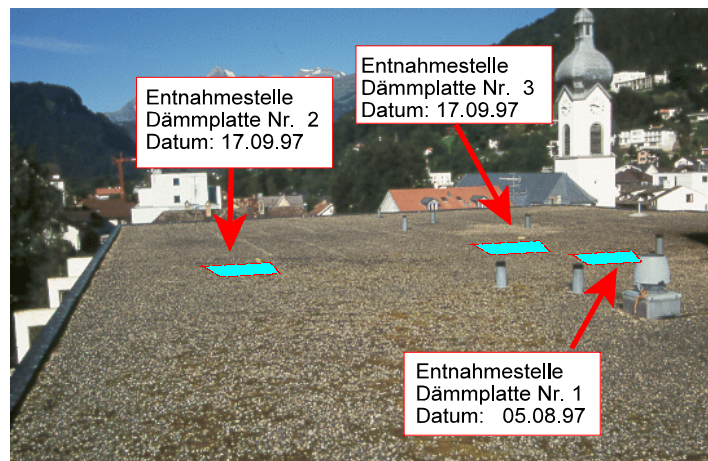


Wohnhaus "Sentupada" - Ilanz

Wasseraufnahme extrudierter Polystyrolämmplatten auf dem als Umkehrdach ausgeführten Flachdach

Abklärungen im Rahmen des wärmetechnischen Gebäudesanierungskonzeptes



Objekt: Wohnhaus "Sentupada"
CH-7130 Ilanz

Auftraggeber: Architekturbüro Markus Casanova
Via Hans Erni
CH-7130 Ilanz

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

Inhalt	Seite
1. Auftrag	<u>3</u>
2. Grundlagen	<u>3</u>
3. Ausgangssituation	<u>4</u>
4. Untersuchungen zum Feuchtegehalt der Dämmplatten	<u>5</u>
4.1 Trocknungsverhalten Feuchtegehaltsbestimmung	<u>5</u>
4.2 Feuchtegehaltsbestimmung	<u>6</u>
4.3 Mögliche Ursachen für erhöhte Feuchtegehalte	<u>7</u>
4.3 Mögliche Auswirkungen auf die Wärmedämmfähigkeit	<u>8</u>
5. Abschliessende Empfehlungen	<u>8</u>
6. Anhang A - Auswertungen	<u>9</u>

1. Auftrag

Im Rahmen der Erarbeitung eines Konzeptes zur wärmetechnischen Sanierung der Gebäudehülle des Wohnhauses "Sentupada" in Illanz war auch eine Beurteilung des Flachdachzustandes am Gebäude notwendig. Dies insbesondere deshalb, weil im Rahmen der wärmetechnischen Gebäudesanierung ein genügend hoher Wärmedämmstandard erreicht werden soll, um von kantonalen und bundesweiten Subventionen für die Sanierungsarbeiten profitieren zu können.

2. Grundlagen

- Aufnahmen am Gebäude am 05.08.97 mit Prüfung des Flachdachzustandes und Entnahme einer Stichprobe von einer extrudierten Polystyrolplatte (Typ: Roofmate SL)
- Gewichtsbestimmung der Stichprobe direkt nach Entnahme. Volumenbestimmung und Wägung im Labor.
- Entnahme von zwei kompletten Dämmplatten auf dem Flachdach am 17.09.97 zur Prüfung des volumenbezogenen Feuchtegehaltes.
- Vorlagerung der entnommenen Proben nach SIA 279 und Bericht zum Trocknungsverlauf des versuchsstollens Hagerbach AG in CH-7320 Sargans.
- Volumenbestimmung der Proben im eigenen Labor.
- SIA 279 - Wärmedämmstoffe (Materialprüfung, Toleranzen, Rechenwerte), A 1988.
- Prüfberichte zur Wasseraufnahme von Roofmate SL (Treibmittel FCKW) vom Forschungsinstitut für Wärmeschutz in München vom 21.12.87.

3. Ausgangssituation

Das im Jahr 1974 erstellte Gebäude weist ein Flachdach von 430 m² über dem 4. Obergeschoss auf. Die Wärmedämmung wurde mit einer sehr geringen, zum Zeitpunkt der Erstellung üblichen, Dämmstoffdicke von 40 mm auf der Basis von Korkdämmplatten mit bituminöser Schwarzabdichtung erstellt. Im Jahr 1981 wurde das Dach wärmetechnisch durch Aufbringen einer Umkehrdachdämmung mit 50mm Roofmate SL verbessert. Das sanierte Dach weist somit heute ein Alter von 16 Jahren auf. Den gesamten Dachaufbau gibt Tabelle 1 wieder.

Schicht	Bezeichnung	Dicke	Bemerkungen
[-]	[-]	[mm]	[-]
1	Kiesschüttung	40	
2	Vlies (ca 200 g/m ²)	-	
3	Roofmate SL	50	Sanierung im Jahr 1981
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	

Tabelle1: Dachaufbau Wohnhaus "Sentupada Ilanz"

Am 05.08.97 wurde der Zustand der Wärmedämmung des Flachdaches einer ersten Prüfung unterzogen. Dazu wurde eine Dämmplatte (Bezeichnung in der Folge: Dämmplatte Nr. 1, Typ: Roofmate SL, Dicke: 50 mm) in der Dachmitte entnommen. Es wurde zunächst subjektiv ein sehr hohes Gewicht der geprüften Dämmplatte festgestellt. Die Platte wurde vor Ort gewogen. Festgestellt wurde ein Gewicht von 4.19 kg. Aufgrund der Plattengröße ($l = 1.20\text{m}$, $b = 0.60\text{m}$, $d = 0.05\text{m}$) und der Trockenrohddichte ($\rho = 33\text{ kg/m}^3$) wäre ein Gewicht von nur ca 1.18 kg zu erwarten. Das Dämmplattenvolumen beträgt bei den gegebenen Abmessungen ca 36000 cm³. Bei einem Wassergehalt, der sich aus der Differenz des Wägegewichtes und des Trockengewichtes zu ca 3000 cm³ errechnet ergibt sich ein mittlerer volumenbezogener Wassergehalt der Dämmplatte von rund 8%. Aus diesen Erkenntnissen heraus wurde beschlossen weitere Proben am Dach zu entnehmen, um den Feuchtegehalt weiterer Dämmplatten zu bestimmen.

