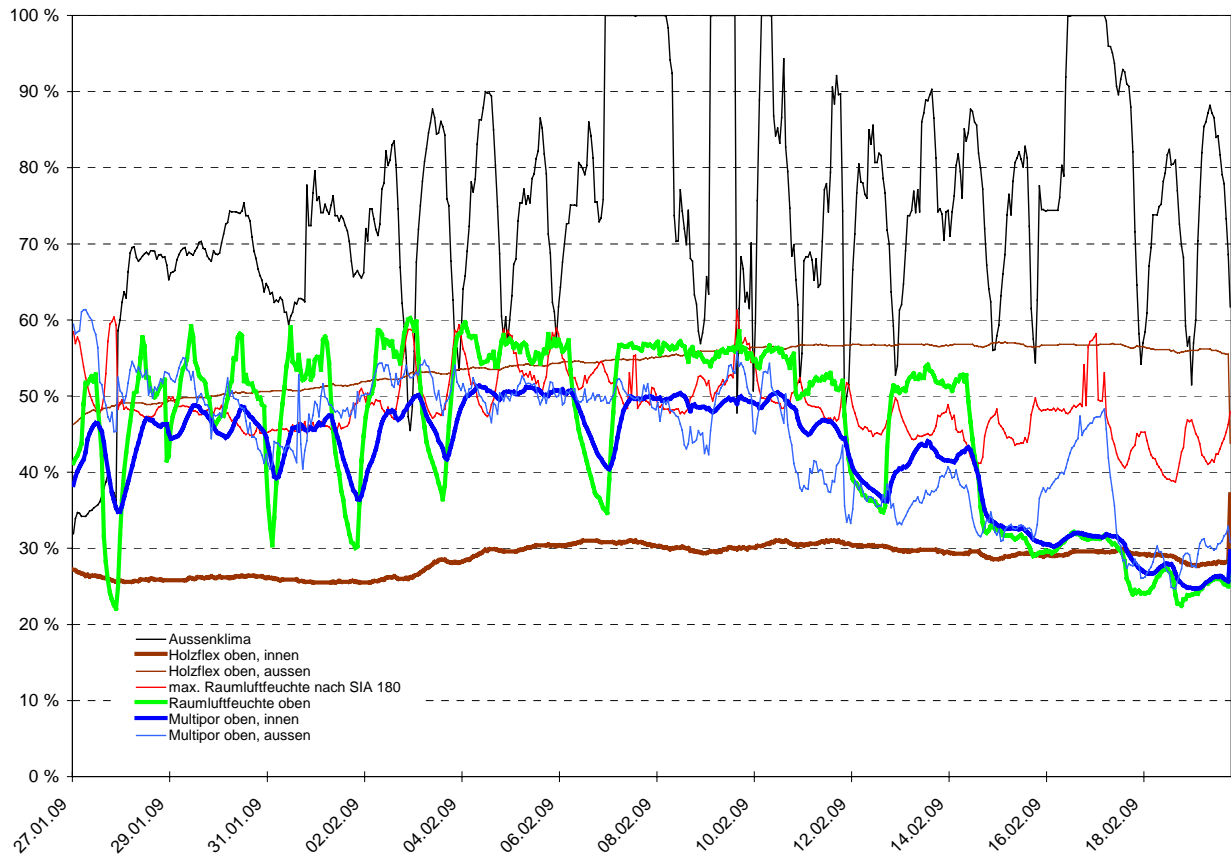
Fläche Multipor Gebäudeecke

Fläche Holzflex

Deutlich erkennbar ist die tiefere äussere Oberflächentemperatur an der mit Multipor gedämmten Fassade, weil diese direkt nach aussen orientiert ist und sich damit durch die langwellige Abstrahlung stärker abkühlen kann.

