

Experimenteel onderzoek naar lucht- en waterdichtheid van raamaansluitingen in houtskeletbouw

Lynn Devos, Silke Maertens

Promotoren: prof. dr. ir. Arnold Janssens, prof. Jan Moens

Begeleiders: Nathan Van Den Bossche, ir.-arch. Glenn De Meersman

Masterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van
Master in de ingenieurswetenschappen: architectuur

Vakgroep Architectuur en Stedenbouw

Voorzitter: prof. dr. Pieter Uyttenhove

Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur

Academiejaar 2012-2013



VOORWOORD

Aan het begin van deze scriptie willen we de gelegenheid aangrijpen een woord van dank te uiten aan allen die de realisatie ervan mogelijk gemaakt hebben.

Deze masterproef zou niet tot stand gekomen zijn zonder de input van verschillende personen. Zo willen we vooreerst onze promotoren prof. A. Janssen en prof. J. Moens bedanken voor het bijsturen van ons onderzoek en het aanreiken van nieuwe denkpistes. Veel dank gaat ook uit naar onze begeleiders N. Van Den Bossche en G. De Meersman die op elk moment klaarstonden om eventuele vragen en problemen op te lossen.

Verder willen we nog een woord van dank richten aan een aantal mensen, H. Bellinck voor de helpende hand, F. Van Mieghem van Soudal voor de informatie en het ter beschikking stellen van Imaterialen, L. Van den Abeele voor het uitgebreide bedrijfsbezoek.

Tenslotte willen we ook onze familie en vrienden bedanken voor de steun die ze ons steeds gegeven hebben, in het bijzonder Thijs en Bart die er steeds voor ons waren.

De auteur geeft de toelating deze masterproef voor consultatie beschikbaar te stellen en delen van de masterproef te kopiëren voor persoonlijk gebruik. Elk ander gebruik valt onder de beperkingen van het auteursrecht, in het bijzonder met betrekking tot de verplichting de bron uitdrukkelijk te vermelden bij het aanhalen van resultaten uit deze masterproef.

EXPERIMENTAL RESEARCH ON WEATHER TIGHTNESS OF WINDOW-WALL INTERFACES IN WOOD-FRAME CONSTRUCTION.

Lynn Devos, Silke Maertens

Supervisors: Nathan Van Den Bossche, Arnold Janssens, Jan Moens, Glenn De Meersman

Ghent University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Architecture and Urban Planning, Jozef Plateastraat , Ghent Belgium

Abstract: In recent decades there has been an increased use of wood-frame construction in Belgium, hence the importance of attaining practical information that can be applied to the building practice in Belgium. This experimental research investigates the weather tightness of the window-wall interfaces, more specifically the air- and water resistance, hereby limiting water-infiltration to the resistance against rain penetration. A literature review shows that little information can be found concerning the quantification of water-infiltration and that there is no information available that is representative for the wood-construction practice in Belgium. This paper applies a test-method for quantifying the amount of rainwater infiltration of window-wall interfaces of wood-frame walls. The airtightness of different installation methods is investigated in a first phase, hereby also accounting possible deficiencies that can arise during installation. The results show that the selected solutions show an equal range in airtightness levels, from 0.01 m³/h.m up to 0.16. m³/h.m at 50 Pa when correctly placed. In a second phase the relation between air- and watertightness is investigated for a variation of 8 different installation methods. Results show that with a correct installation, the selected solutions cover a wide range of watertightness from 0 ml/min to 12.7 ml/min and indicate the importance of an airtightness barrier. For the different installation methods, specific failing mechanisms are discussed. The location of the window relative to the rain barrier also influences the waterinfiltration.

I. Introduction

The market share of wood-frame construction in Belgium is increasing. A study shows that wood-frame construction already counts for 11 to 15 % of the newly built family homes in 2009 [1] [2]. Despite the expectation that this share will keep rising, construction workers indicate that little or no studies have been undertaken regarding wood-frame buildings in Belgium by independent instances [3] [4]. The technical documentation is dated and an update is wanted [2].

The increased focus on energy savings have led to stricter building regulations in respect to the energy losses in homes. Next to additional insulation and the use of more efficient technical installations, the energy losses can also be limited by an improvement in airtightness [5]. Despite the overall consensus on the importance of airtight buildings, there is still no method that can calculate airtightness of a building in the design phase [6] [7].

Another key design element in the weather tightness of the building interface is the control of rain penetration. Lack of attention or knowledge of design principles may lead to premature deterioration or expensive repairs of wall elements. This is especially important for wood-frame construction, where the safest approach is to state that there is no water infiltration tolerance, as this can lead to the fast deterioration of wood. Next to measurements that can be taken on an architectural level, the building interface is the key player to avoid infiltration of rainwater. Several climate actors play a role in the overall water tightness of a building. Naturally, rain is one of them. But the key player for rain penetration is the co-occurrence of wind and rain: wind driven rain. The wind gives the rain a horizontal component , thus making it possible for water to infiltrate.

Despite the importance of water tightness in wood-frame buildings, there is little information on how watertight this interface can or should be. Scientific literature on the quantification of infiltrating rain water for a certain installation

method is scarce. However, this quantification can be used to compare or reject different installation methods.

This paper first offers a short review of the most important literature about air- and watertightness. Subsequently the paper reports the results of the experimental study. Part 2 focusses on the airtightness, starting with the testing methods, and subsequently offering the results on different installation methods. Part 3 shows the results for watertightness of different installation methods, subsequently a link is made between the air and water tightness of the building.

II. Literature review

Airtightness

Research shows that the relation between the air leakage and the pressure difference is non-linear. This relation follows the power law. [8]. $Q = C\Delta p^n$

With Q: flow rate (m³h⁻¹), Δp: pressure difference (Pa), C: flow coefficient (m³.h⁻¹.Pa⁻ⁿ) and n: flow exponent (-). The literature results are converted into these quantities and normalized to 50 Pa, based on this relation, flow coefficient is assumed to be 1, flow exponent in general can be assumed 0.66. The most relevant results are shown in table 1, and have been classified as low, mean, high, but can have different meanings, as explained below.

Proskiw [9] installed every method five times, the lowest, mean and highest infiltration rate are given for a 13 mm gap at side and top and a 32 mm gap at bottom.

Relander [11] also performed a single test on every installation method with a gap of 15 mm. He also investigated installation errors of which the highest and lowest results are given.

Vandeweerd and Penne [12] performed every test twice, without re-installing. The values for those test aren't reported by [12], only an average value is given. For SPF-PUR the effect of installation error is investigated. The gap width differs for the mounting with window brackets (60 mm) or multiplex frame (18 mm).

Höglund and Jansson [13] tested the window-wall interface, the results are given in $\text{m}^3/\text{h m}^2$, but there is no reference to what this relates, or any gap size mentioned, so these values aren't discussed.

Van Den Bossche [10] performed the test once, for positive and negative pressure differences, the average is given. On contrary to the other results experimenting on window-wall interface in wood-frame walls, this reference tests on masonry construction (joint width 20 mm).

($\text{m}^3/\text{h m}$) at 50 Pa		low	mean	high
No treatment				
Proskiw		4,87	4,97	5,18
Van Den Bossche		-	30,78	-
Mineral wool				
Proskiw	Mu_los	1,59	1,83	2,00
	Mu_dens	0,53	1,24	1,63
Van Den Bossche	Wb_los	-	11,99	-
	Wb_dens	-	2,60	-
Relander	JL	1,49	2,09	4,03
SPF-PUR				
Proskiw	Mu	0,00	0,01	0,04
Van Den Bossche	Wb	-	0,94	-
	Mu	-	0,24	-
Vandeweerd Penne	Wb	-	0,01	0,37
	Mu	-	0,04	0,37
Backer rod				
Proskiw	Mu	0,09	0,25	0,42
Relander	JL_cc	-	0,97	-
	JL_ncc	-	1,24	-
Self expanding strips				
Vandeweerd Penne	Wb_cc	3,71	3,66	3,61
Relander	JL	-	3,97	10,87
Airtight membranes				
Proskiw	Poly return	0,04	0,10	0,24
	Poly wrap	0,00	0,02	0,03
Vandeweerd Penne	Wb_cc	-	0,29	-
	Wb_ncc	-	0,23	-
	Mu_c	-	0,08	-
	Mu_nc	-	0,25	-
Van Den Bossche	Wb_p_foil i	-	0,13	-
	Wb_p_foil e	-	0,19	-
Relander	JL	-	0,31	6,96
Tape				
Proskiw		0,00	0,01	0,02
Relander		-	0,00	-

JL: jamb liner; wb: window brackets, mu, multiplex; cc: continuous corners, p: plaster, foil i: foil adhered on interior side of window frame; foil e: foil adhered on side of window frame, on top.

Table 1: Airtightness measurements of window-wall interfaces found in literature [9] [10] [14] [11]

The results show a large variety in air flow rates. For the application of mineral wool, there's a discrepancy between loosely placed or densely placed, but the amount of compression is difficult to quantify which makes this method installation sensitive. Backer rod also gives a wide range of air infiltration rates. SPF-PUR and membranes give good results and tape can be considered as practically perfect airtight.

Based on statistical research, Van Den Bossche [10] proposes a classification for the airtightness of window-wall interfaces. The analysis was done for an average detached residential building in Flanders [15], presuming a 10% limitation of the relative share air loss through the window-wall interface. This can thus be seen as an indication for the airtightness that can be achieved with a certain window installation method. Based on an average n_{50} of newly built detached residential buildings in Flanders of 6 h^{-1} [16] the maximum air loss through the window-wall interface is $3.3 \text{ m}^3/\text{h}^{-1} \cdot \text{m}$ at 50 Pa. To attain a passive house certificate the building airtightness should be below 0.6 h^{-1} , which results in an air loss at the window-wall interface below $0.33 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$ at 50 Pa.

Watertightness

Publications on watertightness often discuss general principles on the different methods of waterproofing and pressure moderation. [17] [17] [18]). Information on the application of these water tightness principles on the component level however is rare [19] [20] [21] [22] [23]. The next section discusses what has been researched and published on the water tightness of a window wall interface. First the different test methods are discussed, after which a brief overview is given on a number of studies on the water tightness of window-connections.

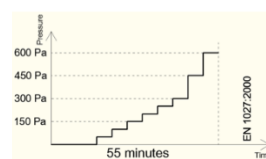


Figure 1: Static test method

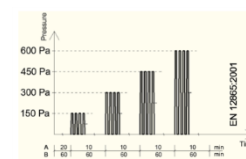


Figure 2: Cyclic test method

For testing water-tightness at component level, there is no prescribed standard test method. Essentially there are four types of test methods: static, dynamic, cyclic and wind tunnel tests. In the static, dynamic and cyclic tests, water and wind are considered independent parameters. In wind tunnel tests, these parameters are dependent upon each other. However, from an analysis of the relationship between the climate parameters wind and rain. Van Den Bossche [24] prepared a test method that leans more towards the parameters of the actual Belgian climate. Because there are still some uncertainties in the recently developed Pareto test method, the dynamic and static test method are still often used [25] [26].

Two different evaluation criteria can be applied to evaluate the resistance against water infiltration: a visual or quantitative approach. The method of visual inspection uses a pass-fail criterion, however, after visual inspection the question arises whether or not it is a problem that a limited amount of water enters. Therefore a certain form of quantification seems interesting. However, very little research is done that makes a quantification of the infiltration-rate at the window-wall interface.

A study of Verhoijssen [27] on the watertightness of the wall-window interface in a solid construction, based on visual inspection, shows that there is little water infiltration to be expected. However, this study provides some general remarks, the water infiltration rate was only higher when extreme airtightness deficiencies occurred and no airtightness barrier

was tested. Placing a joint seal between window and facade and whether or not correctly installing the sill was also found to have little impact. SPF-PUR did have an influence on the rain-seal. When the foam reached the outer cavity leaf, water-infiltration occurred.

In a study by NRC [28] four different window-wall interfaces were subjected to a series of tests. The interfaces were different in the type of window frame, window type and the type of wall. Below an overview is displayed (table 2).

W1	Box (non flanged)	Fixed	Rain screen wall – clear cavity behind siding
W2	Flanged	Fixed	Concealed barrier wall – no clear cavity
W3		Combination - Operable sliding (upper) / Fixed (lower)	Rain screen wall – clear cavity behind siding
W4			Concealed barrier wall – no clear cavity

		ml/min* spray rate			pressure entry (Pa)
		0,8	1,6	3,4	
W1	W1 - V				
	Airtightness 0,3	0	0	15	200
	Airtightness 0,8**				
	W1 - B				
W2	Airtightness 0,3	10	20	0	500
	Airtightness 0,8**				
	W2 - V				
	Airtightness 0,3	0	0	0	/
W3	Airtightness 0,8	0	0	0	/
	W2 - B				
	Airtightness 0,3	0	0	0	/
	Airtightness 0,8	0	0	0	/
W4**	W3				
	W3 - V				
	Airtightness 0,3	0	0	0	/
	Airtightness 0,8	0	0	0	/
W4**	W3 - B				
	Airtightness 0,3	<5	<5	<5	
	Airtightness 0,8	<5	<5	30 to 0	
	W4 - V				
W4**	Airtightness 0,3	50	350	420	0
	Airtightness 0,8	70	350	800	0
	W4 - B				
	Airtightness 0,3	50	400	402	0
W4**	Airtightness 0,8	0	370	1070	0

* at pressure difference of 700 Pa; for location 2; values deducted from graphs

** only executed till 300 Pa

*** Change in watercollection system

Table 2: Quantification waterinfiltration Lacasse [28]

The result of the study shows that the airtightness has an important influence. The most airtight surface may not coincide with the rain cover. In this way, the pressure differential across the rain seal will be limited, and also the driving force for water is reduced.

The spray flow rate is found to have less influence on the infiltration flow rates. Imposing larger spraying flow rates does not automatically translate into higher infiltration.

When viewing the results, it should be noted that these results are related to the use of flanged windows, often used in the United States. Moreover, also the installation in the above analysis is completely different than the installation method in Belgium. The rain cover is tucked around the window opening

inwards. Therefore it is less harmful if water enters at the height of the sill.

Installation methods

The selection of the different installation methods was based on references, consultations with building practitioners, window installers and the Belgian Construction Certification Association (BCCA) [29] [30] [31] [32] [33] [34].

III. Experimental research airtightness

a. Test method and error analysis

The airtightness of building components can be measured according to standard NBN EN 12114 [35]. The samples were measured using a standard calibrated test rig. After three pulses of 660 Pa, a sequence of pressured differences is applied: 50, 100, 150, 200, 250, 300, 450 and 600 pa. The procedure is applied first for a positive pressure difference, then for a negative.

The wood-frame wall was placed in a steel test-box, sealed as airtight as possible. The window used is non-operable, the glazing stop was sealed to ensure that there were no air losses through the window. The extraneous air leakage was measured several times, with resembling results. The calibration method showed a difference in air infiltration for positive and negative pressures. This can be explained by the calibration method, and a correction was applied in the 95% confidence interval.

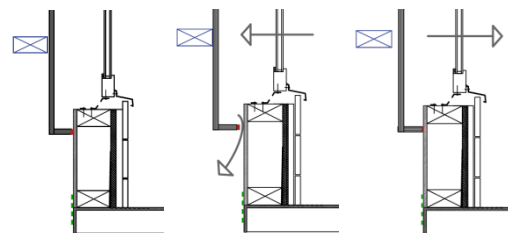


Figure 3: calibration method

The window-opening was sealed by manually pressing an airtight calibration box against the perimeter of the opening, as seen in figure 3. For positive pressure differences this results in higher air losses because the pressure pushes the box away from the opening. For negative pressure differences, the opposite happens, the pressure difference causes the box to be pressed against the wall, and causes small air losses.

The air loss of the test rig was adjusted by consecutive testing, and the average of the different measurements was 0.188 m³/h.m at 50 Pa. Because of the small values in air exfiltration rates of the window-wall interfaces tested, the effect of this extraneous air loss is substantial and causes quite large uncertainty intervals in the measurements.

A thorough error measurement calculation is applied, based on [10]. Hereby a maximum error on the flow meter is determined on 3,96% and the measuring error on the pressure sensor is negligible compared to the uncertainty on other sources.

b. Installation methods

The two most commonly found airtightness solutions are tested, the airtightness membrane and SPF-PUR, this for the installation with mounting brackets and with a plywood frame.

An overview of the test results is given in table 3. The measurements show an air leakage at 50 Pa from 0.01 m³/h.m up to 0.16 m³/h.m. Because of these small values, the uncertainty intervals are quite large, which causes a lot of overlap in certainty intervals of many of the solutions. All the tested installation methods fall under a 'good' airtightness category, this means a value less than 0.33 m³/h.m, they 'can be used in a passive construction'. The study shows that a good airtightness can be reached with relative ease.

Even though, some points of attention can be stated to optimize the airtightness. For the installation of foil, sufficient attention must be paid to the adhesion of the foil. Especially in the corners, where the biggest air losses are observed. The foil has been installed in one piece, with the corners folded to attain a greater angle at the OSB. For SP-PUR, the most important loss seems to be the amount of disruptions in the gap, such as corners or mounting brackets. For the tests with a plywood frame, considerable air-losses were found through the plywood itself, 0.11 m³/h.m.

Net airinfiltrationrate at 50Pa						airtightness class
Beschrijving	pos Δp	neg Δp	average Δp			
	V ₅₀ (m³/h.m)	V ₅₀ (m³/h.m)	V ₅₀ (m³/h.m)	s-	s+**	
Mounting brackets_foil	0,03	0,03	0,03	0,07	0,09	Good
Plywood frame_foil	0,15	0,10	0,12	0,10	0,10	Good
Plywood frame_foil and tape	0,05	0,00	0,01	0,05	0,05	Good
Mounting brackets_SP PUR + tape	0,08	0,08	0,08	0,05	0,05	Good
Plywood Frame_SP PUR and tape + tape	0,16	0,15	0,16	0,06	0,06	Good

Table 3: Results net air infiltration installation methods

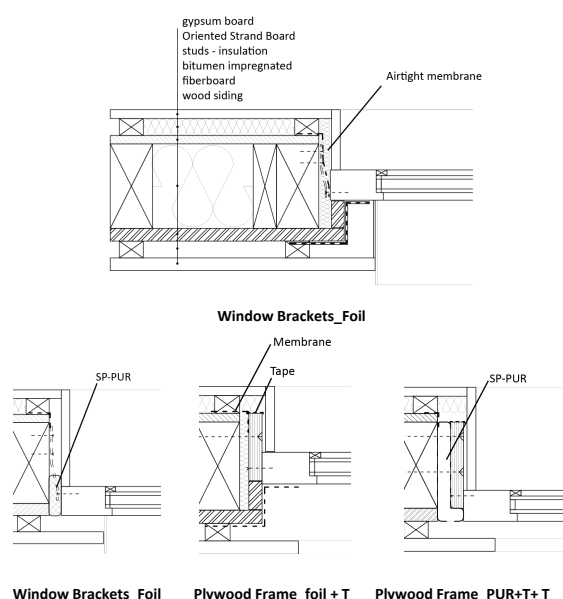


Figure 4: Installation methods airtightness

Defaults can cause great air losses. In the tests the influence was measured for cuts, screw holes in the foil and irregularities on the window-frame surface. An airflow of 0.43 m³/h was measured through a 8 cm cut. An irregularity at the corners of the window frame surface can lead to an air loss of 0.67 m³/h.m and a screw hole can lead to an air loss of 0.03 m³/h .

IV. Experimental research watertightness

3.1 Test method and reproducibility

The test objects were submitted to static and dynamic test methods [26] [25], with pressure differences according to figure 1 and 2; and spray rates for static 3.4 l/sm² and for dynamic 1.2 l/sm –run-off- and 1.5 l/sm². A method for quantification was developed, after determining the most critical points of water entry.

Therefore an exploratory test was conducted. The rough window opening was caulked to make it possible to see the water entry points after the test object was subjected to the static and dynamic test method. The window in the test object was placed in the plane of the rain screen barrier, as this is the most 'neutral' location to examine the water infiltration points, see figure 4, since the spray rate on the perimeter of the gap is equally distributed. The gap between the window and the edge of the rain screen was filled with a self-expanding strip. The assumption is that this would be a faulted solution as the gap is very irregular in size. This test presented the lower corners as the most sensitive for rain water infiltration.

Subsequently a drainage system was designed at the bottom side of the rough window opening to quantify the amount of rain infiltration. Infiltration water from the drainage was directed to a hermetically sealed capture system. This system is weighed in order to attain the infiltration rates in function of time. Next to the monitoring of the waterinfiltration, the pressure moderation was measured.

The reproducibility of the test method was verified by performing several tests on the same subject. For a static and dynamic pressure difference the test was adjusted, an interval of 15 minutes at 300 Pa was used. The results showed a variation coefficient for the static tests of 10 % and for the dynamic of 5 %. Additionally it was noticed that the infiltration rate was only stable after 5 to 6 minutes.

3.2 Parameters

For the evaluation of the resistance against rain penetration a few parameters were examined.

Rain screen joint

Three standard practices of installation method were selected for this study in order to test the effectiveness of the water penetration resistance of three different window positions, see figure 4. These solutions are: self-expanding strip, rain screen foil and SP-PUR. The quantification of the infiltration water for the installation of SP-PUR was not quantifiable with the test.

Window location

There are typically three different possibilities for the position of the window in relation to the rain screen: to the inside, in

the plane or to the outside. The position of the window will influence the expected place of water infiltration.

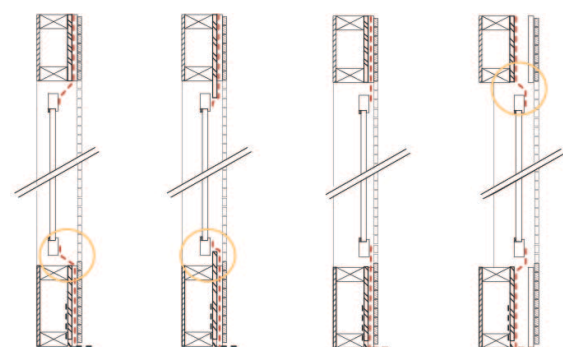


Figure 1: Location window: possible critical points for water infiltration

Mechanical installation method

Two different methods of mechanical installation are tested, mounting brackets and plywood window trim, see figure 5.

Airtightness

The last parameter that has been investigated is the airtightness, hereby using an airtightness classification as mentioned by [10].

3.3 Results

Figure 5 and table 4 give an overview of the different installation methods and results.

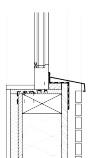
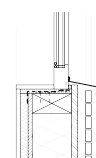
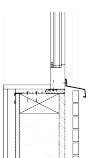
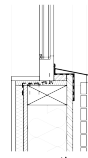
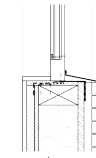
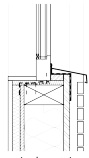
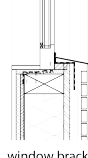
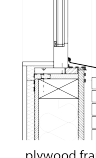
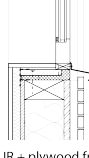
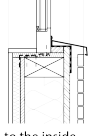
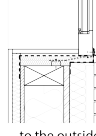
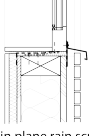
	Reference	Variation	
Material			
	foil	self-expanding strip	SP-PUR
			
	non continuous	continuous	window trim
Installation			
	window brackets	plywood frame	PUR + plywood frame
			
	to the inside	to the outside	in plane rain screen

Figure 5: Installation methods watertightness

Description			Infiltration rate (ml/min)		Pressure entry (Pa)	
Mech	Rain screen	airtightness	Static	Dynamic	Static	Dynamic
MB	ses	good	0,2	0	0	600
		average	12,7	9,1	0	0
MB	foil	good	0	0,6	/	450
		average	0	0	/	/
MB	SP-PUR	good	-	-	150	300

Table 4: Results net water infiltration (ml/min) and pressure when infiltration starts (Pa) for different installation methods. MB: mounting brackets; Ses: self-expanding strip

Material

The results, see table 4, show that a very watertight solution can be achieved with a good airtightness and the use of foil.

The comparison of the pressure difference on which water infiltration appears could give the impression that SP-PUR isn't very water resistant. In reality the water infiltration noticed with SP-PUR was minimal.

Next part discusses the different failing mechanisms for every material.

Self-expanding strip

The failing mechanism of the self-expanding strip is based on the ability of the strip to absorb water. This causes swelling and shrinkage, this together with the water stagnation in the corners and pressure differences can cause waterinfiltration.

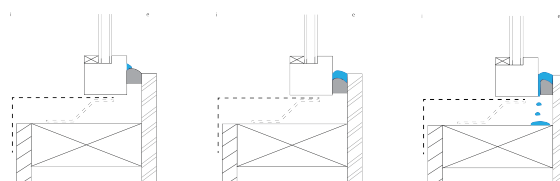


Figure 6: failing mechanism self-expanding strip

Foil

Two failing mechanisms seem inherent to the foil: the self-adherent side on window and the 'water-bag'-principle. The self-adherent side is supposed to be enough as a water barrier, but the test show that the infiltration rate improves from 3.98 ml/ min to 0,03 ml/min when both sides are fixed with paste. (see figure 7)

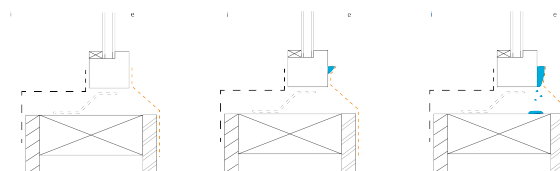


Figure 7: failing mechanism foil, self adherent side fails

The second failing mechanism appeared when the window was placed to the outside with the foil placed non-continuous. Water that infiltrates does not enter the window-wall interface but collects in the overlap of the foil. When this 'water bag' is full, the water infiltrates to the inside. So water that originally occurs between foils, on the outside of the rain barrier, can infiltrate because of this mechanism. This can be avoided by adhering the bottom side of the vertical foil only partially, so water can drain.

SP-PUR

The performance of SP-PUR seems to be related to the number of disruptions in the gap, such as mounting brackets or wooden blocks for the installation of the window. A continuous gap should give good results for the watertightness of PUR.

Window location

The position of the window was evaluated for the installation method non-continuously applied foil. For these results it becomes obvious that the influence of the lower corners was underestimated. These corners are critical for all positions of the window, even when the window is placed to the outside. The water that flows down can infiltrate at the most sensitive point of the foil: the adhesion to the window frame. This on the contrary to water at the higher corners, where the water flows down from the most critical point, the adhesion to the window frame. Further, one can notice that there are less connections on the corners above.

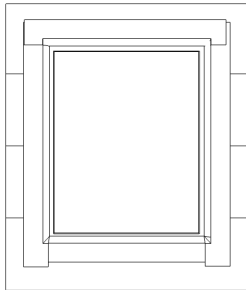


Figure 2: Installation of the rain barrier foil

Installation method

The results don't show a real difference for the mounting brackets or plywood-frame. Only when applying SP-PUR foam as rain barrier more water infiltration is seen for the plywood frame, as there were more wooden blocks in the gaps to adjust the placement of the window.

Airtightness

As mentioned, the influence of the airtightness is considerable. One can especially expect an increase in water infiltration when no airbarrier is present. When applying an airtightness foil, a good adhesion is important, since the failure can lead to air losses and water infiltration. Due to high pressures the airtightness foil can fail, which can lead to water entry.

V. Conclusion

The results show that a classification of good airtightness can be achieved when the barriers are correctly installed. A good airtightness level improves the rain resistance. A failure of the air barrier can subsequently cause high infiltration rates. The different installation errors of the foil are examined and show that small openings can cause considerable air losses.

The different failing mechanisms of the methods for the water tightening are discussed. Hereby showing the weaknesses of every solution. For the self-expanding strip, the capability to absorb water. For the foil, the self-adherent side and the 'water bag' principle. For PUR interruptions in the window-frame-

rough opening gap. Additional test should be done to attain a better view on the relationship between the size of the interruptions and the influence on the air- and water tightness.

Not only the installation method, but also the position of the window in relation to the rain screen has an influence on the water infiltration. The lower corners seem the most vulnerable.

This paper doesn't make any statements about the aging of the materials, or about the behavior under influence of other weather-circumstances such as UV lightening. Also the tested objects were only a sample, whether this sample is representative for the building practice cannot be quantified as well as the variation in performance of a bigger sample group is unknown.

BIBLIOGRAFIE

1. **VAN DESSEL, J., et al.** *Onderzoek naar de duurzaamheid van houtbouwsystemen en de groeiverwachting van deze markt.* Brussel : Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Administratie Economie, Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, 2004.
2. **WTCB.** *Onderzoek naar mogelijke nieuwe bouwconcepten en het effect ervan op het gebruik van oppervlaktedelfstoffen.* 2010.
3. **VAN DEN ABBEELE, L.** *Kijk en Bouw.* [interv.] Lynn Devos en Silke Maertens. 16 11 2012.
4. **VAN DE WALLE, A.** *L4F.* [interv.] L. Devos en S. Maertens. 5 12 2012.
5. **QUIROUETTE, R., MARSHALL, S en ROUSSEAU, J.** "Design Considerations for an Air Barrier System. *QBS 00c20a1-7.* 2000, pp. P8-11.
6. **VAN DEN BOSSCHE, N.** *Luchtdichtheid : experimenteel onderzoek naar schattingsmethodes bij woningen - ongepubliceerd eindwerk.* Gent : Ugent, 2005.
7. **RELANDER, T.O.** *Airtightness of wood-frame houses, doctoraatsthesis.* Noorwegen : Norwegian University of Science and Technology: Department of Civil and Transport Engineering, 2011.
8. **SHERMAN, M.H. en CHAN, R.** *Building Airtightness: Research and Practice.* Berkeley : Lawrence Berkeley National Laboratory, 2004.
9. **PROSKIW, G.** *Air Leakage Characteristics of Various Rough-Opening Sealing Methods for Windows and Doors.* Ottawa : sn, 1994.
10. *Airtightness performance of different sealing methods for windows in wood-frame buildings.* **RELANDER, T.O., THUE, J.V. en GUSTAVSEN, A.** 2008, Nordic symposium on building physics, Copenhagen, Denmark.
11. **VANDEWEERD, R. en PENNE, A.** *Luchtdichtheid van raamaansluitingen in houtskeletbouw.* KAHG Gent : Ongepubliceerd eindwerk, 2011.

12. **HÖGLUND, I. en JANSSON, B.** *Joint sealing between window (door) frames and walls*. Gothenburg : International Council for Building Research, 1984.

13. *Airtightness of the window-wall interface in cavity brick walls*. **VAN DEN BOSSCHE, N., et al.** 2011, Energy and buildings, pp. 32-42.

14. **VANDEWEERD, R. en PENNE, A.** *Luchtdichtheid van raamaansluitingen in houtskeletbouw*. KAHO Gent : Ongepubliceerd eindwerk, 2011.

15. **BOSSAER, A.: BOSSICARD, R., et al.** *SENVIVV-studie van energieaspecten van nieuwwoningen in Vlaanderen: isolatie, ventilatie, verwarming*. België : BBRI, 1998.

16. (2010) *Airtightness assessment of newly build single family houses in Belgium*. . **LAVERGE, J., VANDEVELDE, S., DEBRAUWERE, T., DELGHULST, M. en JANSSENS, A.** Copenhagen : sn, 2010, p. 8.

17. **STRAUBE, J.** *Pressure Moderation and Rain Penetration Control*. sl : OBEC PER Seminar, 2010.

18. **DE BONTE, D.** *Experimenteel onderzoek naar waterdichte aansluitingen*. Gent : Universiteit Gent : architectuur en stedenbouw, 2010.