4. Untersuchungen zum Feuchtegehalt der Dämmplatten

Am 17.09.97 wurden zwei weitere Dämmplatten (Nr.2 + Nr.3) Roofmate SL auf dem Flachdach entnommen. Aus den Platten wurden Probekörper mit einer Grösse von ca 125 * 125 mm ausgeschnitten. Entnommen wurden je drei Proben vom Dämmplattenrand und drei Proben in der Dämmplattenmitte entsprechend den Bedingungen für die Vorlagerung und Bestimmung von Prüfgrössen an Wärmedämmstoffen nach SIA 279. Bei der Dämmplatte Nr. 2 wurden zusätzlich eine Probe aus der Plattenecke entnommen. Abbildung 1 zeigt die Situation und Lage der Entnahmestellen auf dem Flachdach.

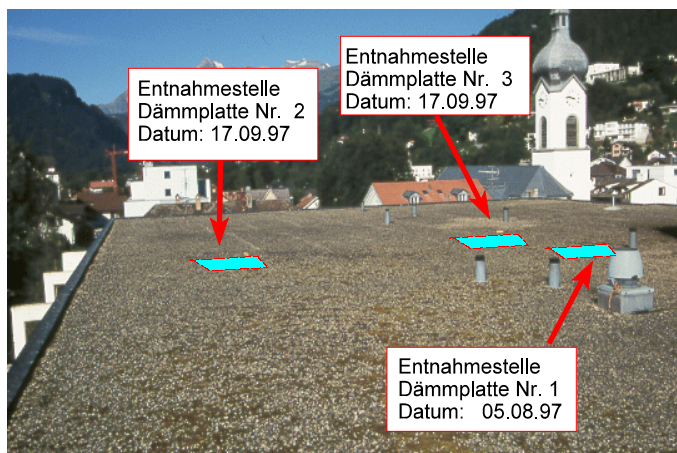


Abbildung 2:
Entnahmestellen von Dämmplatten inklusive der ersten Stichprobe am 05.08.97.

Abbildung 2 zeigt die Lage der Proben am Beispiel der entnommenen Dämmplatte Nr. 3. Die Probekörper wurden sofort in Plastiksäcke verpackt und zur Vorlagerung in den Versuchstollen Hagerbach AG in Sargans geliefert. Die Probekörper wurden gewogen und danach analog SIA 279 bei 40°C bis zur Gewichtskonstanz gelagert. Die Gewichtskontrolle erfolgte täglich. Nach Erreichen der Gewichtskonstanz wurden die Probekörper im Normklima von 23°C und 50% Luftfeuchtigkeit über 48 Stunden gelagert und anschliessend einer Endwägung unterzogen.

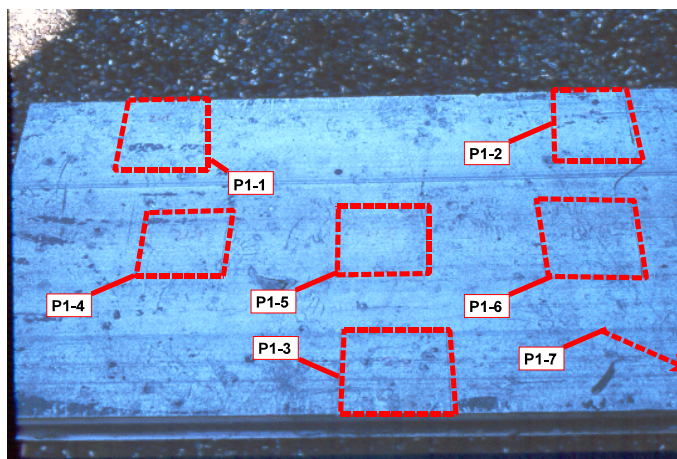


Abbildung 3:
Lage der entnommenen Proben zur Vorlagerung nach SIA 279 und Bestimmung des volumenbezogenen Feuchtegehaltes am Beispiel der Dämmplatte Nr. 2 gemäss Abb.1

Nach der Endwägung erfolgte eine Volumenbestimmung. Diese wurde wegen der entnahmebedingten, geometrischen Unregelmäßigkeiten der Probekörper mittels Wasserverdrängung in einem entsprechenden Prüfzylinder durchgeführt

4.1 Trocknungsverhalten und Feuchtegehaltsbestimmung

Die Wägung der Proben vor der Trocknung (Vorlagerung) ergab stark unterschiedliche Gewichte. Dies liess, wegen der ähnlichen Probenabmessungen, vermuten, dass stark unterschiedliche Wassergehalte vorliegen und die Trocknungszeiten dementsprechend unterschiedlich ausfallen werden. Signifikant war schon vor Trocknung, dass die hohen Gewichte ausschliesslich bei Proben vom Plattenrand oder der Plattenecke auftraten. Für die Proben aus der Plattenmitte ergaben sich Trocknungszeiten zwischen 10 und 15 Tagen. Die Proben von Plattenrand und Plattenecke benötigten hingegen bis zu 30 Tage zum Erreichen der Gewichtskonstanz.