An der zur Nische der des Treppenhauses orientierten, mit Holzflex gedämmten Fassade ist die Abkühlung im Vergleich zu den nicht gedämmten Flächen wesentlich kleiner. Die warme Abstrahlung der um 3,5 m auskragenden Fassade des Turms 1 in nur 3 m Abstand behindert die Abkühlung so stark, dass die Fassadenoberfläche trotz gleichwertiger Wärmedämmung etwa 2 K wärmer ist als an der frei exponierten Fassade.

relative Feuchte



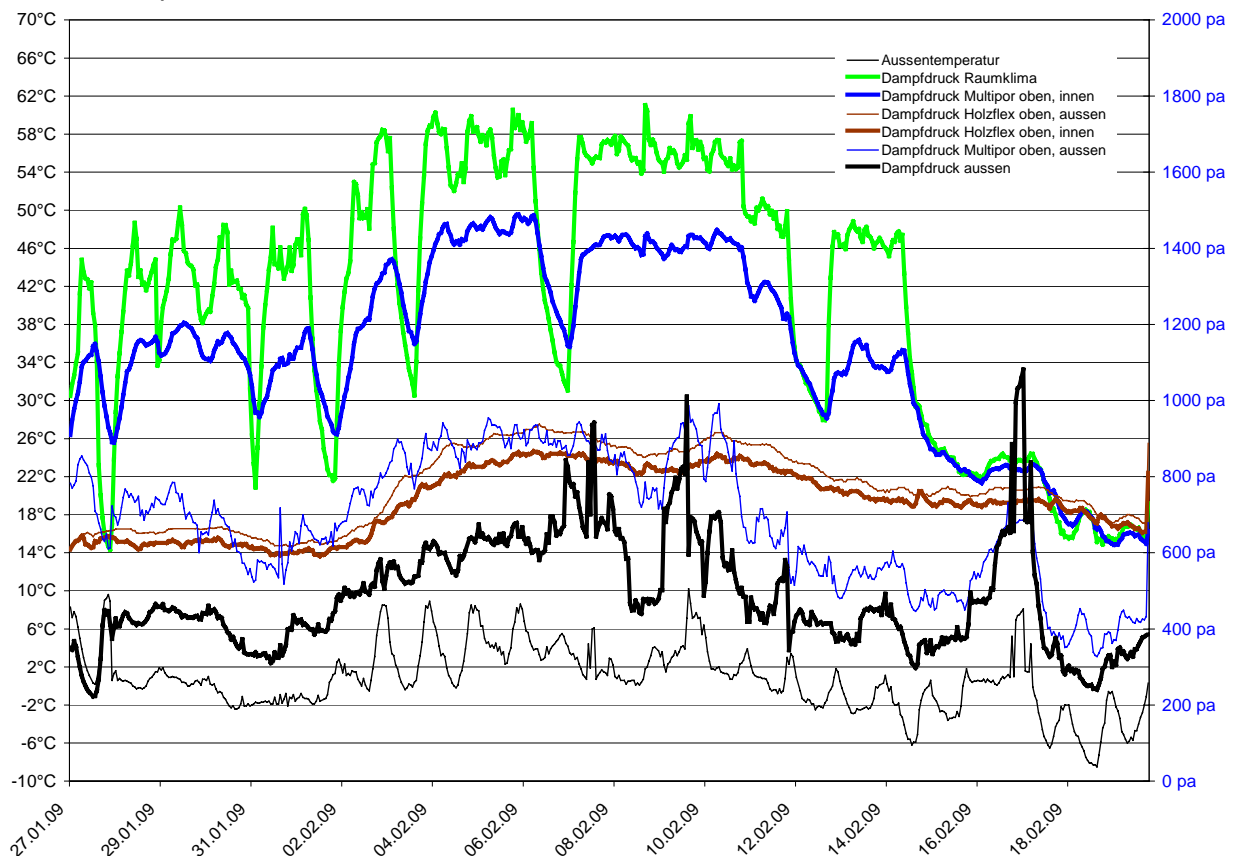
Die relative Feuchte der Raumlufte (grüne Kurve) zeigt die durch den Betrieb des Verdampfers erzeugten Schwankungen. Rot ist die aussentemperaturabhängige maximale Raumluftefeuchte nach SIA 180 dargestellt. Mit Raumluftefeuchten bis 60 % wurde bewusst eine sehr hohe Feuchtelast dargestellt, so dass die mittlere Raumluftefeuchte über dem Grenzwert nach SIA 180 lag. Mit den Betriebsunterbrüchen des Verdampfers wurde ein unregelmässiges Lüftungsverhalten simuliert (kurzzeitiger Abfall bis unter 30 %).

