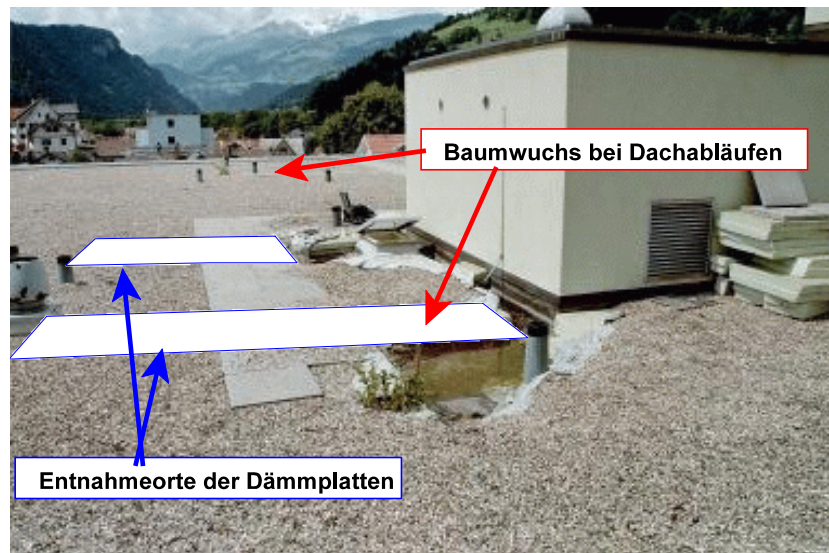


# Wohnhaus “Sentupada” - Ilanz

## Untersuchung der Wasseraufnahme von XPS-Hartschaumdämmplatten<sup>1)</sup> im Umkehrdachaufbau 3 Jahre nach Ausführung der Flachdachsanie rung

1) XPS = extrudiertes Polystyrol



**Objekt:** Wohnhaus “Sentupada”  
CH-7130 Ilanz

**Sachbearbeiter:** Uwe Pernette  
Dipl.-Ing.(FH), Bauphysiker

**Erstellungsdatum:** 28.02.2002

<b>Inhalt</b>	<b>Seite</b>
1. Vorgeschichte .....	3
2. Grundlagen .....	3
3. Ausgangssituation .....	4
3.1 Massgebliche Wärmeleitfähigkeit beim Einbau der Dämmplatten .....	5
3.1.1 Berücksichtigung des Feuchteinflusses auf die Wärmeleitfähigkeit .....	5
4. Allgemeiner Zustand des untersuchten Flachdachs .....	6
5. Entnahmeorte der Plattenproben .....	6
6. Mittlerer Feuchtegehalt der entnommenen Dämmplatten .....	8
6.1 Zusammengefasste Feststellungen aus den Probenentnahmen .....	8
7. Feuchteverteilung in den untersuchten Dämmplatten .....	9
7.1 Zusammenfassung der Feststellungen aus den Detailuntersuchungen .....	9
8. Beurteilung der Wärmedämmung der Plattenproben .....	12
8.1 Grenzen der messtechnische Beurteilungsmöglichkeit .....	12
8.2 Rechnerische Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit .....	12
9. Bewertung von XPS-Hartschaum im Umkehrdach .....	14
9.1 Aktuelle Fachpublikationen zu Thema XPS und Feuchteaufnahme .....	14
9.2 Diffusionsversuch nach EN 12088 und Langzeitverhalten von XPS .....	15
9.3 Besondere Anforderungen bei Flachdachsanieerungen .....	17
10. Zusammenfassung und Empfehlungen .....	18
11. Anhang A - Situationsübersicht Probenentnahme .....	20
12. Anhang B - Entnahmefeuchtegehalte und Wärmeleitfähigkeiten Dämmplatten 1 - 9 ..	21
13. Anhang C - Detailuntersuchungen zum Feuchtegehalt der Dämmplatten 1 und 2 .....	22
14. Anhang D - Modellrechnung für Einfluss der Randzonendurchfeuchtung .....	24
15. Literatur .....	25

# 1. Vorgeschichte

Das Flachdach des Wohnhauses "Sentupada" in Illanz wurde im Jahr 1998 im Rahmen einer energetischen Gebäudesanierung saniert. Bei der Ausarbeitung des Sanierungskonzepts im Jahr 1997 wurde festgestellt, dass die zu dieser Zeit im ausgeführten Umkehrdach verlegten XPS-Hartschaumdämmplatten (50 mm Roofmate SL als DUO-Dach verlegt auf bestehender 4cm dicker Korkwärmesdämmung mit 3-lagiger, bituminöser Wasserabdichtung aus dem Erstellungsjahr 1974 des Gebäudes) eine ausserordentlich hohe Wasseraufnahme aufwiesen. Insbesondere konnte eine erhebliche Durchfeuchtung im Randzonenbereich (bis 40mm Breite mit  $w_v$  bis 15 vol-%) und Stufenfalzbereich ( $w_v$  bis 35 vol-%) festgestellt werden.

Bei der definitiven Sanierung des Flachdachs wählte die Bauherrschaft aus Kostenüberlegungen erneut eine Sanierung mit einem Umkehrdachaufbau in Form eines DUO-Dachs. Die mittel- bis langfristig mögliche Verschlechterung der wärmetechnischen Eigenschaften in Folge von erhöhter Wasseraufnahme wurde als untergeordnet bewertet.

Im Jahr 2001 kam es im Bereich des Lifthausaufbau auf dem Flachdaches zum Eindringen von Wasser in das Gebäude infolge einer unzureichend hoch aufgebordeten Abdichtung. In diesem Zusammenhang musste das Flachdach im Sommer 2001 lokal geöffnet werden, um die Abdichtungsanschlüsse sanieren zu können.

Die PWI nutzte diese Gelegenheit, um die im Jahr 1998 erstellte Umkehrdachwärmesdämmung einer Stichprobenuntersuchung hinsichtlich der Feuchteaufnahme der XPS-Hartschaumdämmplatten zu unterziehen.

## 2. Grundlagen

- Probenentnahmen auf dem Flachdach am 24.07.2001, 16.10.2001 und 05.11.2001.
- Gewichtsbestimmungen der entnommenen Dämmplatten jeweils direkt nach Entnahme.
- Lagerung und Trocknung der entnommenen Proben nach SIA 279 - Wärmedämmstoffe..
- SIA Merkblatt 2001, Kennwerte der Wärmedämmstoffe, Angaben der Lieferanten und Hersteller, Ausgaben 1990 und 1998.
- SIA 279 - Wärmedämmstoffe (Materialprüfung, Toleranzen, Rechenwerte), A 1988.
- SN EN 12088, Wasseraufnahme im Diffusionsversuch.
- Technische Information der BASF, TI-KSB/ST-020 d, 43777 April 1998 zum Dämmstoff Styrodur 3035 S.

### 3. Ausgangssituation

- Zum Zeitpunkt der Planung im Jahr 1997 war noch die Ausgabe des SIA-Merkblattes 2001 - Kennwerte der Wärmedämmstoffe aus dem Jahr 1990 gültig.
- HFCKW-geschäumte XPS- Hartschaumdämmstoffe waren noch bis zum 31.12.1999 auf dem schweizerischen Markt zugelassen.
- Auf Grund der energetischen Anforderungen an die Gebäudehülle war bei der Sanierung des Dachaufbaus im Jahr 1998 eine Aufbauhöhe von 140 mm XPS-Hartschaumdämmplatten erforderlich.
- Zum Einsatz kamen aus Kostenüberlegungen der Bauherrschaft XPS-Hartschaumdämmplatten mit Zellinhalt HFCKW resp. HFKW und nicht wie heute zunehmend verwendet XPS-Hartschaumdämmplatten mit Zellinhalt Luft.
- Die Wahl des Produkts wurde dem ausführenden Unternehmer überlassen. Verwendet wurde Styrodur 3035 S von der BASF AG, D-67056 Ludwigshafen.
- Bei der Ausführung der Sanierung wurde die bestehende Schwarzabdichtung über der Korkdämmschicht aus dem Erstellungsjahr 1974 auf Schäden kontrolliert und an erforderlichen Stellen ergänzt.
- Die Kiesschüttung wurde vom Unternehmer zur Wiederverwendung vor Ort gereinigt.
- Die bestehenden Gefälleverhältnisse zu den Dachentwässerungen auf dem Dach wurden in der vorgefundenen Form belassen, da eine Anpassung im Zusammenhang mit dem DUO-Dachsystem aus Kostengründen und den konstruktiven Rahmenbedingungen nicht möglich war.