19. **VAN DEN BOSSCHE, N.** *phd: Watertightness of building components*. Gent : Ugent, 2013.

20. *Rain penetration of the window-wall joint*. **FINN, D.W.** 1995, Building Envelope Performance and Durability, p. 12.

21. *Water penetration resistance of residential window installation options for hurricane-prone areas*. **SALZANO, C.T., MASTERS, F.J. en KATSAROS, J.D.** 2010, Building and Environment , pp. 1-16.

22. **WANZ.** *WANZ WIS (Window Installation System)*. Wellington : sn, 2002.

23. **BASSETT, M.R., BURGESS, J.C. en CAMILLERI, M.J.** *THE WEATHERTIGHTNESS OF WINDOW-TO-WALL JOINTS – DEPENDENCY ON INSTALLATION DETAILS*. BRANZ. New Zealand : sn.

24. **VAN DEN BOSSCHE, N.** *Phd: Watertightness of building components*. Gent : Ugent, 2013.

25. NBN EN 12865: Thermisch gedrag en vochtwerping van gebouwen en bouwelementen - Bepaling van de weerstand van buitengevelsystemen tegen slagregen onder pulserende luchtdruk. 2001.

26. NBN EN 1027: Ramen en deuren - waterdichtheid - beproevingsmethode.

27. **VERHOIJSEN, A.** *Waterdichtheid van raamaansluitingen*. Universiteit Gent : niet gepubliceerd eindwerk, 2010-2011.

28. **CNRC.** *Evaluating the Effectiveness of Wall-Window Interface Details to Manage Rainwater Phase 1 –*

Watertightness, Air Leakage and Rainwater Management of CMHC Specified Assemblies. Canada : sn, 2008. p. 218.

29. **PHP en PRESTIS.** *PHP Technologiewijzer 2008-4*. België : sn, 2008.

30. **PHP, VIBE en GENT, STAD.** *Technische details passieve houtskeletbouw tertiair*. België : sn, 2010.

31. **CLAES, K.** *Detaillering van passiehuizen in traditionele houtskeletbouw*. Leuven : ongepubliceerd eindwerk, KU Leuven, 2008.

32. **BOUWBEDRIJVEN, NV DEWAELE.** *Raam-aansluiting detaillering - contact via mail*. [interv.] L DEVOS en S. MAERTENS. 20 02 2013.

33. **PRIMABOUW.** *Raam-aansluiting detaillering - contact via mail*. [interv.] L. DEVOS en S. MAERTENS. 19 02 2013.

34. *Duurzaamheid van houten gevels en houten constructies (houtskeletbouw)*. **VANDENBUSSCHE, E.** Gent : Ugent, 2011.

35. **NBN EN 12114: thermische eigenschappen van gebouwen-luchtdoorlatendheid van bouwcomponenten en bouwelementen-laboratoriumbeproevingsmethode**. 2000.

36. *Houtskeletbouw en luchtdichtheid*. **WTCB.** 2012, WTCB-Contact nr. 33, pp. 10-11.

INLEIDING

De laatste jaren is houtskeletbouw steeds populairder geworden in België. Waarschijnlijk is dit te wijten aan de vele voordelen die aan de bouwmethode toegeschreven kunnen worden. Het is een lichte constructie die toelaat gemakkelijk isolatie te plaatsen. Verder is het een snelle constructiemethode en wordt hout vaak als een energievriendelijk product bestempeld. Er zijn ook een aantal nadelen verbonden aan het gebruik van hout. Zo is hout een natuurlijk product waardoor de constructie vochtgevoelig is. Hoewel deze bouwmethode steeds vaker toegepast wordt, werd er nog maar weinig onderzoek uitgevoerd. Hierdoor is er nood aan praktische informatie die in de hedendaagse bouwpraktijk toegepast kan worden. In onze thesis lichten we één facet van deze bouwmethode uit, namelijk de raamaansluitingen.

De regelgeving voor energiestatistiek van gebouwen wordt steeds strenger, waardoor naast een doorgedreven thermische isolatie van de gebouwschil en het gebruik van performante technische installaties ook een goede luchtdichtheid onontbeerlijk is. Doordat hout zeer gevoelig is voor vocht wordt ook de waterdichtheid van de aansluiting bekeken. Het onderzoek bevat niet enkel een studie van de bestaande literatuur, maar er wordt ook experimenteel onderzoek verricht. Hierin wordt geprobeerd een kwantificatie te maken van de lucht- en waterdichtheid van hedendaagse aansluitingen in België.

De scriptie is opgebouwd uit twee delen. Het eerste deel omvat een literatuuronderzoek waarin het algemene belang van lucht- en waterdichtheid uiteengezet wordt. In dit literatuuronderzoek worden onder andere de verschillende aspecten van lucht- en waterdichtheid behandeld. Vervolgens wordt ingegaan op de raamaansluiting, waarbij enkele studies besproken worden. Het tweede deel bestaat uit een uitvoerige bespreking van het experimentele onderzoek naar de lucht- en waterdichtheid van de raamaansluiting. In dit deel worden de resultaten van verschillende installatiemethoden uitvoerig besproken en vergeleken op basis van verschillende parameters.

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD	1
INLEIDING	3
DEEL 1: LITERATUURONDERZOEK	6
1. ALGEMEEN	7
1.1 INLEIDING	7
1.2 LUCHTDICHTHEID	9
1.1.1 ALGEMEEN	9
1.2.2 RELATIE LUCHTDICHTHEID GEBOUW -COMPONENT	10
1.2.3 LUCHTDICHTHEID GEBOUW – AANSLUITINGEN	12
1.3 WATERDICHTHEID	16
1.3.1 ALGEMEEN	16
1.3.2 ‘WIND DRIVEN RAIN’	16
1.3.3 WATERINFILTRATIE	18
1.3.4 VOCHTTOLERANTIE VAN HOUTCONSTRUCTIES	26
2. RAAMAANSLUITINGEN	27
2.1 INLEIDING	27
2.2 LUCHTDICHTHEID – VOORGAAND ONDERZOEK	28
2.2.1 TESTMETHODE	28
2.2.2 AANSLUITINGEN	32
2.3 WATERDICHTHEID – VOORGAAND ONDERZOEK	43
2.3.1 TESTMETHODE	43
2.3.2 AANSLUITINGEN	50
2.4 DETAILLERING VAN RAAMAANSLUITINGEN - REFERENTIES	57
DEEL 2: EXPERIMENTEEL ONDERZOEK	59
DOELSTELLING	60
1. TESTMETHODE	62
1.1 PROEFOPSTELLING	62
1.1.1 COMPONENTEN	62
1.1.2 PARAMETERS	65
1.2 PROEFMETHODE	68

1.2.1 LUCHTDICHTHEID	68
1.2.2 SLAGREGENDICHTHEID	74
1.3. FOUTENCALCULATIE	80
1.3.1 LUCHTDICHTHEID	80
4.2 SLAGREGENDICHTHEID	84
 2 PROEFRESULTATEN	 89
 2.1 LUCHTDICHTHEID	 89
2.1.1 LUCHTDICHTHEIDSFOLIE	89
2.1.2 PUR-SCHUIM + TAPE	109
2.1.3 CONCLUSIE	117
2.2 WATERINFILTRATIE	121
2.2.1.1 ZWELBAND	122
2.2.1.2 REGENDICHTINGSFOLIE	150
2.2.1.3 VERGELIJKING UITVOERING: FOLIE IN OVERLAP – CONTINU	192
2.2.1.3 VERGELIJKING BEVESTIGING: MULTIPLEX - RAAMANKERS	205
2.2.2 RAAM UIT HET VLAK	207
2.2.3.1 REGENDICHTHEIDSFOLIE IN OVERLAP	207
2.2.3 RAAM IN VLAK	221
2.2.3.1. REGENDICHTINGSFOLIE IN OVERLAP	221
2.2.3.2 PUR	230
2.2.4 CONCLUSIE WATERDICHTHEID	242
 BESLUIT	 253
 BIBLIOGRAFIE	 254

DEEL 1: LITERATUURONDERZOEK

1. ALGEMEEN

In het eerste deel wordt er in de wetenschappelijke literatuur gezocht naar artikels over lucht- en waterdichtheid van houtskeletbouw. In eerste instantie wordt een algemene inleiding gegeven waarin de context van houtskeletbouw uiteengezet wordt. Vervolgens worden de algemene aspecten voor lucht- en waterdichtheid kort toegelicht. In een volgend onderdeel wordt verder ingegaan op studies over de lucht- en waterdichtheid van raamaansluitingen. Ten slotte wordt even stilgestaan bij de hedendaagse detaillering van raam-muur aansluitingen. Het tweede deel van dit eindwerk bestaat uit het experimentele luik. Hierbij worden eerst de proefopstelling, proefmethode en toegepaste foutencalculatie uiteengezet, waarna de resultaten worden weergegeven. Hierbij worden de resultaten van verschillende installatiemethoden uitvoerig besproken en vergeleken op basis van verschillende parameters.

1.1 INLEIDING

Een studie van het WTCB uit 2004 [1] toont aan dat houtskeletbouw in België aan belang wint. De studie geeft aan dat in 2004 minimum 5,6 % van alle nieuwbouw eengezinswoningen gerealiseerd werden in houtbouw, het grootste deel hiervan houtskeletbouw. Het aandeel houtskeletbouw-woningen voor open bebouwing bedroeg bijna 10%. De studie voorspelde dat tegen 2020 15% van de nieuwe eengezinswoningen in België gerealiseerd zouden worden in een houtskeletstructuur. Een aansluitende studie in 2009 [2] bevestigt dat het marktaandeel van houtskeletbouw verder gestegen is. Het aandeel houtskeletbouw-woningen werd in 2009 geschat op 11 à 15% van de nieuw gebouwde eengezinswoningen. Voor appartementsgebouwen is het marktaandeel van houtskeletbouw nog zeer beperkt.

Er wordt verwacht dat het aantal woningen in houtskeletbouw zal blijven stijgen. Deze bouwmethode heeft namelijk enkele voordelen ten opzichte van zware baksteenconstructies.

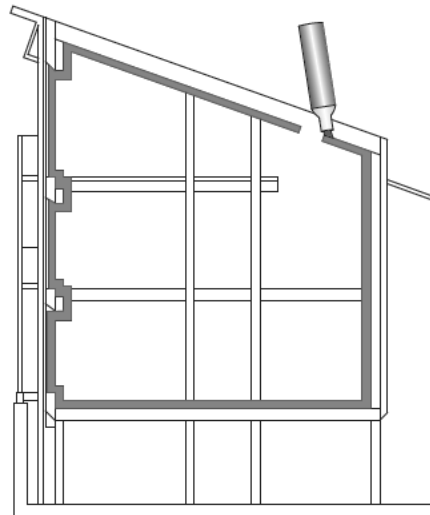
- Het is een lichte constructie, bestaand uit een raamwerk.
- Het is gemakkelijk isolatie aan te brengen tussen de stijlen, die 40 of 60cm uit elkaar staan.
- Het hout zelf is ook een vrij goede isolator. De warmtegeleidingcoëfficiënt van hout is beduidend lager dan deze van andere bouwmaterialen zoals steen of metaal.
- Met een beperkte muurdikte kan toch een goed-isolerende muur bekomen worden.
- Houtskeletbouw is een droge bouwmethode waardoor er snel gebouwd kan worden.
- Een ander belangrijk voordeel is het milieuaspect, hout wordt vaak als CO₂-neutraal bestempeld en door goede isolatie van de woning verlaagt de CO₂-emissie. Houtskeletbouw wordt hierdoor vaak aangewend om lage-energie woningen te bouwen.
- Belangrijk is bouwen met voldoende aandacht voor luchtdichtheid, zomercomfort, brandveiligheid en geluidsisolatie.

Er zijn ook een aantal nadelen en aandachtspunten. Eén hiervan is dat er voldoende aandacht aan de vochtigheidsgraad van het hout besteed moet worden. Zo is een hoge vochtigheidsgraad gelinkt aan de aantasting van het hout door schimmels of rot. Ook de aantasting door insecten is een belangrijk aspect. Aantasting door natuurlijke organismen kan voorkomen worden door het gebruik van verduurzaamd hout. Hout wordt verduurzaamd door een behandeling met fungicide en/of insecticide of door thermische verduurzaming.

Aannemers wijzen erop dat houtskeletbouw in België de laatste jaren nog onvoldoende bestudeerd of gereguleerd werd door onafhankelijke instanties [3] [4]. Zo wordt de technische documentatie over houtskeletbouw als verouderd ervaren en is er een update gewenst waarin ook de meer recente bouwtechnieken aan bod komen. Dit onderzoek is reeds gestart, zo loopt bij het WTCB bijvoorbeeld een project voor de vernieuwing van de STS 23 'houtbouw' [2].

Hoewel er in België pas recent aandacht is voor houtskeletbouw, is het een bouwmethode die reeds in de 18^e eeuw gebruikt werd. Deze werd voornamelijk toegepast in streken waar er veel hout beschikbaar is, zoals bijvoorbeeld in Canada, de VS en Scandinavië. Houtskeletbouw is daar nog steeds de meest courante bouwmethode. Het merendeel van het wetenschappelijk onderzoek naar houtskeletbouw gebeurde dan ook in deze landen.

Binnen het ontwerp van een bouwwerk is de bouwhuid een belangrijk aandachtspunt, ook bij houtskeletbouw dient deze voldoende aandacht te krijgen. De bouwhuid moet immers een goed binnenklimaat garanderen. Hiervoor moet de schil tegelijk aan verschillende eisen voldoen, wat niet altijd even evident is. Bovendien is het belangrijk dat de gebouwschil continu is, niet onderbroken wordt, ook ter hoogte van ramen, deuren,... Deze continuïteit naar waterdichtheid, luchtdichtheid en isolatie kan gevisualiseerd worden als verschillende lijnen die moeten doorlopen langs de bouwhuid.



Afbeelding 1: bouwhuid [5]

1.2 LUCHTDICHTHEID

1.1.1 ALGEMEEN

1.1.1.1 Belang

De regelgeving voor energieprestaties van gebouwen wordt steeds strenger, waardoor naast een doorgedreven thermische isolatie van de gebouwschil en het gebruik van performante technische installaties ook een goede luchtdichtheid onontbeerlijk wordt. Een verbetering van de luchtdichtheid kan de energieprestatie immers aanzienlijk verbeteren. Warme lucht kan immers ontsnappen via kieren en gaten in de bouwhuid en zo voor een verlies aan warmte zorgen. Omgekeerd kan infiltratie van koude lucht ook tocht veroorzaken. Quirouette, Marshall en Rousseau [6] verwijzen naar een commerciële studie die aangaf dat luchtlekkage een groot aandeel heeft in de energieconsumptie van een gebouw. Hierbij wordt een variatie aangeven van 15 tot wel 35% van de totale jaarlijkse energiekost. Luchtlekkage kan ook het ventilatiesysteem of koelsysteem ontregelen, aangezien de werkelijk optredende verliezen en drukvallen over het kanalenet niet overeenstemmen met de ontwerpcondities, wat een vermindering in rendement kan betekenen.

Energetisch is het dus interessant om luchtdicht te bouwen, maar ook qua thermisch comfort is luchtdicht bouwen een verbetering. Zo beïnvloeden luchtstromingen de thermische prestaties van de gebouwschil. Dit door natuurlijke convectie van lucht in en rond de thermische isolatie, door luchtlekkage doorheen de gebouwschil of door gestuwde lucht-infiltratie in de thermische isolatie, ook wel *wind-washing* genoemd.

Een ander voordeel van luchtdichtheid is dat het een barrière vormt tegen vervuilde stoffen zoals radon, rook en micro-organismen. Ook akoestisch kan men voordeel halen uit een goede luchtdichtheid, rechtstreekse geluidsverplaatsing door lucht zal immers ingeperkt worden [7].

Luchtdichtheid speelt ook een rol in de waterdichtheid van de constructie. Dit zowel vanuit de condensatieproblematiek als vanuit het standpunt van regendichting. Een verbeterde luchtdichtheid zorgt voor minder luchtlekken, waardoor minder condensatie optreedt tegen koude materialen. Verder wordt de luchtdichting ook vaak ingezet als dampscherm, waardoor de condensatie door diffusie doorheen het materiaal vermindert. Slechte plaatsing van het luchtscherm of lekken kunnen leiden tot de accumulatie van vocht wat beschadiging van de isolatie en het hout en microbiologische groei tot gevolg kan hebben. Verder speelt luchtdichtheid ook een belangrijke rol in de waterinfiltratie door slagregen, een aspect dat in detail wordt uitgewerkt in hoofdstuk 1.3

Waterdichtheid.

Ondanks de eensgezindheid over het belang van luchtdicht bouwen, kan de luchtdichtheid van een gebouw nog steeds moeilijk ingeschat worden in de ontwerpfase. De luchtdichtheid van componenten speelt een grote rol in de totale luchtdichtheid van het gebouw. Dit is immers één van de parameters die de uiteindelijke luchtdichtheid van het gebouw bepalen. Doordat de luchtdichtheid pas aan het einde van de bouwwerken gemeten wordt, is het moeilijk nog aanpassingen aan de luchtdichtheid door te voeren.

1.1.1.2 Luchtdichtheid – infiltratie

Luchtinfiltratie is een luchtdebiet dat doorheen spleten en kieren van een gebouw stroomt met drukverschillen als drijvende kracht. Deze luchtstroom is afhankelijk van natuurlijke drukverschillen.

Dit drukverschil varieert in de tijd door variaties in temperatuur, wind of de werking van een ventilatiesysteem.

Bij een variatie in temperatuur van de binnen- en buitenlucht doet zich een schoorsteeneffect voor, de warmere lucht stijgt en zorgt in het gebouw voor het drukverschil dat de drijvende kracht is voor luchtstromingen. De grootte van deze drukverschillen en bijhorende luchtdebieten zijn dus afhankelijk van het temperatuurverschil tussen binnen en buiten. Zo komt dit drukverschil, bij een buitentemperatuur van -20 °C en een binnentemperatuur van 20 °C, bij 30 m hoogte, overeen met een drukverschil van 50 Pa. De drukverschillen blijven dus relatief klein, maar de grootte en richting van het drukverschil kan een lange tijd aanhouden, waardoor deze kracht vanuit energetisch standpunt zeer belangrijk wordt.

Ook wind kan drukverschillen introduceren over de constructie, denk maar aan het verschil in druk wanneer de wind tegen een gebouw botst. Deze drukverschillen kunnen groter zijn dan deze door het schoorsteeneffect, maar zijn vaak veel kortstondiger.

Verder zorgt ook de werking van het ventilatiesysteem voor drukverschillen. Deze hygiënische ventilatie bestaat uit een gestuurd debiet, dit in tegenstelling tot natuurlijke infiltratie die variabel en oncontroleerbaar is en de luchtkwaliteit dus niet kan waarborgen. De ventilatie staat in voor de luchtkwaliteit en is meestal ontworpen met een systeem van warmteterugwinning, zodat met een minimum aan energieverliezen toch een goede binnen-luchtkwaliteit wordt verkregen.

1.2.2 RELATIE LUCHTDICHTHEID GEBOUW -COMPONENT

1.2.2.1 Relaties en grootheden

De relatie tussen de luchtdichtheid (gemeten als luchtlekkage) [m^3/h] en het drukverschil [Pa] is niet lineair. Het verband wordt door de volgende machtsfunctie weergegeven:

$$Q = C\Delta p^n$$

C : stromingscoëfficiënt [m^3/hPa^n]

n : stromingsexponent [—]

Q : debiet [m^3/h]

Δp : drukverschil [Pa]

De stromingsexponent ligt typisch rond de 0,65, maar zit steeds tussen 0,5 en 1 vanuit fysische overwegingen [8]. Deze relatie noemt men ook wel de *Power law*.

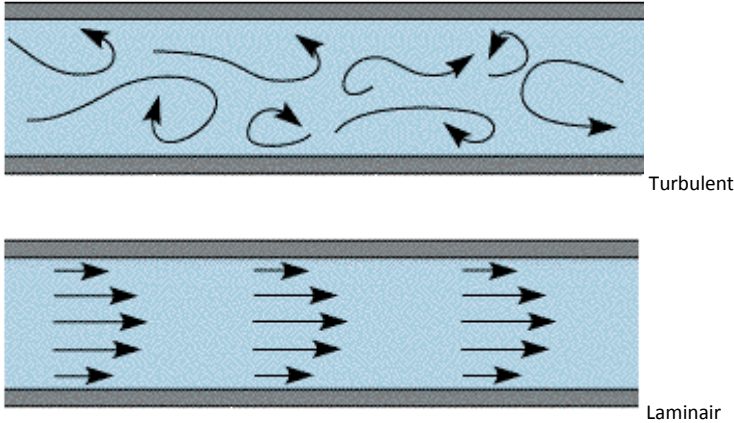
Voor de meettechnieken is het interessant de fysische eigenschappen van de luchtlekken beter te begrijpen. Hoewel de *Power law* een goede empirische benadering is van de luchtstroming in functie van de druk komt deze niet overeen met een fysische wet. Er zijn nochtans fysische wetten die toegepast kunnen worden op het luchtdichtheidsvraagstuk [9].

- Als het lekkagepad zeer kort is, kan de wrijvingsweerstand doorheen het lek zelf verwaarloosd worden. Dan kan dit lek behandeld worden als een opening waarin de stroming proportioneel is aan de vierkantswortel van het drukverschil. Hoe hoger de stromingscoëfficiënt hoe langer het lek beschouwd kan worden als een opening zonder weerstand. Deze stroming noemt men ook wel een turbulente stroming.

$$Q = C\sqrt{\Delta p}$$

- Als het lekkagepad zeer lang en de stromingscoëfficiënt laag, is, zal de stroming overwegend laminaire wrijvingsweerstandverliezen ondergaan. Dan zal de stroming een lineair verband hebben met het drukverschil. Deze stroming noemt men ook wel een laminaire stroming.

$$Q = C\Delta p$$



Afbeelding 2: weergave laminaire ten opzicht van turbulente luchtstroming

Wanneer deze fysische wetten vergeleken worden met de *power law* is de druk-exponent voor de eerste vergelijking gelijk aan 0,5 en voor de tweede vergelijking is deze gelijk aan 1. Het feit dat gemeten waarden voor deze exponent typisch tussen 0,5 en 1 liggen toont aan dat geen van deze twee limieten een goede benadering is [9].

Een eenheid die vaak gebruikt wordt bij gebouwen omdat luchtdebieten sterk afhankelijk zijn van de geometrie van het gebouw, is de n_{50} waarde. Deze geeft het aantal luchtwisselingen van het gebouwvolume per uur in [1/h] bij een drukverschil van 50Pa.

$$n_{50} = \frac{\dot{V}_{50}}{V_{b,geb}}$$

n_{50} : luchtwisselingen per uur bij drukverschil 50Pa [h⁻¹]

$\dot{V}_{50}$: luchtstroom bij drukverschil 50 Pa [m³/h]

$V_{b,geb}$: het binnenvolume van het gebouw [m³]

Een ander veel gebruikte grootheid is de q_{50} -waarde, die het volumedebiet aangeeft dat per m² verliesoppervlak het gebouw verlaat.

$$v_{50} = \frac{\dot{V}_{50}}{A_T}$$

v_{50} : lucht volumestroom per vierkante meter bij 50Pa drukverschil [m³/(h.m²)]

$\dot{V}_{50}$: luchtstroom bij drukverschil 50 Pa $\left[\frac{m^3}{h}\right]$

A_T : het totale verliesoppervlak van het gebouw [m²]

1.2.2.2 Pressurisatieproef

In België wordt de luchtdichtheid van een gebouw gemeten aan de hand van een blowerdoor test. Hierbij creëert een ventilator een drukverschil over de gebouwschil. De norm NBN EN 13829 [10] geeft twee meetmethodes die gekozen kunnen worden afhankelijk van de doelstelling van de luchtdichtheidsproef.

Eens de stromingsvergelijking gekend is vanuit de meetpunten, berekent men de volumestroom bij een drukverschil van 50 Pa, zoals aangeraden in België. 50 Pa is immers een waarde die groot genoeg is om de impact van weersinvloeden tijdens de metingen te beperken. Verder is het ook een waarde die een voldoende nauwkeurigheid geeft aan de volumestroommeting, aangezien er grote meetfouten kunnen optreden als men zeer kleine drukverschillen meet.

1.2.3 LUCHTDICHTHEID GEBOUW – AANSLUITINGEN

Ondanks de steeds strenger wordende eisen voor de luchtdichtheid van een gebouw is er geen kant en klare methode om de luchtdichtheid reeds in de ontwerpfase te bepalen. Nochtans zou zo'n methode voor architecten een goede tool zijn om al in de ontwerpfase te controleren of de aansluiting voldoende luchtdicht is. In deze fase kan het ontwerp immers nog bijgestuurd worden zodat het uiteindelijke bouwwerk voldoet aan de opgelegde reglementering. In België wordt gewerkt met een reglementering volgens de EPB norm. Hierbij wordt voor de bepaling van het E-peil van een gebouw ook de luchtdichtheid ingecalculeerd. Indien deze luchtdichtheid niet gemeten wordt door middel van een pressurisatietest wordt een 'waarde bij ontstentenis' ingevuld waarbij $v_{50} = 12 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$. Dit is echter een waarde die in de meeste gevallen een overschatting betekent, het laten uitvoeren van een pressurisatietest zorgt er in de meeste gevallen voor dat het E-peil sterk daalt. Een toepassing van deze bevinding kan teruggevonden worden bij Huyghe [11].

In eerste instantie moet het aandeel van de aansluitingen in de ontwerpfase ingeschat worden, waarna de luchtdichtheid van een gebouw, uitgedrukt door de n_{50} - of v_{50} -waarde, pas correct kan bepaald worden door middel van een pressurisatietest. De luchtdichtheid van een gebouw is afhankelijk van de continuïteit, de gebruikte materialen, de afwerkingskwaliteit en geometrie van de woning. In enkele studies werd de relatie tussen de luchtdichtheid van verschillende aansluitingen en de luchtdichtheid op gebouwniveau onderzocht. Dit gebeurt door een schattingsmethode op te stellen die vaak getoetst werden aan de praktijk.

Relander [8] deelt de schattingsmethodes op volgens drie hoofdcategorieën:

- Ten eerste is er de inschatting op basis van een analyse van een bestaande database waarin een trend gezocht wordt aan de hand van variabelen zoals: het bouwjaar, het vloeroppervlak of het aantal verdiepingen. Het model dat opgesteld wordt is echter vaak zeer specifiek voor de geanalyseerde database.
- Als tweede is er de inschatting op basis van ruwe karakteristieken van het gebouw (vb constructiemethode, ligging, daktype, vakmanschap, geometrie...).
- Tenslotte is er de inschatting op basis van de lekkage van alle gebouwcomponenten en aansluitingen, deze methode wordt vaak gestaafd met wetenschappelijk onderzoek op componentniveau en *in situ* onderzoek op gebouwniveau.

Het gaat te ver om een vergelijking te maken van deze schattingsmethoden. Voor meer info wordt verwezen naar de paper van Van Den Bossche [7]. Voor deze scriptie is het aangewezen om toch

even kort in te gaan op de werkmethodek waarbij de schattingsmethode opgesteld word met behulp van componentlekkages.

De totale luchtdichtheid van het gebouw wordt hier ingeschat door de som te maken van de verschillende individuele lekkagepunten (vb muur-raamaansluiting of muur) van het gebouw en te vermenigvuldigen met de respectievelijke hoeveelheden (vb lopende meter aansluiting –m- of oppervlak –m²-) en lekkagedebieten (vb m³/h.m of m³/h.m²). De verschillende luchtdichtheden per aansluiting met hun respectievelijke hoeveelheden moeten dus ingevoerd worden voor het volledige gebouw. Een rekenmethode die dus analoog is aan deze voor energieberekeningen op basis van koudebruggen, U-waarden en geometrieën.

De parameters die een rol spelen zijn dus de keuze van de componenten, de oppervlakte of perimeter van de aansluitingen en het gewenste luchtdebiet voor het volledige gebouw. Afhankelijk van deze keuzes kan vervolgens nagegaan worden wat het relatieve belang is van een aansluiting, voor een specifiek gebouw. Aangezien de gewenste luchtdichtheid op gebouwniveau vaak wordt uitgedrukt door de n₅₀-waarde, kan een link gelegd naar deze waarde. Een onderzoek van Laverge [12] in 2010 op 51 nieuwbouw gezinswoningen toont aan dat de n₅₀-waarde een gemiddelde haalde van 6 h⁻¹. Voor lage-energiewoning wordt een n₅₀ van 1 à 1.5 h⁻¹ nagestreefd. Om een passiefhuisnorm te halen is de eis een n₅₀ lager dan 0,6 h⁻¹.

In de ontwerpfase is het interessant om vanuit de keuze van de voorgenoemde parameters reeds een inschatting te kunnen maken naar de gestelde eisen voor de n₅₀-waarde. Deze waarde is afhankelijk van het volume van de woning. Wanneer gestreefd wordt naar een maximale n₅₀-waarde kunnen er eisen gesteld worden voor de maximale luchtverliezen.

$$n_{50} = \frac{\dot{V}_{50}}{V_{b,geb}} \Rightarrow \dot{V}_{50 max} = n_{50 max} \cdot V_{b,geb}$$

Deze luchtverliezen zijn de som van de verschillende lekkages over de volledige gebouwschil en zijn bijvoorbeeld afhankelijk van uitvoering, materialen en dichtingsmethoden. Het relatieve aandeel van raamaansluitingen ten opzichte van de totale luchtdichtheid kan als volgt gekwantificeerd worden.

$$F(A) = \frac{Q_{A,50} \cdot L}{n_{50} \cdot V_{b,geb}}$$

F(A): Fractie van het totale infiltratiedebiet dat doorheen aansluiting 'A' gaat, ten opzichte van de vooropgestelde n₅₀ – waarde [%]

Q_{A,50}: luchtdebiet doorheen het type aansluiting Abij een drukverschil van 50 Pa $\left[\frac{m^3}{h \cdot m} \right]$

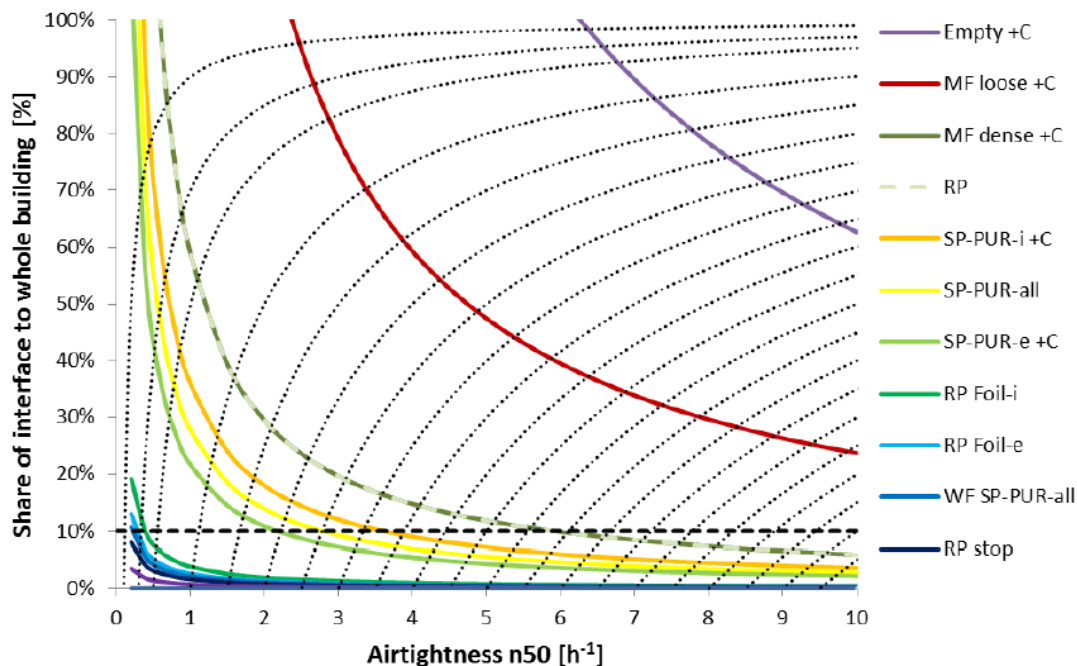
L: de totale lengte van de aansluiting [m]

n₅₀: de vooropgestelde de n₅₀ – waarde [h⁻¹]

V_{b,geb}: het binnenvolume van de woning [m³]

Voor de inschatting op ontwerpniveau zijn er richtlijnen gewenst die het verband tussen de gewenste n₅₀-waarde en parameters vastlegt, gebaseerd op de parameters die geldig zijn voor de bouwpraktijk in België. In zijn doctoraat introduceert Van Den Bossche [13] een methode voor de interpretatie van debieten doorheen een muur-raamaansluiting, uitgedrukt per lopende meter aansluiting. Hierbij wordt vanuit een analyse van een uitgebreide studie [14] afgeleid dat een

vrijstaande standaard woning in Vlaanderen 105 lopende meter muur-raamaansluitingen bevat en een inwendig volume van 516,1 m³ (bij deze waarden worden ook de deur-muur aansluitingen bijgerekend, uitgezonderd de deurdorpel en garagepoorten). In eerste instantie wordt een analyse gemaakt van de relatie tussen de keuze van detaillering en n₅₀-waarde, dit op basis van experimenteel onderzoek op massiefbouw.