Die Messreihe zeigt deutlich das dynamische Verhalten der Multipor-Dämmung: Im Dämmstoff hinter der Putzoberfläche wird eine relative Feuchte von rund 50 % erreicht. Trotz diffusionsoffenem Putz und tieferer Temperatur hinter der Oberfläche lag die relative Feuchte immer 5 bis 10 Prozent unter der Raumluftefeuchte. Dies ist physikalisch nur möglich, weil die Feuchte konstant in tiefere Schichten des Dämmstoffes transportiert worden ist. Beim Abfall der relativen Feuchte der Raumlufte sinkt auch die Feuchte hinter der Oberfläche der Multipor-Platten verzögert ab. Sie bleibt aber höher als die relative Feuchte der Raumlufte, weil jetzt die im Dämmstoff gespeicherte Feuchte wieder an die Raumlufte abgegeben wird.

Die relative Feuchte an der Oberfläche des Mauerwerkes, hinter dem Dämmstoff ist natürlich stark geprägt von den starken Schwankungen der Aussentemperatur. Für die Analyse des effektiven Feuchtehaushaltes müssen die Dampfdruckschwankungen untersucht werden.

Aus der Messreihe mit der Holzflex-Dämmung kann nicht auf Eigenschaften des Dämmstoffes geschlossen werden, da die innere Platte mit Dampfsperre keine Feuchteregulierung zulässt.