Den Dachaufbau im sanierten Zustand gibt die Tabelle 3.1 wieder

Schicht	Bezeichnung	Dicke	Bemerkungen
[-]	[-]	[mm]	[-]
1	Kiesschüttung (Lokal Gehwegplatten)	40-50	
2	Vlies (ca 200 g/m <sup>2</sup> )	-	
<b>3</b>	<b>Styrodur 3035 S</b>	<b>140</b>	<b>Sanierung im Jahr 1998</b>
4	3-lagige Bituminöse Abdichtung	10	Ursprünglicher Dachaufbau
5	Korkdämmung	40	Korkdämmung völlig trocken
6	V-60 Bitumenbahn	3	Erstellt im Jahr 1974
7	Stahlbetondecke	160	

**Tabelle 3.1:** Dachaufbau Wohnhaus "Sentupada Ilanz nach Sanierung im Jahr 1998.

- Der Grossteil der Proben wurde erst ab dem 16.10.2001 nach Abschluss der Trockenperiode unmittelbar vor der Heizsaison entnommen. Hierdurch konnten die Untersuchungen zu einem, für die Feuchteaufnahme der XPS-Hartschaumdämmplatten, günstigen Zeitpunkt durchgeführt werden. Die in dieser Untersuchung ermittelten Feuchteeinlagerungen stellen somit in guter Näherung den im Jahresverlauf günstigsten Ausgangszustand der XPS-Hartschaumdämmplatten vor der Heizperiode dar. Im Heizperiodenmittel sind deutlich schlechtere Verhältnisse hinsichtlich des Feuchtegehalts und damit des Wärmedämmvermögens zu erwarten.

#### 3.1 Massgebliche Wärmeleitfähigkeit beim Einbau der Dämmplatten

- Für die massgebliche Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_{10tr}$  der untersuchten Dämmplatten wird für die folgenden Betrachtungen in der Untersuchung als Ausgangsbasis der Messwert  $\lambda_{10tr} = 0.027 \text{ W/mK}$  aus der technischen Information der BASF, TI-KSB/ST-020 d, 43777 April 1998 zum Dämmstoff Styrodur 3035 S (Zellinhalt HFCKW oder HFKW) verwendet.
- Für die untersuchten Wärmedämmplatten wurde für den Zuschlagswert Z nach SIA 279 - Wärmedämmstoffe, Ausgabe 1988 der minimale Wert von 5% angesetzt. Diese Annahme darf näherungsweise einer Vernachlässigung der im Zuschlagswert Z normalerweise mit berücksichtigten Gleichgewichtsfeuchte bei der Anwendung der Dämmstoffplatten gleichgesetzt werden.

Hieraus ergibt sich die rechnerische Wärmeleitfähigkeit

$$\lambda_{rech}^* = 0.0284 \text{ W/mK}$$

die für die weiterführenden Betrachtungen als Ausgangsbasis angesetzt wird.

### 3.1.1 Berücksichtigung des Feuchteinflusses auf die Wärmeleitfähigkeit

Der Feuchteinfluss auf die Wärmeleitfähigkeit der extrudierten Wärmedämmstoffe wird in allen folgenden Betrachtungen rechnerisch berücksichtigt. Über die Zunahme der Wärmeleitfähigkeit durch Feuchteeinlagerung für XPS-Hartschaumdämmstoffe existieren zahlreiche Veröffentlichungen und Untersuchungen.

Bis zu einem volumenbezogenen Feuchtegehalt  $w_v$  von 20% bewegen sich die Angaben zur Steigerung der Wärmeleitfähigkeit in Folge Feuchteeinlagerung im Dämmstoff in einem bekannten Rahmen mit progressiven Verlauf. Messwerte bis zu einem volumenbezogenen Feuchtegehalt von 20% liegen vor.

In der Untersuchung /1/ wurde basierend der Untersuchung von C. Hay /2/ ein polynominaler Zusammenhang abgeleitet. Oberhalb von 20% verwenden die Autoren aus /2/ wegen fehlender weiterer Angaben eine exponentielle Annäherung, die keine messtechnischen Basiswerte aufweist.

Da sich die mittleren, volumenbezogenen Feuchtehalte der untersuchten Dämmplatten deutlich unterhalb von 25% bewegen, wird für die Betrachtungen ausschliesslich die polynominale Näherung nach den Messwerten von Hay /2/ verwendet:

$$\lambda_{Hays}(w_v) = \lambda_o (1 + w_v \times 3.792 + w_v^2 \times 11.043)$$



## 4. Allgemeiner Zustand des untersuchten Flachdachs

Bei der ersten Begehung des Flachdachs am 24.07.2001 wurden folgende Beobachtungen gemacht:

- ❑ Obwohl das Flachdach erst vor 3 Jahren saniert wurde, liegt zum Teil bereits kräftiger Moosbewuchs in der Kiesschicht vor (Bild 4.1).
- ❑ Im Bereich beider Dachwasserabläufe kam es zum Wachstum von kleinen Bäumen mit ausgedehntem Wurzelwerk, dass das Abfließen von Wasser durch angelagerte Schwemmstoffe zusätzlich behinderte (Bild 4.2).
- ❑ Die Kiesschicht ist gleichmässig über dem Dach verteilt. Frei liegende Dämmplatten oder Filtervliese wurden nicht festgestellt.
- ❑ Es sind keine Stossfugenabzeichnungen zwischen den Dämmplatten feststellbar.
- ❑ Es ist davon auszugehen, dass seit der Sanierung kein Unterhalt auf dem Flachdach ausgeführt wurde.



Bild 4.1: Moosbildung in Kiesschicht

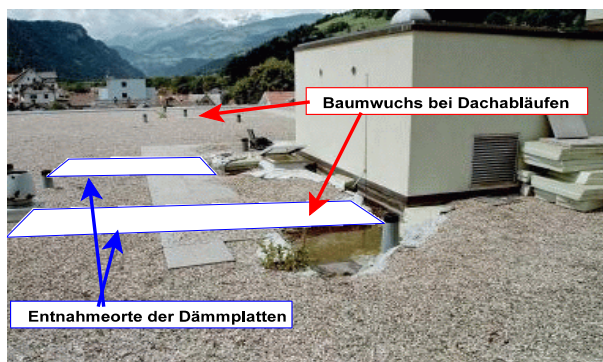


Bild 4.2: Baumwuchs bei den Dachwasserabläufen

## 5. Entnahmeorte der Plattenproben

Die Entnahmeorte für die Plattenproben zeigt Bild 4.2 im Überblick und die Abb. A1 im Anhang A detailliert mit der Zuordnung der Probennummern. Die Entnahme wurde unter folgenden Gesichtspunkten durchgeführt:

- ❑ Die Proben Nr.1 bis Nr.4 wurden ausgehend von Probe Nr.1 gegen das Gefälle auf dem Flachdach (Niveau der Entwässerungsebene ansteigend von Probe 1 zu Probe 4 -siehe Bild 5.3) entnommen.
- ❑ Probe Nr.1 liegt ca 80 cm neben einem der beiden Dachwasserabläufe. Der Dachwasserablauf ist aus den konstruktiven Gegebenheiten der untersten Dämmschichtlage aus Kork und der darüber verlegten Schwarz

abdichtungsschicht aus dem Jahre 1974 nicht mehr an der tiefsten Stelle angeordnet hinsichtlich der Entwässer-



Bild 5.1: Probe Nr. 1 vor der Entnahme

rungebene für den Umkehrdachaufbau.

- ❑ Weiterhin besteht die Behinderungen durch den Bewuchs im Bereich des Dachwasser ablaufs (siehe Kapitel 4).
- ❑ Oben genannte Gegebenheiten führten dazu, dass unter den Proben Nr. 1-3 und 5 in der Regel von dauernd stehendem Wasser auszugehen war.
- ❑ Die Probe Nr.1 liegt mit ca 80% der Fläche unter lose im Kies (Schichtdicke ca 40 mm) verlegten Gehwegplatten (Format 50\*50 cm) (Bild 5.2).
- ❑ Bis zur Probe Nr. 4 hin steigt das Niveau soweit an, dass diese im hintersten Bereich nicht mehr im Bereich stehenden Wassers zu liegen kommt. (Bild 5.3)

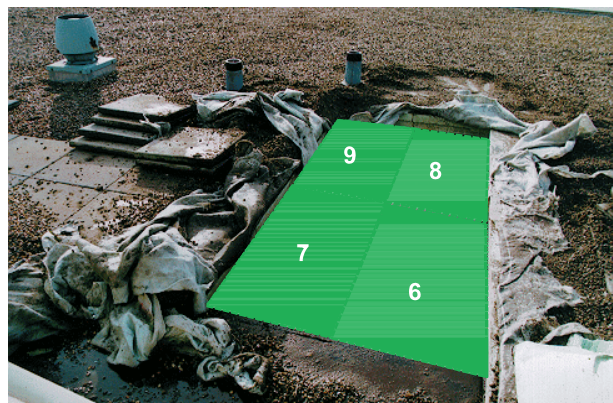


**Bild 5.2:** Kiesschicht unter Gehwegplatten über der Probe Nr.1



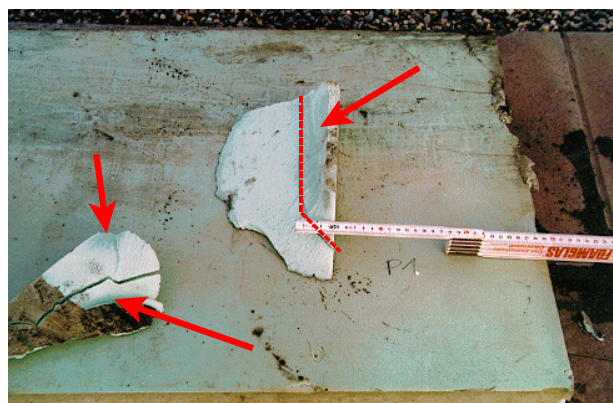
**Bild 5.3:** Entnahmeorte der Proben Nr.1 bis 4. nach vollständiger Probenentnahme

- ❑ Die Proben Nr. 6 bis 9 wurden in einem Bereich entnommen, der ebenfalls stehendes Wasser aufwies. (Bild 5.4)
- ❑ Die Proben 6 und 7 waren wie schon die Probe 1 zu 80% mit lose im Kies verlegten Gehwegplatten abgedeckt.