Parallel zu den im Ofen getrockneten Proben wurde auch die erste Stichprobe aus Dämmplatte Nr. 1 weiterhin ständig auf Gewichtsverlust kontrolliert. Die Trocknung dieser Probe erfolgte unkontrolliert bei Raumklimabedingungen (ca 20°C- 24°C, 40 bis 60% Luftfeuchtigkeit). Bis zum

Berichtsdatum wurde bei dieser Probe noch keine Gewichtskonstanz erreicht. Der Trocknungsverlauf ist in Abbildung A3 im Anhang "Auswertungen" zusammen mit dem volumenbezogenen Feuchtegehalt gezeigt.

4.2 Feuchtegehaltsbestimmung

Der volumenbezogene Feuchtegehalt der entnommen Proben zum Entnahmezeitpunkt wurde nach Abschluss der Vorlagerung und der Volumenbestimmung ermittelt. Tabelle 2 zeigt die Zusammenfassung der ermittelten Daten. Im Anhang "Auswertungen" sind die Ergebnisse im Detail in den Abbildungen A3 bis A7 zusammengestellt.

Entnahme [-]	Probe [-]	Volumen [cm ³]	Gewicht bei Entnahme [g]	Gewicht nach Trocknung [g]	Wasser- inhalt [cm ³]	U-Vol% [%]
Ecke	1-1	1137	190.0	37.5 ¹⁾	153.0	13.5%
	2-7	1187	164.2	39.9	124.3	10.5%
Rand	2-1	889	145.4	30.6	114.8	12.9%
	2-2	907	76.2	30.5	45.7	5.0%
	2-3	979	84.7	32.4	52.3	5.3%
	3-1	867	66.0	27.8	38.2	4.4%
	3-2	1056	114.2	35.7	78.5	7.4%
	3-3	680	44.3	22.8	21.5	3.2%
Mitte	2-4	978	35.4	32.5	2.9	0.3%
	2-5	876	32.1	29.7	2.4	0.3%
	2-6	982	38.4	32.6	5.8	0.6%
	3-4	744	28.5	24.1	4.4	0.6%
	3-5	1023	43.1	34.2	8.9	0.9%
	3-6	962	37.9	32.0	5.9	0.6%

Tabelle 2: Volumenbezogener Feuchtegehalt für die untersuchten Proben aus den Dämmplatten Nr. 1 bis 3 vom Typ Roofmate SL (Dicke =50 mm) zum Zeitpunkt des Ausbaus nach ca 16 Jahren Standzeit.

- 1) Das Trockengewicht wurde aus der Trockenrohddichte ($\rho = 33 \text{ kg/m}^3$) ermittelt, da die Probe 1-1 noch keine Gewichtskonstanz aufweist (Trocknung bei Raumklima).

Aus Tabelle 2 können folgende wichtige Schlüsse gezogen werden:

- ☛ Der bereits vor der Trocknung vermutete erhöhte Feuchtegehalt der Rand- und Eckplattenproben bestätigte sich.
- ☛ Proben aus den Eckbereichen und Randproben, die nahe an der Plattenecke liegen, weisen die höchsten Feuchtegehalte auf.
- ☛ Der Feuchtegehalt der Proben aus den Plattenmitten liegt im Wertebereich des zulässigen, volumenbezogenen Feuchtegehaltes (0.5 Vol%) für den Zulassungsbescheid für Perimeter und Umkehrdachdämmstoffe in Deutschland nach einer Lagerung der Platten während 28 Tagen unter Wasser bei Temperaturwechsel.

4.3 Mögliche Ursachen für erhöhte Feuchtegehalte

Im Rahmen dieser Untersuchung sollte nur der Zustand der Dämmplatten ermittelt werden. Eine Abklärung der Ursachen war nicht vorgesehen. Aus den bekannten Umständen sind jedoch folgende Einflüsse denkbar:

- ☛ Erhöhte Wasseraufnahme über die Schnittkanten in den Plattenstößen infolge der fehlenden Schäumhaut. Die erhöhte Wasseraufnahme in diesem Bereich konnte auch bei den Probenentnahmen optisch verifiziert werden. (vgl. Abbildung 3)



Abbildung 4: Durchfeuchteter Plattenstoss einer entnommenen Dämmplatte

- ☛ Erhöhte Wasseraufnahme wegen zeitlich längerfristigem, direktem Wasserkontakt in den Stufenfalzfugen (z.B. Ablagerungen von nassen, vollgesaugtem Staub) im Gegensatz zur Dämmplattenunterseite, die aufgrund der Unebenheiten der Dachoberflächen nach Wasserabfluss nicht mehr vollflächig, direkt mit Wasser in Kontakt steht.

- ☛ Mehrdimensionale Dampfdiffusionsvorgänge im Bereich der Plattenstossfugen mit Kondensation im Randbereich der Dämmplatte.

Die Überprüfung dieser Umstände wurden nach Auskunft des Herstellers, der DOW Chemical, bisher nicht im Detail durchgeführt. Proben werden in der Regel aus der Plattenmitte entnommen und die Randzonen abgeschnitten. Bei DOW Chemical geht man bis heute davon aus, dass die Durchfeuchtung des Randbereiches nur in einem sehr geringen Mass auftritt. Der Verlauf der Trocknungskurven im Anhang "Auswertungen" Abbildungen A4 und A6 zeigt nach einer ersten schnellen Austrocknung jedoch eine langsame Abnahme. Deshalb kann nicht ausgeschlossen werden, dass die durchfeuchteten Bereiche auch tiefer in die Plattenrandzone eindringen. Dieser Umstand müsste jedoch noch verifiziert werden.