Afbeelding 3: verhouding van de luchtlekkage langsheen de raam-muur aansluiting ten opzichte van de totale luchtdichtheid van het gebouw. Overgenomen uit [13]

De precieze betekenis van de detaillering en bijhorende luchtdichtheid kan nagelezen worden in Van Den Bossche [7]. Voor de interpretatie van de gegevens is het echter wel van belang te vermelden dat de verschillende uitvoeringen van de raamaansluiting in de legende van slechte naar goede luchtdichtheid gerangschikt werden. Het effect van de keuze van een andere aansluiting kan gevonden worden door de zwarte stippellijn te volgen. Door grote variaties in de luchtdichtheid van verschillende aansluitingsmethodes zal de impact van een bepaald type aansluiting op de n₅₀-waarde sterk verschillen. Vanuit de analyse van Van Den Bossche voor beproefde raam-muuraansluitingen bij massiefbouw kunnen enkele trends gevonden worden. Zo geeft de studie aan dat naarmate de n₅₀-waarde kleiner wordt het aandeel van de aansluiting ten opzichte van de n₅₀-waarde toeneemt, dit volgens een machtsfunctie. De ligging van de curve is afhankelijk van de geometrische kenmerken van de woning. De invloed van de verhouding $L/V_{b,geb}$ vermindert naarmate het luchtverlies over de aansluiting afneemt en naarmate de n₅₀-waarde toeneemt.

Er zijn geen absolute waarden te vinden, waaraan de verhouding van luchtlekkage van de muur-raam aansluiting ten opzichte van de luchtdichtheid van het gehele gebouw moet voldoen. Voor het opstellen van richtlijnen voor de luchtdichtheid van aansluitingen is het echter wel aan te raden dit aandeel te beperken. Van Den Bossche [13] stelt voor om het aandeel van muur-raamaansluitingen te beperken tot 10% van de totale luchtlekkage, wat beschouwd kan worden als een conservatieve

waarde wanneer gekeken wordt naar een vergelijkende analyse van de verschillende bronnen van luchtlekkage bij residentiële woningen [7]. Afbeelding 3 toont aan dat dit ook in de praktijk een haalbare eis is voor massiefbouw, verschillende aansluitingsmethoden voldoen aan deze vraag.

Vanuit de beperking van het aandeel van de raamaansluiting wordt met behulp van parameters, die onder bepaalde voorwaarden geldig zijn in België, een classificatie opgemaakt door Van Den Bossche [13]. Zo is de gemiddelde n_{50} waarde van vrijstaande nieuwbouwwoningen in Vlaanderen gelijk aan 6 h^{-1} , wat bij een beperking van 10% voor de raam-muuraansluiting resulteert in een maximaal luchtdebiet doorheen de raamaansluiting van $3,3 \text{ m}^3/\text{h.m}$ bij een drukverschil van 50 Pa. Een luchtdichtheid van 3 h^{-1} kan als voldoende luchtdicht beschouwd worden en komt overeen met een luchtverlies over de raamaansluiting van 1,6 bij een drukverschil van 50 Pa. Voor detailleringen voor een passiefhuiswoning kan een debiet vooropgesteld worden van maximaal $0,33 \text{ m}^3/\text{h.m}$ bij een drukverschil van 50 Pa.

Van Den Bossche [15] stelt op basis van statistisch onderzoek volgende luchtdichtheidsklassen voor de raamaansluiting voor:

Luchtdichtheid	$[\text{m}^3/\text{h.m}]$
Goede luchtdichtheid	$< 0,33$
Matige luchtdichtheid	$0,33 < x < 3,3$
Slechte luchtdichtheid	$> 3,3$

Ondanks de verschillende factoren, die de luchtdichtheid beïnvloeden, kunnen deze waarden als referentie toegepast worden om de prestatie van de aansluiting te evalueren. Voor de evaluatie van de detaillering bij een specifiek project is het echter aan te raden om de parameters opnieuw te bekijken, namelijk het effectieve volume, de totale lengte van de aansluitingen en de gewenste n_{50} -waarde.

Deze methode houdt echter geen rekening met het aandeel van de hoeken, wat nochtans vaak een significant deel van de luchtlekkage veroorzaakt. Bij sommige aansluitingen kan immers een groot verschil bestaan indien dezelfde lopende meters aansluiting over 2 ramen of 1 raam verdeeld zijn, omdat het aantal hoeken groter is. Dit is echter sterk afhankelijk van het type aansluiting en bijvoorbeeld de positie van het raam. Aangezien deze correctie dus zeer detailleringsafhankelijk is, is het niet mogelijk om een eenduidige correctiefactor in te voeren.

De evaluatie van de luchtdichtheid van de verschillende aansluitingen kan dus gebeuren op basis van deze classificatie.

1.3 WATERDICHTHEID

1.3.1 ALGEMEEN

Waterdichtheid is een belangrijk concept in het ontwerp van een gebouw. Wanneer water een gebouw binnendringt kan dit de levensduur verminderen of dure herstellingen vragen. Dit geldt in het bijzonder voor muren opgebouwd uit elementen die gevoelig zijn aan vocht, zo zal vocht hout aantasten wat kan leiden tot houtrot of schimmelgroei. Ook in de isolatielagen moet waterinfiltratie vermeden worden, naarmate de isolatie vochtiger wordt zullen de thermische prestaties immers verminderen.

De ontwerper dient maatregelen te nemen om het gebouw te beschermen tegen vochtschade. Dit kan al in de eerste ontwerpfase door vb. overstekende dakranden te voorzien, die de hoeveelheid neerslag op de gevel aanzienlijk verminderen. De waterdichtheid van het gebouw zal echter voornamelijk door de bouwhuid verzekerd worden, deze dient dan ook opgevat te worden als een continue waterdichte schil die het gehele gebouw omringt. Aansluitingen behoren tot deze schil en vragen de nodige zorg.

Vocht in wandopbouw kan verschillende bronnen hebben:

- Bouwvocht afkomstig uit materialen in de constructie;
- Inwendige vochtproductie, afkomstig van de bewoners van het gebouw o.a. ademhaling en activiteiten zoals koken en baden, het lekken van waterleidingen, ...
- Uitwendig vocht: de hoeveelheid neerslag waaraan een gebouw blootgesteld is, is afhankelijk van het klimaat waarin het bouwwerk zich bevind.
- Opstijgend vocht
- Lekkage in leidingen

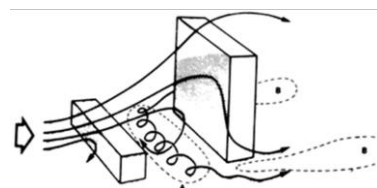
In deze scriptie zal enkel neerslag behandeld worden, inwendige vochtproductie en bouwvocht komen niet aan bod.

1.3.2 'WIND DRIVEN RAIN'

De waterdichtheid van de gebouwschil hangt af van verschillende klimaatfactoren. Uiteraard is regen één van deze factoren, maar ook wind heeft een belangrijk aandeel. Een gevel zal nauwelijks nat worden door regen op zich, maar wel door slagregen of 'Wind Driven Rain', de combinatie van regen en wind. Uit kennis van beide factoren kan de hoeveelheid water op de gevel berekend worden en kan de performantie van de gevel afgestemd worden op de belasting die verwacht wordt.

1.3.2.1 Wind

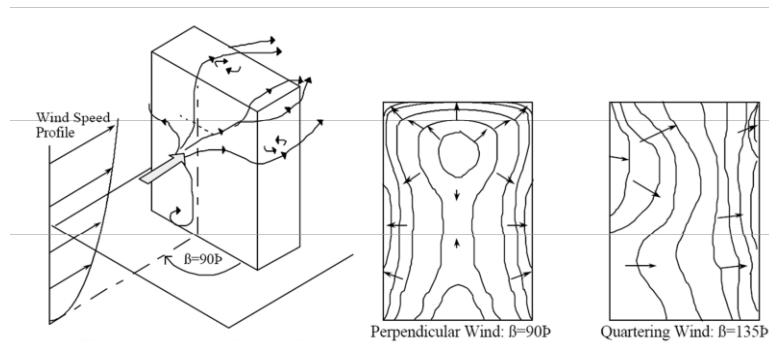
Hoe hoog de winddrukken zijn die inwerken op een gebouw, is afhankelijk van verschillende factoren. De wind varieert per streek, maar ook de directe omgeving van een gebouw heeft invloed op de windsnelheid. Zo is de windsnelheid rondom een gebouw in een open veld hoger dan deze rondom een gebouw in de stad, waar andere bouwwerken het gebouw (deels) afschermen. Een andere belangrijke invloedsfactor is de geometrie van het gebouw. De wind stroomt rond het gebouw en afhankelijk van de geometrie zullen er op de



Afbeelding 4: windstroming rond gebouwen

gebouwschil zones van over- en onderdruk ontstaan. Waar er onder- of overdruk ontstaat hangt af van de oriëntatie van het gebouw ten opzichte van de windrichting.

De winddruk zal niet constant verdeeld zijn over de gevels, zo zal er ter hoogte van de hoeken en het dak een hogere windsnelheid gemeten worden dan in het midden van de gevel. De winddruk varieert dus in functie van de plaats op de gevel.



Afbeelding 5: windstroming rond gebouwen (J. STRAUBE 2010)

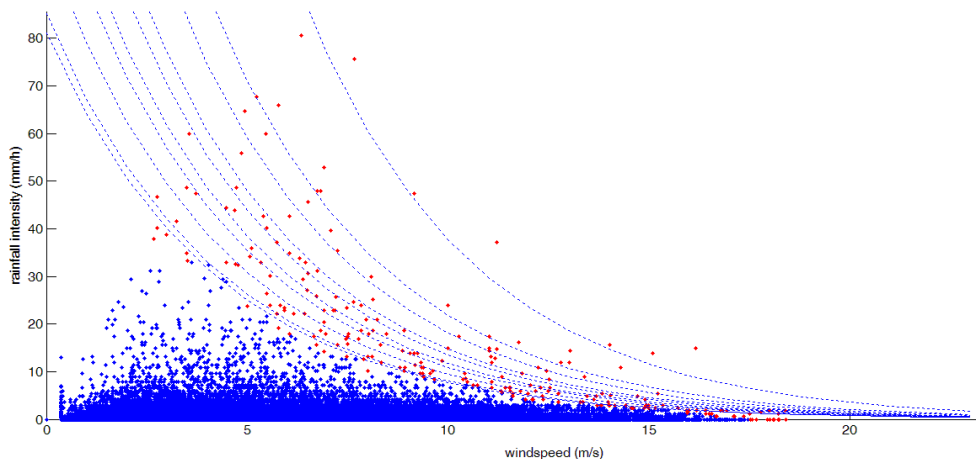
Testen in een windtunnel en 'Computational fluid dynamics' –computerprogramma's maken het mogelijk gedetailleerde weergaves te maken van de winddistributie rond een gebouw. Deze methodes zijn echter arbeidsintensief en hebben een aanzienlijk kostenplaatje, hierdoor doet men in de praktijk vaak beroep op bouwcodes, zoals de eurocodes, om de winddrukken op een gebouw te bepalen. Verder valt op te merken dat deze methode nog in kinderschoenen staat op gebouwniveau.

1.3.2.1 Slagregen

Onder slagregen of 'Wind Driven Rain' verstaat men regen die onder invloed van de wind een horizontale snelheidscomponent krijgt. Door de combinatie van de zwaartekracht met neerwaartse component en de winddruk met horizontale component zal de regen een schuin traject volgen en zo op de gevel terechtkomen.

Relatie voorkomen wind en regen

De berekening van de hoeveelheid slagregen hangt af van de winddruk en regenintensiteit. Om een testmethode op te stellen waarin het testobject aan reële weersomstandigheden beantwoordt, is het belangrijk het verband tussen windsnelheid en regenintensiteit te bekijken.



Afbeelding 6: relatie wind – regenintensiteit (N. VAN DEN BOSSCHE 2013)

Als we de regenintensiteit ten opzichte van de windsnelheid uitzetten, zien we dat de meetpunten volgens een Pareto-front liggen [16]. Ieder punt op deze curve vormt een unieke combinatie van windsnelheid en regenintensiteit die één maal in een bepaalde periode, de terugkeerperiode, voorkomt. Extreme windsnelheden en neerslaghoeveelheden zullen niet gelijktijdig optreden. Bij het bepalen van de minimale en maximale waarden voor test-parameters, WDR (Wind Driven Rain) en DRWP (Driving Rain Wind Pressure) moeten we hier rekening mee houden. Er dient wel opgemerkt te worden dat de correlatie tussen neerslagintensiteit en windsnelheid afhankelijk is van de locatie en het lokaal weersysteem.

1.3.3 WATERINFILTRATIE

1.3.3.1 Oorzaken

Water dat op de gevel terechtkomt zal de muur enkel binnendringen als er aan volgende voorwaarden voldaan is:

1. Er is een waterbron aan het oppervlak;
2. Er is een infiltratiepad, waarlangs het water de wand binnendringt.
3. Er is een kracht die het water door de openingen stuwt.

Bron

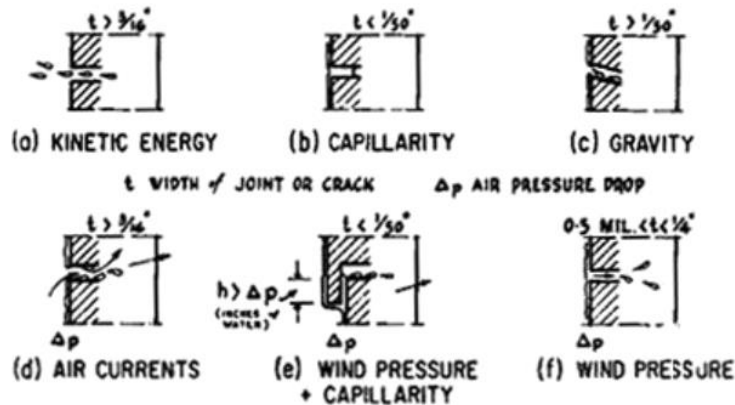
Een gevel blootgesteld aan regen komt in aanraking met twee types waterbelasting. Enerzijds is er regen die meegevoerd wordt door de wind -Wind Driven Rain- en op het geveloppervlak of dak terechtkomt. Dit noemen we de directe impact. Anderzijds krijgen we ook 'run-off', dit is het water dat reeds op de bouwhuid terecht gekomen is en langs het oppervlak naar beneden stroomt. De constructie kan deels afgeschermd worden van deze bronnen door gebruik te maken van druipneuzen en overstekende daken.

Infiltratiepad

Water kan de muur enkel binnendringen als er een gat, kier of spleet is die dienst doet als ingang tot de muur. Door een continue waterdichte bouwhuid te voorzien kan er dus geen water infiltreren. Openingen in de gevel kunnen echter nooit volledig uitgesloten worden, ter hoogte van verbindingen is het moeilijk om de continuïteit van de waterdichte laag te verzekeren.

Stuwende kracht

Wanneer de twee voorgaande criteria voldaan zijn zal er nog steeds geen waterinfiltratie plaatsvinden zonder de inwerking van een externe kracht of een combinatie van externe krachten die het water door het gat stuwen. De krachten die waterinfiltratie kunnen veroorzaken zijn [17]:



Afbeelding 7: drijvende krachten voor waterinfiltratie [18]

1. Kinetische energie of regendruppelbeweging
Regendruppels vallen loodrecht naar beneden, door de wind krijgen ze een horizontale richting, waardoor de druppels een schuin traject volgen. Wanneer de druppels met hoge snelheid door combinatie van hoge windsnelheden en de zwaartekracht, op de gevel terechtkomen kunnen de druppels door de impact via een opening de muur binnendringen.
2. Zwaartekracht
Als er in de gevel een opening is die afhelpt in de richting van de binnenomgeving zal er water naar binnen stromen door inwerking van de zwaartekracht. Om waterinfiltratie onder invloed van zwaartekracht te verhinderen, volstaat het de aanwezigheid van naar binnen aflopende voegen en sleuven te voorkomen en ervoor te zorgen dat er nergens in de bouwhuid plaatsen zijn waar water zich kan ophopen.
3. Capillaire werking en oppervlaktespanning
Oppervlaktespanning maakt cohesie tussen waterdruppels mogelijk, waterdruppels klitten samen en vormen een waterfilm op de gevel. Door de cohesie wordt water in kieren, spleten, gaten en poriën getrokken. Als er geen externe kracht op de gevel inwerkt zal het water door de capillaire krachten in de poriën blijven. Indien er echter een externe kracht optreedt, zoals een windstoot, kan het water uit de porie gedrukt worden. Door de invoering van een discontinuïteit in de muursamenstelling, vb. een spouw, kunnen we vermijden dat het water door de volledige muur heen migreert. De spouw zal functioneren als capillariteitstop. Bij niet poreuze materialen zijn de verbindingen tussen het materiaal onderling onderhevig aan de capillaire werking.

4. Drukverschillen

Drukverschillen kunnen veroorzaakt worden door wind, mechanische ventilatie en schoorsteeneffect. Als de druk op de buitenmuur hoger is dan de druk binnen, wordt water door de muur heen gestuwd. Water kan langsheen lekkagepaden in de muur lopen, zelfs al hebben deze een lichte opwaartse helling. Lucht die doorheen de muur beweegt kan ook waterdruppels meevoeren in de muur. Verder kunnen er ook drukverschillen ontstaan door de stagnatie van water, hierdoor ontstaat een hydrostatische druk.

Het run-off patroon van het water speelt ook een rol bij waterinfiltratie door een opening. De vorm en stroming van het water worden beïnvloed door onregelmatigheden op het oppervlak en lokale imperfecties. Van Den Bossche [13] gaat in zijn onderzoek het stromingspatroon na en stelt vast dat hoe sneller het water stroomt, hoe onregelmatiger het run-off patroon van het water wordt. De stromingen in het run-off water wijzigen in de loop van de tijd en zoeken steeds naar een nieuw evenwicht.



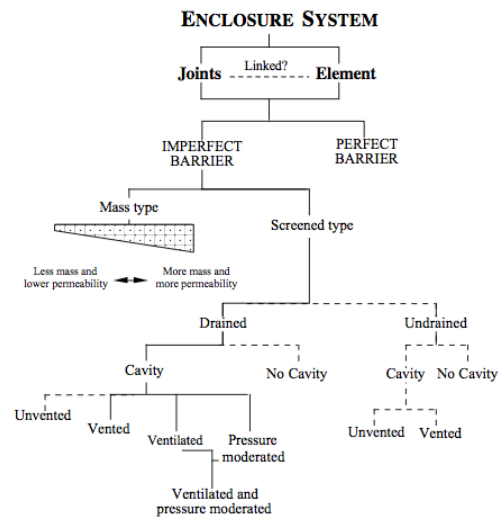
Afbeelding 8: vorming van rivulets aan de bovenzijde van openingen van 4 mm. [13]

1.3.3.2. Concepten voor waterdichtheid

Muurtypes

De wijze waarop de bouwhuid indringing van slagregen verhindert, is afhankelijk van de muuropbouw. Het algemene principe is dat iedere muursamenstelling water toelaat tot een voordien gedefinieerde barrière. [19] We kunnen drie grote categorieën onderscheiden:

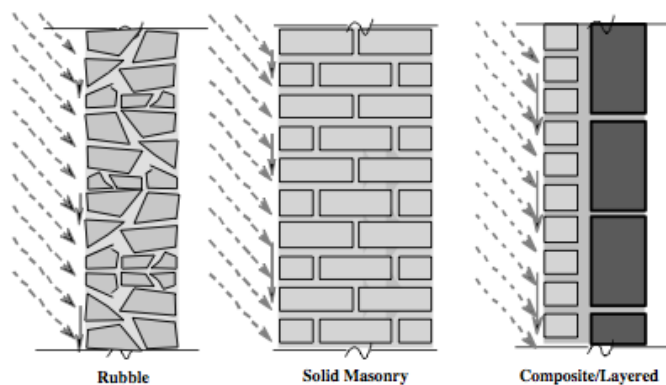
- Opslagssystemen (Mass Storage Wall Systems)
- Eentrapsdichting (face-sealed-wall)
- Spouwmuur of tweetrapsdichting



Afbeelding 9: classificatie regencontrole-strategieën [19]

Mass storage wall systems

Vroeger werd de waterdichtheid van de gebouwschil gerealiseerd door voldoende dikte te voorzien. Regen kwam op de muur terecht en werd door de capillaire werking opgenomen en vastgehouden in de muur. Als het buiten droog was, kon de muur uitdrogen. De voorwaarden voor een goede werking waren een voldoende dikke muur en het gebruik van een materiaal dat voldoende poreus was zodat het water kon bufferen. Verder dienden er genoeg periodes waarin er droging kon plaatsvinden op te treden. Vandaag wordt dit systeem niet meer toegepast omdat het door de vele werkuren en het overvloedig materiaalgebruik niet economisch is. Bovendien zal een natte muur een lagere isolatiewaarde hebben en kan er bij langdurige regenval regendoorslag plaatsvinden. Dit principe wordt ook enkel gebruikt bij massiefbouw en niet bij houtskeletbouw, daarom wordt dit verder niet besproken.

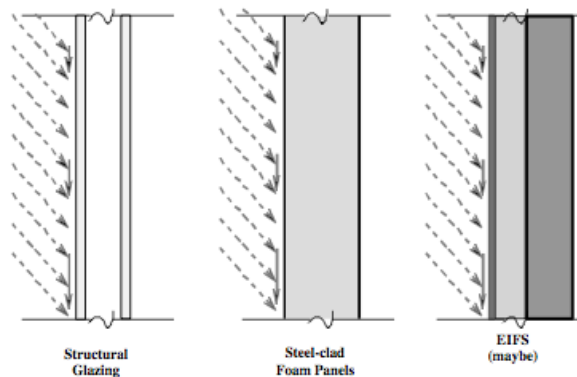


Afbeelding 10: Mass Storage Wall systems [19]

Eentrapsdichting (face-sealed-wall)

De waterdichtheid van een eentrapsdichting wordt verzekerd door één waterdichte laag, glas is hier een voorbeeld van. De waterdichte laag mag geen enkele doorboring bevatten, een gat in deze laag kan immers tot waterinfiltratie leiden. In de praktijk is het echter zo goed als onmogelijk een gevelbekleding te plaatsen die honderd procent waterdicht is. Hierdoor zal er bijna zeker waterinfiltratie plaatsvinden. Een bijkomend nadeel van dit systeem is dat het geïnfiltreerd water gevangen zit achter de waterdichte gevelbekleding en

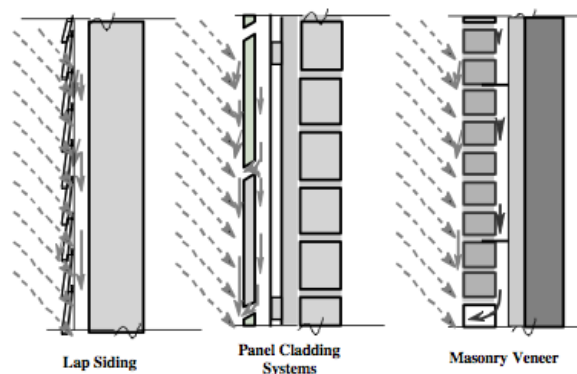
nergens gedraineerd kan worden. De enige resterende drogingsmogelijkheid is naar de binnenzijde, wat onwenselijk is. Het water zal accumuleren en dit kan tot schade leiden.



Afbeelding 11: face-sealed wall [19]

Spouwmuur of tweetrapsdichting

De spouwmuur bestaat uit het binnenspouwblad, een spouw en de gevelbekleding. De gevelbekleding is een eerste barrière die water tegenhoudt. Als er water voorbij dit scherm komt, komt het in de spouw terecht. De spouw kan het doorgedrongen water draineren en werkt tevens als capillariteitstop. Bij houtskeletbouw wordt aan het binnenspouwblad een regenscherm geplaatst dat als tweede barrière werkt. Het water dat voorbij de eerste barrière geraakt is, kan hierdoor niet verder in de muur dringen en wordt afgevoerd. De werking van de spouwmuur kan geoptimaliseerd worden door gebruik te maken van drukegalisatie (zie 3.3.2.2). De keuze van gevelbekleding zal een rol spelen in de hoeveelheid water die in de spouw terechtkomt. Bij metselwerk hebben we een homogeen oppervlak, er zijn geen of weinig open voegen waardoor water in de spouw zal komen. Bij lattenwerk, gevelpannen of plaatmateriaal krijgen we meer voegen tussen de elementen onderling. Door de kinetische energie, hydrostatische druk, oppervlaktespanning en winddruk van regendruppels kan water in de spouw terechtkomen. Verder speelt ook de grootte van de spouw een rol. Bij een gevel uit lattenwerk zal de spouw kleiner zijn dan bij een gevel uit metselwerk. Een kleinere spouw levert mogelijks een snellere drukmoderatie op en bijgevolg ook minder waterinfiltratie [20]. Er is wel een minimum diepte van de spouw nodig, ongeveer 10mm, om drainage mogelijk te maken en te verhinderen dat druppels de spouw verstoppen. [19]



Afbeelding 12: spouwmuur [19]

Pressure Equalisation Theorie

Principe

Wanneer wind op een gebouw blaast ontstaan er drukverschillen tussen de buitenomgeving en de spouw. Tijdens een regenbui kan krachtige wind water door de gevel naar binnen stuwen. Drukegalisatie, of beter drukmoderatie heeft als doel de drukverschillen over de gevel te verminderen en bijgevolg waterinfiltratie doorheen het buitenspouwblad te beperken. Drukmoderatie stelt drie eisen aan de muur:

1. Aanwezigheid van een buitenspouwblad;
2. De spouw moet naar buiten geventileerd worden zodat de buitenlucht snel doorheen de spouw kan stromen;
3. Het binnenspouwblad bevat een luchtscherm.

Wanneer een muur voldoet aan deze voorwaarden kan er buitenlucht circuleren in de spouw. Hierdoor is de luchtdruk in de spouw gelijk aan de luchtdruk van de buitenomgeving en zal er bijna geen drukverschil optreden over het buitenspouwblad. Door de aanwezigheid van buitenlucht in de spouw verhoogt het drukverschil tussen spouw en binnenomgeving, dit is echter minder schadelijk. Er is immers weinig water in de spouw aanwezig dat het binnenspouwblad wil binnendringen en het luchtscherm verhindert luchtstromingen doorheen het binnenspouwblad. [21]. Bij houtskeletbouw zien we in de spouw vaak een tweede laag die water tegenhoudt, het regenscherm. Water dat in de spouw terecht komt wordt tegengehouden door dit scherm en zal gedraineerd worden. Naast een waterkerende functie fungeert deze laag ook als windscherm.

Wanneer het buitenspouwblad volledig lucht-open is en het luchtscherm volledig luchtdicht zal de luchtdruk in de spouw gelijk zijn aan de luchtdruk van de buitenomgeving. Er vindt volledige drukegalisatie plaats. In de praktijk is dit echter niet te realiseren waardoor we spreken over drukmoderatie in plaats van drukegalisatie [19]. Door de drukmoderatie grijpt het grootste drukverschil aan over het binnenspouwblad, en niet over het buitenspouwblad. Dit heeft als voordeel dat de bevestiging van de gevel aan de structuur minder zwaar belast zal worden. Dit impliceert echter ook dat het wind/regenscherm aan een zwaardere windbelasting moet kunnen weerstaan.

Pressure Equalisation Percentage (PEP)

Dit percentage drukt uit hoe snel en in welke mate de druk zich kan modifieren. Een perfecte drukegalisatie, heeft een PEP=100%. Verder zullen we een onderscheid maken tussen een statische en dynamische PEP.

Statisch

$$PEP_{stat} = 100 \cdot \left[1 - \frac{(P_e - P_s)}{(P_e - P_i)} \right]$$

PEP_{stat} = Pressure Equalisation Percentage [%]

P_e = druk buiten [Pa]

P_i = druk binnen [Pa]

P_s = druk in de spouw [Pa]

Dynamisch [22]

$$PEP_{dyn} = 100 \cdot \left[1 - \frac{1}{P_t} \int_0^T |P_e(t) - P_s(t)| dt \right]$$

PEP_{dyn} = Pressure Equalisation Percentage [%]

P = amplitude gemeten externe luchtdruk [Pa]

T = periode [s]

$P_e(t)$ = druk buitenop tijdstip t [Pa]

$P_s(t)$ = druk in de spouw op tijdstip t [Pa]

Statische druk

Statische drukmoderatie veronderstelt dat de druk constant is in de tijd, hierdoor werken we voor de druk met gemiddelde waarden gemeten over lange periodes. Indien we veronderstellen dat een spouwmuur gemodelleerd kan worden als een luchtkamer met een ventilatieopening en een luchtscherm met enkele gebreken geldt de volgende berekening, voor het eerst toegepast door Latta [19].

De hoeveelheid lucht die door een bepaalde opening stroomt is:

$$Q = C_d \cdot A \cdot \Delta P^n$$

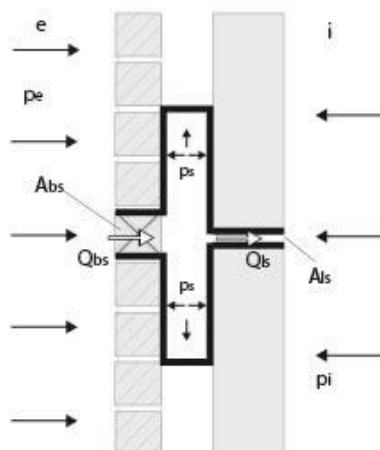
Q = luchtstroom [m³/s]

C_d = stromingsconstante [mPa⁻¹ⁿ/s]

ΔP = drukverschil over de opening [Pa]

n = stromingsexponent

statische drukmoderatie [2]



Aan de hand van deze vergelijking kunnen we de luchtstroom door de ventilatieopeningen en door het luchtscherm berekenen:

$$Q_{bs} = C_d \cdot A_{bs} \cdot \Delta p_{bs}^n \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

$$Q_{ls} = C_d \cdot A_{ls} \cdot \Delta p_{ls}^n \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

Waarbij bs voor buitenspouwblad en ls voor luchtscherm staat.