**Bild 5.4:** Entnahmeorte der Proben Nr. 6 bis 9

- ❑ Bei einer Dämmplatte, die zur Entnahme der Proben 6 bis 9 vorher entfernt werden musste, konnte an einem Ausbruchstück eine deutlich sich abzeichnende erhöhte Wasseraufnahme im Randbereich (bis 2 cm Tiefe) festgestellt werden. (Bild 5.5)



**Bild 5.5:** Ausbruchstück mit deutlich sichtbarer Wasseraufnahme im Randbereich

## 6. Mittlerer Feuchtegehalt der entnommenen Dämmplatten



Die entnommenen Dämmplatten vom Typ Styrodur 3035 S wurden jeweils sofort nach der Entnahme gereinigt und das anhaftende Oberflächenwasser entfernt. Im direkten Anschluss daran wurde von den Dämmplatten vor Ort mit einer Präzisionswaage das Entnahmegewicht bestimmt. Aus den Dämmplatten wurden Stichproben zur Bestimmung der Trockenrohichte entnommen. Die festgestellten Trockenrohichten der Proben liegen im Wertebereich der im technischen Datenblatt TI-KSB/ST-020 d, 43777 April 1998 der BASF ausgewiesenen Rohdichte von  $\rho = 33 \text{ kg/m}^3$  (Messwerte von 32.8 bis 33.6  $\text{kg/m}^3$ ). Auf Basis der Trockenrohichte wurden zunächst folgende Kennwerte ermittelt:

- Volumenbezogener, mittlerer Entnahmefeuchtegehalt  $w_{v,m}$  der Dämmplatten 1 bis 9
- Volumenbezogener, mittlerer Entnahmefeuchtegehalt der Kernzone  $w_{v,K}$  und der Falzbereiche  $w_{v,F}$  der Dämmplatten 7 und 9
- Mittlere rechnerische Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_{r,m}$  aller Dämmplatten auf der Basis der polynominalen Näherungskurve nach C Hay /2/.
- Rechnerische Zunahme der Wärmeleitfähigkeit  $\Delta\lambda$  gegenüber dem Ausgangswert gemäss technischem Datenblatt

In Anhang B sind die Ergebnisse im Detail in tabellarischer und grafische Form dargestellt.

## 6.1 Zusammengefasste Feststellungen aus den Probenentnahmen

- ☛ Der mittlere, volumenbezogene Feuchtegehalt aller entnommenen Dämmplatten weist folgenden Wertebereich auf :

Alle entnommenen Dämmplatten:  $w_{v,m} = 0.93 \% \text{ bis } 1.73 \%.$

- ☛ Die Dämmplatten 1,6 und 7, die zu ca 80% unter den lose, im Splitt verlegten Gehwegplatten zu liegen kamen, weisen deutliche höhere, mittlere, volumenbezogene Feuchtegehalte als die übrigen Dämmplatten mit einem Wertebereich von:

Dämmplatten unter Gehwegplatten:  $w_{v,mG} = 1.60 \% \text{ bis } 1.73 \%.$

- ☛ In den Falzbereichen konnte eine deutlich erhöhte Feuchteanreicherung ermittelt werden. Am Beispiel der Dämmplatten Nr. 7 und Nr. 9 ergeben sich mittlere, volumenbezogene Feuchtegehalte über den gesamten Falz im Bereich von:

Falzbereich Dämmplatten 7 und 9:  $w_{v,m,F} = 6.50 \% \text{ bis } 6.70 \%.$

- ☛ Von Dämmplatten 2 bis 4 wird eine sukzessive, deutliche Abnahme der mittleren, volumenbezogenen Feuchtegehalte festgestellt:

Dämmplatten 2 → 3 → 4:  $w_{v2,m} = 1.39\% \rightarrow w_{v3,m} = 1.09\% \rightarrow w_{v4,m} = 0.94\%$

Die Abnahme geht einher mit der ansteigenden Dachoberfläche in Richtung zum Dachrand (siehe Anhang A und Kap. 5) bei gleichzeitiger Abnahme der stehenden Wasserschicht unter den Dämmplatten wegen der ungünstigen Ablaufsituation.

## 7. Feuchteverteilung in den untersuchten Dämmplatten

Bei unserer Untersuchung /8/ an den XPS-Hartschaumdämmplatten auf dem Umkehrdach Sentupada vor der Sanierung im Jahr 1998 war bereits festgestellt worden, dass in den Randbereichen eine teilweise stark erhöhte Feuchteeinlagerung vorlag. Eine detaillierte Unter-



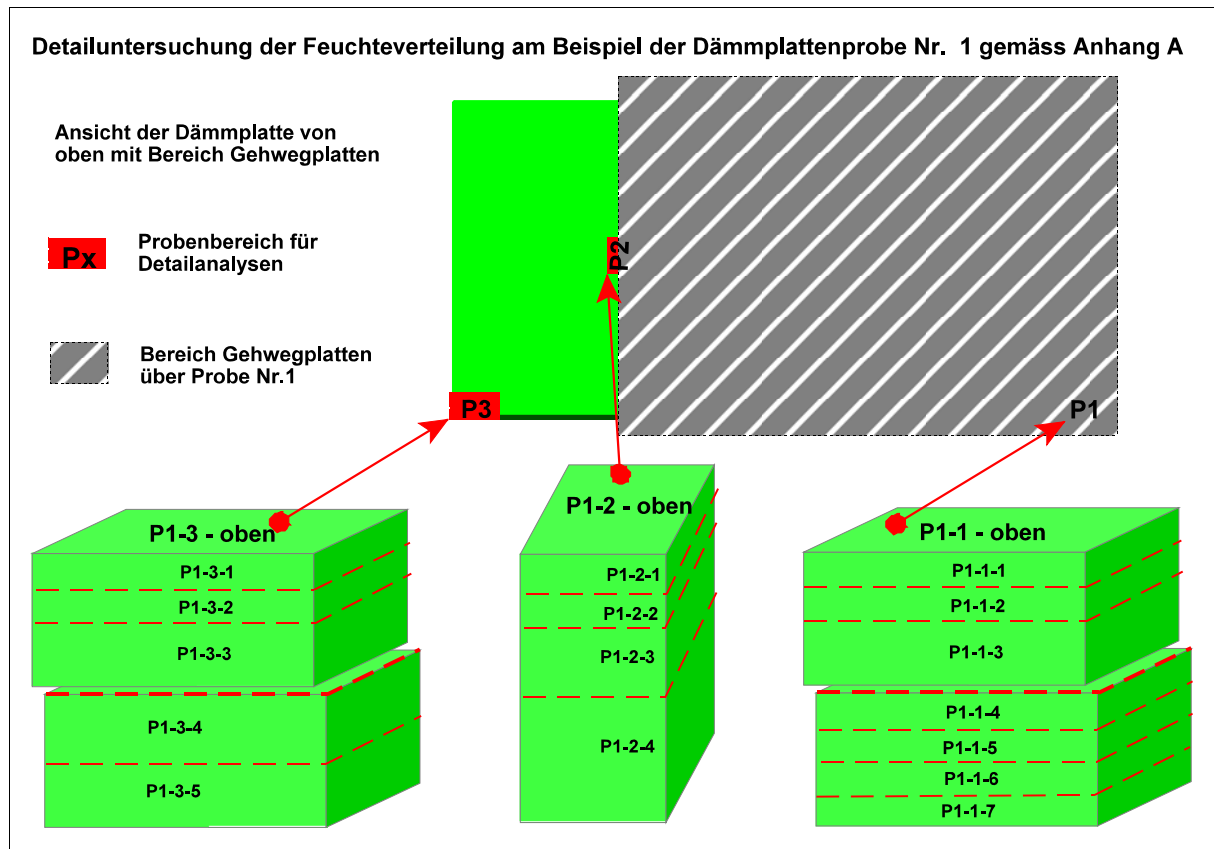
suchung an den neu entnommenen Dämmplatten vom sanierten Flachdach sollte weitere Aufschlüsse hinsichtlich der Feuchteeinlagerung in den Randzonen der XPS-Hartschaumdämmplatten bei der Umkehrdachanwendung ergeben.

An der Dämmplatte Nr.1 (zu 80 % unter lose verlegten Gehwegplatten) und Dämmplatte Nr.2 (verlegt unmittelbar im Anschluss an Dämmplatte Nr. 1) wurden daher systematische Untersuchungen zur Feuchteverteilung in den Randbereichen vorgenommen. Hierzu wurden aus den Dämmplatten an verschiedenen Orten Teilprobenausschnitte gemacht und in dünn-schichtige Elemente zerschnitten. Sämtliche Proben wurde vor dem Trocken auf einer Präzisionswaage gewogen und danach im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz analog SIA 279 bei 40°C gelagert. Nach Erreichen der Gewichtskonstanz wurden die Probekörper im Normklima von 23°C und 50% Luftfeuchtigkeit gelagert und anschliessend einer Endwägung zur Überprüfung der Trockenroh-dichte unterzogen.