4.3 Mögliche Auswirkungen auf die Wärmedämmfähigkeit

Aufgrund der vorgefundenen Häufung von sehr hohen Feuchtegehalten in den Rand- und Eckzonen der Dämmplatten ist eine Verschlechterung der Wärmedämmung gegeben. Die Zunahme der Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit vom volumenbezogenen Feuchtegehalt von extrudierten Polystyrolämmplatten in FCKW-Technologie darf im Mittel mit 2.1% Zunahme von der Trockenwärmeleitfähigkeit pro Volumenprozent Feuchtezunahme angesetzt werden. Die Verschlechterung hängt von der Grösse des tatsächlich, durchfeuchteten Randzonenbereichs ab. Am Beispiel einer Dämmplatte, verschiedener Durchfeuchtungsbreiten (3 bis 7 cm) und Feuchtegehalten (0 bis 10%) wurde eine einfache Parameterstudie gemacht. Unter diesen Voraussetzungen könnten Verschlechterungen der mittleren Wärmeleitfähigkeit bezogen auf die Gesamtfläche einer Dämmplatte am untersuchten Objekt von 2% bis 6% vorliegen. Die ausführlichen Ergebnisse zu den Berechnungen sind im Anhang "Auswertungen" in den Abbildungen A8 und A9 gezeigt.

5. Abschliessende Empfehlungen

- ☛ Vor der definitiven Ausführung der wärmetechnische Sanierung des Flachdaches sollten weitere Proben der Dämmplatten entnommen werden, um folgende Punkte vertiefend abzuklären:
 - Welches Ausmass haben die Randzonendurchfeuchtungen, d.h. liegt eine starke Konzentration nur im äussersten Randbereich vor oder liegt eine höhere und damit wärmetechnisch, relevante Eindringtiefe vor ?
 - Muss davon ausgegangen werden, dass auf der gesamten Dachfläche die selben Verhältnisse vorliegen ?
- ☛ Auf der Basis der Erkenntnisse ist zu entscheiden in welcher Form das Flachdach wärmetechnisch allenfalls saniert werden soll.
- ☛ Bei der Wahl des Sanierungssystems sollte neben den Erstellungskosten auch die langfristige Standsicherheit des gewählten Dämmsystems in die Entscheidung einbezogen werden.
- ☛ Für die Bewertung einer erneuten Umkehrdachlösung muss berücksichtigt werden, dass im Zuge der Umweltproblematik die heutigen extrudierten Polystyrolplatten auf einer FCKW-freien Produktionstechnologie beruhen. Diese veränderte Produktionstechnologie hat auch einen Einfluss auf das Wärmedämmvermögen dieser Werkstoffe. Die Langzeitstabilität hinsichtlich der Wärmedämmeigenschaften wird in der Fachwelt kontrovers diskutiert und genügende Erfahrungen darüber sind aufgrund der geringen Zeitspanne der Markteinführung dieser Produkte nicht vorhanden.
- ☛ Als Alternative für die Sanierung des Flachdaches bietet sich eine Lösung mit einem Kompaktdach auf der Basis von Schaumglas an, bei dem die Problematik einer unkontrollierten Durchfeuchtung des Dämmstoffes nicht besteht. Hier ist jedoch zu beachten, dass mit ca 30% höheren Investitionskosten zu rechnen ist.

Maienfeld, 21.11.1997

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

6. Anhang A - Auswertungen

Auf den Folgeseiten UKD1 bis UKD6 sind die wesentlichen Ergebnisse der Untersuchungen in tabellarischer und grafischer Form (Abbildungen A1 bis A9) dargestellt.

Dämmplatte Nr. 1 - Ergebnisse aus der Voruntersuchung

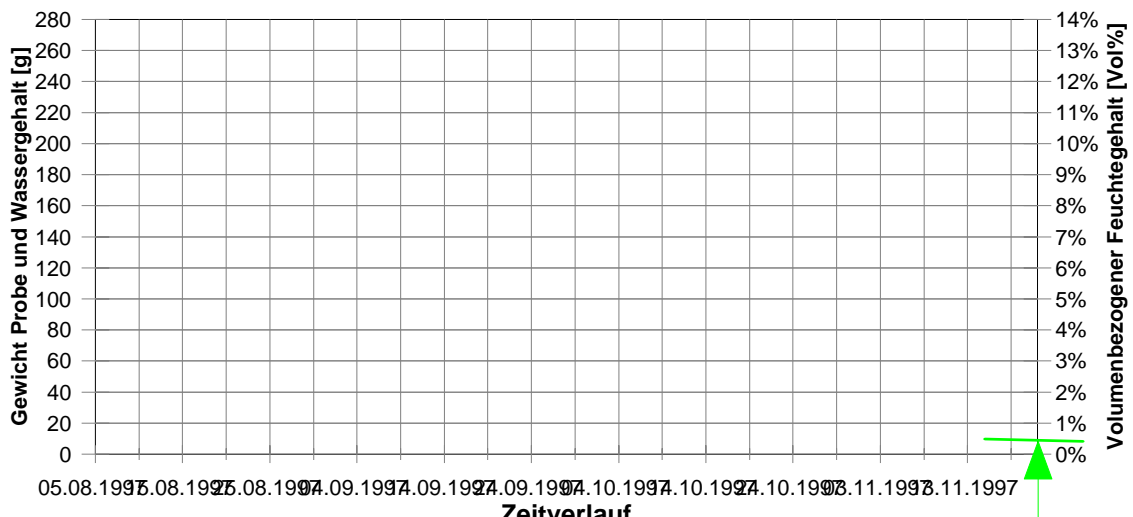
Nennrohddichte trocken 33 kg/m³ gemäss Prüfbericht P.2-17/87 FIW München
Volumen der Probe: 1136.7 cm³
Nenngewicht trocken: 37.51 g