Dampfdruck



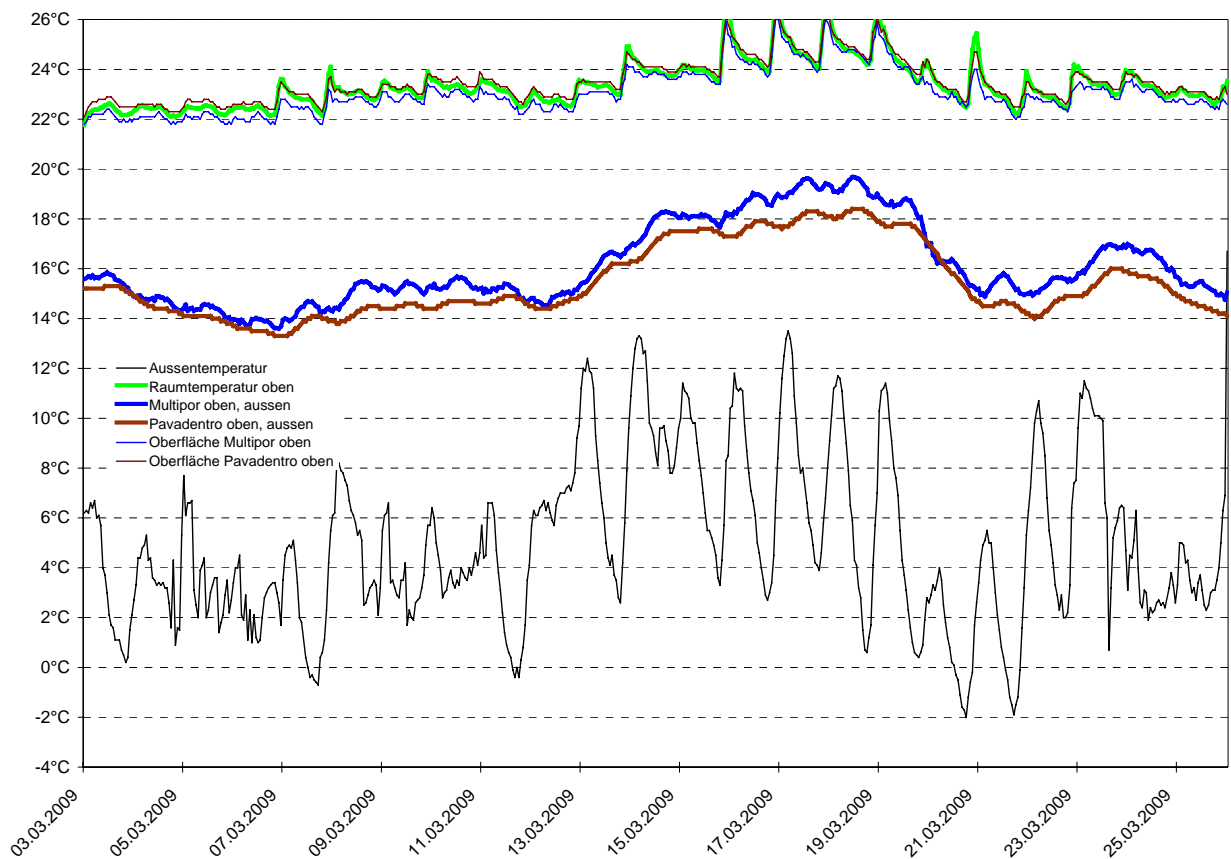
Der Dampfdruck zeigt deutlicher den Einfluss der Innendämmungen auf den Feuchtehaushalt, weil er unabhängig von der Temperatur den effektiven Wassergehalt darstellt (ein Dampfdruck von 100 Pascal (pa) entspricht 0,7 g Wasserdampf pro m³ Raumlufte). Aus dem Abfall des Dampfdruckes im Bauteil kann auf den effektiven Wasserdampftransport geschlossen werden.

Bei der Holzflex-Dämmung ist wegen der inneren Dampfsperrschicht kein Dampfdruckgradient erkennbar, es findet praktisch kein Feuchtetransport über die Gebäudehülle statt.