Afbeelding 13: berekening drukval (gebaseerd op [17])

Latta (Latta, 1973) veronderstelde dat de openingen in het buitenspouwblad en het luchtscherm scherpe randen hebben, er ontstaat een turbulente stroom die gemodeleerd kan worden met een stromingsexponent van 0,5; dit is niet geheel correct maar heeft volgens

Latta weinig invloed. In evenwichtstoestand zal de luchtstroom door het buitenspouwblad gelijk zijn aan de luchtstroom door het luchtscherp. In realiteit echter zal dit wel een grote invloed hebben [13], indien verondersteld wordt dat de luchtstroom die de holte infiltreert een andere stromingsexponent heeft dan deze die exfiltreert, ontstaat een ander drukverschil dan wanneer de twee stromen gelijk zouden zijn.

$$Q_e = Q_i$$

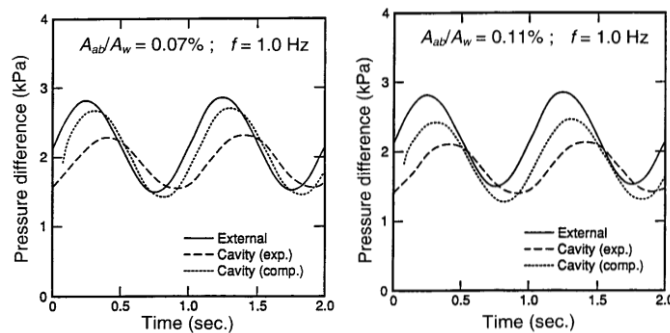
$$C_d \cdot A_{bs} \cdot \Delta p_{bs}^{0,5} = C_d \cdot A_{ls} \cdot \Delta p_{ls}^{0,5}$$

$$\frac{A_{bs}^2}{A_{ls}^2} = \frac{\Delta p_{ls}}{\Delta p_{bs}}$$

Wanneer er echter uitgaan wordt van een gelijke stromingsexponent blijkt uit bovenstaande vergelijking dat de drukval over de muur enkel afhankelijk is van de verhouding tussen de openingen in buitenspouwblad en luchtscherp. Wanneer de ventilatieopening in het buitenspouwblad tien keer groter is dan de gaten in het luchtscherp zal de drukval over het buitenspouwblad slechts 1 honderdste van de totale drukval over het luchtscherp zijn. Dit komt overeen met een drukegalisatie percentage (PEP) van 99%. Er kunnen echter vragen gesteld worden bij de geldigheid van het gelijkstellen van de stromingsexponenten [13].

Dynamische druk

In de realiteit varieert de winddruk in functie van de tijd en de ruimte. Deze variaties hebben invloed op de mate waarin drukmoderatie kan plaatsvinden [19]. Killip en Cheetham [17] ontdekten dat de variatie van de winddruk in de tijd grotere ventilatieopeningen in het buitenspouwblad vereist. Om drukmoderatie te verwezenlijken zou de verhouding A_e^2 / A_i^2 ongeveer 2,5 tot 4 keer hoger moeten liggen, dan deze berekend volgens Latta. Het NRCC (Latta, 1973) Institute for Research in Construction voerde testen uit waarbij een 'Pressure equalized wall' onderworpen werd aan ruimtelijk uniforme sinusoïdale drukvariaties met verschillende frequenties. Hieruit bleek dat de drukmoderatie vermindert bij hoge frequenties. Dit kan verklaard worden doordat bij een windstoot niet alle buitenlucht direct door de ventilatieopeningen kan stromen. Hierdoor zal de drukmoderatie pas enkele tienden of honderdsten van een seconde na het voorkomen van de windstoot plaatsvinden. Grotere ventilatieopeningen kunnen dit beperken.



Afbeelding 14: berekende en gemeten druk in de spouw bij verschillende verhoudingen A_{bs}/A_{ls} [20]

Ondanks alle maatregelen kan drukmoderatie waterinfiltratie in de spouw nooit uitsluiten. Drukverschillen zijn immers niet de enige drijvende kracht bij waterinfiltratie, ook kinetische energie en zwaartekracht kunnen waterinfiltratie veroorzaken [13]. Daarom moet er aan de spouwzijde van het binnenspouwblad een 2^{de} barrière tegen vochtindringing zijn. Dit is meestal niet het luchtscherm, maar een waterbestendig materiaal waarlangs het water onder invloed van de zwaartekracht naar beneden loopt, waarna open stootvoegen het water verder uit de spouw naar buiten leiden.

1.3.4 VOCHTTOLERANTIE VAN HOUTCONSTRUCTIES

De weerstand van een constructie tegen slagregen is gerelateerd aan verschillende parameters [23]. In eerste instantie is dit afhankelijk van het aantal lekkagepaden die vocht toelaten in de constructie. Dit kan getest worden met behulp van sproeitesten waarbij nagegaan wordt welke lekkagepaden in de constructie aanwezig zijn.

Vervolgens speelt ook de drogingscapaciteit van de constructie een belangrijke rol. Om dit in rekening te brengen moet men weten hoeveel vocht in functie van de tijd kan opdrogen. Dit is echter afhankelijk van een aantal parameters, de specifieke opbouw van de constructie en klimaatparameters. Om de drogingscapaciteit te kennen kan er gebruik gemaakt worden van een heat, air, moisture-simulatiemodel (HAM). Hierin moet een zo realistisch mogelijk input gebruikt worden, waarbij ook rekening wordt gehouden met luchtdebieten en vochtdiffusie doorheen de muur. Het is dus belangrijk een holistische aanpak te hanteren. Het gaat te ver om dit aspect in dit onderzoek verder uit te werken, we verwijzen hiervoor dan ook naar andere bronnen zoals [24] [25].

Verder is de weerstand van de gebruikte materialen tegen vocht een belangrijke factor. Hout is een materiaal dat gevoelig is voor een hoog vochtgehalte. Bij de duurzaamheid van hout is in eerste instantie de natuurlijke weerstand tegen aantasting door schimmels en insecten belangrijk. Het hout wordt echter vaak kunstmatig verduurzaamd om zijn levensduur voor bepaalde omgevingsfactoren te verlengen. Zowel voor schimmels en voor insecten speelt het vochtgehalte van het hout een grote rol.

Voor een schimmel kan ontkiemen, moet er aan volgende voorwaarden tegelijk voldaan worden. Het vochtgehalte moet boven 20% stijgen, de omgevingstemperatuur moet liggen tussen de 5-40°C en er moet zuurstof aanwezig zijn. Toxische stoffen kunnen echter schimmeligroei tegengaan. De optimale temperatuur voor vele schimmels is 20-22°C, wat vaak gelijk is aan de binnentemperatuur van een woning. In deze omstandigheden kan de aangroei van de zwam aan de oppervlakte 2 tot 3 cm per week bedragen [26]. Een richtlijn die vaak gebruikt wordt is dat het vochtgehalte niet langdurig boven 20% mag blijven.

Verder dient nog vermeld te worden dat hout aanzienlijk gevoeliger is voor vochtopname in de langsrichting dan in de dwarsrichting. De oorzaak hiervan ligt in het transport van de sappen in de boom, deze loopt in de vezelrichting. Dit heeft als gevolg dat hout veel capilairder actief is in de lengterichting. Daarnaast zal hout meer zwellen en krimpen in de dwarse richtingen, en niet zozeer in de lengterichting aangezien de vezels veel meer in de breedte kunnen toenemen dan in de lengte.

2. RAAMAANSLUITINGEN

2.1 INLEIDING

In deze thesis onderzoeken we de aansluiting van het raam op de muur. Het relatieve aandeel van de raam-muuraansluiting ten opzichte van het totale luchtverlies en de totale waterschade is immers aanzienlijk. Het relatieve aandeel van de luchtlekken door raamaansluitingen wordt geschat op 25 à 30 % van de luchtverliezen van het gebouw [7], dit is natuurlijk sterk afhankelijk van de keuzes die gemaakt worden voor de overige componenten en aansluitingen.

Ook naar waterdichting is de aansluiting muur-schrijnwerk een kritiek punt. Onderzoek toont aan dat vele schadegevallen zich voordoen ter plaatse van deze interface [27] Wanz [28] [29]. Ook het WTCB [30] benadrukt in de technische voorlichting, voor het plaatsen van buitenschrijnwerk, dat er voldoende aandacht geschonken moet worden aan de waterdichtheid ter hoogte van raamopeningen.

De raam-muur aansluiting is niet alleen een interessante case door de gevoeligheid voor lucht- en waterdichtheid, het is ook een aansluiting die eigen is aan de bouwpraktijk van een land. Zo is er wel al onderzoek geleverd naar de lucht- en waterdichtheid van raamaansluitingen, maar in voorgaande studies wordt het raam op een andere wijze geïnstalleerd dan de gangbare installatie van een raam in België. Verder heeft België een specifiek klimaat en zal een raam blootgesteld worden aan andere klimaatparameters dan een raam in Canada of Nieuw Zeeland [31]. Hierdoor zijn er voor de bouwpraktijk in België, nog veel vragen zijn over de detaillering van een raamaansluiting op vlak van lucht- en waterdichtheid.

2.2 LUCHTDICHTHEID – VOORGAAND ONDERZOEK

Dit deel van de literatuurstudie gaat in op voorgaand onderzoek over de luchtdichtheid van de raam-muur aansluiting. Hierbij wordt eerst nagegaan welke verschillende testmethodes toegepast worden, daarna worden de resultaten van de verschillende studies geanalyseerd.

2.2.1 TESTMETHODE

Het testen van de luchtdichtheid op componentniveau kan op twee verschillende manieren gebeuren: *in situ* of in een laboratorium. In de literatuur zijn beide methodes reeds toegepast. Deze worden naast elkaar geplaatst om zo ook de focus van de verschillende onderzoeksmethoden toe te lichten.

2.2.1.1 Voorgaand onderzoek in situ

Bij het *in situ* testen ligt de nadruk op nakijken van luchtdichtheid bij reeds geplaatste ramen. In verschillende studies werd reeds *in situ* onderzoek uitgevoerd [32] [29] [33]. Hieruit blijkt echter dat er veel onzekerheden zijn bij deze methode. Zo worden telkens alle aansluitingslagen tegelijk gemeten en is het ook niet steeds duidelijk of uitvoeringsfouten in de detaillering zijn geslopen. Verder zijn ook de omgevingsparameters moeilijk controleerbaar, dit in tegenstelling tot een opstelling in een laboratorium waar onder optimale omstandigheden gewerkt wordt. De ideale omstandighedengelden zowel voor de installatie als voor het uitvoeren van testen. *In situ* testen kan dus beschouwd worden als een testmethode die een ruwe inschatting geeft van de grootte van de luchtdebieten. Dit kan bijvoorbeeld interessant zijn bij de analyse van verschillende componenten in een specifiek gebouw of het kan dienen als methode om de locatie van een probleem op te sporen. Het is echter een methode die zeer moeilijk inzetbaar is om de invloed van de verschillende lagen binnen de raamaansluiting te testen. Vanuit de directe vergelijking van de metingen *in situ* ten opzichte van laboratoriummetingen stelt Langmans [33] dat laboratorium testen geschikt zijn om een ondergrens te voorspellen van de volledige luchtdichtheid van gebouwen. Dit omdat luchtdichtheid sterk afhankelijk is van uitvoering. Hierbij moet opgemerkt worden dat laboratoriumtesten de beperking hebben, de luchtdichtheid van de muur binnen eenzelfde materiaal bestudeerden en niet de aansluitingsdetailedingen van verschillende materialen zoals de raam-muur aansluiting.

2.2.1.2 Voorgaand onderzoek in laboratorium

Het merendeel van de luchtdichtheidstesten op componentniveau gebeurt door middel van een testopstelling in een laboratorium. Hierbij zijn de omstandigheden vaak gunstiger en eenvoudiger controleerbaar. Deze testmethode is dan ook aangewezen indien men de invloed van verschillende luchtdichtheidsoplossingen wil vergelijken.

De testopstelling in een laboratorium bestaat meestal uit een luchtdichte kast waaraan een ventilator gekoppeld kan worden en waarin het op ware grote nagebouwde testobject luchtdicht wordt aangesloten. In deze kast wordt vervolgens een drukverschil gecreëerd. De meting bestaat erin na te gaan hoe groot het verliesdebiet doorheen het testobject is. Vaak wordt ook een kalibratiemeting toegepast om na te gaan hoe groot de verliezen doorheen de testkast zelf zijn.

Höglund en Jansson [34], Zweden, testen volgens dit principe. Ze verwijzen naar het principe als de “*guarded pressure box-method*”. Hierbij wordt getest met drukverschillen van 50, 100, 200 en 300 Pa, er wordt echter niet vermeld of deze in over- of onderdruk uitgevoerd worden.

Proskiw [35], Canada, deed experimenteel onderzoek naar de luchtdichtheid van deur- en raam-muuraansluitingen. Voor dit onderzoek wordt elke detaillering vijf keer geïnstalleerd door twee verschillende personen. Hierbij wordt niet gestreefd naar een perfecte dichting, maar naar een dichting zoals deze uitgevoerd wordt door vakmensen in een normale woning. De drukverschillen worden enkel getest in overdruk voor 10 tot 15 Pa, waarna deze waarden verhoogd werden tot waarden tussen 10 en 90 Pa. Bij het testen werd telkens de omgeving, de muur, isolatie en afwerkingslatjes mee getest. Hierdoor werden telkens alle verschillende lagen van de aansluiting tegelijk getest.

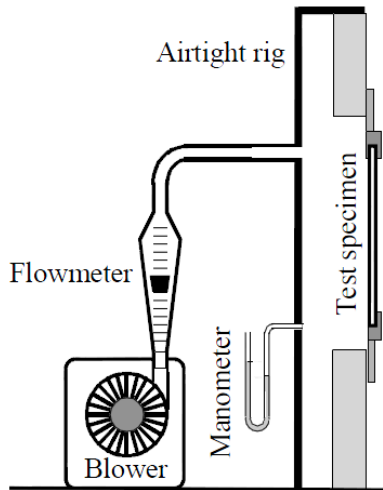
Relander [36], Noorwegen, voerde metingen uit naar de dichtingstechnieken van een raamaansluiting. Hierbij worden zeven verschillende technieken getest, waarbij één meting per techniek wordt uitgevoerd. Deze wordt telkens in over en onderdruk uitgevoerd met drukverschillen van 10, 30, 50, 100 en 200 Pa. De meting werd zo opgevat dat er een meting gedaan werd op één enkel materiaal, een eenlaagsdichting, waarbij enkel de gewenste dichtingstechniek getest werd.

Bovenop de *in situ* metingen van Langmans [33] in België, zijn ook metingen uitgevoerd in een laboratorium op delen van het windscherm. De testopstellingen zijn gelijklopend aan de voorvermelde, maar dan op materiaalniveau. Vanuit twee verschillende testopstellingen onderzoekt Langmans de luchtdichtheid van de aansluitingen op materiaalniveau. In deze opstelling worden de karakteristieken van luchtdoorlatendheid op materiaalniveau en van typische tand en groef aansluiting getest. Een tweede opstelling gaat na welke luchtdichtheid de aansluiting bereikt indien ze met een bepaalde hoek uitgevoerd wordt.

Verder deden ook Van Den Bossche, Moens, Janssens en Huyghe [37] en Vandeweerd en Penne [38] experimenteel onderzoek naar de muur-raam-aansluiting. In deze onderzoeken werd de laboratoria-beproevingsmethode NBN EN 12114: Thermische Eigenschappen van gebouwen - Luchtdoorlatendheid van bouwcomponenten en bouwelementen – Laboratoriumbeproevingsmethode” [39] toegepast. Deze methode is de Belgische norm voor het testen van luchtdichtheid op componentniveau. De methode wordt in een volgend punt dan ook uitgebreid besproken.

2.2.1.3 Testmethode: componentniveau: NBN 12114 [39]

Het principe van de testopstelling op componentniveau is analoog aan de blowerdoor meting, maar uitgevoerd op componentniveau. De genormeerde werkwijze om de luchtdichtheid van gebouwcomponenten te meten staat in “NBN EN 12114: Thermische Eigenschappen van gebouwen - Luchtdoorlatendheid van bouwcomponenten en bouwelementen – Laboratoriumbeproevingsmethode”. Het te testen element wordt onderworpen aan een serie van drukverschillen in verschillende stappen. Hierbij wordt het luchtdebiet doorheen het testelement gemeten bij elke stap. De meetresultaten worden vervolgens gecorrigeerd naar referentie-testcondities. Daarna stelt men een functie op waarin de luchtstroom wordt uitgezet ten opzichte van het drukverschil. Hieruit worden dan de lekkage-coëfficiënten afgeleid die de bouwelementen karakteriseren.



Afbeelding 15: testopstelling volgens NBN EN 12114

Bij de testprocedure moeten steeds de temperatuur, barometrische druk en relatieve vochtigheid gemeten worden, dit met een nauwkeurigheid van respectievelijk $\pm 2\text{K}$, $\pm 1\text{kPa}$ en van $\pm 10\%$.

De metingen zelf gaan als volgt. In eerste instantie worden drie drukpulsen toegepast. Elke puls zal een drukverschil geven dat 10 tot 12% groter is dan het maximum drukverschil $\Delta p_{\max}$ voor de test. Deze $\Delta p_{\max}$ is het maximum drukverschil dat bereikt wordt tijdens de opbouw van de druk in genormeerde stappen.

Annex A beschrijft de bepaling van de drukstappen als volgt. Het maximum drukverschil is afhankelijk van de karakteristieken, het toekomstig gebruik van het testelement en het doel van de proef. Verder moet het een waarde zijn waarbij er geen onomkeerbare veranderingen in luchtdichtheid ontstaan door de proef, met andere woorden deze mag niet destructief van aard zijn.

Het kleinste drukverschil wordt zo bepaald dat het gemeten kan worden met een nauwkeurigheid van 5%. Hoewel $\Delta p_{\min}$ ook niet groter mag worden dan een vijfde van $\Delta p_{\max}$.

Als geen andere vereisten gespecificeerd zijn, worden de drukstappen in een geometrische reeks ertussen verdeeld. Hierbij worden, met $\Delta p_{\min}$ en $\Delta p_{\max}$ inbegrepen, minstens 7 gemeten punten bepaald. Het volledige gebied wordt zo verdeeld in N drukverschiltrappen, Δp_i , met gelijke intervallen op een logaritmische schaal. Dat geeft:

$$\Delta p_i = 10^{i \frac{\log \Delta p_{\max} - \log \Delta p_{\min}}{N} + \log \Delta p_{\min}}$$

Of

$$\Delta p_i = \exp\left(i \frac{\ln \Delta p_{\max} - \ln \Delta p_{\min}}{N} + \ln \Delta p_{\min}\right)$$

Bij de meting worden het volumedebiet en het statische drukverschil per stap opgemeten. De duur van elke stap moet voldoende zijn zodat de luchtdruk in de testopstelling gestabiliseerd is vooraleer het luchtdebiet gemeten wordt. De luchtdichtheid van de kast wordt, indien niet volledig luchtdicht,

gemeten door openingen volledig af te sluiten en zo de residuele luchtstroom doorheen de luchtdichte kast te meten. Dit wordt nadien in rekening gebracht.

In de berekening en interpretatie van de testresultaten wordt rekening gehouden met de residuele luchtstroom en met correcties voor de referentiecondities. Hierna wordt de gecorrigeerde luchtstroom uitgezet ten opzichte van het drukverschil, zowel voor onder- als voor overdruktesten. De relatie wordt gefit aan de *power law*, waarbij de stromingscoëfficiënt C en stromingsexponent n bepaald worden. Hierna wordt een 95% betrouwbaarheidsinterval opgesteld voor C en n.

Wanneer de atmosferische condities in het apparaat of de omgeving niet binnen de vooropgestelde grenzen liggen moet een correctie toegepast worden. Voor de temperatuur zijn deze grenzen 18°C tot 22°C, voor de atmosferische druk 100 kPa tot 102 kPa en voor de relatieve vochtigheid 25% tot 50%. De correctie wordt als volgt uitgewerkt:

$$\dot{V}_0 = \dot{V} \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}$$

$\dot{V}_0$: het gecorrigeerde luchtdebiet bij referentiecondities [m³/h]

$\dot{V}$: het gemeten luchtdebiet bij testcondities [m³/h]

ρ : de densiteit van lucht bij testcondities [kg/m³]

ρ_0 : de densiteit van lucht bij referentiecondities = 1,1988 kg/m³ [kg/m³]

Hierbij kunnen we ρ berekenen als

$$\rho = \frac{p_a - 0,378802 p_w}{287,055 T}$$

p_q : de atmosferische druk [Pa]

T : de absolute temperatuur [K]

p_w : de waterdruk [Pa]

p_w kan als volgt bepaald worden:

$$p_w = 610,5 \phi \exp\left(\frac{21,875 \cdot (T - 273,15)}{T - 7,65}\right)$$

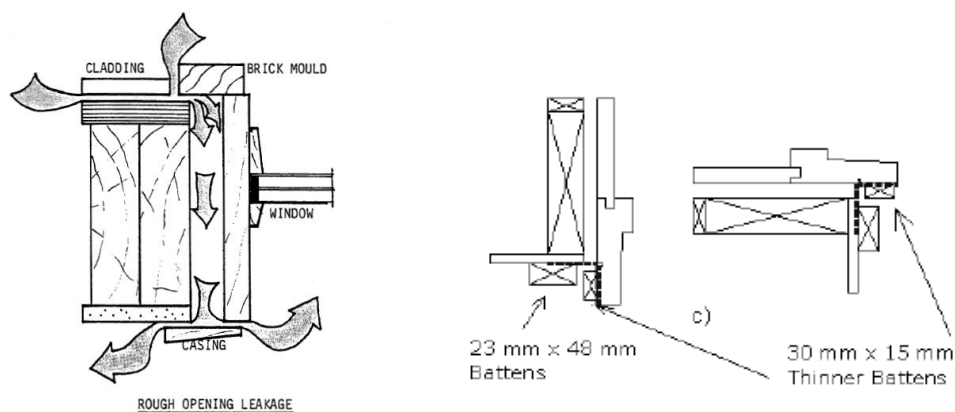
ϕ : de relatieve vochtigheid [%]

T : de absolute temperatuur [K]

2.2.2 AANSLUITINGEN

In dit deel worden de verschillende aansluitingen tussen het raam en de muur besproken, met bijhorende luchtdichtheid. In wat volgt worden experimenteel onderzoek in laboratorium onderzocht van Proskiw, Relander, Van den Bossche, Höglund en Vandeweerd-Penne. Hierbij moeten echter eerst een aantal bedenkingen gemaakt worden over de verschillen tussen de studies, dit gebeurt op basis van de keuze van luchtscherm in de muur, bevestigingsmethode of zelfs constructiemethode.

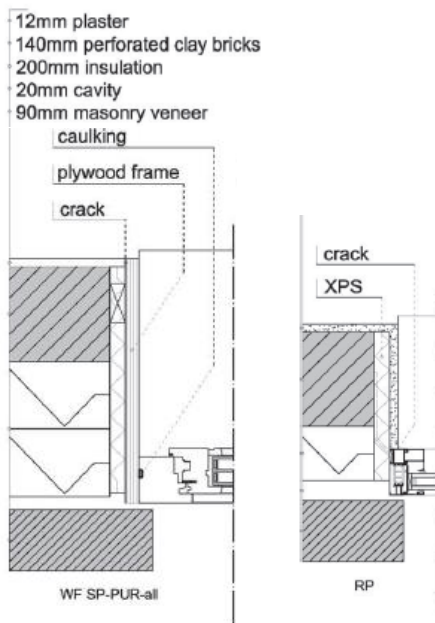
Zowel Proskiw [35] als Relander [36] testen met een luchtdichtheidscherm bestaand uit een beplating aan de binnenzijde van gipskartonplaten (*drywall-approach*). Verder wordt door beide onderzoekers een andere bevestigingsmethode toegepast. Proskiw maakt gebruik van een bevestigingskader, terwijl bij Relander de traditionele bevestiging voor Noorwegen met behulp van een *jamb liner* getest wordt. Hierbij maakt Proskiw de verbinding tussen de bevestiging van het raam en het luchtscherm in eenzelfde vlak; terwijl Relander de verbinding tussen de *jamb liner* en de plaat uit het vlak voorziet. Om de verliezen bij de aansluiting raam met de *jamb liner* uit te sluiten wordt deze verbinding afgesloten met behulp van tape. De muur waarmee Proskiw test is meteen ook opgebouwd met een regenbarrière (*building paper*) en afwerkplaatje, die de luchtdichtheid ook zal beïnvloeden.



Afbeelding 16 en 17: Bevestigingsmethoden bij Proskiw: bevestigingskader en Relander: jamb liner [40] en [36]

In het onderzoek van Vandeweerd en Penne [38] wordt de luchtdichting verzekerd aan de buitenzijde door osb-beplating. Deze keuze werd gebaseerd op de muursamenstelling van de firma Sibomat. Hygrothermisch is dit echter minder evident. Door de meest luchtdichte laag aan de buitenzijde te plaatsen is er een grotere kans op condensatie.

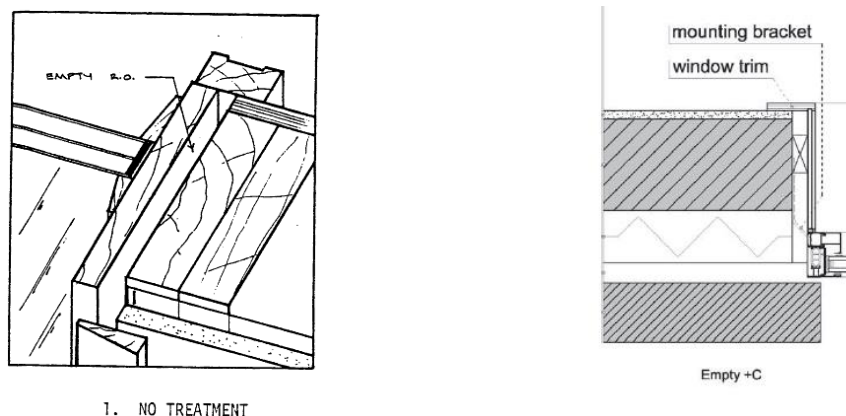
Van Den Bossche, Moens, Janssens en Huyghe [37] experimenteerden niet op houtskeletbouw maar op massiefbouw waardoor een volledig andere verbinding ontstaat. De luchtdichtheid aan de binnenzijde wordt bij massiefbouw voorzien door middel van een 12mm dikke pleisterlaag. De bevestiging van het raam op de muur werd zowel getest met een multiplexkader als met raamankers, waardoor de methode van luchtdicht aansluiten eenmaal werd verzekerd door een verbinding van het pleister met het multiplexkader terwijl de volgende keer een hoek moet gemaakt worden met het pleister om zo luchtdicht aan te sluiten op het raamprofiel.



Afbeelding 18: Pleister als luchtscherm, bevestiging met multiplexkader en raamankers [41]

2.2.2.1 Lege voeg

De voeg tussen het raamkader of raambevestiging en de muur wordt niet opgevuld. Deze test gaat na hoe de luchtdichtheid zou presteren indien geen enkele maatregel genomen wordt om de luchtdichtheid te verzekeren. Proskiw [35] is dit nagegaan voor een aansluitingsvoeg van 13 mm aan de zijkant en 32 mm aan de onderzijde en Van Den Bossche [41] ging dit na voor een voeg van 20 mm. Hierbij werd wel bij beiden een afwerkingsplaatje voorzien aan de binnenzijde zodat een minimumweerstand gecreëerd wordt. De waarden die weergegeven worden zijn vaak herrekenende waarden, zodat het luchtdebiet telkens weergegeven wordt in m^3/h per lopende meter aansluiting, overgenomen uit Van Den Bossche [41] .



Afbeelding 19 en 20: Installatiemethode lege voeg bij Proskiw en Van Den Bossche [35] en [41]

V_{50} [m³/hm]

Lege voeg				Voegbreedte [mm]
Proskiw	<i>Minimum</i>	<i>Gemiddelde</i>	<i>Maximum</i>	Zijkant 13; onder 32
	4,87	4,97	5,18	
Van Den Bossche	<i>Onderdruk</i>	<i>Gemiddelde</i>	<i>Overdruk</i>	20
	28,75	30,78	32,82	

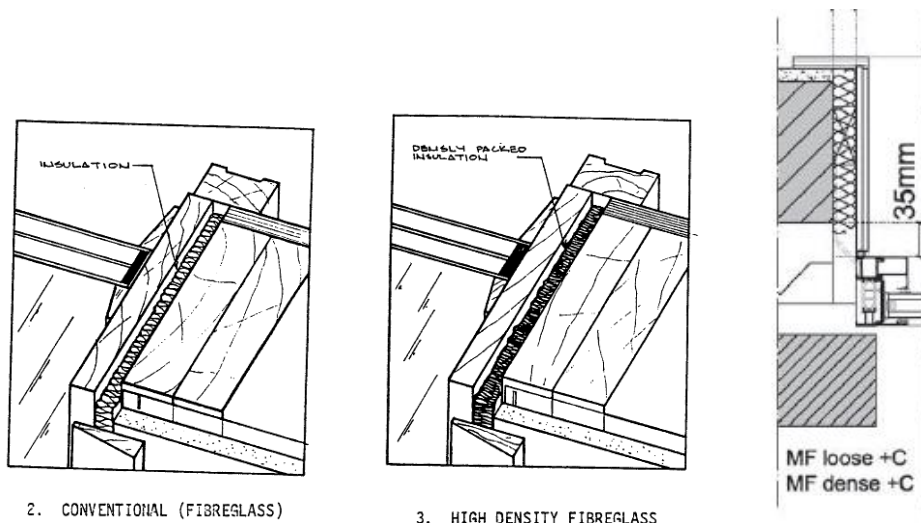
Tabel 1 Luchtverliezen bij een lege voeg vergelijking Proskiw en Van Den Bossche [41].

De debieten verschillen zeer sterk. Dit kan te wijten zijn aan het verschil in voegbreedte en de bijkomende weerstand door het afdekkingslatje en regenbarrière aan de buitenzijde van de voeg bij Proskiw [35] en de kleinere afmetingen van de voeg aan de zij- en bovenkant.

2.2.2.2 Minerale wol

De voeg tussen het raamkader en de muur wordt opgevuld met minerale wol. Hoewel minerale wol in eerste instantie niet ingezet wordt als luchtdichte oplossing, heeft de extra weerstand een invloed op de luchtdichtheid. De densiteit waarmee de minerale wol de voeg vult speelt een grote rol in de luchtdichtheid van het materiaal. Immers hoe compacter de minerale wol wordt samengedrukt, hoe luchtdichter het geheel wordt.