Verlauf der Trocknung und Wassergehalt

Datum [-]	Zeit [h]	Gewicht [g]	Wassergehalt [g oder cm ³]	u-Vol% [%]
05.08.97	10.00	190	152	13.4%
05.08.97	15.15	165	127	11.2%
07.08.97	09.30	149	111	9.8%
08.08.97	10.00	142	104	9.2%
11.08.97	18.45	128	90	8.0%
12.08.97	15.59	125	87	7.7%
13.08.97	17.15	122	84	7.4%
15.08.97	18.45	117	79	7.0%
18.08.97	19.07	110	72	6.4%
20.08.97	16.08	106	68	6.0%
08.09.97	16.25	83	45	4.0%
15.09.97	12.00	78	40	3.6%
23.09.97	07.45	73	35	3.1%
26.09.97	07.45	72	34	3.0%
30.09.97	07.45	70	32	2.9%
18.11.97	17.00	54	16	1.5%

Dämmplatte Nr. 1 - Trocknungsverlauf Lagerung bei Raumklima

Erstellungsjahr: 1981
Entnahme: 05.08.1997



■ Gewicht
 ■ Wassergehalt
 ▲ u-Vol%

Grenzwert für Zulassungsbescheid für die Perimeterdämmung und das Umkehrdach von 0. Vol-% nach Wasseraufnahme durch Unterwasserlagerung bei Temperaturwechsel

Abbildung A3: Trocknungsverlauf der Stichprobe aus Dämmplatte Nr. 1

Dämmplatte Nr. 2 - Ergebnisse der systematischen Untersuchung

Typische Trocknungsverläufe - Lagerung bei 40°C nach SIA 279

Datum	Probe 2-2 Rand	Probe 2-6 Mitte	Probe 2-7 Ecke
[-]	[g]	[g]	[g]
18.09.97	76.2	38.2	164.2
19.09.97	63.8	35.3	137.7
22.09.97	56.3	34.4	116.8
24.09.97	50.3	33.8	98.4
29.09.97	41.4	33.1	69.9
06.10.97	35.3	32.8	54.7
13.10.97	32.1	32.7	47.3
20.10.97	30.5	32.6	39.9
27.10.97	30.5	32.6	39.9

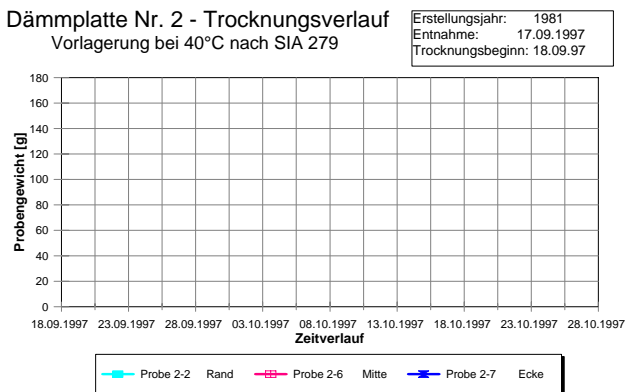


Abbildung A4: Trocknungsverlauf für drei Proben aus Dämmplatte Nr. 2

Volumenbezogener Wassergehalt der Proben bei der Entnahme

Proben Nr + Ort [-]	Volumen [cm³]	Probengewicht		Wassergehalt [g oder cm³]	[Vol%]
		Entnahme [g]	Trocken [g]		
2-1 Rand	889	145.4	30.6	114.8	12.9%
2-2 Rand	907	76.2	30.5	45.7	5.0%
2-3 Rand	979	84.7	32.4	52.3	5.3%
2-4 Mitte	978	35.4	32.5	2.9	0.3%
2-5 Mitte	876	32.1	29.7	2.4	0.3%
2-6 Mitte	982	38.2	32.6	5.6	0.6%
2-7 Ecke	1187	164.2	39.9	124.3	10.5%
Mittlere Feuchtegehalte		Mitte:	0.4%	Rand/Ecke:	8.4%