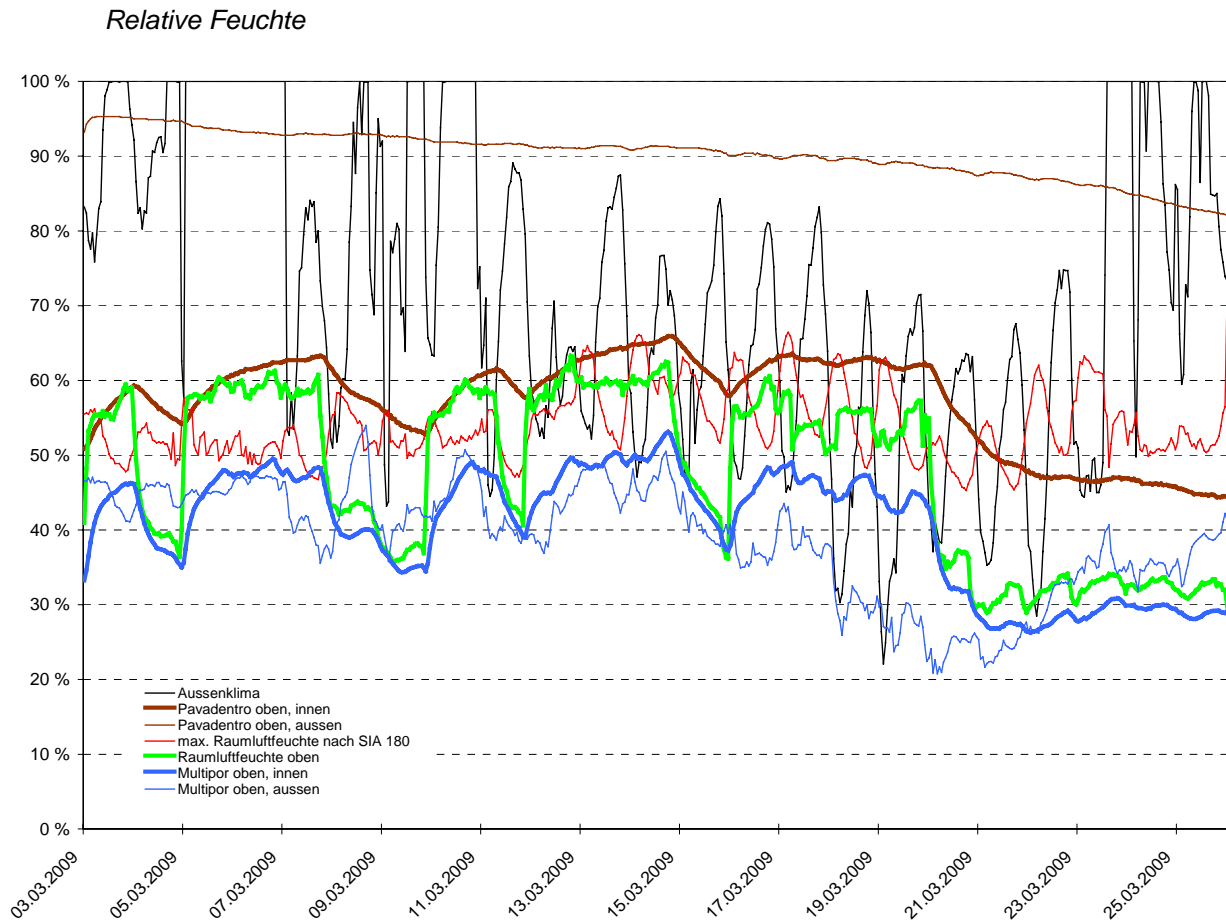
Bei der Multipor-Dämmung lag der mittlere Dampfdruckgradient über der Dämmung während der intensiven Befeuchtung von innen bei 500 Pa. Nach Abschalten der Befeuchtung reduzierte er sich auf 200 Pa, weil die im Dämmstoff gespeicherte Feuchte langsam an die Raumluft abgegeben worden ist. Während dieser Feuchteabgabe an die Raumluft lag der Dampfdruck hinter der Putzoberfläche genau gleich hoch wie der Dampfdruck der Raumluft, was dem sehr diffusionsoffenen Putzaufbau zu verdanken ist.

6 MESSREIHE MIT MULTIPOR UND PAVADENTRO

Temperaturen



Während der zweiten Messreihe Anfang März lag die Aussentemperatur deutlich höher (Mittelwert um 6°C). Infolge der unterschiedlichen Einstrahlung auf die beiden Fassadenflächen können aus dem Temperaturverlauf keine Schlüsse auf die leistungsfähigkeit der Wärmedämmung gezogen werden.