Deze stelling wordt bevestigd in onderzoek door Van Den Bossche [41]. Hierbij werd nagegaan of compacter geplaatste minerale wol een betere luchtdichtheid verkreeg dan wanneer normaal geplaatst in een voeg van 20 mm. Naast de densiteit speelt natuurlijk ook de diepte waarover de minerale wol geplaatst wordt een grote rol. Relander [36] ging de invloed van de voegbreedte na. Hij plaatste de minerale wol met 40% compressie in de voegbreedte en ongeveer 17% in de voegdiepte, waarbij voegdieptes 50, 100 en 150 mm werden getest. Proskiw [35] voerde ook experimenten uit met glaswol voor een aansluitingsvoeg van 13 mm aan de zijkant en 32 mm aan de onderzijde, en een voegdiepte van 140mm. Hierbij varieerde hij eveneens de samendrukking van de isolatie.

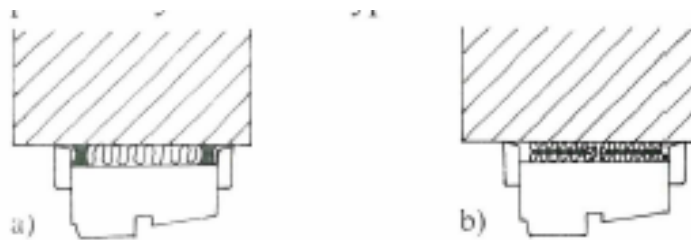


Afbeelding 21 en 22 : Installatiemethode minerale wol, aansluiting bij Proskiw en Van Den Bossche [35] [41]

V_{50} [m ³ /hm]				
Minerale wol				<i>Voegbreedte [mm]</i>
Proskiw	<i>Min</i>	<i>Gem</i>	<i>Max</i>	
Los	1,592	1,83	1,997	Zijkant 13;
Dens	0,53	1,239	1,628	Onder 32
Van Den Bossche	<i>Onderdruk</i>	<i>Gemiddelde</i>	<i>Overdruk</i>	
los	11,29	11,99	11,64	25
dens	3,19	2,60	2,90	
Relander	<i>Diepte 50 mm</i>	<i>Diepte 100 mm</i>	<i>Diepte 150mm</i>	15
	4,03	2,09	1,49	

Tabel 2: Luchtverliezen installatiemethode minerale wol, vergelijking Proskiw, Van Den Bossche en relander [36] [41] [35]

Höglund [34] testte met glaswol, de toepassingsbreedte was echter beperkt tot de breedte van het raamprofiel. Het raam wordt immers niet met behulp van een multiplexkader bevestigd, maar door middel van afstandsschroeven, hierdoor kan het glaswol slechts ter hoogte van het raamprofiel geplaatst worden. Een tweede oplossing bestaat erin glaswol te gebruiken met plastic folie. Voor de waarden wordt in deze referentie gewerkt met m³/hm², waarbij er geen duidelijke vermelding staat of de oppervlakte deze van het raam of de voeg incalculeert. Verder wordt de diepte of breedte van de voeg die gevuld wordt niet vermeld, waardoor de vergelijking met andere referenties in het gedrang komt.



Afbeelding 23 en 24 : Installatiemethode met minerale wol bij Höglund [34]

V_{50} [m ³ /hm ²]*			
Glaswol			<i>Voegbreedte [mm]</i>
Höglund	<i>Gemiddelde [m³/hm²]</i>		
Normaal	5	/	
Gecoat met folie	0,9		

Tabel 3: Luchtverliezen installatiemethode glaswol, voegbreedte niet vermeld [34] *niet duidelijk hoe dit gekwantificeerd wordt.

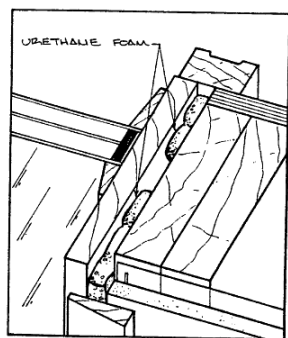
De waarden voor minerale wol zijn sterk variërend. Een verdriedubbeling van de diepte van de voeg, van 50 mm naar 150 mm geeft een verbetering van 270%, wat aanzienlijk is. Het compacter plaatsen van de minerale wol levert nog opmerkelijkere verschillen op, zo wordt de luchtdichtheid bij Van Den Bossche tot 360% verbeterd indien compacter geplaatst, hierbij wordt vermeld dat deze aangedrukt wordt tot overal dezelfde tegendruk ontstaat en er geen dichtere pakking kan verkregen worden. De resultaten tonen dat het rotswol een invloed heeft op de luchtdichtheid, maar de waarden zijn sterk variërend, bovendien is de densiteit moeilijk te controleren. Dit maakt dat het effect van dit type aansluiting moeilijk in te schatten wordt. De resultaten van Proskiw leunen aan bij deze van Relander voor rotswol met compressie 40% voor een voegdiepte van 150 mm. Verder is er ook een sterke verbetering indien gecoate isolatie toegepast wordt, zie Höglund. Ook hier kan de

opmerking gemaakt worden dat de graad van compressie moeilijk na te gaan is, en dat er een groot verschil merkbaar is in de resultaten.

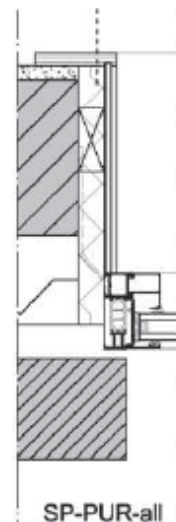
2.2.2.3 Poly-urethaanschuim (PUR)

De aanmaak van poly-urethaan-schuim gebeurt met behulp van twee vloeistoffen, namelijk een polyol en een isocynaat. Het vloeibare reactiemengsel (1-componenteschuim) wordt gespoten in de holle voeg, waar er door toevoeging van penthaan als blaasmiddel onmiddellijk schuimvorming en expansie optreedt. De toepassing van dit schuim kan met een relatief kleine moeite gebeuren. Met behulp van een spuitpistool kunnen de voegen vrij snel gevuld worden. Hierbij wordt de voorkeur gegeven aan een elastisch schuim dat in tegenstelling tot traditionele pur-schuimen de beweging van de constructie en voegen kan opnemen.

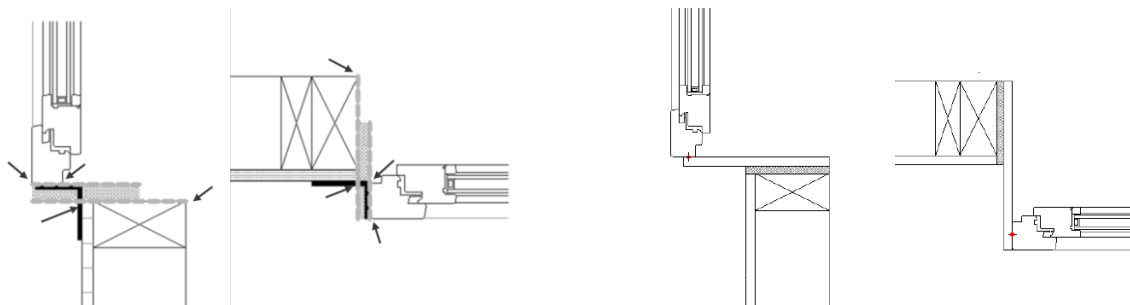
Eén van de voordelen van pur-schuim is de gemakkelijke hanteerbaarheid. De voeg moet enkel licht voorbevochtigd worden, waarna met een spuitpistool de PUR kan aangebracht worden, deze schuimt op en vult zo de voeg. Aandachtspunten hierbij zijn vooral de breedte van de voeg en het volledige vullen van de bovenhoeken, immers het schuim kan onder eigengewicht wat 'zakken'. Zowel Proskiw [35], Van Den Bossche als Penne [38] en Höglund [34] (opnieuw over beperkte breedte van het raamprofiel) gingen de luchtdichtheid van deze oplossing na in laboratorium.



8. FOAMED-IN-PLACE URETHANE



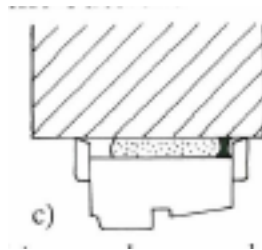
Afbeelding 25 en 26 : Installatiemethode PUR-schuim met volledige opvulling voeg bij Proskiw en Van Den Bossche [35] [41]



Afbeelding 27 : Installatiemethode van PUR-schuim, bij Vandeweerd en Penne aan binnen of buitenzijde toegepast [38]

V_{50} [m ³ /hm]				Voegbreedte [mm]
PUR-schuim				
Proskiw	<i>Min</i>	<i>Gem</i>	<i>Max</i>	Zijkant 13; onder 32
	0,00	0,00862	0,0431	
Van Den Bossche	<i>Onderdruk</i>	<i>Gem</i>	<i>Overdruk</i>	
SP-PUR-all ra	1,79	0,94	1,36	20
WF SP-PUR-all mu	-0,03	0,24	0,10	
Vandeweerd	<i>Onderdruk</i>	<i>Gem</i>	<i>Overdruk</i>	
Penne				60
Droog ra	0,3544	0,3729	0,3913	
Ra	0,0266	0,0082	0,0388	
Droog mu	0,3544	0,3729	0,3913	18
Mu	0,0266	0,0388	0,0327	

Tabel 4 Luchtverliezen installatiemethode PUR-schuim vergelijking Proskiw, Van Den Bossche en Vandeweerd Penne. Afkortingen ra: raamankers; mu: multiplexkader [35] [37] [38];



Afbeelding 28 : Installatiemethode PUR-schuim bij Höglund [34]

V_{50} [m ³ /hm ²]		Voegbreedte [mm]
PUR-schuim		
Höglund	<i>Max</i>	
	0,1	/

Tabel 5 Luchtverliezen installatiemethode PUR-schuim, voegbreedte niet vermeld [34]

In alle referenties komt deze installatiemethode naar voor als een oplossing met een goede luchtdichtheid. Verder merken we dat enkel bij het onderzoek van Penne onderzoek gedaan werd naar de voorbevochtiging bij de plaatsing, waaruit blijkt dat deze een grote invloed heeft op de luchtdichtheid. De voeg voor dit onderzoek is voor de opstelling met raamankers 6 cm. Dit is een zeer grote voeg om tot een goede compactheid van het pur-schuim te komen, het risico bij grote breedtes is dat het schuim bezwijkt onder eigengewicht.

Verder valt op dat er een betere luchtdichtheid bereikt kan worden met PUR schuim wanneer het raam bevestigd wordt met een multiplexkader dan bij de installatie met raamankers. De oorzaak hiervan kan gezocht worden in mogelijke montagefouten of slechte hechting rond de raamankers. Indien het PUR schuim goed aangebracht wordt, kan een luchtdichtheid bereikt worden van 0 m³/hm.

2.2.2.4 Zwelband

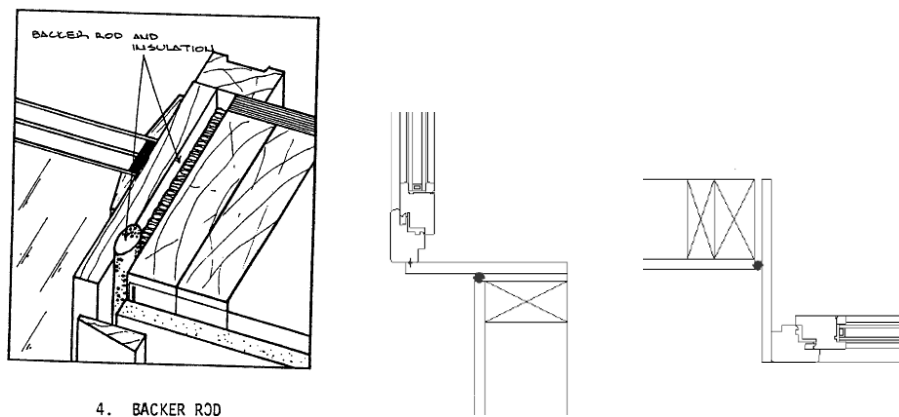
Zwelbanden bestaan uit schuimstoffen die geïmpregneerd worden om water- of luchtdicht te zijn. De meeste banden bestaan uit polyurethaan en zijn opencellig waardoor ze grote vervormingen kunnen ondergaan. Om tevens als regendichting ingezet te kunnen worden, krijgen deze zwelbanden vaak een impregnering zoals een acryl-dispersie-impregnering. De zwelbanden worden

gecomprimeerd tot ongeveer 10% van de oorspronkelijke dikte en worden zo op rollen geleverd. Op deze manier hebben ze een grote capaciteit om uit te zetten. Meestal wordt er aan één zijde een zelfklevende laag voorzien, om deze te verkleven op bijvoorbeeld het raamkader. De werking van de zwelband hangt echter af van de compressie van het schuim. Zo wordt bij bepaalde producten vooropgesteld dat ze slagregendicht zijn bij een compressie van 70%. De compressie speelt dus een grote rol, zowel in de lucht als waterdichtheid van het systeem. Dit materiaal wordt meer gebruikt in Duitsland dan in België.

Relander [36] testte zowel voegbanden als voorgecomprimeerde zwelbanden. Hij ontdekte hierbij dat de voegbanden (niet voorgecomprimeerd) beter presteerden dan de voorgecomprimeerde zwelbanden. Zelfs wanneer geïnstalleerd volgens de voorschriften was het verschil aanzienlijk. Voorts presteerden de continu geplaatste voegband, waarbij de voegband in één stuk rond het raam wordt geplaatst, slechter dan de niet continu geplaatste, waarbij per zijde een aparte strook voegband wordt ingezet. Ook Vandeweerd-Penne [38] stelden dit vast. Zo tonen continu toegepaste voorgecomprimeerde zwelbanden na installatie infiltratiepaden aan de hoeken die zelfs met het blote oog gezien kunnen worden.



Afbeelding 29 : Zwelband hoeken continu uitgevoerd [38]



Afbeelding 30 en 31 : Installatiemethode zwelband bij Proski en Vandeweerd en Penne [35] en [38]

V_{50} [m³/hm]

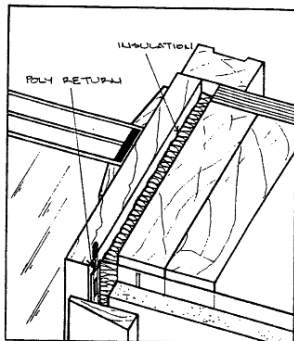
				Voegbreedte [mm]
Zwelband				
Proskiw	<i>Min</i>	<i>Gem</i>	<i>Max</i>	Zijkant 13; onder 32
	0,089	0,253	0,420	
Vandeweerd	<i>Onderdruk</i>	<i>Gem</i>	<i>Overdruk</i>	
Penne				18
Zwelband c	3,7121	3,6613	3,6106	
Relander		<i>gem</i>	<i>Met 4 gaten</i>	
Voegband c		1,24		
Voegband nc		0,97		15
Zwelband		3,97	7,72	
Zwelband verkeerde maat		10,87		

Tabel 6: Luchtverliezen bij installatiemethode zwelband vergelijking Proskiw, Vandeweerd Penne en Relander. Afkortingen: - c: continu geplaatst; nc: niet continu geplaatst [35] [38] [42].

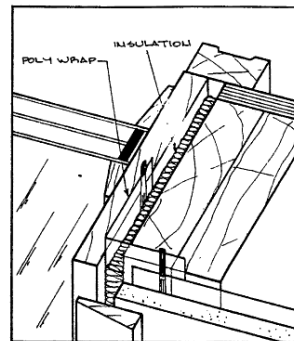
Bij Vandeweerd en Penne [38] wordt een zwelband gebruikt ter plaatse van de regendichting, deze oplossing zou dus tevens de regenbarrière zijn. De keuze van een voegband met de juiste compressiegraad speelt een grote rol in de luchtdichtheid.

2.2.2.5 Luchtdichtheidsfolie

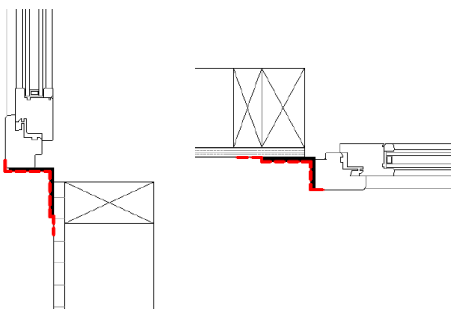
Voor de installatie van een luchtdichtheidsfolie kunnen verschillende opties overwogen worden. Zo kan deze geplaatst worden aan de binnenzijde of aan de buitenzijde, tegen de zijkant van het raam of tegen de voorzijde van het raamkader. Verder speelt ook de uitvoering van de hoeken een grote rol.



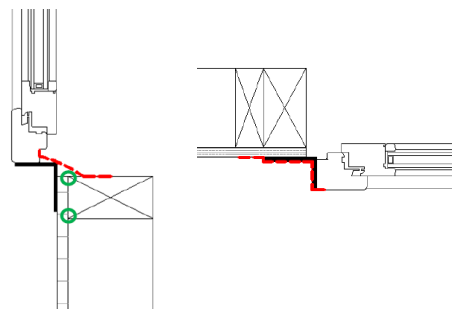
6. POLY-RETURN



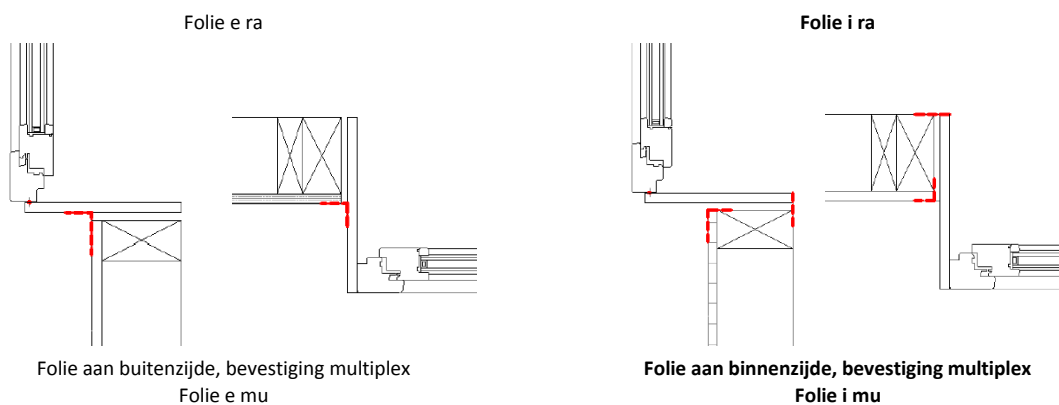
7. POLY-WRAP



Folie aan buitenzijde, bevestiging raamankers



Folie aan binnenzijde, bevestiging raamankers



Afbeelding 32 en 33 : [35] en [38]

V_{50} [m ³ /hm]				Voegbreedte [mm]
Folie				
Proskiw	<i>Min</i>	<i>Gem</i>	<i>Max</i>	
Folie tegen zijkant raam	0,042	0,096	0,237	Zijkant 13; onder 32
Folie overlappend folie in voeg	0,002	0,015	0,027	
Vandeweerd	<i>Onderdruk</i>	<i>Gem</i>	<i>Overdruk</i>	
Penne				
Folie e ra- doorlopende folie	0,2784	0,2936	0,3088	60
Folie e ra- overlappende folie	0,2317	0,2318	0,2318	
Folie i ra	2,0995	1,9608	1,8221	
Folie e mu – doorlopende folie	0,0558	0,0815	0,1072	
Folie i mu – overlappende folie	0,3218	0,2469	0,1719	18
Relander		<i>Goede uitvoering</i>	<i>Slechte uitvoering</i>	15
		0,310	6,960	

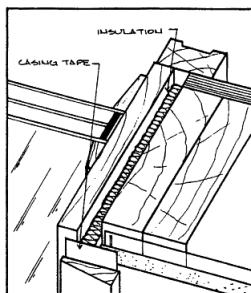
Tabel 7: Installatiemethode luchtdichtheidsfolie bij Proskiw, Vandeweerd Penne en Relander (e: buitenzijde; i: binnenzijde; ra: raamankers; mu: multiplexkader) [35] [38] [42]

V_{50} [m ³ /hm ²]			Voegbreedte [mm]
Folie			
Höglund	<i>Gem</i>		
Luchtdichte folie	0.1	/	

Tabel 8: Luchtverliezen luchtdichtheidsfolie , voegbreedte niet vermeld [34]

2.2.2.6 Tape

Tape bestaat meestal uit vrij fijne stroken van volledig verlijmde dragers. Hierbij is er dus een beperking in de afmetingen van de voeg die gedicht kan worden. Verder zijn voor deze tapes verschillende samenstellingen mogelijk. Een voorbeeld van samenstelling die vaak gebruikt wordt is een tape die als drager een speciaal vlies van polypropyleen heeft en waarbij als afdekpapier gesiliconiseerd papier wordt gebruikt.



5. CASING TAPE

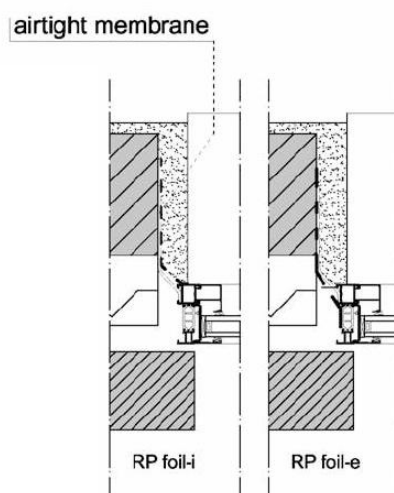
Afbeelding 34 en 35 : [35]

V_{50} [m ³ /hm]				Voegbreedte [mm]
Tape				
Proskiw	<i>Min</i> 0,003	<i>Gem</i> 0,013	<i>Max</i> 0,021	Zijkant 13; onder 32
Relander		<i>Gem</i> 0,000	<i>Slechte uitvoering</i>	15

Tabel 9: Luchtverliezen tape, vergelijking Proskiw en Relander [35] [36]

2.2.2.7 Pleister

In het onderzoek voor massiefbouwmuren [41] werd de aansluiting tussen een luchtdichte pleisterlaag en het raamkader onderzocht. Het gebruik om met pleister te werken als luchtdichtheid is in houtskeletbouw echter niet van toepassing, waardoor deze piste minder interessant is in het licht van dit onderzoek. De vermelding is interessant omdat de combinatie van folie verkleefd op de massiefbouw waarover gepleisterd wordt (een zeer dikke laag) ook getest werd. De opstelling met de luchtdichtheidsfolie aan de raamzijde bleek beter te presteren dan wanneer deze geïnstalleerd werd vanuit de binnenzijde nadat het raam reeds geplaatst werd. Hierbij bleken de hoeken de grootste invloed te hebben, deze waren voor de opstelling met de folie eerst op het raam verkleefd continu uitgevoerd, met een vouw voorzien; terwijl deze voor de folie aan de voorzijde niet continu voorzien waren in de hoeken.



Afbeelding 36 en 37 : Installatiemethode massiefbouw met pleisterwerk bij Van Den Bossche [37]

V ₅₀ [m³/hm]				Voegbreedte [mm]
Pleister				
Van Den Bossche				
	Overdruk	Gem	Onderdruk	
RP folie i	0,12	0,13	0,14	20
RP folie e	0,12	0,19	0,13	

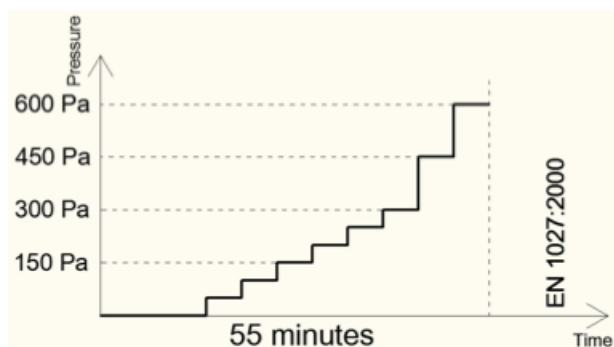
Tabel 10: Luchtverliezen pleister bij Van Den Bossche [41]

2.3 WATERDICHTHEID – VOORGAAND ONDERZOEK

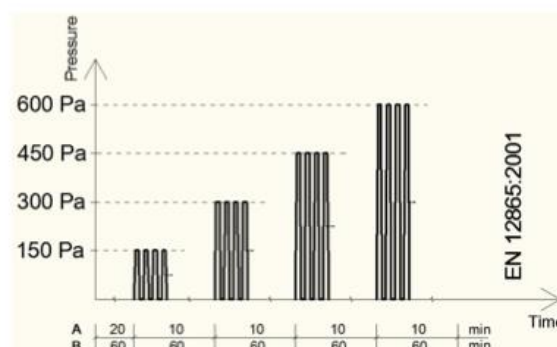
In publicaties over waterdichtheid worden vaak algemene principes over de verschillende methodes van waterdichting en drukmoderatie besproken. Informatie over de toepassing van deze waterdichtingsprincipes op componentniveau is echter zeldzaam. In het volgende deel wordt ingegaan op wat er al onderzocht en gepubliceerd werd over de waterdichtheid van een raamaansluiting. Eerst komen de verschillende testmethodes aan bod, waarna een kort overzicht gegeven wordt van een aantal studies over de waterdichtheid van raamaansluitingen.

2.3.1 TESTMETHODE

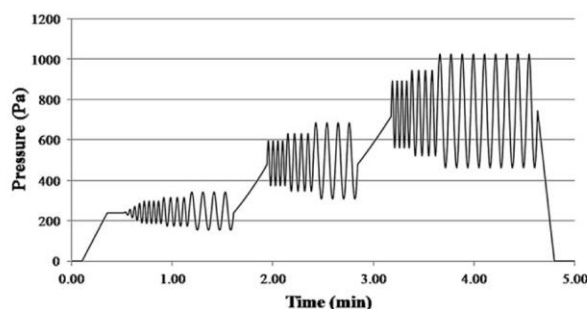
2.3.1.1 Bestaande testmethodes



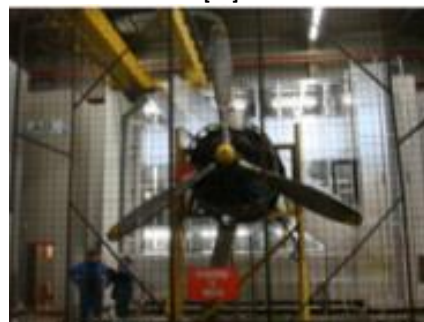
Afbeelding 38: verloop statische testmethode EN 1027:2000 [43]



Afbeelding 39: verloop cyclische testmethode EN 12865:2001 [44]



Afbeelding 40: dynamische testmethode voorgesteld door Salzano [45]



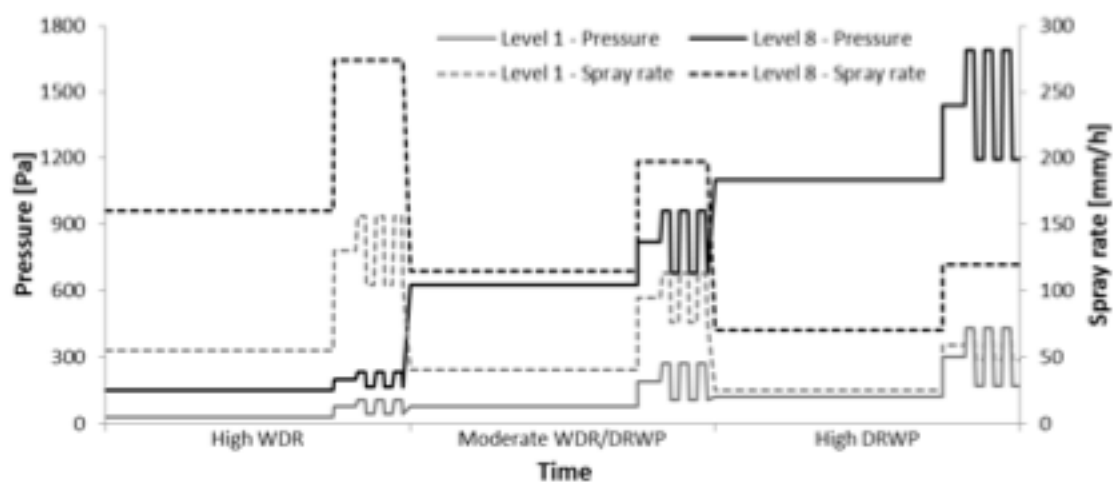
Afbeelding 4: afbeelding doctoraat N. Van Den Bossche [15]

Voor het testen van waterdichtheid op componentniveau is er geen standaard testmethode voorgeschreven. In hoofdzaak zijn er vier soorten testmethodes te onderscheiden: statisch, dynamisch, cyclisch en windtunnel testen.

In de paper van [46] worden deze methodes kort besproken en in vraag gesteld. Er wordt nagegaan of de bestaande testmethodes aansluiten bij de reële weersomstandigheden. Bij de statische, dynamische en cyclische testen worden water en wind als onafhankelijke parameters beschouwd. Wind wordt nagebootst door drukverschillen op te leggen met een ventilator, regen door een sproeisysteem. Bij windtunneltesten zijn deze parameters afhankelijk van elkaar, regendruppels worden in de luchtstromen van een ventilator geïnjecteerd. Hierdoor wordt de reële weersbelasting beter nagebootst. Windtunneltesten zijn echter zeer duur en moeilijk reproduceerbaar. In de paper stelt men ook de vraag of de klimaatparameters, wind en regen, echt onafhankelijk zijn. Uit analyses van klimaatgegevens blijkt dat de regenintensiteit lager is bij hoge windsnelheden, terwijl bij hoge regenintensiteit de windsnelheden lager zijn. De meetpunten worden gerelateerd met behulp van

een pareto-front. In navolging van deze bepaling wordt er ook een pareto-testmethode voorgesteld. Deze testmethode is echter gebaseerd op slechts twee databases van klimaatgegevens uit België en Nederland waardoor nog niet is aangetoond dat de methode universeel geldig en eenvoudig toepasbaar is.

Door de onzekerheden bij de recent ontwikkelde pareto-testmethode, wordt er nog vaak een beroep gedaan op de dynamische en statische testmethode. Hierbij dient vermeld te worden dat de waterdebieten bij deze testmethodes veel hoger liggen dan de reële weersomstandigheden. Door de eenvoudige toepasbaarheid van de statische en dynamische testmethode, worden deze echter vaak gehanteerd. Door het testobject bovendien te onderwerpen aan beide testprocedures, statisch en dynamisch, elk met hun eigen sproeidebieten en drukverloop, wordt het object aan verschillende klimaatparameters onderworpen en kunnen andere faalmechanismen optreden.



Afbeelding 41: testverloop Pareto- testmethode (Doctoraat N. VAN DEN BOSSCHE)

Het gaat te ver om diep in te gaan op deze verschillende testmethodes en berekeningen van klimaatparameters, meer gedetailleerde informatie kan gevonden worden bij Sahal en Lacasse [31] en N. Van Den Bossche [13].