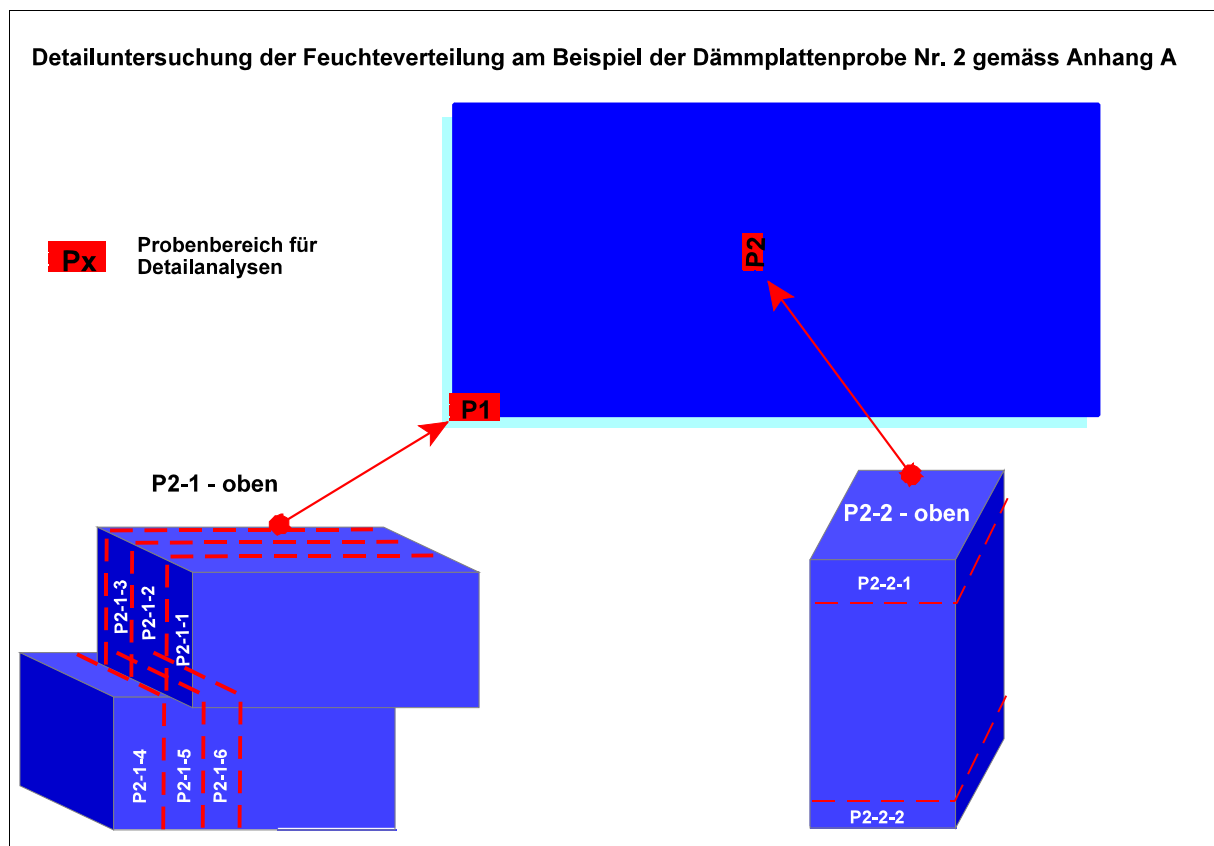
In den Abbildung 7.1 und 7.2 sind die Probenentnahmeorte schematisch skizziert. Die Probenabmessungen, die zugehörigen Gewichts- und Feuchtegehaltsbestimmungen sowie die rechnerisch ermittelten Auswirkungen auf die Wärmeleitfähigkeit sind im Anhang C tabellarisch und grafisch dargestellt.

## 7.1 Zusammenfassung der Feststellungen aus den Detailuntersuchungen

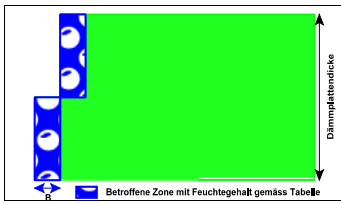
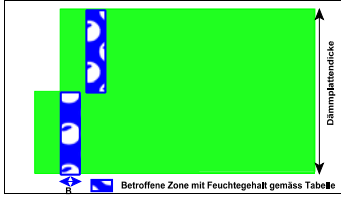
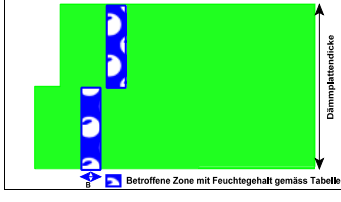

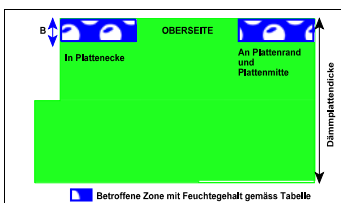
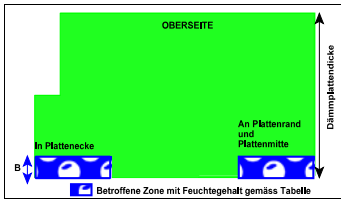
- ☛ In allen Randbereichen wurden deutlich erhöhte volumenbezogene Feuchtegehalte gegenüber dem Plattenmittelwert festgestellt. In der Tabelle 7.1 werden die Verhältnisse abhängig von der Lage des Probenschnitts mit dem festgestellten Wertebereich angegeben.
- ☛ Aus den Ergebnissen der Tabelle 7.1 zeigt sich, dass bei den untersuchten XPS-Hartschaumdämmplatten in den Randzonen bereits eine deutlich erhöhte Feuchteeinlagerung stattgefunden hat.
- ☛ Da die grösste Anreicherung von Feuchtigkeit in den Randzonen der Dämmplatten auftritt, die auch einen hohen, mittleren, volumenbezogenen Feuchtegehalt aufweisen, kann wie bereits in der Untersuchung /8/ vom Jahr 1998 darauf geschlossen werden, dass das Entnahmegewicht der Dämmplatten in direktem Zusammenhang mit einer Einlagerung von Feuchtigkeit in den Randzonen steht.
- ☛ Untersuchungen auf Feuchteeinlagerungen sind daher bei Feststellungen von erhöhten Dämmplattengewichten insbesondere auch in diesen Bereichen vorzunehmen. Die Ermittlung von Kernfeuchtigkeiten sind nur bedingt aussagekräftig und führen zu Fehleinschätzungen, da der Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit der XPS-Hartschaumdämmplatten mit zunehmender Feuchteeinlagerung progressiv verläuft und damit die alleinige Berücksichtigung der mittleren Feuchtegehaltes eine zu günstige Beurteilung der Situation ergibt.



**Abb. 7.1:** Teilausschnitte zur Feuchtegehaltsbestimmung in Dämmplatte Nr. 1



**Abb. 7.2:** Teilausschnitte zur Feuchteverteilung in Dämmplatte Nr. 2

N	Ort/Lage	Zonenbreite	Lageskizze	Wertebereich volumenbezogener Feuchtegehalt $w_v$
1	Stufenfalz	bis 15 mm		4.0 bis 7.0 vol-%
2	Randbereich 1 bei Stufenfalz	15-25 mm		3.0 bis 4.5 vol-%
3	Randbereich 2 bei Stufenfalz	25-35 mm		2.0 bis 3.0 vol-%
4	Randbereich mit horizontalem Schnitt unmittelbar bei Stufenfalz	10-20 mm		3.0 bis 4.0 vol-%
5	Randbereich an Plattenoberseite	bis 15 mm		Plattenmitte: 2.5 bis 3.5 vol % Plattenecke: 3.0 bis 5.0 vol %
6	Randbereich an Plattenunterseite	bis 15 mm		Plattenmitte: 1.5 bis 2.5 vol % Plattenecke: 2.5 bis 3.5 vol %

**Tabelle 7.1:** Wertebereiche der volumenbezogenen Feuchtegehalte der Detailuntersuchungen in den Plattenrandzonen an den Dämmplatten Nr. 1 und Nr. 2.

Auf Grund der Untersuchungen der Dämmplatten konnte auch für die Detailschnitte der starke Einfluss auf die Feuchteeinlagerung bei Verlegung von Gehwegplatten im Splittbett nachgewiesen werden. Detailschnitte, die im oberen Plattenbereich der Gehwegplattenauflage der Dämmplatte Nr. 1 gemacht wurden, weisen durchweg höhere volumenbezogene Feuchtegehalte auf, als diejenigen aus vergleichbaren Bereichen ohne Gehwegplattenauflage.

## 8. Beurteilung der Wärmedämmung der Plattenproben

Unabhängig vom Entnahmefeuchtegehalt der Dämmplatten zeigte sich bei den untersuchten Dämmplatten erneut, dass eine alleinige Beurteilung der Wärmeleitfähigkeit aus Plattenproben, die aus der Plattenmitte entnommen werden, zu Fehlbeurteilungen hinsichtlich der Wärmedämmfähigkeit von Platten im eingebauten Zustand führt. Dieser Umstand wird insbesondere dann wichtig, wenn die Feuchtegehalte in den Randzonen im Laufe der Zeit höhere Werte annehmen da die Zunahme mit steigendem Feuchtegehalt progressiv anzunehmen ist.