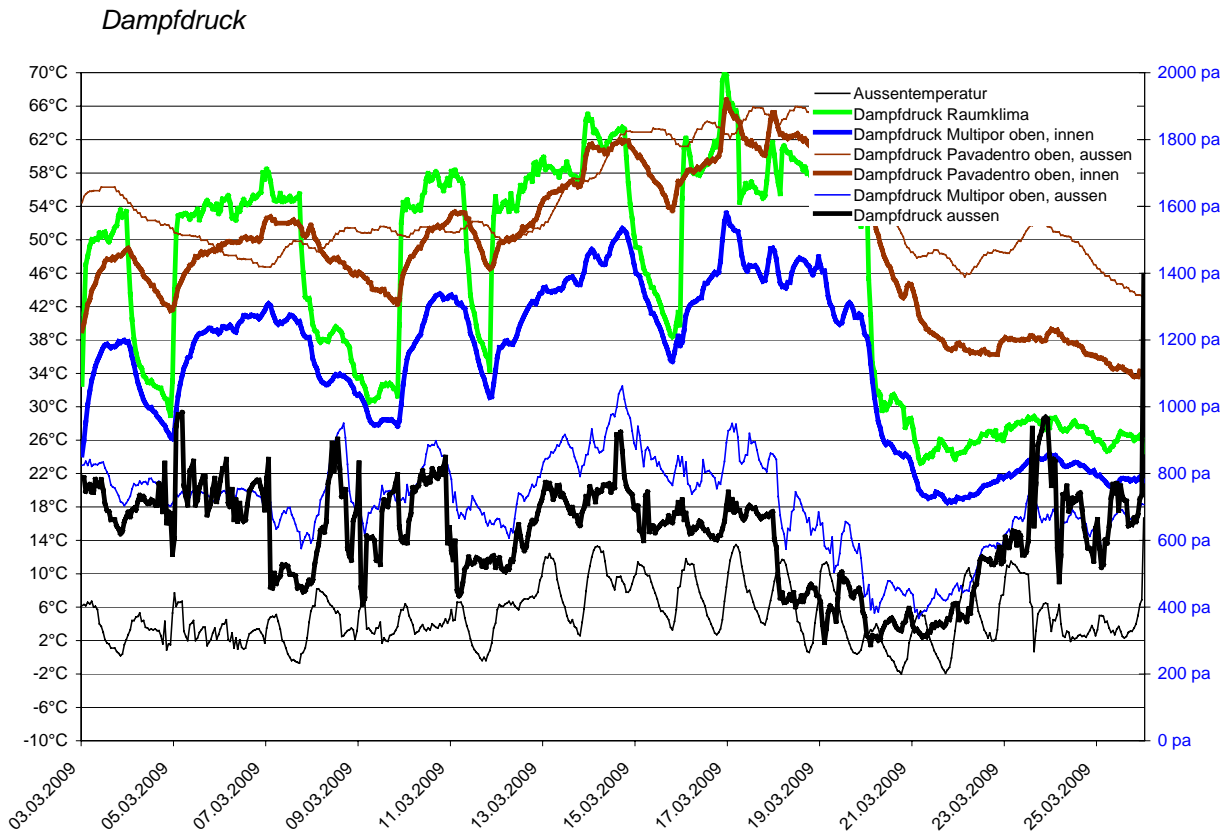


Die Befeuchtung wurde der wärmeren Witterung entsprechend mit bis zu 60 % Raumlufffeuchte etwas höher geregelt, als bei der ersten Messreihe. Die maximale Raumlufffeuchte nach SIA 180 wurde während der Befeuchtungsphasen meist überschritten.

Der Verlauf der relativen Feuchte zeigt bei der Multipor-Dämmung dasselbe Bild wie bei der ersten Messreihe: Während der Befeuchtungsphase liegt die relative Feuchte auch bei wärmerer Witterung immer rund 10 % tiefer als in der Raumluft.

Bei der Wärmedämmung mit Pavadentro lag die relative Feuchte hinter der diffusionsoffenen Putzoberfläche während der Befeuchtungsphase etwas höher als in der Raumluft. Nach Abschluss der Befeuchtung lag sie deutlich über der Raumlufffeuchte, was zeigt, dass im Dämmstoff viel Feuchtigkeit gespeichert war, welche langsam wieder an die Raumluft abgegeben wurde.

Unter der Wärmedämmung aus Pavadentro lag die relative Feuchte am Anfang der Messperiode über 90 %. Sie sank auch nach der Befeuchtungsphase nur langsam ab und lag nach Abschluss der Messperiode immer noch über 80 %. Die hohe Anfangsfeuchtigkeit ist wahrscheinlich auf den Einbettmörtel zurückzuführen. Die sogenannte Funktionsschicht in der Pavadentro-Platte, welche 2 cm hinter der äusseren Oberfläche liegt hat eine dampfbremsende Wirkung, welche die Austrocknung der Klebfläche behindert. Dank dieser Dampfbremse kann auf der Warmseite dieser Schicht viel Feuchtigkeit im Dämmstoff eingelagert werden, welche später wieder an die Raumluft abgegeben wird.