2.3.3.2.kwalitatieve of kwantitatieve methode

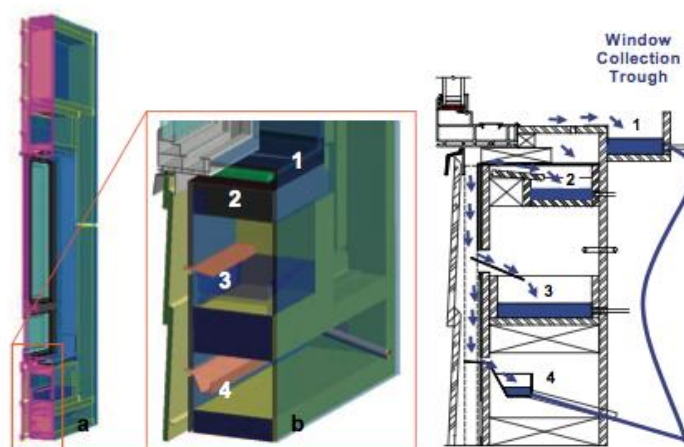
In eerder onderzoek aan de universiteit van Gent [47] werd de waterdichtheid van raamaansluitingen in massiefbouw onderzocht. Hier werden een aantal ramen geïnstalleerd in een spouwmuur en onderworpen aan een luchtdichtheidsproef gevolgd door een waterdichtheidstest. Door beide testen uit te voeren werd de relatie tussen lucht- en waterdichtheid onderzocht. Verder werd er ook onderzoek uitgevoerd naar de verschillende methodes om slagregen te simuleren. Zo was het de bedoeling iedere aansluiting te onderwerpen aan 3 testprocedures: statisch – dynamisch en pareto. Door de verschillende testprocedures toe te passen konden de verschillende testmethodes vergeleken en geëvalueerd worden. De pareto testmethode kon echter niet uitgevoerd worden doordat de testapparatuur hier niet voor uitgerust was. Bovendien werd bij weinig aansluitingen waterinfiltratie opgemerkt, hierdoor was het moeilijk een correcte vergelijking van de verschillende methodes te maken. In enkele gevallen was er waterinfiltratie bij de dynamische test en niet bij de statische. Verhoijzen concludeert hieruit dat er bij dynamische tests andere faalmechanismen spelen dan bij statische tests. Verder bleven de watertesten in het onderzoek van Verhoijzen beperkt tot een visuele inspectie. Hierbij werd de druk waarbij

waterinfiltratie optrad genoteerd alsook de plaats waar het water de aansluiting binnendrong. Om visueel te kunnen vaststellen waar en wanneer er water infiltreerde werden enkele vereenvoudigingen aan het luchtscherm doorgevoerd, zo werd het multiplexkader vervangen door een plexi-kader. Aan de hand van de druk waarbij waterinfiltratie optrad werden de verschillende aansluitingen vervolgens geclassificeerd.

De methode van visuele inspectie hanteert een '*pass- fail criterium*'. Op het eerste zicht lijkt dit een logisch criterium. Water mag niet infiltreren in de raamaansluiting, hierbij kan echter de vraag gesteld worden of het erg is dat er een beperkt hoeveelheid water binnenkomt tijdens bijvoorbeeld een uitzonderlijke klimaatgebeurtenis zoals een zware storm die één keer om de 30 jaar voorkomt. Of dit schadelijk is hangt af van verschillende factoren waaronder de droogcapaciteit, de vochttolerantie van de constructie en de hoeveelheid water die infiltreert. Om meer informatie over deze hoeveelheid waterinfiltratie te krijgen is er een testmethode nodig waarbij de hoeveelheden infiltratiewater gekwantificeerd kunnen worden.

In Canada werd door de National Research Council [48] een testmethode ontwikkeld waarbij de hoeveelheid waterinfiltratie begroot werd. In eerste instantie werd het testobject, net als bij [47] onderworpen aan een visuele inspectie. Ook hier werd een doorzichtig plexikader als luchtscherm gebruikt. Op deze manier konden de meest kritieke punten voor waterinfiltratie in de raamaansluiting vastgesteld worden. In tweede instantie voerde men een kwalitatieve test uit. Hierbij trachtte men informatie over de hoeveelheid infiltratiewater bij specifieke klimaatomstandigheden in te winnen. De kwantificatie gebeurde door het water dat de muur binnendrong op te vangen in een aantal gootjes. Door verschillende gootjes te voorzien kon de hoeveelheid infiltratiewater bekeken worden voor verschillende infiltratiepaden. Het water werd in vier verschillende gootjes verzameld (zie ook afbeelding 6) :

- In goot 1 wordt het water verzameld dat binnenkomt tussen het glas en het raamkader.
- Water dat accumuleerde aan de basis van het raam en niet draineerde werd opgevangen in goot 2.
- Het water dat wel draineerde aan de basis van het raam werd opgevangen in goot 3.
- Water dat voorbij het regenscherm kwam werd opgevangen in goot 4.



Afbeelding 6: Plaats verzamelgootjes bij onderzoek NRC (NRC 2008)

Op deze manier kon de hoeveelheid infiltratiewater in functie van het opgelegde drukverschil, het regendebiet en de luchtdichtheid gekwantificeerd worden. Resultaten van dit onderzoek worden in een volgend onderdeel besproken (3.2. aansluitingen).

2.3.3.3 Normen België

In wat volgt worden de Belgische normen voor waterdichtheid van raamaansluitingen bekeken. Voor raamaansluitingen is er echter geen specifieke testprocedure voorgeschreven. Er bestaat wel een norm over de waterdichtheid van ramen en deuren – de beproevingsmethode NBN EN 1027 [43] met bijhorende classificatie NBN EN 12208 [49]. Verder is er ook een testprocedure voor gevels voorgeschreven in NBN EN 12865 [44].

De waterdichtheid van ramen en deuren – de beproevingsmethode NBN EN 1027 [43] en de classificatie NBN EN 12208 [49]

In de tekst staat uitdrukkelijk vermeld dat de norm enkel van toepassing is op deuren en ramen, de aansluiting van het raam met de wand valt hier dus niet onder. Doordat echter de raamaansluiting aan dezelfde weersomstandigheden als deuren en ramen wordt blootgesteld, wordt de norm hieronder kort besproken.

In de test wordt de gevel besproeid met een constant debiet van 2 l/min.m^2 , terwijl de druk met regelmatige intervallen toeneemt. Het besproeien van het testobject met water begint bij een beproevingsdruk van 0 Pa, dit wordt 15min aangehouden, daarna wordt de beproevingsdruk iedere 5 min verhoogd met 50 Pa, vanaf 300 Pa verhoogt de druk in stappen van 150 Pa. Tijdens de proef wordt de druk waarbij water infiltreert en de plek waar er water infiltreert geregistreerd. Aan de hand van deze gegevens worden de ramen/ deuren ingedeeld in verschillende klassen volgens de norm EN 122 08.

Test pressure	Classification		Specifications
$P_{\max}$ in Pa ^{a)}	Test method A	Test method B	
-	0	0	No requirement
0	1A	1B	Water spray for 15 min
50	2A	2B	As class 1 + 5 min
100	3A	3B	As class 2 + 5 min
150	4A	4B	As class 3 + 5 min
200	5A	5B	As class 4 + 5 min
250	6A	6B	As class 5 + 5 min
300	7A	7B	As class 6 + 5 min
450	8A	-	As class 7 + 5 min
600	9A	-	As class 8 + 5 min
> 600	Exxx	-	Above 600 Pa in steps of 150 Pa, the duration at each step shall be 5 min
NOTE : Method A is appropriate for product which are fully exposed			
Method B is appropriate for product which are partially shielded			
^{a)} After 15 min at zero pressure and 5 min at subsequent steps.			

Tabel 11: classificatie van waterdichtheid van ramen volgens NBN EN 12208 [49]

Bovenstaande testprocedure is dus gebaseerd op visuele inspectie van het testobject. Er wordt een '*pass-fail*' criteria toegepast. Vanaf het ogenblik dat er water infiltreert wordt de test stopgezet.

NBN B25-002-1 Buitenschrijnwerk

In de norm NBN B 25-002-1 [50] worden een aantal minimeisen voor prestaties van buitenschrijnwerk opgelegd. De minimeisen worden aan de hand van 2 criteria bepaald, nl. waterdichtheidsklasse [49] en de luchtdichtheid van het raam. De combinatie van beide factoren bepaald aan welke weersbelasting het raam blootgesteld mag worden. De weersbelasting is afhankelijk van een aantal factoren nl. de omgeving van het gebouw en de hoogte waarop het raam zich bevindt. In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven.

Ruwheid v.h. terrein Vereiste klassen	Stad IV	Bosrijk geb. III	Platteland II	Kust (i) I
0 - 10 meter vanaf het maaiveld				
Luchtdoorlatendheid ³⁾ NBN EN 12207	3 ¹⁾	3 ¹⁾	3 ¹⁾	3
Waterdichtheid ⁴⁾ NBN EN 12208	4A ²⁾	4A ²⁾	6A ²⁾	8A
Weerstand tegen windbelasting NBN EN 12210	C2	C2	C3	C3
10 - 18 meter vanaf het maaiveld				
Luchtdoorlatendheid ³⁾ NBN EN 12207	3 ¹⁾	3 ¹⁾	3 ¹⁾	3 ¹⁾
Waterdichtheid ⁴⁾ NBN EN 12208	4A ²⁾	6A ²⁾	8A ²⁾	9A
Weerstand tegen windbelasting NBN EN 12210	C2	C3	C3	C3
18 - 25 meter vanaf het maaiveld				
Luchtdoorlatendheid ³⁾ NBN EN 12207	3 ¹⁾	3	3	3
Waterdichtheid ⁴⁾ NBN EN 12208	6A ²⁾	8A	9A	9A
Weerstand tegen windbelasting NBN EN 12210	C2	C3	C3	C3
25 - 50 meter vanaf het maaiveld				
Luchtdoorlatendheid ³⁾ NBN EN 12207	3	3	3	4
Waterdichtheid ⁴⁾ NBN EN 12208	6A ²⁾	8A	9A	9A
Weerstand tegen windbelasting NBN EN 12210	C3	C3	C4	C4
50 - 100 meter vanaf het maaiveld				
Luchtdoorlatendheid ³⁾ NBN EN 12207	3	4	4	4
Waterdichtheid ⁴⁾ NBN EN 12208	8A	Exxx 5)	Exxx 5)	Exxx 5)
Weerstand tegen windbelasting NBN EN 12210	C3	C4	C4	C5
> 100 meter vanaf het maaiveld				
Luchtdoorlatendheid NBN EN 12207	5)			
Waterdichtheid ⁴⁾ NBN EN 12208	Exxx 5)			
Weerstand tegen windbelasting NBN EN 12210	Exxx 5)			

Tabel 12: minimumprestaties buitenschrijnwerk in functie van toepassing [50]

Thermisch gedrag en vochtwering van gebouwen en bouwelementen - Bepaling van de weerstand van buitengevelsystemen tegen slagregen onder pulserende luchtdruk - NBN EN 12865 [44]

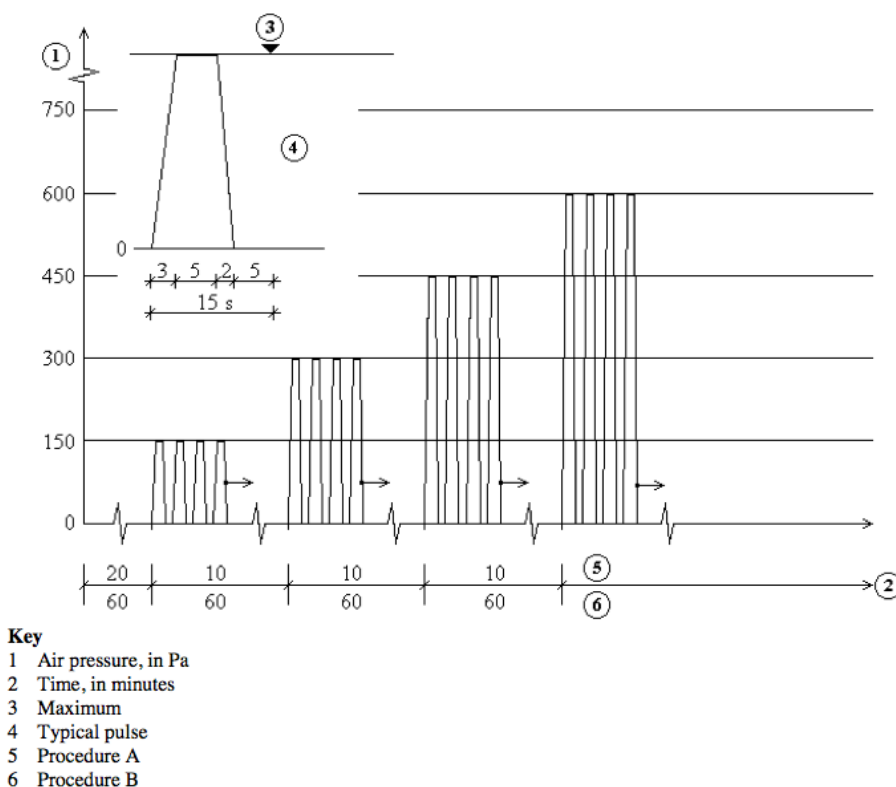
In de tweede norm wordt een andere testprocedure voorgeschreven. Hier tracht men de dynamische aard van wind en regen op een vereenvoudigde wijze te simuleren door pulserende luchtdrukverschillen op de gevel uit te oefenen.

Het proefexemplaar wordt onderworpen aan een constante hoeveelheid neerslag, terwijl de luchtdruk pulseert en toeneemt in verschillende stappen. Eerst wordt het testexemplaar onderworpen aan een hoeveelheid water met een constant debiet zonder een drukverschil.

Na deze initiële periode zonder drukverschil start het pulseren van de luchtdruk. De amplitude van de pulsen vergroot in de tijd. Iedere pulsatie bestaat uit 4 fases:

- Een stijging van de druk gedurende 3 ± 1 s
- Een maximale druk gedurende 5 ± 1 s
- Een drukval van 2 ± 1 s
- Een fase waarin het drukverschil 0 Pa is gedurende 5 ± 1 s.

De totale duur van één pulsatie bedraagt (15 ± 2 s). Het verloop van de test wordt hieronder grafisch weergegeven.



Afbeelding 42: testverloop NBN EN 12865

In deze testprocedure wordt de gevel besproeid met een constant debiet van $1,5 \text{ l/min.m}^2$, ook het aflopend water, *run-off* water, wordt gesimuleerd. Dit gebeurt door bovenaan het proefstuk water te spuiten met een debiet van $1,2 \text{ l/min.m}$.

Verder wordt er een onderscheid gemaakt tussen een kwalitatieve en een kwantitatieve test. Bij de kwalitatieve test worden de tijd en druk waarbij waterinfiltratie plaatsvindt, genoteerd. Wanneer men de kwantitatieve test wil uitvoeren dient het testobject voor en na de test gewogen te worden. Op deze manier kan bepaald worden hoeveel water er, na de proef, in de gevel achtergebleven is. Afhankelijk van de keuze voor een kwalitatieve test of kwantitatieve heeft de test een ander verloop. Bij de kwalitatieve test wordt het testobject eerst 20 min blootgesteld aan regen, zonder drukverschil, hierna worden de pulsaties aangelegd, iedere 10 min wordt de maximale druk van de pulsatie verhoogd. Bij de

kwantitatieve test wordt het object eerst 60 min besproeid met water zonder drukverschil, hierna worden de pulsaties opgelegd, ieder drukinterval wordt een uur aangehouden.

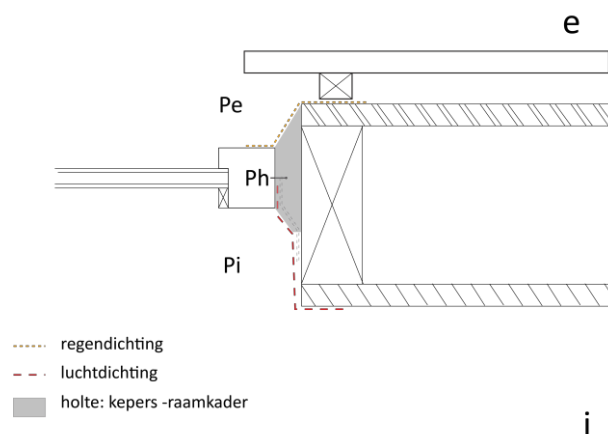
Het is opmerkelijk dat de testprocedure van beide normen zo ver uiteen ligt. Uiteindelijk kunnen het raam en de gevel in hetzelfde gebouw geplaatst worden en zullen ze aan dezelfde klimaatomstandigheden blootgesteld worden. In de testprocedure wordt echter een ander waterdebiet en een geheel verschillend drukverloop voorgeschreven. N. Van Den Bossche stelt in zijn doctoraat [13] dat de statische testmethode minder representatief lijkt voor de reële weersomstandigheden. In de realiteit zullen er door turbulentie van de wind rond het gebouw drukstoten op de raamaansluiting uitgeoefend worden, deze kunnen in de statische test niet gesimuleerd worden. De statische test heeft dan weer het voordeel dat er een eenvoudige classificatie mogelijk is. Doordat de druk in kleine stappen opgebouwd wordt kan er nauwkeurig vastgesteld worden bij welke druk er waterinfiltratie optreedt, op basis van deze druk wordt een klasse toegewezen aan het raam. Het lijkt dus aangewezen beide testmethodes te gebruiken.

2.3.2 AANSLUITINGEN

In onderstaand gedeelte wordt eerst een kort overzicht gegeven van enkele studies die verschillende principes uiteenzetten om een waterdichte aansluiting te verwezenlijken. Hierna worden 2 onderzoeken van naderbij bekeken.

2.3.2.1 Concepten waterdichte aansluiting

Uit verschillende papers blijkt dat er net zoals bij de waterdichtheid van wanden ook verschillende concepten zijn om de waterdichtheid van een raamaansluiting te verzekeren. (3.2.2. concepten voor waterdichtheid) . In de wandopbouw van houtskeletwoningen worden in hoofdzaak twee principes toegepast: de ééntrapsdichting of *face sealed* muuropbouw en de spouwmuur. Hierbij dient opgemerkt te worden dat wanneer de gevel bestaat uit metselwerk, er een combinatie van 2 concepten is, namelijk spouw en massa-opslag. [15]



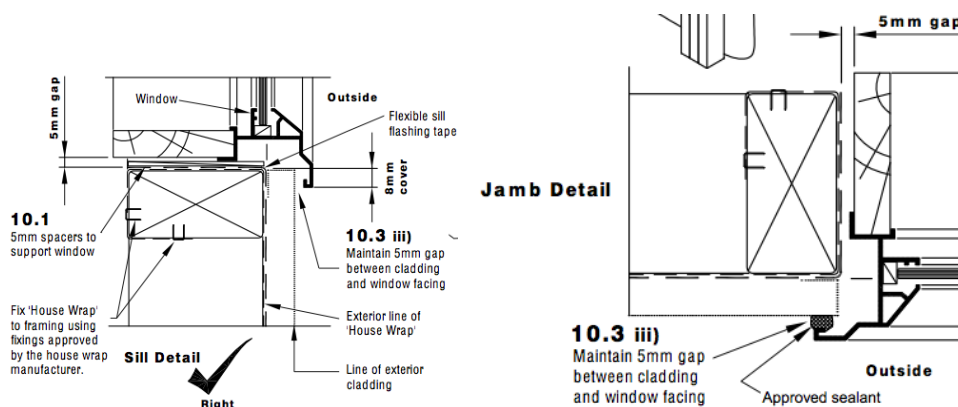
Afbeelding 43: Concepten waterdichte aansluiting

Finn [51] stelt dat de concepten voor de regendichtheid voor wanden ook gelden voor aansluitingen, er zijn dus *rain screen joints* en *face-sealed joints*. Volgens Finn is de laatste het meest vatbaar voor waterinfiltratie. Door een drukverschil kan er water door een opening in de afdichting gestuwd worden. Verder kan geïnfiltreerd water niet draineren waardoor er schade kan ontstaan.

In de paper van Salzano, et al [45], concludeert Salzano dat de beste prestaties van een raamaansluiting bereikt worden wanneer de muur en de raamaansluiting een consistent regenafwerking-systeem delen. Dit betekent dat de *face-sealed joint* in bepaalde gevallen beter zou presteren dan de *rain-screen joint*. Deze conclusie volgt uit een onderzoek waarbij 18 raamaansluitingen onderworpen werden aan 3 verschillende testprocedures: statisch – cyclisch – dynamisch. Er kunnen echter een aantal vraagtekens bij het onderzoek van Salzano geplaatst worden. Zo was de opstelling niet aangepast om de methode van visuele inspectie mogelijk te maken. In tegenstelling tot bij Verhoijzen [47] en CNRC [48] werd het luchtscherm niet vervangen door een doorzichtig materiaal. Hierdoor kon niet achterhaald worden waar het infiltratiewater precies vandaan kwam. In de paper wordt ook nergens een verklaring gegeven waarom bepaalde aansluitingen beter zouden presteren in een bepaalde wand. Hierdoor zijn de conclusies weinig onderbouwd en kan de vraag gesteld worden of een *face-sealed joint* effectief beter presteert dan een *rain-screen joint* in een gevel met eentrapsdichting.

In een publicatie van Window Association of New-Zealand [52] werd een alternatieve methode ontwikkeld om een raam te installeren, Window Installation System (WIS). Hierbij werd beroep gedaan op de principes van drukmoderatie. Met deze methode wil men waterinfiltratie door installatiefouten vermijden. De methode schrijft geen continue voegafdichting voor, maar past het principe van drukegalisatie toe. Door de onderste voeg open te laten kan de druk snel modereren, bovendien kan infiltratiewater makkelijk draineren. Het systeem werd voorgesteld voor een houtskeletbouwconstructie met plaatbekleding. Het installatieproces bestaat uit een aantal verschillende stappen.

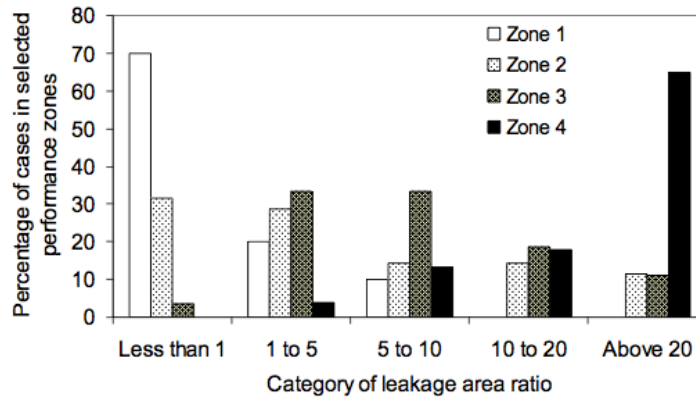
- Eerst wordt het houten skelet ingepakt door het regenscherm naar binnen te plooien. In de hoeken en aan de onderzijde wordt een bijkomend flexibel membraan geplaatst.
- Bij de installatie van het raam moet een voeg van 5mm tussen raam en structuur behouden worden. De voegen aan de zijkant en aan de bovenkant worden afgedicht, de onderste voeg blijft open.
- Aan de binnenzijde moet de voeg over het hele raam continu luchtdicht afgesloten worden.
- Achteraf installeert men een drainagemembraan boven het raam en de dorpel.



Afbeelding 44: detail aansluiting raam bij WANZ: snede onder en plan (WANZ)

Basset, Burges en Camilleri [53] testten het voorgaande WIS principe. In het onderzoek worden een aantal parameters gevarieerd: één ervan was de verhouding van de oppervlakte aan openingen in de

regendichting ten opzicht van de oppervlakte openingen in het luchtdichtingsmembraan. De testresultaten werden gekoppeld aan 4 klimaatzones opgesteld voor Nieuw- Zeeland. Deze zijn voornamelijk afhankelijk van de winddruk. Raamaansluitingen die behoren tot zone 1 kunnen dus enkel toegepast worden in zones met lage druk, klimaatzone 4 komt overeen met hoge winddrukken.



Afbeelding 45: het falen van de raamaansluiting ivf de verhouding oppervlakte gaten in regenscherm tov oppervlakte gaten in luchtscherm (BASSET)

Uit het onderzoek blijkt dat aansluitingen, waarbij er een lage verhouding lekkage-openingen is, falen bij lage drukken. Wanneer deze verhouding laag is zal er een groot drukverschil over de regendichting aangrijpen. Dit drukverschil is een drijvende kracht voor waterinfiltratie. Uit het onderzoek blijkt dat de verhouding van oppervlakte-openingen regenscherm ten opzicht van de oppervlakte van openingen in de luchtdichtheid groter moet zijn dan 10:1.

2.3.2.2 Voorgaand onderzoek

Aan de universiteit van Gent deed Verhoijzen onderzoek naar de waterdichtheid van raamaansluitingen in massiefbouw [47]. Hierbij werd het raam achter een neg in de spouw geplaatst. De installatie van de ramen werd uitgevoerd door professionele installateurs. In de proeven werd de invloed van luchtdichting, bevestigingswijze en installatiefouten nagegaan. De installatiefouten hadden betrekking op:

- Voegafdichting tussen het façademetselwerk en het raamkader;
- Plaatsing dorpel;
- PUR-schuim in aanraking met de façadesteen.

Hieronder is een overzicht opgenomen van de uitgevoerde testen en resultaten:

Opstelling					Waterdichtheid			Luchtdichtheid			
Test	Bevestiging	Luchtdichtheid Uitvoering	Buitenste voegdichting	Dorpel	Testprocedure			Water.- klasse	Q50 (m³/m.h)	Fout. (%)	Lucht.- klasse
					Statisch	Dynamisch	Pareto				
1	Raam- ankers	Folie	Zwelband	Aluminium goede plaatsing	-	-	-	E750	0,14	9,03	4
2		Scheuren in folie			-	-	-	E750	1,22	32,78	2
3		Omlijsting			-	-	-	9A	1,11	9,19	3
4				Opening in onderste hoek	-	-	9A				
5				Zonder extra folie	-	-	9A				
5b				Zonder opstandjee	-	-	9A				
6		Scheuren Zwelband	Zonder extra folie	450	0-300	7A					
7				Slechte voeg omlijsting	-	0-300	E750	3,88	11,15	2	
8		Omlijsting	Geen Zwelband	-	-	9A					
8b			PU-Schuim	0	0	1A					
9		Slechte voeg omlijsting	Geen Zwelband	-	-	9A					
9b			PU-Schuim	0	0-150	1A					
10		Geen (PU-Schuim)	Zwelband	Aluminium goede plaatsing	200	0-150	Ja	4A	24,93	11,11	(0)
11		Geen	Geen	Multiplex	50	0-150	Ja	1A			
12	Multiplex	Kader + Zwelband	Zwelband	Aluminium goede plaatsing	600	-	-	8A	0,58	7,41	3

Tabel 13: testresultaten A. VERHOIJSEN

Uit het onderzoek van Verhoijzen kwamen een aantal opmerkelijke conclusies naar voor. Zo had de luchtdichtheid minder invloed op de waterdichtheid dan verwacht. Enkel indien de luchtdichtheid extreem slecht was of er geen luchtdichtheid was, was er (meer) waterinfiltratie. Doordat dit zo weinig invloed had was het moeilijk de invloed van drukmoderatie te onderzoeken. Het plaatsen van een voegafdichting tussen raam en gevel en het al dan niet correct installeren van de dorpel bleek ook weinig invloed te hebben. Pur-schuim had dan weer wel een invloed op de regendichting. Wanneer het schuim tot tegen het buitenspouwblad kwam, trad er waterinfiltratie op. Tussen het schuim en het raamkader waren er namelijk kleine kanaaltjes die water naar binnen leidden. Vooral in de buurt van de raamankers en hoeken was dit duidelijk merkbaar. Er dient dus voldoende aandacht uit te gaan naar het zorgvuldig aanbrengen van het PUR-schuim. Verhoijzen stelt vast dat er bijna nooit water binnenkomt in een raamaansluiting wanneer het raam geplaatst is in de spouw achter een neg.

In het onderzoek van NRC [48] werden vier verschillende raamaansluitingen onderworpen aan een reeks testen. De aansluitingen waren verschillend in het type raamkader, het type raam en het type muur. De variaties werden gekozen op basis van regionale verschillen voor de installatiemethode in Noord Amerika. Hieronder is een overzicht van de verschillende onderzochte aansluitingen weergegeven.

Specimen	Window Frame	Window Type*	Wall Type / Siding Installation	Variation (determine effect of)
----------	--------------	--------------	---------------------------------	---------------------------------

W1	Box (Non-flanged)	Fixed	Rainscreen wall – clear cavity behind siding	Extra seal at junction of jambs and head of window R.O.**
W2	Flanged	Fixed	Concealed barrier wall – no clear cavity	Changes in protection of R.O.; back dam at subsill
W3		Combination - Operable sliding (upper) / Fixed (lower)	Rainscreen wall – clear cavity behind siding	Two subsill drainage methods for flat sill: Sit A and Sit B
W4			Concealed barrier wall – no clear cavity	Sealing sheathing membrane to window flange

*All windows were fabricated of PVC; **R.O. : rough opening
Tabel 14: samenvattende tabel testobjecten (NRC 2008)

In de testopstelling werden telkens twee ramen naast elkaar geïnstalleerd, het raam aan de linkerkant werd geïnstalleerd volgens het bijhorend detail. De raamaansluiting rechts is een variatie op dit detail.

De gebruikte testprocedure werd ontwikkeld om de luchtdichtheid, het drukverloop over de wand en de hoeveelheid infiltratiewater te meten. Hieronder volgt een kort overzicht van de testprocedure

Testprocedure NRC [48]

- In eerste instantie werd de luchtdichtheid gemeten bij een drukverschil van 75 Pa. Door een aantal gaten te introduceren in het luchtscherm en deze opnieuw te dichtten konden testen uitgevoerd worden voor 3 klassen van luchtdichtheid. Zo kon de invloed van luchtdichtheid op waterdichtheid bestudeerd worden.
- Aan de hand van een aantal druksensoren in de wand werd de drukmoderatie in de wand gemeten. Zo kon men nagaan waar het drukverschil over de wand het grootst was en of dit een invloed had op de hoeveelheid infiltratiewater.
- In de waterdichtheidstesten liet men twee klimaatparameters variëren, druk en regenintensiteit. Het waterdebiet varieerde tussen 0,4 L/s-m² en 3,4 L/s-m². De druk tussen 0 en 1000 Pa. De testen werden zowel met een statisch en een dynamisch drukverloop uitgevoerd.

Op deze manier wilde men de invloed van de luchtdichtheid en de invloed van de plaats van het grootste drukverschil over de wand, op het infiltratiedebiet nagaan. De waterdichtheidstesten hielden verder ook rekening met de uitvoering van installatie, zo werden de testen opgedeeld in twee grote delen : *water entry tests* en *water penetration tests*. Bij de *water entry tests* werd het raam getest in normale omstandigheden. In een tweede reeks testen, '*water penetration tests*', werden een aantal gebreken in de aansluiting geïntroduceerd. Deze gebreken vertegenwoordigen een aantal vaak voorkomende installatiefouten en gebreken door slecht onderhoud en veroudering.

Bij het bekijken van de resultaten dient opgemerkt te worden dat deze voornamelijk van toepassing zijn op *flanged windows*. Dit is een type raamkader dat vaak gebruikt wordt in Amerika. Bovendien is de wandopbouw in bovenstaand onderzoek helemaal verschillend van de opbouw van een

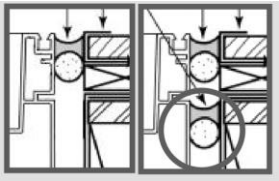
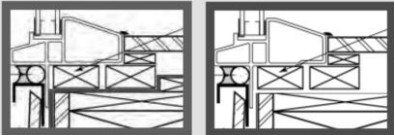
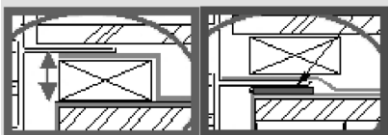
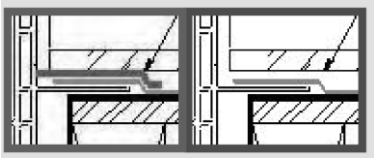
houtskeletwand bij ons. Het regenscherm wordt er immers rond de raamopening naar binnen geplooid. Hierdoor is het minder schadelijk als water ter hoogte van de keper terecht komt. Het water komt op de folie terecht en maakt geen contact met het hout, waardoor dit niet beschadigd kan worden. Dit principe is analoog aan de installatiemethode van het window installation system, WIS [52]. Bij ons is dit systeem niet mogelijk doordat er isolatie wordt voorzien in de holte tussen het raam en de kepers, dit om koudebruggen te vermijden. Wanneer we water zouden toelaten tot de kepers zou de isolatie nat worden, wat een negatieve invloed heeft op de isolerende waarde. Verder wordt de winddichting in dergelijke opstelling aan de binnenzijde voorzien, de afsluiting aan de buitenzijde is niet winddicht waardoor er koude lucht van buiten in deze holte kan stromen, dit kan energieverliezen (wind washing) of condensatie veroorzaken. Voor meer informatie rond dit onderwerp wordt verwezen naar de paper van [54].