### 8.1 Grenzen der messtechnische Beurteilungsmöglichkeit

Die Beurteilung der Wärmeleitfähigkeit der entnommenen Dämmplattenproben auf Grund einer Messung im Labor (z.B. Zweiplattengerät) ist nicht zielführend und führt verfahrensbedingt zu einer Fehlinterpretation. Die Labormessung wird zur Minimierung des Fehlereinflusses aus den Randzonenbereichen nur im Kernbereich der Dämmplatte von ca. 30 x 30 cm ausgeführt. Hierdurch wird der Einfluss der Randzonen im Bereich des Stufenfalzes und der seitlichen Randzonen der Dämmplatten praktisch vollständig ausgeschlossen. Erfasst werden lediglich allfällige erhöhte Feuchtegehalte in den Randzonen an den Plattenoberflächen mit Schäumhaut.

Unabhängig von der fehlenden Erfassungsmöglichkeit des seitlichen Randzoneneinflusses sind wegen der heute verwendeten, deutlich höheren Dämmplattendicken (120 - 200 mm) infolge der gestiegenen Anforderungen an den Wärmeschutz, die verwendeten Messverfahren nicht mehr in allen Fällen geeignet, überhaupt eine genügend genaue Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit vorzunehmen.

So fordert z.B. die EMPA (Eidgenössische Materialprüfungsanstalt in Zürich) für die Prüfkörper eine Mindestgrösse von 75 x 75 cm bei einer maximalen Dicke von 160 mm und einen thermischen Widerstand der Proben im Bereich von 0.5 bis 3.0 m<sup>2</sup>K/W. Konventionelle Dämmplatten weisen Abmessungen von ca. 1.25 x 0.60 auf, so dass bereits die Bedingung an die Prüfkörpergrösse grundsätzlich mit einer Platte alleine nicht erfüllt werden kann.

Die obigen Rahmenbedingungen schränken eine messtechnisch verlässliche Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit weiterhin durch die Begrenzung des thermischen Widerstands der Prüfkörper erheblich ein. Bei einer XPS-Hartschaumdämmplatte mit einer Dicke von 140 mm liegt bereits ein thermischer Widerstand von über 5.0 m<sup>2</sup>K/W vor und befindet sich damit ausserhalb des Anforderungsprofils der EMPA zur Messfehlerbegrenzung.

### 8.2 Rechnerische Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit

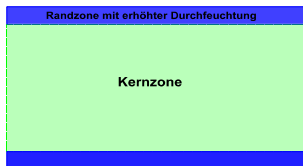

Um einen reproduzierbaren Vergleich der Fehlbeurteilung bei einer Vernachlässigung des Randzoneneinflusses zu erhalten, wird am Beispiel der Dämmplatte Nr. 7 (Mittlerer Entnahmefeuchtegehalt  $w_v = 1.73\%$ ) der Einfluss der Randzonendurchfeuchtung durch zwei Modellrechnungen für die resultierende Wärmeleitfähigkeit der Gesamtdämmplatte beurteilt.

Die Tabelle 8.1 gibt die rechnerisch ermittelten Wärmeleitfähigkeiten auf Grund der Feuchteeinlagerung und deren Zunahme gegenüber der anzunehmenden Trockenwärmeleitfähigkeit der Dämmplatte wieder.



- ☛ Fall 1: Er zeigt die Verhältnisse, wenn angenommen wird, dass lediglich der obere und untere Randbereich der Dämmplatte einer erhöhten Feuchteinlagerung unterliegen würde.
- ☛ Fall 2: Er zeigt die Verhältnisse, wenn im Bereich des Stufenfalzes eine Feuchteinlagerung gemäss der Situationen 1 bis 6 aus Tabelle 7.1 angenommen wird. Für die volumenbezogenen Feuchtegehalte wurden dabei im oberen tendenziell von höherer Feuchteinlagerung betroffenen Dämmplattenbereich die Mittelwert aus Tabelle 7.1 verwendet. Im unteren Dämmplattenbereich wurden diese in den Randzonen jeweils um 0.5 vol-% abgesenkt angesetzt.

Die Berechnungen wurden ohne Berücksichtigung von mehrdimensionalen Wärmetransporten berechnet und ergeben damit tendenziell eine über die Dämmplatte zu tiefe gemittelte Wärmeleitfähigkeit. Die Abschätzung stellt somit den günstigsten anzunehmenden Fall dar. Im Anhang D ist die Berechnung im Detail ausgewiesen.

Fall	Modellsituation	Mittlere, rechnerische Wärmeleitfähigkeit <sup>1)</sup> der feuchten XPS-Hartschaumdämmplatte [W/mK]	Zunahme gegenüber der Wärmeleitfähigkeit im trocken Zustand [%]
1	 <p>Randzone mit erhöhter Durchfeuchtung</p> <p>Kernzone</p>	0.0298	5.29
2	 <p>Randzonen erhöhter Durchfeuchtung</p> <p>Kernzone</p>	0.0304	7.19

**Tabelle 8.1:** Vergleich der berechneten, mittleren Wärmeleitfähigkeiten für eine Dämmplatte ohne (Fall 1) und mit (Fall 2) Berücksichtigung der erhöhten Feuchteaufnahme im seitlichen Randzonenbereich (Stufenfalzbereich) ohne Schäumhaut.

1) Trockenwärmeleitfähigkeit der XPS-Hartschaumdämmplatte  $\lambda_{\text{rech}}^* = 0.0284 \text{ W/mK}$

- ☛ Die Vergleichsrechnung zeigt, dass bereits bei den erst 3 Jahren eingebauten Dämmplatten von 1.90% Unterschied der effektiven, mittleren Wärmeleitfähigkeit der Gesamtdämmplatte auszugehen ist, wenn die erhöhte Durchfeuchtung der Randzonenbereiche und des Stufenfalzes gesamthaft berücksichtigt werden.

## 9. Bewertung von XPS-Hartschaum im Umkehrdach

Die intensive Diskussion über die Bewertung des tatsächlichen, langfristig realisierbaren Wärmeschutzes der Umkehrdachsysteme wurde durch den Untersuchungsbericht /8/ aus dem Jahre 1998 zum Einfluss der Randzonen durchfeuchtung und deren Einfluss auf den tatsächlichen, erreichbaren Wärmeschutz im Umkehrdach ergänzt. Mit der vorliegenden Nachuntersuchung an dem im Jahr 1998 erneut im Duo-Dachsystem sanierten Flachdach konnte eine ergänzende, stichprobenhafte Überprüfung der damals vorgefundenen, erhöhten Randzonen durchfeuchtung durchgeführt und Hinweise auf das anzunehmende Langzeitverhalten der eingesetzten XPS-Hartschaumdämmplatten gewonnen werden. Auf Grund der Detailanalysen bestätigen sich sinngemäss die Beurteilungskriterien, die in /8/ formuliert wurden. Die in der vorliegenden Untersuchung vorgefundenen Verhältnisse machen erneut deutlich, dass das Langzeitverhalten der XPS-Hartschaumdämmstoffe bezüglich der Feuchteeinlagerung und damit des Wärmeschutzverhaltens weitaus differenzierter betrachtet werden muss als dies heute der Fall ist.

- ☛ Die erhöhte Feuchteeinlagerung in den Randzonen bestätigte sich auch an den untersuchten Dämmplatten, die erst 3 Jahre eingebaut waren. Die kurze Nutzungsdauer und die bereits erfolgte relativ hohe ( $w_v = 3.0 - 7.0 \%$ ) und verhältnismässig weit (bis zu 3.5 cm Tiefe ohne Berücksichtigung des Stufenfalzes) eingedrungene Feuchteeinlagerung legt eine Überprüfung der heute, anerkannten Kriterien für die Langzeitbeurteilung von XPS-Hartschaumdämmplatten im Umkehrdachsystem nahe.
- ☛ Die mittlere, effektive Wärmeleitfähigkeit der Dämmplatten hängt stark von der aufgenommenen Feuchtigkeit in den Randzonen und im Falz ab. Die alleinige Überprüfung von Proben aus der Plattenmitte ist nicht ausreichend. Eine messtechnische Überprüfung der effektiven Wärmeleitfähigkeit ist derzeit an Dämmplatten aus ausgeführten Dachaufbauten praktisch nicht durchführbar.
- ☛ In /4/ wurden Untersuchungsberichte zur Feuchtegehaltsbestimmung an Umkehrdächern ausgewertet. Demnach lagen zum Zeitpunkt der Berichterstellung nach /4/ in ca 73% der untersuchten Umkehrdachaufbauten mittlere, volumenbezogene Feuchtegehalte unter 1.00 % vor. Am hier untersuchten Flachdach weist nur eine der untersuchten Dämmplatten (Nr. 4) einen mittleren Feuchtegehalt  $w_{v,m}$  unter 1.00 % auf. Dämmplatte Nr. 4 liegt in einem Dachbereich wo günstige Verlegebedingungen (kein dauernd stehendes Wasser unter den Dämmplatten, keine zusätzliche Abdeckung mit Gehwegplatten, mässige Bemoosung) vorlagen, wie sie bei der theoretischen Umkehrdachplanung vorausgesetzt werden.