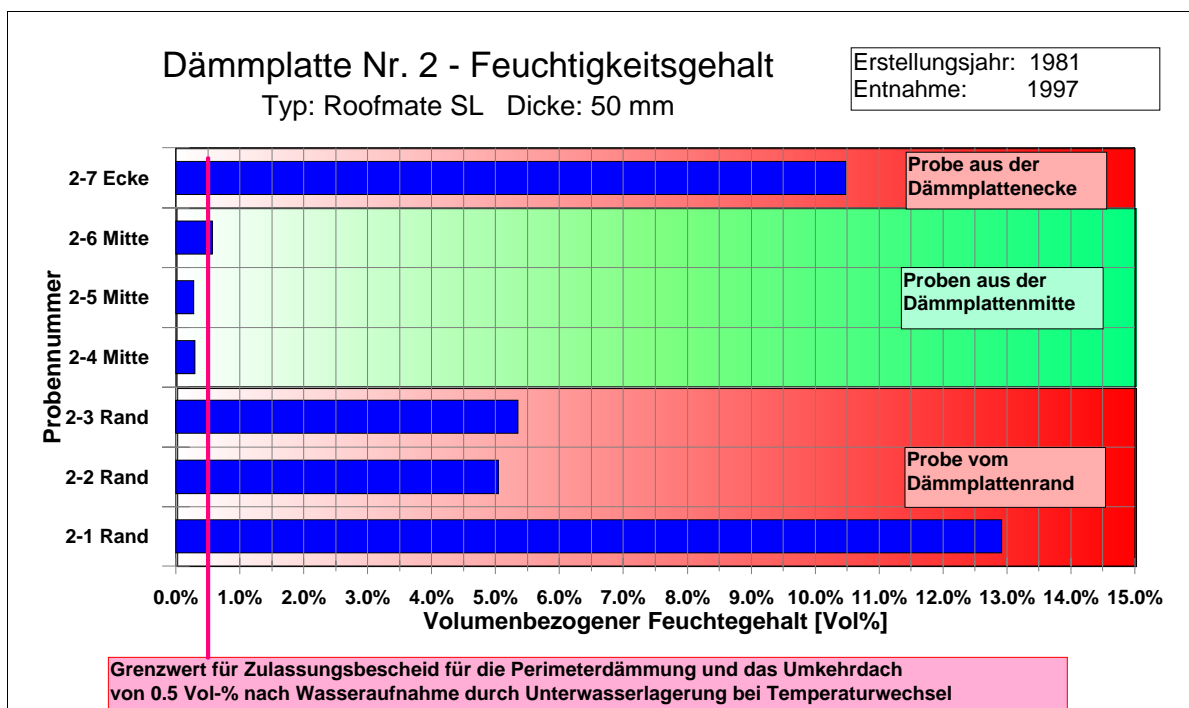


Abbildung A5: Volumenbezogener Feuchtegehalt der Proben aus Dämmplatte Nr.2

Dämmplatte Nr. 3 - Ergebnisse der systematischen Untersuchung

Typische Trocknungsverläufe - Lagerung bei 40°C nach SIA 279

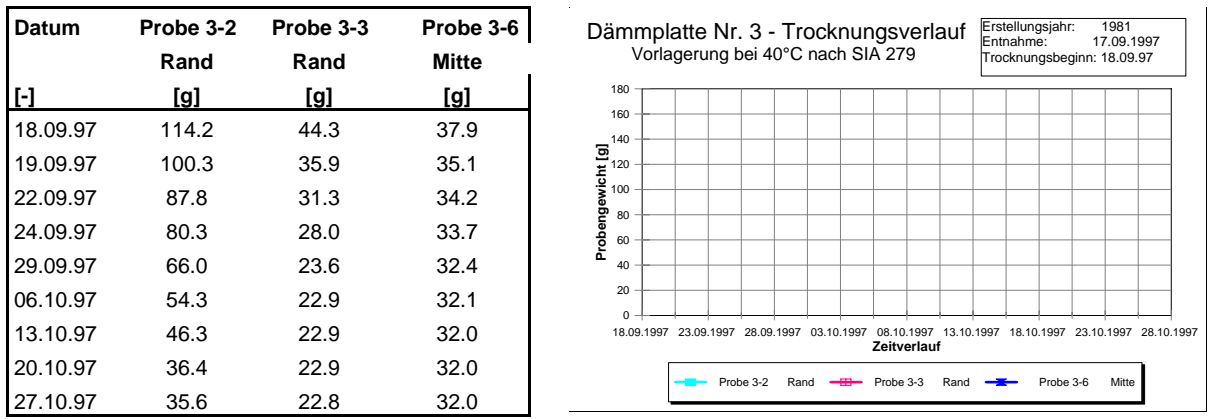


Abbildung A6: Trocknungsverlauf für drei Proben aus Dämmplatte Nr. 3

Volumenbezogener Wassergehalt der Proben bei der Entnahme

Proben Nr + Ort [-]	Probengewicht		Wassergehalt		
	Volumen [cm³]	Entnahme [g]	Trocken [g]	[g oder cm³]	[Vol%]
3-1 Rand	867	66.0	27.8	38.2	4.4%
3-2 Rand	1056	114.2	35.7	78.5	7.4%
3-3 Rand	680	44.3	22.8	21.5	3.2%
3-4 Mitte	744	28.5	24.1	4.4	0.6%
3-5 Mitte	1023	43.1	34.2	8.9	0.9%
3-6 Mitte	962	37.9	32.0	5.9	0.6%
Mittlere Feuchtegehalte		Mitte:	0.7%	Rand/Ecke:	5.0%