Afbeelding 46: naar binnen vouwen van het regenscherm (NRC 2008)

Ondanks de grote verschillen in de bouwpraktijk zijn er een aantal algemene principes uit het onderzoek die ook bij ons tot een verbetering van de prestaties van raamaansluitingen kunnen leiden. Zo blijkt uit de studie dat de luchtdichtheid een belangrijk invloed heeft. Het meest luchtdichte vlak mag niet samen vallen met het regenscherm. Op deze manier wordt het drukverschil over de regendichting beperkt en zal ook de drijvende kracht voor water gereduceerd worden. Om dezelfde reden is het beter de buitenste voeg niet luchtdicht af te sluiten. Verder werd de drukval over het regenscherm van de aansluiting bekeken in natte en droge situatie. Hieruit bleek dat deze groter is in natte omstandigheden. Door oppervlaktespanning, cohesie en adhesie vult het water de kleine gaatjes waardoor de drukval over de aansluiting groter wordt.

Het sproeidebiet blijkt minder invloed te hebben in de grootte van infiltratiedebieten. Wanneer er grotere sproeidebieten opgelegd worden vertaalt dit zich niet automatisch in hogere infiltratiedebieten. Het infiltratiedebiet is in eerste instantie afhankelijk van het falingsmechanisme.

	ml/min*	Waterdebiet			Druk bij infiltratie (Pa)	
		0,8	1,6	3,4		
W1	W1 - V					 V B
	Luchtdichtheid 0,3	0	0	15	200	
	Luchtdichtheid 0,8**					
	W1 - B					
	Luchtdichtheid 0,3	10	20	0	500	
W2	W2 - V					 V B
	Luchtdichtheid 0,3	0	0	0	/	
	Luchtdichtheid 0,8	0	0	0	/	
	W2 - B					
	Luchtdichtheid 0,3	0	0	0	/	
W3	W3					 V B
	W3 - V					
	Luchtdichtheid 0,3	0	0	0	/	
	Luchtdichtheid 0,8	0	0	0	/	
	W3 - B					
W4**	W4 - V					 V B
	Luchtdichtheid 0,3	50	350	420	0	
	Luchtdichtheid 0,8	70	350	800	0	
	W4 - B					
	Luchtdichtheid 0,3	50	400	402	0	
	Luchtdichtheid 0,8	0	370	1070	0	

* voor een drukverschil van 700 Pa, voor locatie 2, waarden indicatief want afgeleid uit grafieken

** test maar uitgevoerd tot 300 Pa

*** Verandering in water-opvangsysteem

Naast de algemene principes die afgeleid kunnen worden voor de waterdichtheid van een aansluiting is er in het onderzoek een gebrek aan interpretatie van resultaten. Aan het einde van het onderzoek worden de resultaten niet vergeleken, nochtans verwacht je een vergelijking van de prestaties van de verschillende aansluitingen, deze vergelijking ontbreekt echter. De waarden uit bovenstaande tabel werden uit grafieken van het onderzoek gehaald. Deze dienen eerder als indicatie van grootte-orde dan absolute waarden. In het onderzoek ontbreekt de interpretatie van deze waarden.

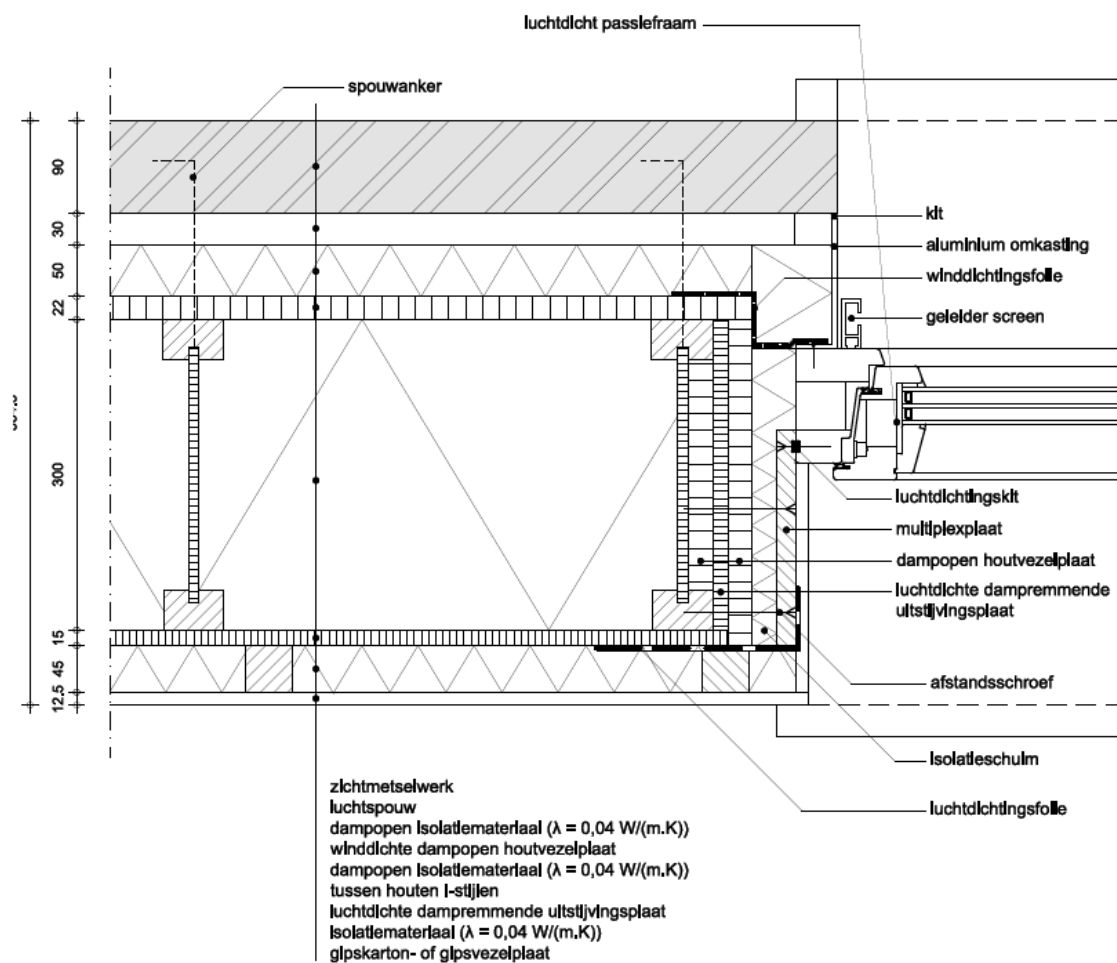
2.4 DETAILLERING VAN RAAMAANSLUITINGEN - REFERENTIES

Om een gefundeerde keuze van de raamaansluitingen, die aan proeven onderworpen zullen worden, te maken werd nagegaan welke aansluitingsmethodes er vaak toegepast worden in België. Hiervoor is contact opgenomen met verschillende bedrijven en instanties [55] [56] [57] [58] [59] [60]. In de referentiedetails van PHP, WTCB wordt altijd gebruik gemaakt van een multiplexkader als bevestigingsmethode. Mogelijks beschouwt men deze installatiemethode als de beste oplossing. BCCA bevestigt echter dat in de praktijk, ook bij houtskeletbouw, vaak gewerkt wordt met raamankers, die traditioneel in massiefbouw toegepast worden. Dit valt waarschijnlijk te verklaren doordat de meeste schrijnwerkers vertrouwd zijn met het systeem van raamankers. Er is dus een tegenstelling tussen de aansluitingen voorgeschreven in de theorie en deze toegepast in de praktijk.

De luchtdichtheid van een houtskeletwand wordt in België doorgaans gerealiseerd door een beplating die de verstijving van de constructie verzekert. WTCB [61] stelt dat men hiervoor meestal OSB-platen, spaanplaten of houtvezelcementplaten gebruikt. Om condensatie te vermijden wordt de luchtdichting best aan de binnenzijde van de wand geplaatst. Verder wordt het gebruik van een leidingsspouw sterk aangeraden. Hierdoor verkleint het risico dat het luchtscherm doorboord wordt wanneer de leidingen geplaatst worden, maar ook bij het ophangen van een kadertje kan het luchtscherm niet aangetast worden.

Het regenscherp kan op twee wijzen gerealiseerd worden. Er kan een regenfolie aangewend worden of er kan gebruikt gemaakt worden van een winddichte damp open houtvezelplaat, deze plaat wordt geïmpregneerd om waterdicht te zijn. De gebitumineerde houtvezelplaat heeft het voordeel dat deze een isolerende waarde heeft waardoor de koudebrugwerking van de kepers beperkt wordt.

Onderstaand detail is een voorbeeld van een raamaansluiting die opgesteld werd door het passief huisplatform en stad Gent [55].



Afbeelding 47: Voorbeeld referentie-installatiemethode : PHP, VIBE en stad Gent, 2010. [56]

DEEL 2: EXPERIMENTEEL ONDERZOEK

DOELSTELLING

Eenvoudig gesteld wil het experimentele luik een antwoord bieden op volgende vraag:

‘Hoe lucht- en waterdicht is de hedendaagse raam- aansluiting in België?’.

Uit het literatuuronderzoek blijkt dat er al meer onderzoek naar luchtdichtheid van raamaansluitingen uitgevoerd is dan er onderzoek naar waterdichtheid plaatsgevonden heeft. Studies over luchtdichtheid van raamaansluitingen tonen aan dat de luchtdichtheid afhankelijk is van de bevestigingsmethode van het raam en de installatiewijze van de luchtdichtheidsmethode. In het experimentele luik willen we beide aspecten nagaan. Enerzijds wordt de invloed van de bevestigingsmethode onderzocht. Anderzijds wordt onderzocht hoe uitvoeringsgevoelig bepaalde hedendaagse luchtdichtheidsoplossingen zijn.

In het weinige onderzoek over raamaansluitingen wordt vaak getest op basis van een visuele inspectie, waarbij een *pass/fail* criterium wordt gehanteerd. Het is vanzelfsprekend dat er beter geen water in de aansluiting terechtkomt, maar de vraag kan gesteld worden welke debieten toelaatbaar zijn. Dit hangt af van de droogcapaciteit, de vochttolerantie van de constructie en de hoeveelheid water die infiltreert. Hierdoor is het interessant een inschatting te kunnen maken van de hoeveelheid water die binnenkomt. Er werd echter slechts één onderzoek gevonden waarbij de hoeveelheid infiltratiewater gekwantificeerd wordt. Dit leidt meteen naar de vraag om een testmethode te ontwikkelen waarbij de hoeveelheid waterinfiltratie gekwantificeerd kan worden. Verder blijken er een aantal onduidelijkheden over de invloed van bepaalde parameters op de waterdichtheid van een raamaansluiting te bestaan.

Een eerste parameter die vaak vermeld wordt is de invloed van luchtdichtheid. Hoewel er al veel geschreven is over dit onderwerp werd hier nog maar weinig onderzoek naar gedaan. In het experimenteel onderzoek zullen we aan de hand van reële luchtdichtheidsoplossingen de invloed van luchtdichtheid op waterdichtheid nagaan. Een tweede parameter is de bevestigingsmethode van het raam. Er blijkt immer een groot verschil te zijn in details van raamaansluitingen die in publicaties terug gevonden worden, details uit de theorie, en de details die in de praktijk toegepast worden. In het onderzoek wordt nagegaan of de details voorgesteld in publicaties effectief betere prestaties opleveren dan de installatiemethode uit de praktijk.

Een derde parameter is de positie van het raam. In het bestaand onderzoek wordt vaak gebruik gemaakt van *flanged windows*. Dit type raamkader laat slechts één positie van het raam toe, namelijk in het vlak van de regendichting. In België wordt het raam in veel gevallen iets meer naar de binnen-omgeving verschoven, hierdoor ligt het in lijn van de isolatie en kan de isolatie zonder veel problemen doorlopen. Doordat het raam aan de binnenzijde van de regendichting zit, moet er een overgang van de regendichting, van de wand naar het raam, plaatsvinden. Vooral in de hoeken leidt dit tot problemen. Hiernaast zal ook de invloed van verschillende, vaak toegepaste, regendichtingsmethodes bekeken worden.

In geen enkel van de uitgevoerde studies over waterdichtheid van raamaansluitingen wordt een analyse van de mogelijke drijvende krachten van het infiltratiewater gemaakt. In tegenstelling tot de *power law* die de luchtstroom doorheen de aansluiting modelleert, kan voor waterinfiltratie geen eenduidig verband gevonden worden. De onzekerheden bij het interpreteren van gegevens zijn immers zeer groot. Toch lijkt het interessant na te gaan wat de mogelijke oorzaken van waterinfiltratie zijn. Op deze manier kunnen maatregelen genomen worden om infiltratie te vermijden.

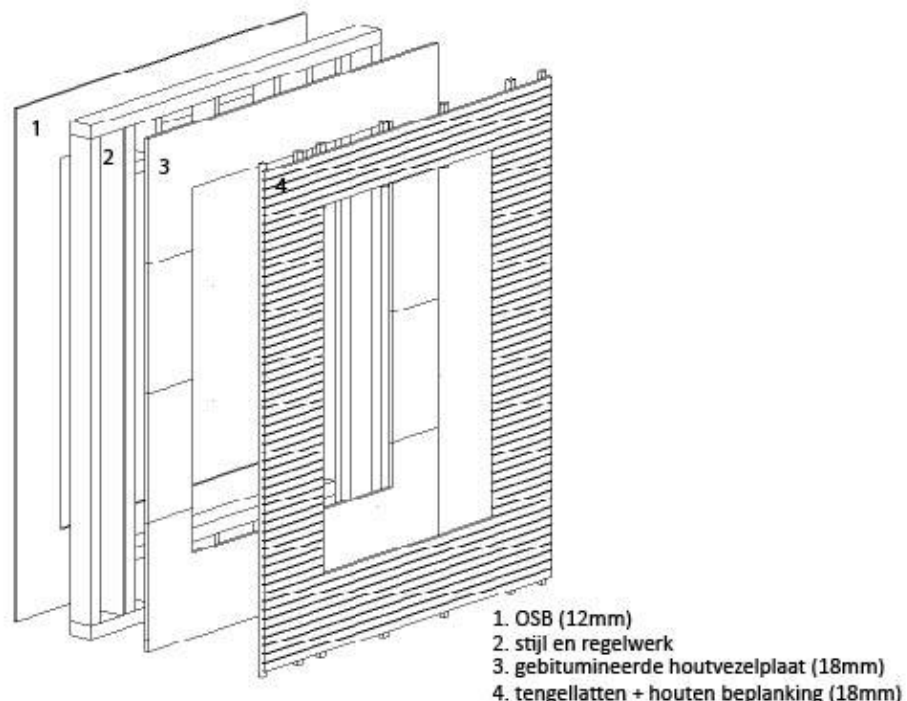
1. TESTMETHODE

1.1 PROEFOPSTELLING

1.1.1 COMPONENTEN

Muur

De wand die in de testen gebruikt wordt, is 1,94 m breed en 2,28 m hoog. De wand is opgebouwd volgens afbeelding 48. De structuur bestaat uit een onder-regel waarop enkele stijlen bevestigd worden, deze worden aan de bovenzijde opnieuw verbonden met een regel. De luchtdichtheid wordt verzekerd door een OSB- beplating aan de binnenzijde, de voegen tussen OSB-platen worden afgesloten met behulp van luchtdichte tape. De regendichting bestaat uit gebitumineerde houtvezelplaten, verbonden met een tand en groefverbinding. Deze platen worden vaak toegepast omdat ze naast hun functie als regenscherm ook een beperkte isolerende waarde hebben, die de koudebrugwerking van kepers beperkt.



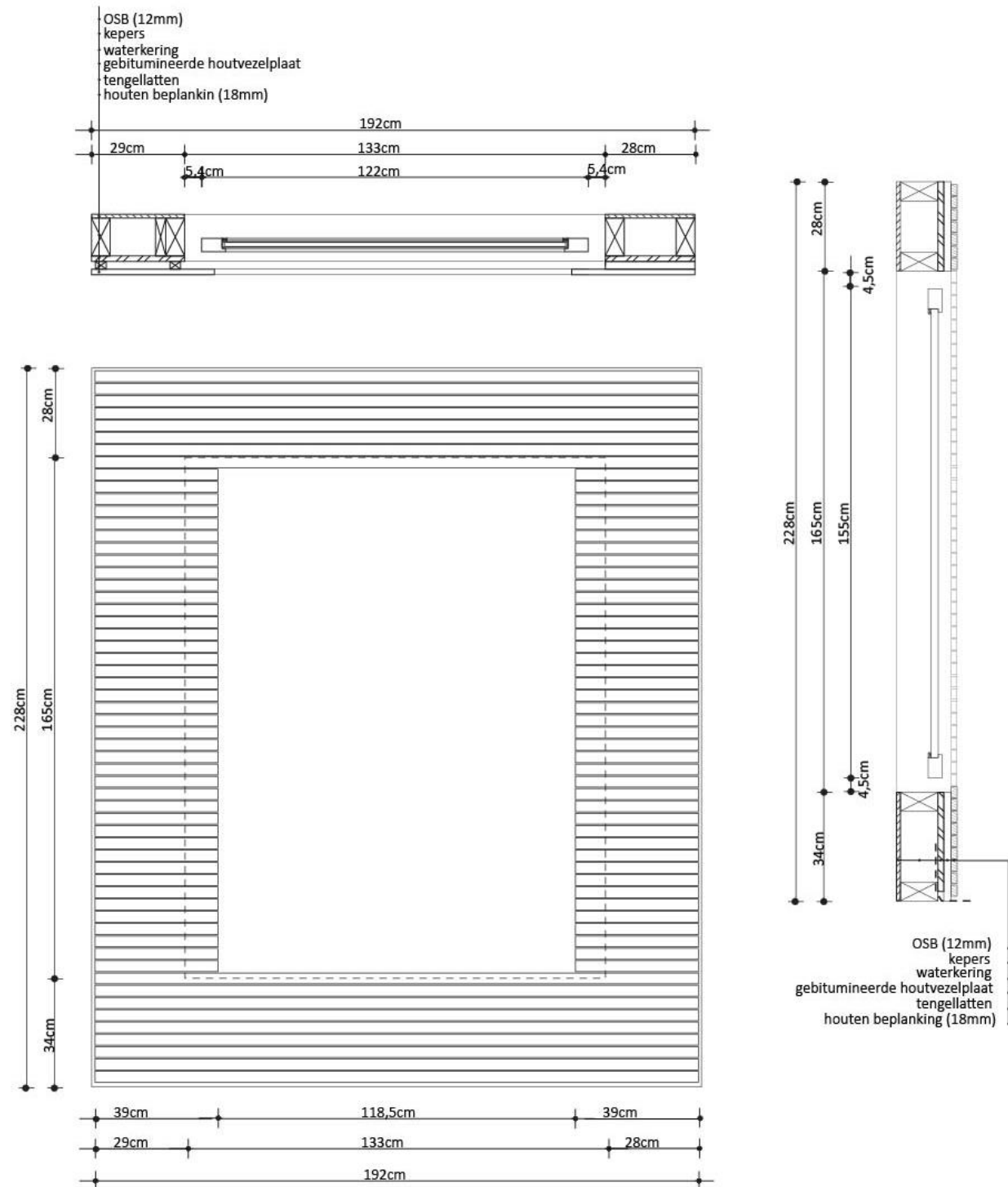
Afbeelding 48: muuropbouw

Voor de gevelafwerking is een worst-case scenario gekozen, namelijk een horizontale houten beplanking met een open voeg en drainagespouw. Dit type gevelafwerking is een zeer beperkte eerste waterdichting. De gevel heeft geen bufferende werking en bij sterke regenval kan het water via de horizontale voegen gemakkelijk in de spouw terechtkomen.

De voegen tussen de beplanking bedragen 4 mm. Uit Neutens [62] blijkt dat een voeg van 4 mm voordelig is bij lage winddrukken maar nadelig bij hoge drukken. Dit wordt verklaard doordat capillariteit er bij een voeg van 4 mm voor zorgt dat de voeg gevuld is met water, waardoor er geen water in de drainagespouw terechtkomt. Bij hoge winddrukken overwint het drukverschil de capillaire kracht waardoor het water in de drainagespouw terechtkomt [62]. Door gebruik te maken

van deze gevelopbouw willen we een worst-case scenario ensceneren. De aansluiting van het raam op de gevel wordt maximaal blootgesteld aan slagregen.

Tijdens het testen van de verschillende opstellingen dient een gevelsysteem gebruikt te worden waarbij de gevel makkelijk verwijderd en opnieuw geplaatst kan worden. Dit werd gerealiseerd door de beplanking vast te nagelen aan het regelwerk van de spouw, op deze manier ontstaat een vast kader dat tegen de wand geschroefd kan worden. De geventileerde spouw is 2,4 cm breed en het regelwerk wordt dwars voorzien op de richting van de gevelbeplanking.



Afbeelding 49: muuropbouw

Raam

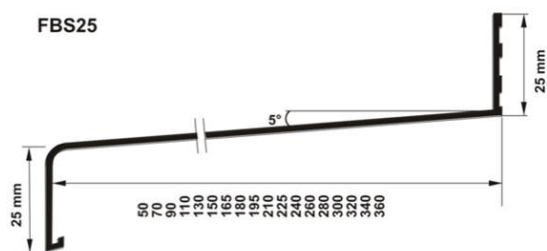
Voor de proeven kregen we een niet-opengaand houten raam ter beschikking, het raam heeft een breedte van 122,6 cm en een hoogte van 155 cm voor een raamopening van 133,4 cm op 165 cm. Hierdoor ontstaat een grote voeg tussen het raam en de randen van de raamopening namelijk horizontaal 50 mm en verticaal 45 mm. Omdat deze voeg geen representatieve waarde is, worden een extra kader rond het raam voorzien. Met behulp van vier latten die lucht- en waterdicht aan het raamkader bevestigd worden wordt de voeg verkleind. De latten worden met een aantal vijzen vastgezet, er wordt ook silicone tussen de latten en het raamkader voorzien, zo ontstaat een lucht- en waterdicht geheel. Het gebruik van dit extra kader rondom het raamkader geeft de mogelijkheid om de grootte van de voeg doorheen de test aan te passen. De diepte van het raamkader is 4,5 cm, wat een zeer kleine maat is. In de realiteit zal de diepte van een houten raamkader eerder 7 cm bedragen.



Afbeelding 50: afbeelding extra kader rondom raamkader

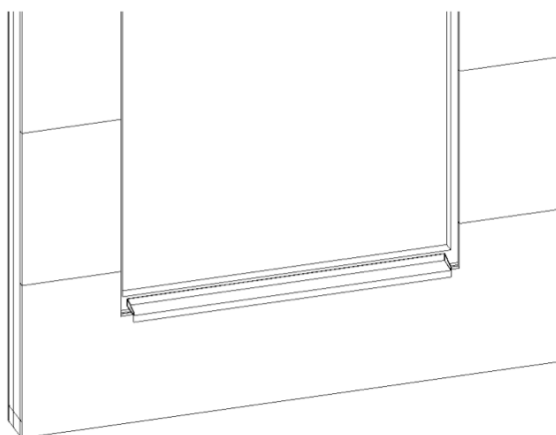
Dorpel en druiplijst

Voor de opstelling wordt gebruik gemaakt van een aluminium dorpel. Aan de onderzijde wordt deze voorzien van twee eindstukjes, om te verhinderen dat het water hierlangs zijdelings in de drainagespouw terechtkomt. De druiplijst bovenaan bestaat uit hetzelfde aluminiumprofiel, maar wordt niet voorzien van eindstukjes. De dorpel en druiplijst hebben dezelfde afmetingen. De diepte is 7 cm, de lengte 118,5 cm.



Afbeelding 51: afbeelding dorpel – druiplijst

Het is belangrijk te vermelden dat de dorpel en druiplijst niet even lang zijn als de raamopening. (zie afbeelding 52). Doordat de gevelbekleding het raam deels overlapt en de dorpel tussen de houten beplanking geplaatst wordt, was dit niet mogelijk. Hierdoor worden de hoeken van de raamaansluiting niet beschermd door de dorpel.



Afbeelding 52: afbeelding dorpel – druiplijst

1.1.2 PARAMETERS

Verschillende types raamaansluitingen worden onderworpen aan een lucht- en waterdichtingstest. Bij de gekozen aansluitingen variëren een aantal parameters. Op deze manier wordt naar een antwoord gezocht op de onderzoeksvragen. De parameters die variëren zijn:

- Bevestigingsmethode van het raam
- Waterdichtheidsmethodes/ Luchtdichtheidsmethode
- Positie van het raam
- Luchtdichtheid

De twee laatstgenoemde parameters zullen enkel bij de waterdichtheidstesten gevarieerd worden. In wat volgt worden de parameters toegelicht.

Bevestigingsmethoden

Hierbij worden twee methodes onderzocht, namelijk bevestiging met behulp van een multiplexkader en raamankers. In het onderzoek naar waterdichtheid is in eerste instantie gefocust op de aansluiting met raamankers. Deze bevestiging laat toe om gemakkelijk het pad van het geïnfilteerde water visueel te traceren. Bovendien is de veronderstelling dat het gebruik van een multiplexkader vooral een invloed op de luchtdichtheid en minder op waterdichtheid. In de opstellingen waarbij vastgesteld wordt dat de bevestigingsmethode een invloed heeft op de waterdichtheid, worden voor beide bevestigingsmethoden onderzocht. Doordat er verondersteld wordt dat de bevestigingsmethode wel een invloed heeft op de luchtdichtheid worden beide bevestigingsmethodes in de luchtdichtheidstesten onderzocht.

Installatiemethoden

In het onderzoek worden verschillende oplossingen onderzocht. Hierbij is een onderscheid te maken tussen de materialen gebruikt voor lucht- en voor regendichting. Naast de variatie in materiaalgebruik wordt ook de installatiewijze en gevoeligheid voor installatiefouten of faalmechanismen van beide dichtingen onderzocht. Dit gebeurt door een aantal fouten in de opstelling te introduceren vb. sneden of schroeven in luchtdichtingsfolie.

Luchtdichting

Voor de luchtdichtheid worden 2 soorten oplossingen onderzocht, enerzijds luchtdichtingsfolie en anderzijds PUR-schuim. Bij de folie zelf zijn opnieuw twee varianten. De ene folie bevat 2 kleefstroken, namelijk een drukgevoelige kleefstrook voor het schrijnwerk en een butylkleefstrook voor verkleving op de binnenmuur. Deze roze folie bevat een viltlaag waarover gepleisterd kan worden. De folie dient tevens als dampscherm (meer info zie technische fiche bijlage A, Soudal SWS inside) De tweede folie is een grijze folie die als lucht- en regendichting gebruikt kan worden, deze folie bevat geen viltlaag waarover gepleisterd kan worden. De folie heeft ook maar één zelfklevende strook. Deze strook wordt gebruikt om tegen het raamkader te kleven, de andere zijde wordt met een bijhorende kozijnfolielijm verkleefd. De folie heeft een variabele μ_d waarde, hierdoor wordt condensatie in de voeg tussen lucht en regenscherm vermeden. (meer info zie technische fiche in bijlage A, Tremco Illbruck duofolie).

Een tweede materiaal dat we gebruiken om de luchtdichtheid te verzekeren is polyurethaan-schuim, kortweg PUR. Dit schuim is eveneens een isolerend materiaal. Het schuim dat toegepast wordt is een één-component flexibel zelf expanderend schuim. Omdat een raam onderworpen wordt aan winddrukken, is het aangeraden een PUR-schuim te gebruiken dat kleine bewegingen van het raam kan opvangen. (meer info zie technische fiche in bijlage A, Soudal flexifoam)

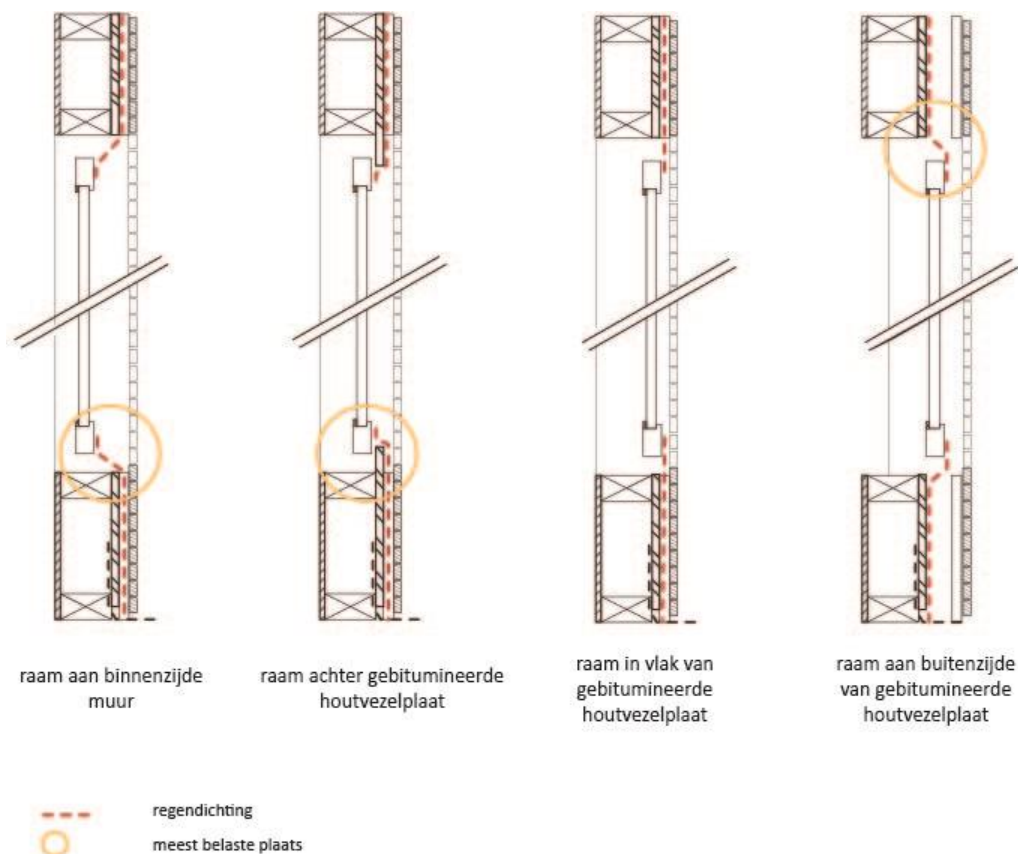
Regendichting

De regenbarrière wordt door drie verschillende materialen verzekerd namelijk regendichtingsfolie, zwelband en PUR-schuim. De regendichtingsfolie is dezelfde als de grijze folie die toegepast kan worden voor luchtdichtheid. Ook het PUR-schuim is hetzelfde materiaal als dit voor de luchtdichtheid. De zwelband is een schuimstof die geïmpregneerd is om water of luchtdicht te zijn. In onze reeks proeven wordt deze gebruikt als regendichting. De band is van de klasse BG1, dit wil zeggen dat hij als eerste waterdichting gebruikt kan worden. De band wordt met behulp van een zelfklevende strook op het raamkader bevestigd, of wordt in de voeg geduwd. Bij het gebruik van een zwelband is het zeer belangrijk een band voor de juiste voegopening te kiezen, de graad van compressie is immers bepalend voor de goede werking. (meer info zie technische fiche bijlage A, BG1 voegband)

Positie van het raam

In de testen wordt ook de invloed van de positie van het raam onderzocht. Deze heeft invloed op de mate waarin het raam onderworpen wordt aan slagregen. Vier verschillende opties worden onderzocht:

- het raam achter de gebitumineerde houtvezelplaat;
- het raam aan de binnenzijde van de gebitumineerde houtvezelplaat;
- het raam in het vlak van de gebitumineerde houtvezelplaat;
- het raam aan de buitenzijde van de gebitumineerde houtvezelplaat.