### 9.1 Aktuelle Fachpublikationen zu Thema XPS und Feuchteaufnahme

In jüngsten Untersuchungsberichten (z.B /3/) zum Themenbereich bekiester Umkehrdächer werden noch immer Angaben zum mittleren, volumenbezogenen Feuchtegehalt von XPS-Hartschaumdämmplatten veröffentlicht, die deutlich unter den Plattenmittelwerte am Untersuchungsobjekt festgestellten Werten liegen. In /3/ wird beispielsweise von zwei Versuchsdächern nach 7 Jahren ein Wertebereich von  $w_v = 0.60$  bis  $0.94 \%$  ausgewiesen. Dieser Wert wird auf dem untersuchten Dach lediglich von der Dämmplatte Nr. 4 erreicht, die in einem Dachbereich zu liegen kommt, der weitgehendst frei ist von ungünstigen Einflüssen auf die Feuchteeinlagerung (z.B stehendes Wasser, dichte Abdeckungen, bemooste Oberflächen).

Zahlreiche theoretische und praktische Untersuchungen an Versuchsdächern in Feldmessungen wurden und werden unter offensichtlich unter grossen Aufwand durchgeführt. Unter wissenschaftlicher Gesichtspunkten und im Hinblick auf die Grundlagenforschung sind diese sicherlich geeignet und wertvoll. Hinsichtlich der Praxistauglichkeit müssen jedoch unter obigen Gesichtspunkten erhebliche Zweifel angemeldet werden, da die Randbedingungen in der Regel

nicht praxisgerecht und nur für die untersuchten Idealfälle relevant sind.

## 9.2 Diffusionsversuch nach EN 12088 und Langzeitverhalten von XPS

Die labormässige Prüfung der Wasseraufnahme durch Diffusion nach EN 12088 in XPS-Dämmstoffen und die Begrenzung des zulässigen, volumenbezogenen Feuchtegehalts der Dämmplatten nach Versuchsende ist in Deutschland Bestandteil des Zulassungsbescheids für die Nutzung von XPS-Hartschaumdämmplatten im Umkehrdach. Der Diffusionsversuch basiert auf folgenden Prüfbedingungen und einer Prüfeinrichtung gemäss Abb. 9.2.1:

- Das Prüfobjekt wird zwischen einem Wasserbad mit einer Temperatur  $\theta = 50^\circ\text{C}$  und einer Kühlplatte mit einer Oberflächentemperatur von  $\theta = 0^\circ\text{C}$  dicht eingebaut.
- Die Prüfdauer beträgt 28 Tage
- Der Prüfgegenstand wird wöchentlich gewendet.

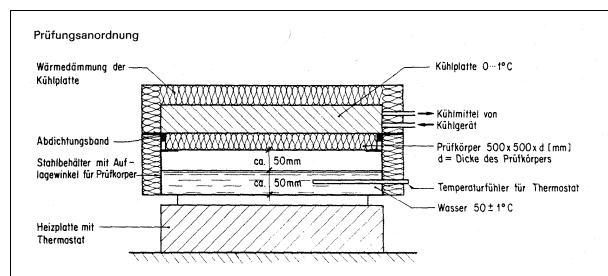


Abb 9.2.1: Prüfungsanordnung zur Wasseraufnahme durch Diffusion nach EN 12088

Der in dem Versuch ermittelte, volumenbezogene Feuchtegehalt wird in der Fachliteratur als Näherung der mittleren, langfristig zu erwartende Wasseraufnahme von XPS-Hartschaumdämmstoffen über einen Nutzungszeitraum des Flachdachs von ca 25 Jahren gleichgesetzt /4/ und /5/. Der Grenzwert für Erfüllung der Randbedingungen des Zulassungsbescheids für XPS-Hartschaumplatten in der Umkehrdachanwendung beträgt derzeit  $w_v = 3.00\%$  bei Dämmplattendicken ab 60 mm.

Das angewandte Beurteilungsverfahren und der festgelegte Grenzwert stammt aus einem Zeitraum in dem, verglichen mit heutigen Anforderungen an den Wärmeschutz, nur relativ dünnformatige XPS-Hartschaumdämmplatten (50 - 100 mm) zum Einsatz kamen und überhaupt diesem Versuch unterzogen worden. Bereits anhand der Versuchsergebnisse an XPS-Hartschaumplatten mit Dicken zwischen 50 und 80 mm lässt sich jedoch feststellen, dass die messtechnisch ermittelte Feuchteaufnahme eindeutig eine abnehmende Tendenz /6/ mit zunehmender Dämmplattendicke aufweist. Die grafische Darstellung in Abb. 9.2 macht dies deutlich. Extrapoliert man in einer ersten Näherung das Verhalten der gezeigten Messwerte hin zu höheren Dämmplattendicken, so ist davon auszugehen, dass über 80 mm die beim Diffusionsversuch feststellbaren mittleren, volumenbezogenen Feuchtegehalte in der Regel unterhalb von  $m_v = 0.75\%$  zu liegen kommen.

Vergleicht diesen Gesichtspunkt mit in der Praxis vorgefundenen, volumenbezogenen Feuchtegehalten von XPS-Hartschaumdämmplatten ist die Prüfung nach EN 12088 im Hinblick auf die Zulassung von XPS-Hartschaumdämmstoffen in der Umkehrdachanwendung einer kritischen Bewertung hinsichtlich ihrer Aussagekraft zu unterziehen:

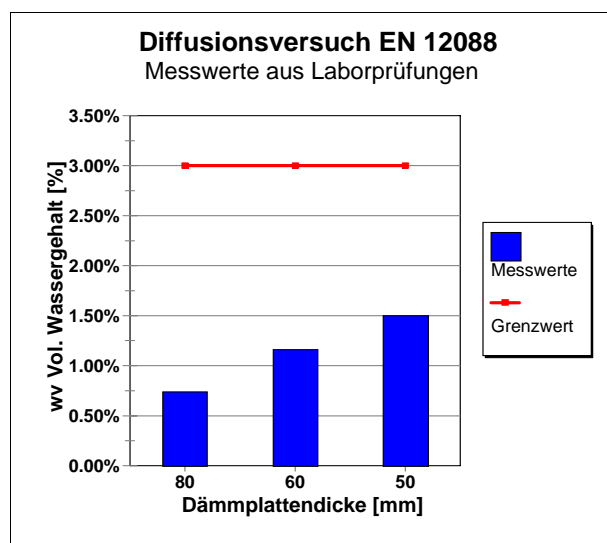


Abb. 9.2: Messwerte für den mittleren, volumenbezogenen Feuchtegehalt aus dem Diffusionsversuch nach EN 12088 für XPS-Hartschaumdämmplatten unterschiedlicher Dicke

- ☛ Vergleicht man die am untersuchten Dach vorgefundenen mittleren, volumenbezogenen Feuchtegehalte mit den zu erwartenden Messwerten für XPS-Hartschaumdämmplatten mit Dicken über 80 mm, so wird deutlich, dass die Bewertbarkeit der langfristigen Feuchteaufnahme infolge Wasserdampfdiffusion von XPS-Hartschaumplatten durch den Diffusionsversuch mit den geltenden Grenzwerten für Zulassung zur Anwendung im Umkehrdach ungeeignet ist. Es ist davon auszugehen, dass bei einer Prüfung nach EN 12088 bei diesen Platten nicht einmal der günstigste Fall der untersuchten Dämmplatte Nr. 4 mit  $m_v = 0.94$  vol-% erreicht würde.
- ☛ Mit der im Verhältnis zur Dämmplattendicke kurzen Versuchsdauer kann nach den Erkenntnissen zur Feuchteaufnahme am Untersuchungsobjekt keine aussagekräftige Nachbildung eines Langzeitverhaltens von XPS-Hartschaumdämmplatten mit Dicken über 80 mm erreicht werden. Hierfür spricht insbesondere auch der Umstand, dass bei den dickeren Dämmplatten aus XPS-Hartschaum ein im Einbauzustand tieferer Diffusionswiderstand vorliegt als bei dünnen Dämmplatten. Auf Grund der festgestellten relativ kurzfristigen zu erwartenden Wassereinlagerung in den Randzonen der untersuchten Dämmplatten wird dieser im Einbauzustand niedrige Diffusionswiderstand insbesondere in der oberen Dämmplattenrandzone erhöht, was eine weitere, beschleunigte Wasseranreicherung wegen einer kaltseitig liegenden Dampfbremse respektive bei Wasserfilmbildung einer Dampfsperre zunehmend begünstigt.
- ☛ Das wöchentliche Wenden der Dämmplatten im Diffusionsversuch nach EN 12088 erweist sich darüber hinaus, unabhängig von der Dämmplattendicke, nicht als praxisgerecht im Hinblick auf diffusionsdichte Schutz- und Nutzsichten. Durch das wöchentliche Wenden wird nämlich eine Begünstigung der gleichmässigen Verteilung in den Dämmplatten erreicht, die bei Vorliegen von diffusionsdichten Schutz- und Nutzsichten nicht in diesem Masse gegeben ist.
- ☛ Für die heute verwendeten mit CO<sub>2</sub>-geschäumten XPS-Hartschaumdämmplatten stellt die Situation im Diffusionsversuch eine weitere Verzerrung des tatsächlichen Verhaltens in der Praxis dar. CO<sub>2</sub>-geschäumte Dämmplatte weisen nach einer Untersuchung in /7/ tiefere Diffusionswiderstände sowohl im Bereich der Schäumhaut als auch in der Kernzone auf. Kommt es somit durch eine andauernde Wasseranreicherung infolge Kondensation zu einer einseitigen Dampfbremse- respektive Dampfsperrewirkung ist eine deutliche Zunahme der Feuchteeinlagerung gegenüber den Dämmplatten mit FCKW, HFCKW oder HFKW zu erwarten. Durch ein wöchentliches Wenden der Dämmplatten im Versuch wird diesem Vorgang entgegengewirkt.
- ☛ Das wöchentliche Wenden der Dämmplatten im Diffusionsversuch vermeidet darüber hinaus Praxissituationen, die beim Umkehrdach mit ungünstigen Wasserabflussrandbedingungen durch dauerhaft vorhandene, einseitige Anwesenheit von Wasser an der Dämmplatteunterseite entstehen.
- ☛ Die an zahlreichen Dächern vorgefundenen erhöhten Feuchteeinlagerungen beim Vorhandensein von dichten Schutz- und Nutzsichten und/oder dauernd anstehendem Wasser unter den Dämmplatten zeigen deutlich, dass der hier eingesetzte Versuch zur Beurteilung in vielen Fällen unabhängig von der Dämmplattendicken ungeeignet ist.
- ☛ Grundsätzlich muss der Diffusionsversuch und seine Aussagekraft auch hinsichtlich der Übertragbarkeit für Nutzungsdauerbetrachtungen bei Flachdachaufbauten hinterfragt werden. Baupraktisch sinnvolle Ansätze gehen heute von weitaus grösseren Bewertungszeiträumen für die Nutzungsdauer einer Flachdachkonstruktion von 40 bis 50 Jahren aus. Hiermit wird zusätzlich klar, dass das gängige Bewertungsverfahren zur Wasseraufnahme durch Diffusion in XPS-Hartschaumdämmplatten auch hinsichtlich des praxisrelevanten Betrachtungshorizonts einer grundlegenden Revision bedarf.