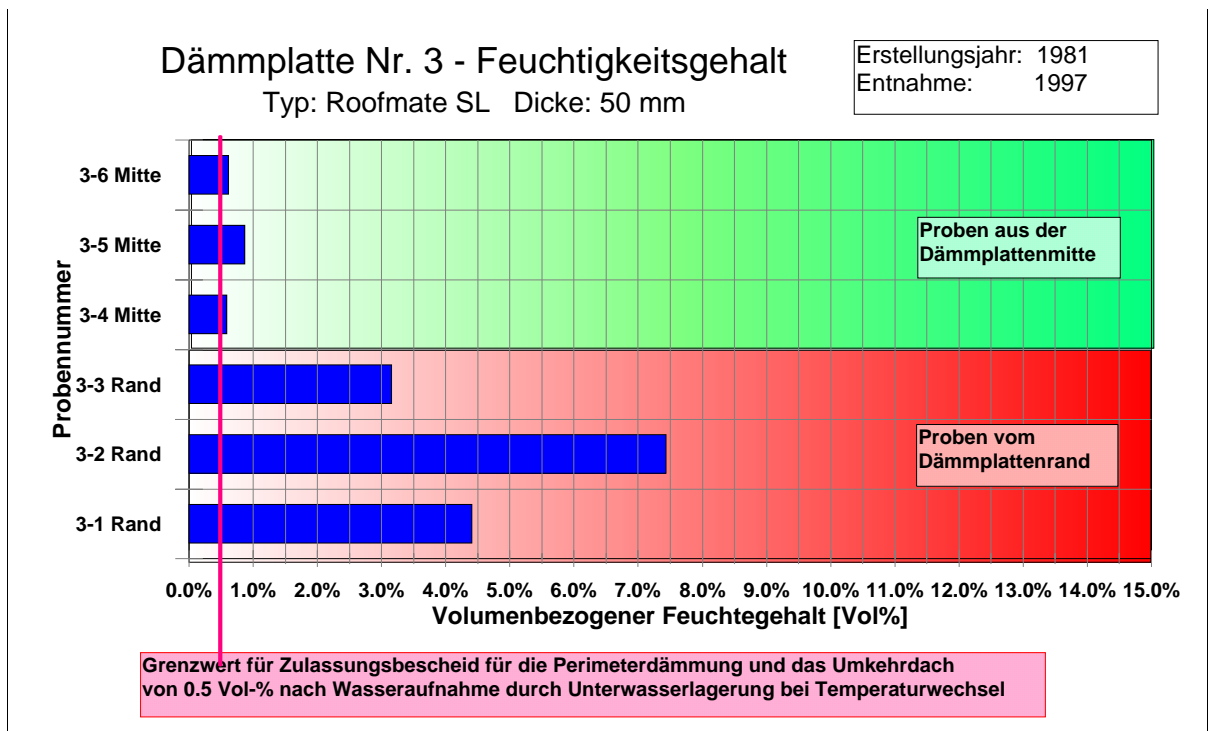


Abbildung A7: Volumenbezogener Feuchtegehalt der Proben aus Dämmplatte Nr.3

Einfluss erhöhter Randzonenendurchfeuchtung auf die Wärmeleitfähigkeit			
Objekt:	Wohnhaus Sentupada, Ilanz	Auftrag:	203
Eigentum:	Stwg "Sentupada"		

Plattenabmessungen	Breite	0.60 m
	Länge	1.20 m
	Dicke	0.05 m
Wärmeleitfähigkeit trocken (max 0.5 Vol%)	0.030 W/mK	
Feuchtigkeitsabhängige Zunahme	2.10% pro Vol% Feuchtezunahme	

Durchfeuchtete Randzonenbreite						
br [m] =		0.030	0.040	0.050	0.060	0.070
Feuchte [Voll%]	Mittlere flächengewichtete, resultierende Wärmeleitfähigkeit					
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
0.00%	0.0300	0.0300	0.0300	0.0300	0.0300	0.0300
0.50%	0.0300	0.0301	0.0301	0.0301	0.0301	0.0301
1.00%	0.0301	0.0301	0.0301	0.0302	0.0302	0.0302
1.50%	0.0301	0.0302	0.0302	0.0303	0.0303	0.0303
2.00%	0.0302	0.0302	0.0303	0.0304	0.0304	0.0304
2.50%	0.0302	0.0303	0.0304	0.0304	0.0304	0.0305
3.00%	0.0303	0.0304	0.0304	0.0305	0.0305	0.0306
3.50%	0.0303	0.0304	0.0305	0.0306	0.0306	0.0307
4.00%	0.0304	0.0305	0.0306	0.0307	0.0307	0.0308
4.50%	0.0304	0.0305	0.0307	0.0308	0.0308	0.0309
5.00%	0.0305	0.0306	0.0307	0.0309	0.0309	0.0310
5.50%	0.0305	0.0307	0.0308	0.0310	0.0310	0.0311
6.00%	0.0305	0.0307	0.0309	0.0311	0.0311	0.0312
6.50%	0.0306	0.0308	0.0310	0.0311	0.0312	0.0313
7.00%	0.0306	0.0308	0.0310	0.0312	0.0313	0.0314
7.50%	0.0307	0.0309	0.0311	0.0313	0.0314	0.0315
8.00%	0.0307	0.0310	0.0312	0.0314	0.0315	0.0316
8.50%	0.0308	0.0310	0.0313	0.0315	0.0316	0.0317
9.00%	0.0308	0.0311	0.0313	0.0316	0.0317	0.0318
9.50%	0.0309	0.0311	0.0314	0.0317	0.0318	0.0319
10.00%	0.0309	0.0312	0.0315	0.0318	0.0319	0.0320

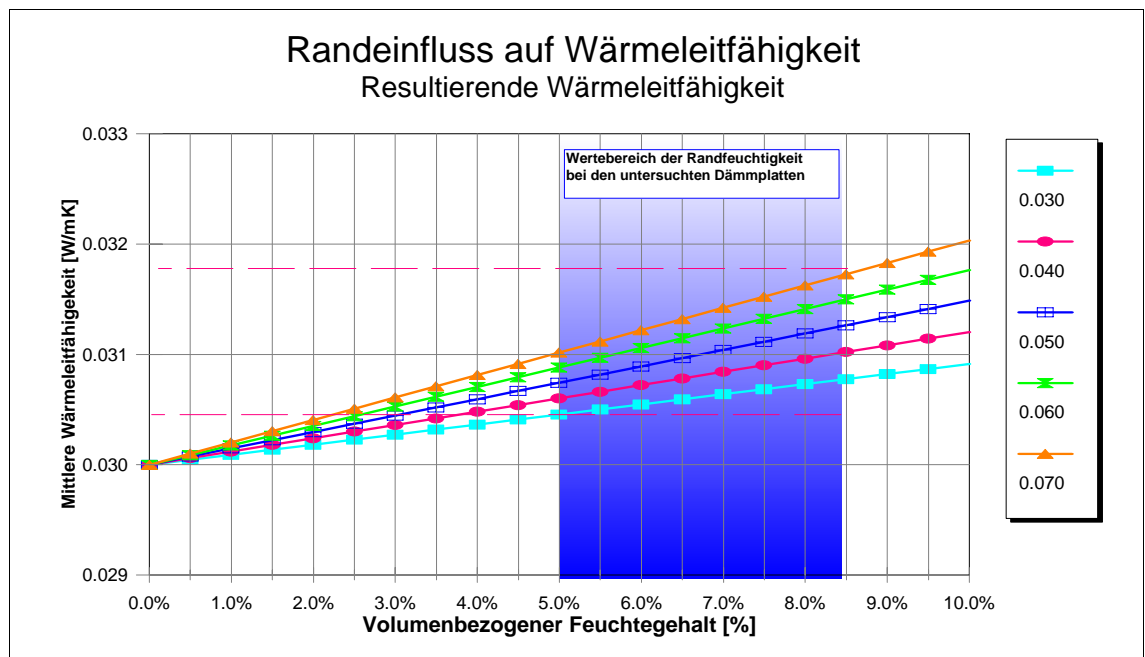


Abbildung 8: Absolute zunahme der mittlere Wärmeleitfähigkeit einer Dämmplatte abhängig vom Feuchtegehalt und Grösse der durchfeuchteten Randzone