Der Dampfdruckgradient über der Multipor-Dämmung betrug in der Befeuchtungsphase wiederum rund 500 pa. Er sank nach Abschluss der Befeuchtungsphase auf rund 100 pa.

Über der Pavadentro-Dämmung war während der Befeuchtungsphase kein Abfall des Dampfdruckes erkennbar. Nach der Befeuchtung lag der Dampfdruck ausserhalb der als Dampfbremse wirkenden Funktionsschicht um mehr als 200 pa höher als an der Innenseite der Dämmung, weil die Dampfbremse die raumseitige Austrocknung behinderte.

7 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die *Holzflex-Dämmung* hätte grundsätzlich sehr gute Eigenschaften zur Feuchtespeicherung. Diese werden jedoch mit einer praktisch dampfdichten inneren Oberfläche für das Raumklima nicht wirksam. Um die Feuchteregulierung zu gewährleisten müsste eine diffusionsoffene, aber selbständig tragfähige innere Beplankung gefunden werden. Diese Wärmedämmung mit Dampfsperre ist nicht fehlertolerant, weil unsauber ausgeführte Anschlüsse der Dampfsperre und deren spätere Beschädigungen lokal zu starkem Feuchteeintrag führen können. Der Feuchteintrag kann verstärkt werden durch Warm/ Kaltluftkonvektion in Lufthohlräumen, welche mit der Lattenkonstruktion nicht ganz vermieden werden können. Die Dampfsperre behindert die raumseitige Austrocknung eines möglichen Feuchteintrages.

Die *verputzten Wärmedämmungen Multipor und Pavadentro* können, wenn sie diffusionsoffen verputzt werden, das Raumklima sehr wirksam regulieren, indem ein sorptionsfähiger Dämmstoff zur Verfügung steht, welcher Feuchtigkeit aufnehmen und wieder abgeben kann.

Die Dämmstoffe unterscheiden sich durch ihre Porenstruktur jedoch stark in der Beeinflussung des Feuchtehaushaltes.

Die Multipor-Dämmung ist geschlossenzellig, der Wasserdampf-Diffusionswiderstand wird mit 3 angegeben. Da sich die Dampfdruckdifferenz über die ganze Dämmstärke auf sehr viele kleinste Poren verteilt liegt zwischen zwei Poren nur ein sehr kleines Dampfdruckgefälle, was die Wasserdampfdiffusion stark verlangsamt. Bei einer hohen Durchfeuchtung der äussersten Schichten kommt die Dampfdiffusion praktisch zum Stillstand. Dank dieser Eigenschaft sind keine Dampfbremsen oder Dampfsperren erforderlich.

Die Pavadentro-Dämmung dagegen ist offenporig. Die Wasserdampfdiffusion durchdringt den Dämmstoff. Eine wesentliche Feuchtezunahme findet erst in den kühlen äussersten Schichten statt, wenn die relative Feuchte 80 % überschreitet. In diesem hygroskopischen Bereich findet eine Kondensation in den Kapillaren des Dämmstoffes statt, womit sehr viel Feuchte gespeichert werden kann.

Die Messdaten zeigen in der Trocknungsphase, dass die Pavadentro-Dämmung mehr Feuchtigkeit speichern und später wieder an die Raumluft abgeben kann, als die Multipor-Dämmung. Um eine kritische Durchfeuchtung der äussersten Schicht zu vermeiden ist vor dieser äussersten Schicht eine Dampfbremse eingebaut.

Wegen der relativ weichen Deckschicht wirkt die Pavadentro-Dämmung im Massivbau jedoch weniger geeignet als die Multipor-Dämmung.

Winterthur, 9. April 2009

Christoph Keller