Es ist daher zu fordern die Bewertungsgrundlagen für Wasseraufnahme durch Diffusion in XPS-Hartschaumdämmplatten neu zu definieren, um den Rahmenbedingungen steigender Dämmplattendicken, der Verlegeeinflüsse und einer praxisorientierten Nutzungsdauer von Flachdächern im Hinblick auf eine richtige, systembezogene Langzeitbeurteilung gerecht zu werden. Insbesondere sind hier Untersuchungen zum tatsächlichen Langzeitverhalten unter praxisgerechten, nicht idealisierten Einsatzbedingungen notwendig.

### 9.3 Besondere Anforderungen bei Flachdachsanierungen

Bei Flachdachsanierungen sind häufig konstruktive Vorbedingungen gegeben, die ein ungünstiges Verhalten von XPS-Hartschaumdämmplatten im Umkehrdachsystem hinsichtlich der Feuchteeinlagerung unterstützen (dies gilt insbesondere für Sanierungen im DUO-Dachsystem, bei denen Setzungen in der ursprünglichen Dämmebene aufgetreten sein können). Folgenden Einflussgrößen muss in den Bewertungen des Umkehrdachsystems bei Sanierungsvorhaben in verstärktem Masse Rechnung getragen werden:

- ☛ Vorliegendes unzureichendes Gefälle
- ☛ Wasserabläufe über dem tiefsten Punkt mit entsprechendem, dauerndem Wasser-rückstau in Teilbereichen des Daches
- ☛ Wiederverwendung von gereinigtem Dachkieses mit raschem und erneutem Pflanzen-wuchs(Verbleibende Samen) oder schnell wiederkehrende starke Bemoosung.
- ☛ Ungünstige Abluftsituation mit niedrigen Auslassstutzen von Badezimmer und Küchen-abluft, die ebenfalls eine rasche Bewuchsbildung und Bemoosung begünstigen

Diese Einflüsse sollten bei der Bewertung des erreichbaren Wärmeschutzes mit Umkehrdachsystemen in Form eines ergänzenden Sicherheitszuschlages  $Z_{San}$  auf die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_{10tr}$  berücksichtigt werden, der ein erhöhtes Langzeitrisko in der Sanierungsanwendung abdeckt. Für den Zuschlag  $Z_{San}$  sehen wir eine progressive Bewertung des Feuchteeinlage-rungsrisikos nach Tabelle 9.3 bei zunehmend ungünstigeren Verhältnissen der oberen Schutz- und Nutzschicht als sinnvoll an, da mit steigender Behinderung oder gar Verunmöglichung der Austrocknung extrem hohe Feuchtegehalte in den XPS-Dämmstoffen vorprogrammiert sind.

Obere Schutz- und Nutzschicht	Bekiest Platten auf Stelzlager	Platten im Splittbett Extensiv begrünt	Befahrbare Beläge Intensive Begrünung
Zuschlag $Z_{San}$	$\geq 5\%$	$\geq 10\%$	$\geq 15\%$

**Tabelle 9.3:** Größenordnung für einen Zuschlag  $Z_{San}$  auf die Trockenwärmeleitfähigkeit  $\lambda_{10tr}$  von XPS-Hartschaumdämmplatten infolge von ungünstigen, konstruktiven Einflüssen bei Sanierungen mit Umkehrdachsystemen.

## 10. Zusammenfassung und Empfehlungen

- ☛ Auf der Basis der Tabelle 7 aus /8/ können die Größenordnungen für einen Zuschlag  $Z_F$  auf die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_{10tr}$  von HFCKW und HFKW-geschäumten XPS-Hart-schaum bei Anwendung im Umkehrdach in Folge Feuchteaufnahme unter Berücksichti-gung der inhomogenen Feuchteverteilung in den Dämmplatten mit einem Zuschlag  $Z_{San}$  zur Berücksichtigung der möglichen, in der Regel nicht vermeidbaren, negativen Einflussgrößen bei Flachdachsanierungen ergänzt werden.

Tabelle 10.1 gibt die entsprechende Ergänzung der Zuschlagswerte wieder.

Obere Schutz- und Nutzschicht	Bekiest Platten auf Stelzlageren	Platten im Splittbett Extensiv begrünt	Befahrbare Beläge Intensive Begrünung
Zuschlag $Z_F$	> 10%	>15%	>25%
Zuschlag $Z_0$	5%		
Neubau Zuschlag $Z_{total,NB}$	>15%	>20%	>30%
Zuschlag $Z_{San}$	≥ 5 %	≥ 10%	≥ 15%
Sanierung Zuschlag $Z_{total, SAN}$	>20%	>30%	>45%

**Tabelle 10.1:** Größenordnung für einen Zuschlag  $Z_{total}$  auf die Trockenwärmeleitfähigkeit  $\lambda_{10tr}$  von HFCKW und HFCKW-geschäumten XPS-Hartschaum infolge Feuchteaufnahme und Feuchteverteilung, Alterung, Anwendung und Rohdichtetoleranz unterschieden für die Anwendung im Neubau und bei der Flachdachsanierung. Angaben bezogen auf einen Nutzungszeitraum von 25 Jahren.

Bei der Interpretation der Tabelle 10.1 sind drei wesentliche Faktoren zu berücksichtigen, die in Zukunft noch eine weitere Verschärfung respektive Differenzierung der formulierten Zuschläge erfordern:

- Bei einer verlängerten Nutzungsdauerbetrachtung (statt 25 auf 50 Jahre erhöht) sind die Zuschläge der Tabelle 10.1 zu erhöhen.
- Bei Verwendung von XPS-Hartschaumdämmplatten mit Zellinhalt Luft sind auf Grund der ungünstigeren Eigenschaften sowohl hinsichtlich des Wasserdampfdiffusionsverhaltens als auch der Wasseraufnahme bei Unterwasserlagerung gegenüber den XPS-Hartschaumdämmplatten mit Zellinhalt HFCKW- resp. HFCKW noch deutliche Erhöhungen der Werte in Tabelle 10.1 notwendig.
- Die Ergebnisse der obigen Tabelle 10.1 basieren auf Untersuchungen an DUO-Dachsystemen. Bei reinen Umkehrdachsystemen liegt auf Grund des grösseren Dampfdruckgefälles grundsätzlich eine verschärfte Situation hinsichtlich der Einlagerung von Feuchtigkeit vor. Diesbezüglich sind die Werte in Tabelle 10.1 als konservativ einzustufen.

Eine Anpassung und weitere Differenzierung der Zuschläge nach Tabelle 10.1 kann jedoch erst auf der Basis von weiteren Untersuchungsergebnissen zu den genannten Einflussgrößen erfolgen.

Zieht man bereits bekannte Untersuchungsergebnisse für die Feuchteaufnahme von XPS-Hartschaum mit Zellgas Luft aus /7/ und /9/ heran und berücksichtigt eine verlängerte Nutzungsdauer, so ergibt eine konservative Abschätzung bereits eine notwendige Erhöhung der Zuschlagswerte nach Tabelle 10.1 zwischen 50 und 100 %.