Durchfeuchtete Randzonenbreite		0.030		0.040		0.050		0.060		0.070	
br [m] =											
Feuchte [Voll%]	Zunahme der mittleren, resultierenden Wärmeleitfähigkeit										
	[%]										
0.00%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
0.50%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%
1.00%	0.3%	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%	0.5%	0.5%	0.6%	0.6%	0.7%	0.7%
1.50%	0.5%	0.6%	0.6%	0.6%	0.6%	0.7%	0.7%	0.9%	0.9%	1.0%	1.0%
2.00%	0.6%	0.8%	0.8%	0.8%	0.8%	1.0%	1.0%	1.2%	1.2%	1.4%	1.4%
2.50%	0.8%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.2%	1.2%	1.5%	1.5%	1.7%	1.7%
3.00%	0.9%	1.2%	1.2%	1.2%	1.2%	1.5%	1.5%	1.8%	1.8%	2.0%	2.0%
3.50%	1.1%	1.4%	1.4%	1.4%	1.4%	1.7%	1.7%	2.1%	2.1%	2.4%	2.4%
4.00%	1.2%	1.6%	1.6%	1.6%	1.6%	2.0%	2.0%	2.4%	2.4%	2.7%	2.7%
4.50%	1.4%	1.8%	1.8%	1.8%	1.8%	2.2%	2.2%	2.6%	2.6%	3.1%	3.1%
5.00%	1.5%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	2.5%	2.5%	2.9%	2.9%	3.4%	3.4%
5.50%	1.7%	2.2%	2.2%	2.2%	2.2%	2.7%	2.7%	3.2%	3.2%	3.7%	3.7%
6.00%	1.8%	2.4%	2.4%	2.4%	2.4%	3.0%	3.0%	3.5%	3.5%	4.1%	4.1%
6.50%	2.0%	2.6%	2.6%	2.6%	2.6%	3.2%	3.2%	3.8%	3.8%	4.4%	4.4%
7.00%	2.1%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	3.5%	3.5%	4.1%	4.1%	4.7%	4.7%
7.50%	2.3%	3.0%	3.0%	3.0%	3.0%	3.7%	3.7%	4.4%	4.4%	5.1%	5.1%
8.00%	2.4%	3.2%	3.2%	3.2%	3.2%	4.0%	4.0%	4.7%	4.7%	5.4%	5.4%
8.50%	2.6%	3.4%	3.4%	3.4%	3.4%	4.2%	4.2%	5.0%	5.0%	5.8%	5.8%
9.00%	2.7%	3.6%	3.6%	3.6%	3.6%	4.5%	4.5%	5.3%	5.3%	6.1%	6.1%
9.50%	2.9%	3.8%	3.8%	3.8%	3.8%	4.7%	4.7%	5.6%	5.6%	6.4%	6.4%
10.00%	3.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	5.0%	5.0%	5.9%	5.9%	6.8%	6.8%

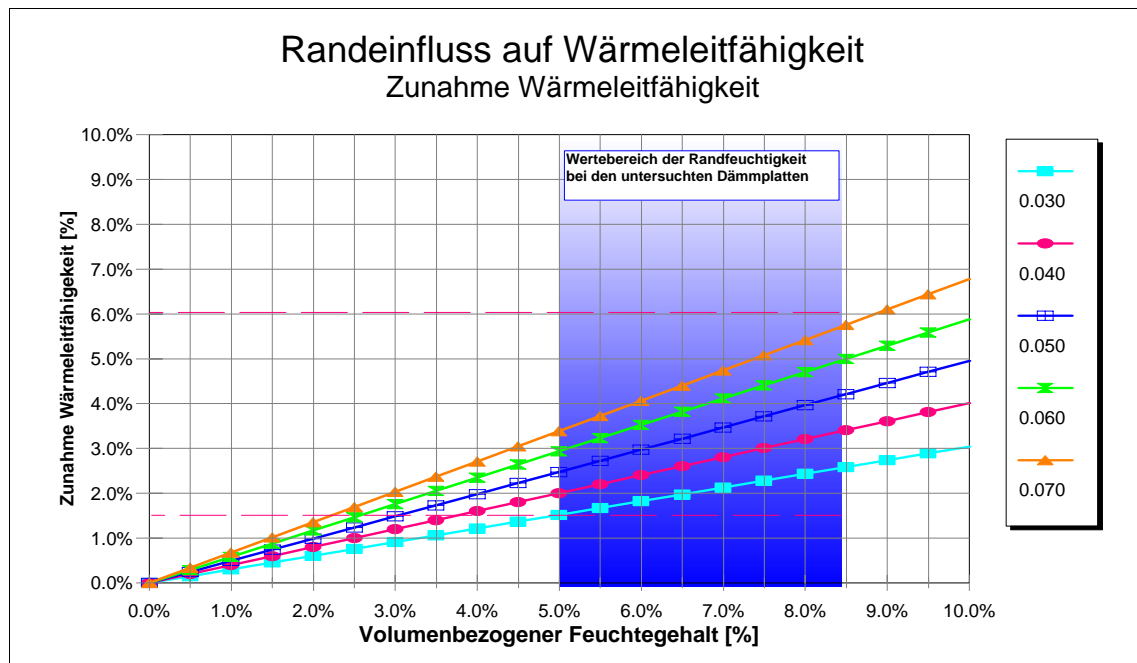


Abbildung 9: Prozentuale Zunahme der mittlere Wärmeleitfähigkeit einer Dämmplatte abhängig vom Feuchtegehalt und Grösse der durchfeuchteten Randzone