Der Diffusionsversuch nach EN 12088 und damit die Rahmenbedingungen für den Zulassungsbescheid für XPS-Hartschaumdämmplatten als Umkehrdachwärmedämmung muss hinsichtlich seiner Durchführung und den angesetzten Bewertungskriterien überprüft und an praxisnahe Randbedingungen angepasst werden. Hierzu sind folgende Basisforderungen zu stellen:

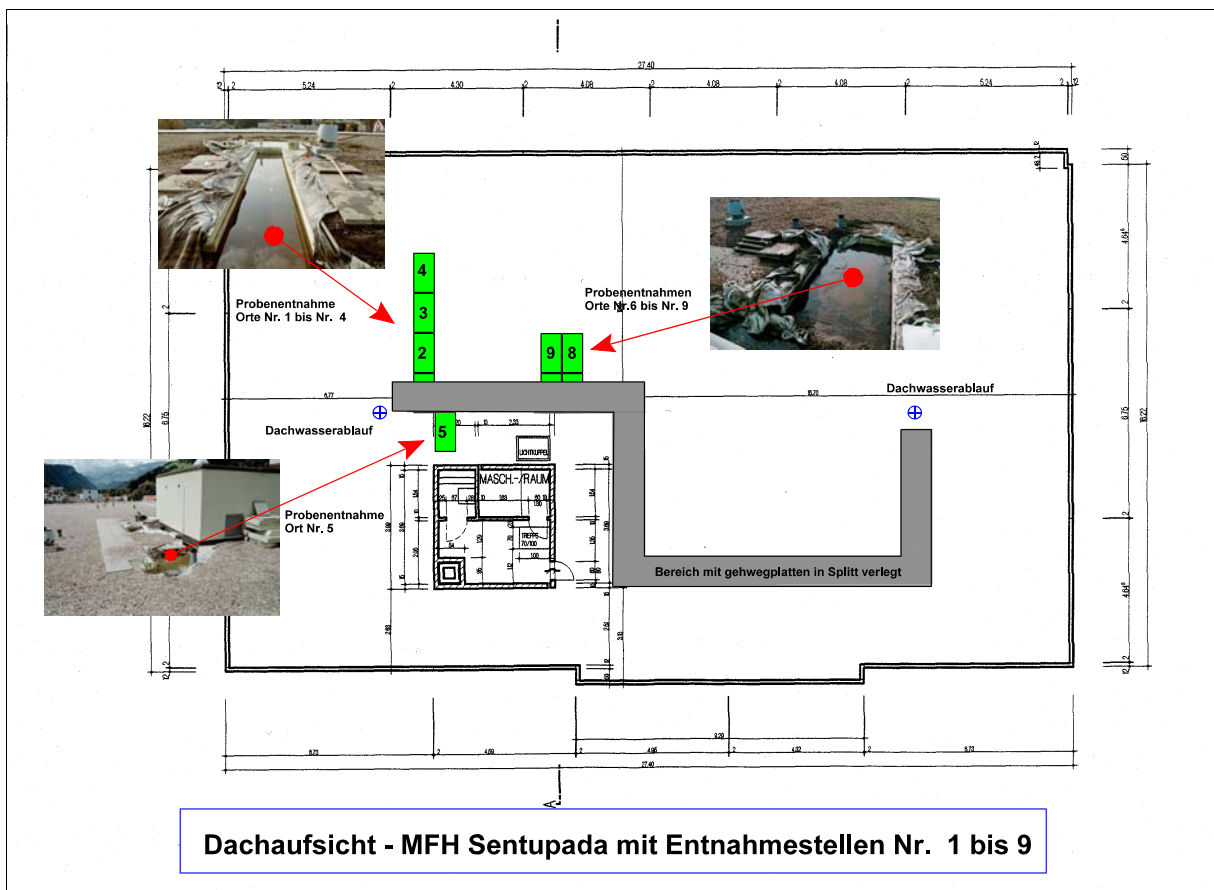
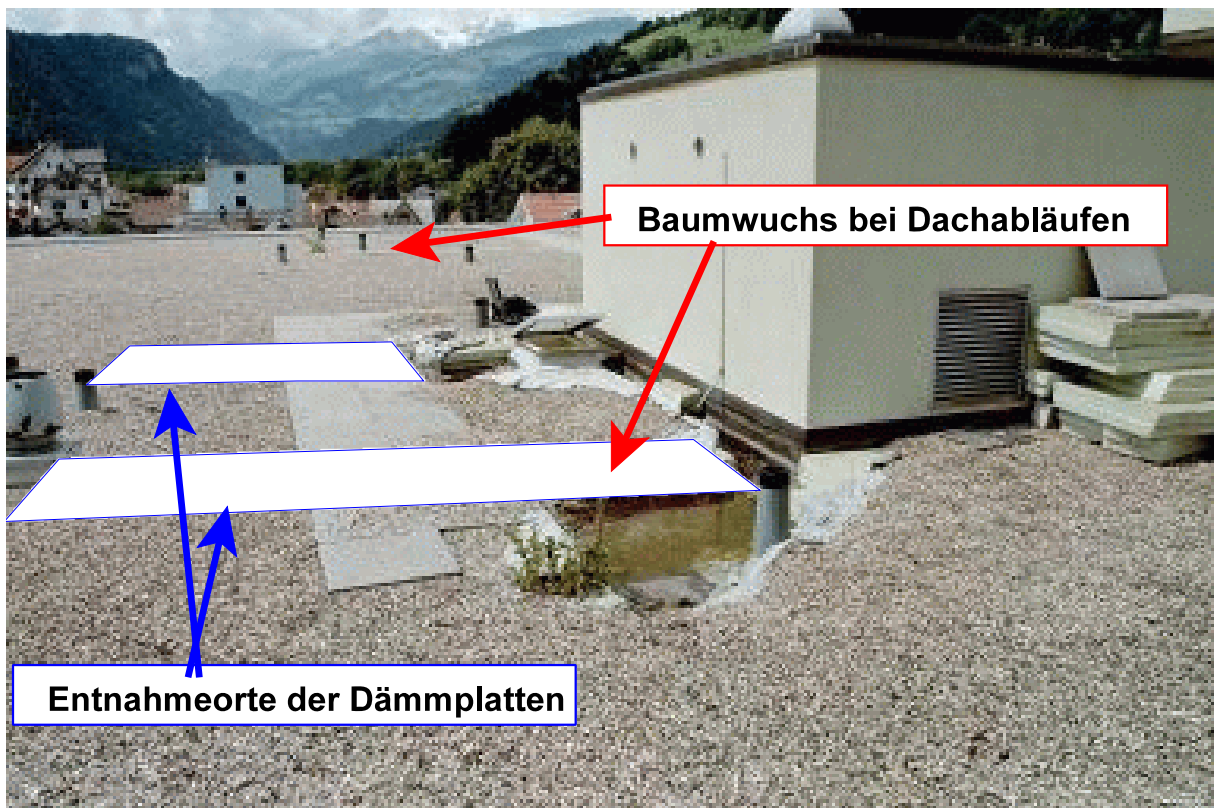
- Das Wenden der Dämmplatten im Versuch sollte im Hinblick auf praktische Einsatzbedingungen grundsätzlich entfallen.

- Die Versuchsdauer und die Randbedingungen sind neu zu definieren.
- Die Grenzwerte für die Feuchteaufnahmen sind abhängig von den Einsatzbedingungen, den Dämmplattendicken und den modifizierten Versuchsrandbedingungen neu zu gestalten.
- Einer geänderten Betrachtung der Nutzungsdauer von Flachdachkonstruktionen ist Rechnung zu tragen.

Maienfeld, 28.02.2002

Uwe Pernette  
Dipl.-Ing.(FH), Bauphysiker

# 11. Anhang A - Situationsübersicht Probenentnahme



**Dachaufsicht - MFH Sentupada mit Entnahmestellen Nr. 1 bis 9**



## 15. Literatur

- /1/ Eggenberger A.  
Feuchtehaushalt des Umkehrdaches  
Eggenberger Bauphysik AG, CH-3401 Burgdorf  
September 1996
- /2/ Hay C.  
Feuchtigkeitsaufnahme und ihre Auswirkungen auf die Wärmeleitfähigkeit der extrudierten Polystyrol-Isolierungen  
Universität von Alaska  
Fairbanks, 1984
- /3/ Cziesielski E./ Fechner O.  
Experimentelle Untersuchung zum  $\Delta U$ -Wert bekiester Umkehrdächer mit wasserableitender Trennlage.  
Bauphysik Nr. 5, Oktober 2001
- /4/ Franke L., Deckelmann G.  
Die Ausführung des Umkehrdaches bei erhöhten Anforderungen an den Wärmeschutz  
TU Hamburg-Harburg  
Forschungsbericht T2601, Mai 1994
- /5/ Amend+Hinrichs Ingenieurgesellschaft  
Sachverständigen - Gutachten  
Hohe Feuchtigkeitsaufnahme des extrudierten Polystyrol-Hartschaums  
Hamburg, 03.02.2000
- /6/ Forschungsinstitut für Wärmeschutz E.V. München  
Prüfberichte zur Wasseraufnahme durch Diffusionsversuch  
Dämmplatten aus XPS-Hartschaum  
Nr. P.3-19/96  
Nr. P.3-14/94  
Nr. P.3-129/99
- /7/ Künzel H.M.  
Feuchteverhalten von Umkehrdächern mit massiven Deckschichten  
Fraunhoferinstitut für Bauphysik  
IBP Mitteilung 295, 23(1996)
- /8/ Pernette + Wilhelm Ingenieure  
Wohnhaus "Sentupada" - Illanz  
Systematische Folgeuntersuchung der Wasseraufnahme von extrudierten Polystyrol-Dämmplatten.  
Maienfeld, 14.4.1999
- /9/ Bangerter H.  
Zuschrift im Leserforum  
Bauphysik 18(1996), H.3, S.92