Afbeelding 53: kritieke infiltratiepaden in functie van de positie van het raam ten opzichte van de regendichting

Wanneer het raam in het vlak van de gebitumineerde houtvezelplaat geplaatst wordt zal de regen- en run-off belasting het grootst zijn. Doordat de regendichting in één vlak ligt moeten er echter geen ingewikkelde 3D-hoeken uitgevoerd worden. Het is vaak ter hoogte van deze hoeken, die de overgang van de regendichting van gebitumineerde houtvezelplaat naar het raamkader maken, dat er waterinfiltratie optreedt. Wanneer het raam aan de binnenzijde van de gebitumineerde houtvezelplaat geplaatst wordt zal de onderzijde van het raam het zwaarst belast worden. We verwachten dan ook dat de hoeken aan de onderzijde het meest kritiek zijn. Het raam naar buiten plaatsen zal resulteren in een zwaardere belasting van de bovenhoeken van het raam. Deze parameter zal vooral bij de regendichtingstesten van belang zijn.

Luchtdichting

Bij de waterdichtheidstesten wordt de invloed van de luchtdichtheid op regendichtheid onderzocht. Om de relatie tussen beiden te situeren wordt voor luchtdichtheid gebruik gemaakt van de drie luchtdichtheidsklassen (uit 1.2.2 Relatie luchtdichtheid gebouw -component) Om de slechte luchtdichtheid te simuleren worden de waterdichtheidstesten in een aantal gevallen zonder luchtdichting uitgevoerd. Door geen gebruik te maken van een luchtdichtingsfolie wordt een worst case scenario getest. Bovendien heeft het testen zonder luchtdichting het voordeel dat er visueel makkelijk vastgesteld kan worden waar en wanneer er water infiltreert.

Luchtdichtheid	[m ³ /h.m]
Goede luchtdichtheid	< 0,33
Matige luchtdichtheid	0,33 < x < 3,3
Slechte luchtdichtheid	> 3,3

Tabel 15: luchtdichtheidsklassen naar [41]

1.2 PROEFMETHODE

1.2.1 LUCHTDICHTHEID

Meetprocedure

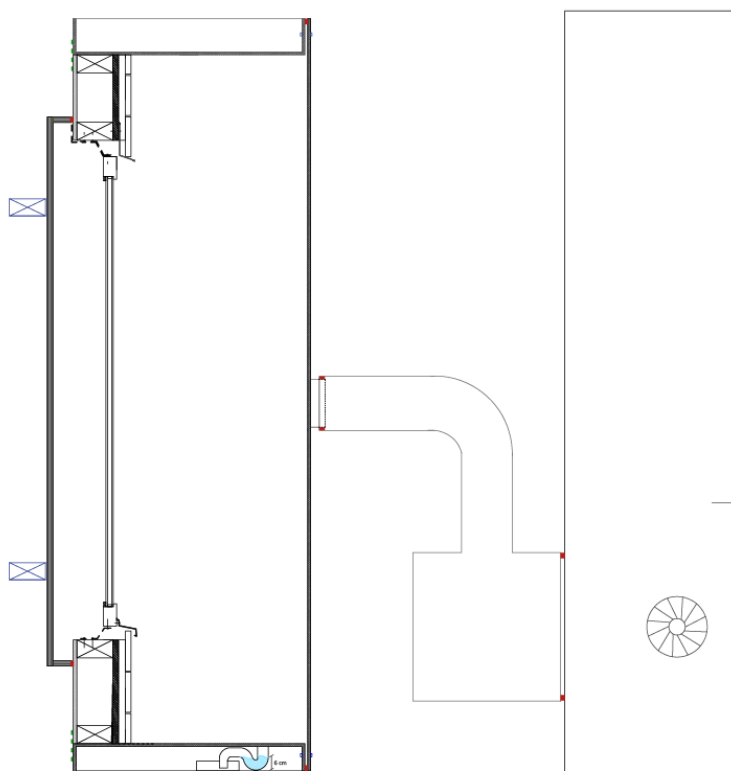
De metingen worden uitgevoerd volgens de meetprocedure voor luchtdichtheid van ramen volgens “NBN EN 12114”, zie ook 2.2.1.3 Testmethode: componentniveau: NBN 12114 .

De gebruikte drukstappen zijn 50-100-150-200-250-300-450-600. Deze stappen worden vaak gebruikt bij het testen van ramen en gevelelementen. Het gebruik van dezelfde drukstappen voor de verschillende proefobjecten maakt dat deze onderling vergelijkbaar zijn. Bovendien komen deze drukstappen overeen met de drukken die gebruikt worden in de statische en dynamische proeven voor slagregendichtheid. Deze acht meetpunten overschrijden het gevraagde minimum van 7 en geven zo een bijkomend meetpunt om te fitten aan de regressiecurve.

De metingen worden steeds eerst in over- en daarna pas in onderdruk uitgevoerd. Bij het opbouwen van de druk wordt steeds voldoende lang gewacht tot de waarde zich gestabiliseerd heeft.

Verder worden de drukpulsen aan het begin van de test, aanbevolen in de norm, niet uitgevoerd. Bij de eerste proeven blijkt immers dat deze destructief van aard zijn. Zo zorgen de 3 drukpulsen van 660 Pa ervoor dat de luchtdichtheidsfolie meteen loskomt van de OSB-binnenbekleding.

Meetprincipe



Afbeelding 54: testopstelling meetprincipe en residuele luchtverliezen

De opstelling wordt op ware grootte gebouwd in een stalen kast. De stalen kast wordt met behulp van een flexibele buis aangesloten aan een houten kastje dat pneumatisch tegen de testwand wordt

aangedrukt. Dit kastje is aan de kopse kanten voorzien van een gesloten-cellige EPDM-band, waardoor bij aandrukken tegen de testwand een luchtdichte aansluiting ontstaat.

De testwand die gebruikt wordt is gekalibreerd in 2009 en voldoet aan alle gevraagde specificaties volgens de norm "NBN EN 12114" [39]. Het toestel werkt als volgt. De ventilator wordt stelselmatig opgedreven zodat er een gekend drukverschil ontstaat in de stalen kast.

Er worden 2 druksensoren voorzien om het drukverschil te meten. Eén wordt voorzien in de stalen testkast, deze meet het drukverschil tussen de kast en de buitenomgeving. Een tweede wordt voorzien aan de ventilator, hier wordt nagegaan welk debiet door de ventilator geleverd moet worden om het debiet in de kast tot stand te laten komen. De druksensor meet het drukverschil over een flens die in het pad van de luchtstroom is voorzien. In deze flens is een duidelijk afgelijnde opening voorzien. Elke flens of diafragma heeft een welgekende stromingscoëfficiënt (cf de *power law*), het gaat om een duidelijk afgelijnde opening, waardoor de stromingsexponent n gelijk kan gesteld worden aan 0.5. De bijhorende stromingscoëfficiënt wordt overgenomen uit de kalibratie van het toestel. Om nauwkeurig te meten zijn er meerdere diafragma's beschikbaar, meer bepaald 5 diafragma's met telkens een andere grootte van opening. Volgende waarden voor de stromingscoëfficiënten kunnen uit het kalibratierapport gehaald worden. Hierbij is 1 een diafragma voor het meten van zeer kleine luchtverliezen, dus met een zeer kleine opening, en is 5 voor grote luchtdebieten.

$C1 = 0.055$

$C2 = 0.112$

$C3 = 0.495$

$C4 = 2.298$

$C5 = 8.665$

Het debiet doorheen de flens wordt bepaald binnen de toegelaten 5% nauwkeurigheidsgrens. Verder worden bij elke proef ook de temperatuur en relatieve vochtigheid gemeten. Op deze manier kan een bijkomende correctie uitgevoerd worden voor de omgevingsparameters.

Residueel luchtdebiet

Voor elke luchtdichtheidstest wordt het residuele luchtdebiet van de testkast en de omliggende muur bepaald. Dit 'kalibratiedebiet' wordt afgetrokken van het gemeten 'bruto-debiet' van de testopstelling. Deze correctie wordt verrekend in de foutencalculatie. Het kalibratiedebiet is best zo klein mogelijk, op deze manier zal de totale foutenmarge klein zijn. Om het debiet zo laag mogelijk te houden worden enkele maatregel genomen.

De kast zelf heeft naast de opening waarin het testobject is opgesteld nog drie zwakke plekken voor luchtdichtheid. In eerste instantie wordt de kast gesloten met behulp van een grote stalen plaat. Deze plaat wordt luchtdicht aangesloten door een gesloten-cellige EPDM-band aan de rand van de plaat te voorzien. De plaat wordt vervolgens zo dicht mogelijk tegen de kast gebout. Dit gebeurt met behulp van 5 bouten aan iedere zijde, zodat er geen 'bolling' van de plaat kan ontstaan.



Afbeelding 55: Opstelling aansluiting testwand, stalenkast en testobject

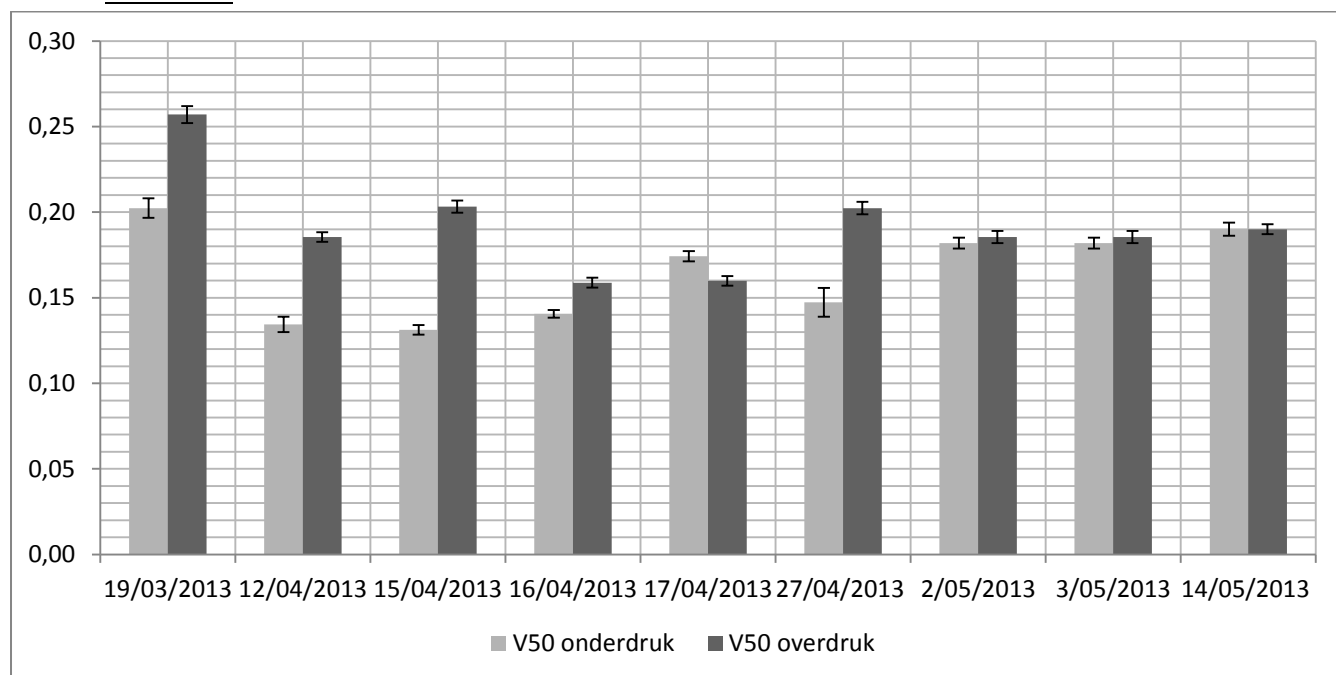
Verder is er nog een aansluiting in het midden van de plaat voorzien, een stalen cilinder gelast aan de plaat. Hierover kan de flexibele buis geschoven worden. De luchtdebieten door deze aansluitingen worden geminimaliseerd door de verbinding te voorzien met een snelbinder en een gesloten-cellige EPDM-band. De aansluiting van de flexibele buis naar de testkast gebeurt via een luchtdichte aansluiting op een houten kastje, die op zijn beurt hydraulisch gedrukt wordt tegen de kast, in deze voeg is opnieuw een gesloten-cellige EPDM-band voorzien.

Een derde zwakte in de luchtdichtheid van de kast is de waterafvoer die voorzien is. Opnieuw is er een stalen cilinder voorzien. Hierop wordt met behulp van een rubberen tussenstuk een sifon aangesloten. Deze sifon wordt vervolgens gevuld met een waterkolom van 6 cm. Hierdoor ontstaat in de sifon voldoende hydrostatische druk om aan een drukverschil van 600 Pa te kunnen weerstaan.

Verder is de aansluiting van het testobject, een muur op ware grote, aan de stalen testkast een belangrijk punt. Deze voeg wordt luchtdicht afgesloten door EPDM-stroken te verkleven met luchtdichte tape. Ook de naden tussen de OSB-platen worden afgekleefd. Zo wordt de residuele luchtstroom zo klein mogelijk gehouden. Er kunnen ook verliezen doorheen het raam zelf optreden, deze worden geminimaliseerd, door de voegen af te plakken met luchtdichte tape.

De kalibratiemeting verloopt als volgt. Er wordt een luchtdichte multiplexkast geplaatst voor de raamopening. Op de kopse kant van deze kast wordt een afsluiting voorzien door middel van gesloten-cellige EPDM-band, zo kan de kast luchtdicht op de wand aangesloten worden. De kast wordt vervolgens tegen de wand geklemd. Het klemmen gebeurt door middel van twee balken die op de smalste zijde tegen de multiplexkast geplaatst worden. Op deze manier treedt er slechts een kleine doorbuiging van de balken op. De balken worden gespannen tegen de testkast door middel van spanvijzen. Deze worden twee maal aangespannen zodat het verlies zo klein mogelijk wordt. De kalibratie-meting werd meerdere malen toegepast, de resultaten werden telkens geïnterpreteerd als eenmalige meting, omdat er verondersteld wordt dat wanneer de kast geopend wordt, de kalibratie licht kan wijzigen. Ook wanneer een verandering van het residuele debiet verwacht werd, werd een nieuwe kalibratiemeting uitgevoerd.

Resultaten



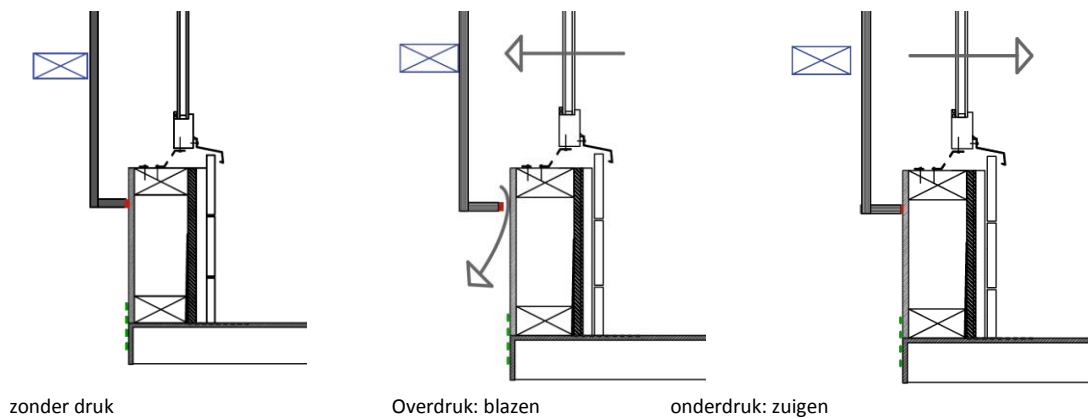
Figuur 1: Overzicht resultaten kalibratiemetingen

Datum	Overdruk					Onderdruk					Opmerking
	N	C	V ₅₀	-	+	N	C	V ₅₀	-	+	
19/03/2013	0,74	0,01	0,26	0,26	0,26	0,78	0,01	0,20	0,20	0,21	
12/04/2013*	0,69	0,01	0,19	0,19	0,19	0,86	0,00	0,13	0,13	0,14	*Verandering opvangsysteem
15/04/2013	0,61	0,02	0,20	0,20	0,21	0,83	0,01	0,13	0,13	0,13	
16/04/2013	0,65	0,01	0,16	0,16	0,16	0,69	0,01	0,14	0,14	0,14	
17/04/2013	0,71	0,01	0,16	0,16	0,16	0,68	0,01	0,17	0,17	0,18	
27/04/2013*	0,77	0,01	0,20	0,20	0,21	0,81	0,01	0,15	0,15	0,16	*Aanpassing opstelling
2/05/2013	0,84	0,01	0,19	0,19	0,19	0,69	0,01	0,18	0,18	0,19	
3/05/2013	0,84	0,01	0,19	0,19	0,19	0,69	0,01	0,18	0,18	0,19	
14/05/2013	0,84	0,01	0,19	0,19	0,19	0,66	0,01	0,19	0,19	0,19	

Tabel 16: Overzicht resultaten kalibratiemetingen

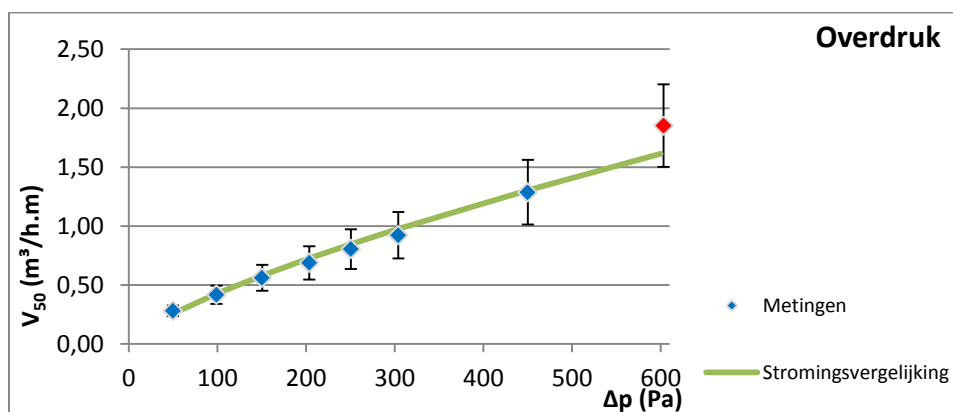
De gegevens worden meteen vertaald naar een debiet in m³/h/m aansluiting, dit heeft voor de kalibratie weinig betekenis, maar vergemakkelijkt de verwerking van de gegevens in een volgende fase.

Bij de verschillende kalibratiemetingen is systematisch een groot verschil tussen de debieten voor over- of onderdruk. Onderdruk geeft vaak kleinere debieten dan overdruk. Dit ligt buiten de verwachting, het gaat immers om een stalen testkast die dezelfde luchtlekageverliezen vertoont voor over- of onderdruk. Het verschil is wellicht te wijten aan de methode van kalibratie.



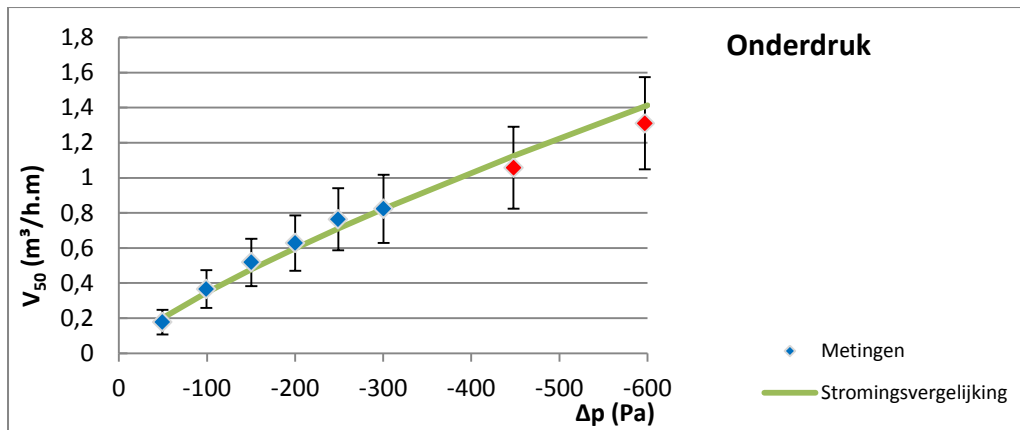
Afbeelding 56: invloed over- en onderdruk op kalibratiemeting

Door het opleggen van over- en onderdruk ontstaat er een stuw- en zuigkracht op de multiplexkast. Wanneer de kast in overdruk staat, wordt er druk op de multiplexkast uitgeoefend. Als de multiplexkast niet voldoende aangespannen is, zal deze bewegen weg van de muur. Dit houdt in dat er in de aansluiting tussen de muur en de kalibratiekast een extra luchtstroom kan ontstaan, die niet te wijten is aan lekken in de testkast zelf. De registratie van debieten bij overdruk vertoont ook hogere luchtverliezen bij hoge druk verschillen. Bij grote stuwkrachten wordt de kast nog verder van de wand geblazen en zijn de verliezen dus groter.



Figuur 2: Meetwaarden en *power law* van kalibratiemeting overdruk 19 maart

Bij onderdruk doet het omgekeerde fenomeen zich voor. Door de onderdruk wordt de kalibratiekast sterk tegen de wand gezogen, waardoor er minder verliezen verwacht worden. De registratie van debieten bij onderdruk vertoont kleinere luchtverliezen bij hoge drukken. Bij hoge zuigkrachten wordt de kast nog dichter tegen de wand getrokken en zijn de verliezen dus kleiner.



Figuur 3: Meetwaarden en *power law* van kalibratiemeting onderdruk 19 maart

Na het opmerken van dit fenomeen is er op gelet de multiplexkast zo goed mogelijk tegen de wand te klemmen om dit verschil zo minimaal mogelijk te houden.

Om het verschil tussen over- en onderdruk te kwantificeren in de berekening wordt deze verrekend in de foutenmarge van het netto-debiet. Zo wordt voor de berekening van de fout op overdruk voor het netto-debiet een extra fout ingerekend. Deze fout is de grootte van het verschil tussen onder- en overdruk, in het 95% fouteninterval. Hierbij wordt verondersteld dat deze fout niet gecorreleerd is met de reeds aanwezige fouten en zich eenzijdig voordoet, de ondergrens wordt uitgebreid. Deze correctie wordt enkel toegepast op de waarden waarbij het verschil tussen over- en onderdruk niet binnen het 'oorspronkelijke' fouteninterval ligt.

1.2.2 SLAGREGENDICHTHEID

In tegenstelling tot de testmethode voor luchtdichtheid is er voor waterdichtheid geen eenduidige meetprocedure. Op basis van voorgaand onderzoek [48] wordt een testmethode opgesteld waarbij de hoeveelheid infiltratiewater gekwantificeerd kan worden.

Meetprocedure

De metingen worden uitgevoerd volgens twee verschillende testmethodes, namelijk statisch volgens NBN EN 1027 [43] en dynamisch volgens NBN EN 12865 [63]. De gebruikte sproeidebieten zijn, voor de statisch test 2 l/min/m², wat zich vertaalt in een totaaldebiet van 540 l/h over het volledige muuroppervlak. Voor de dynamische test is het debiet 1,5 l/min/m², omgerekend naar een totaaldebiet van 400 l/h over het volledige muuroppervlak. Deze debieten worden geleverd met een nauwkeurigheid van 10%. Het testverloop kan terug gevonden worden in NBN EN 1027 [43] voor de statische test en NBN EN 12865 [63] voor de dynamische test.

Meetprincipe

De watertesten worden in dezelfde testkast uitgevoerd als de luchtdichtheidstesten. De waterslang wordt doorheen de flexibele buis, voor de toevoer van de druk, in de stalen kast gebracht. Deze waterslang is aan de testwand aangesloten aan een kraan. In de stalen kast worden sproeiers geplaatst, deze worden bevestigd aan een kader dat ingeklemd wordt, en zo gemakkelijk ge(de)-installeerd kan worden om nodige aanpassingen uit te voeren aan de gevel.



Afbeelding 57: installatie sproeiers in testkast

De afvoer van het water wordt door de sifon verzekerd. Om te voorkomen dat er water, via de aansluiting van de wand op de testkast lekt, wordt er in de wand een waterkering voorzien. De waterkering bestaat uit een EPDM-strook. Het membraan is achter de gebitumineerde houtvezelplaat bevestigd aan de stijlen. Aan de onder- en zijkant is het met behulp van een primer en hecht pasta verkleefd aan de stalen testkast. Aan weerszijden van de regen-barrière wordt ook steeds een waterdichte verbinding gemaakt met de stalen kast, dit met behulp van een elasto-plastische dichtband op basis van butyl. Om het drukverloop over de wand te kennen, worden er op verschillende locaties in de wand druksensoren voorzien. De doorgang van het buisje, dat de druksensor met de holte waar de druk gemeten wordt verbindt, wordt voldoende afgekit om lucht-

en waterlekken te voorkomen. Het buisje zal zowel aan drukvariaties als water onderhevig zijn. Om te voorkomen dat druppels de drukmeting beïnvloeden, wordt het uiteinde voorzien van een soort 'afdekkapje'. Dit is een flexibel buisje met een grotere diameter dat over de druksensor wordt geschoven. Het uiteinde wordt schuin afgesneden zodat het water door gravitaire krachten zou afdruppelen.



Afbeelding 58: afdruiptapje druksensoren

Verder wordt er ook een endoscoop gebruikt om na te gaan wat er zich tussen de lucht- en regendichting voordoet. Doorheen de OSB-beplating en de keper worden gaten geboord waarin de endoscoop aangebracht wordt. Door rond de endoscoop een EPDM-membraan te voorzien worden de geboorde gaten, lucht- en waterdicht afgesloten. In de loop van de testen wordt echter snel duidelijk dat de endoscoop niet voldoende plooibaar is om in de kleine holte beelden te maken die relevante informatie opleveren. Na enkele testen werd deze dan ook verwijderd.



Afbeelding 59: plaatsing endoscoop

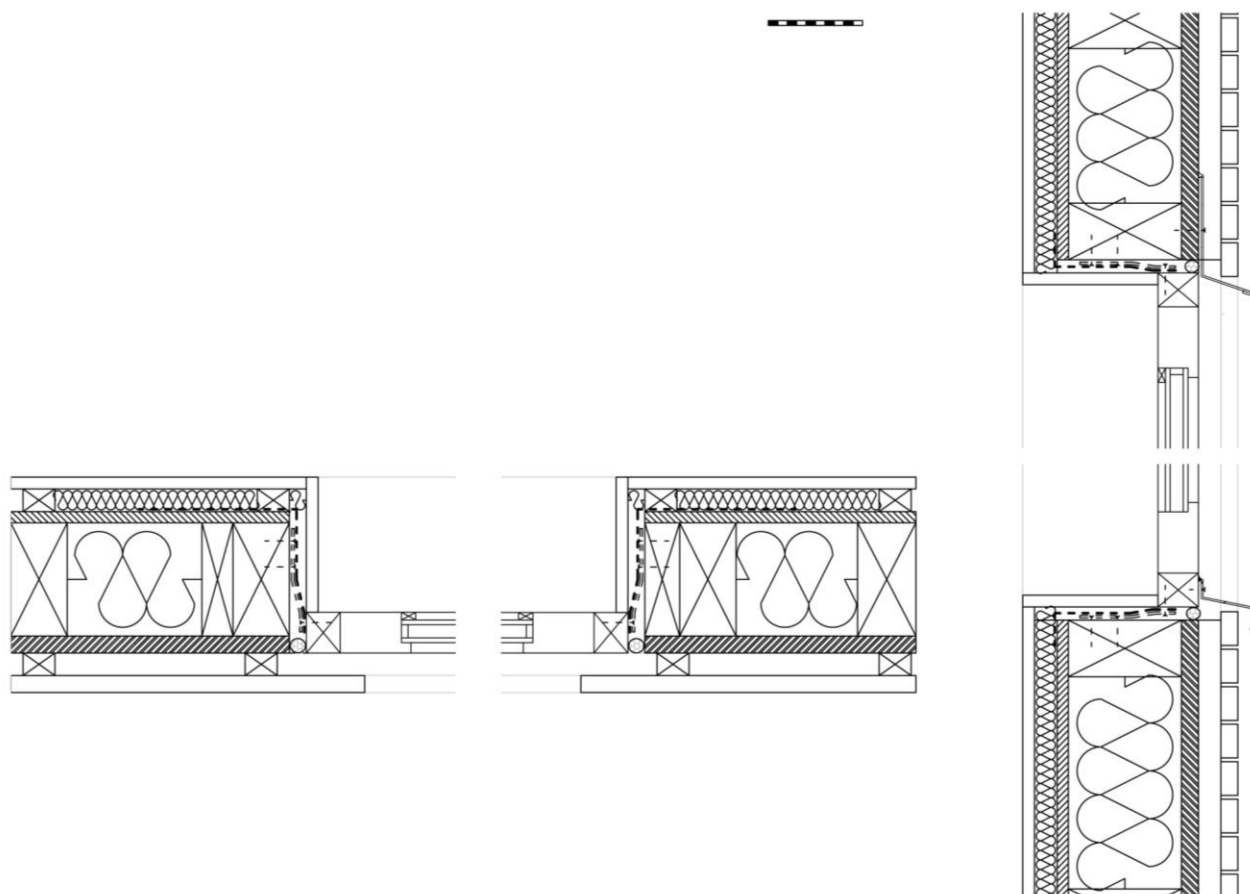
Ontwikkelen kwantitatieve testmethode

Aangezien er geen kant en klare testmethode is voor het uitvoeren van kwantitatieve watertesten, wordt er gezocht naar een geschikte testmethode voor de raam-muuraansluiting. Om tot een correcte testmethode te komen is het belangrijk eerst te kijken of de hoeveelheden infiltratiewater wel kwantificeerbaar zijn. Er moet ook onderzocht worden waar de grootste hoeveelheden water infiltreren. Aan de hand van deze gegevens kan bepaald worden hoe en waar het water opgevangen wordt.

De plaats waar er water infiltreert hangt af van de positie van het raam. Wanneer het raam aan de binnenzijde van de regendichting geplaatst wordt zal er vooral in de onderhoeken water binnenkomen. Wanneer het raam echter aan de buitenzijde van de regendichting geïnstalleerd wordt, wordt de bovenzijde een kritiek punt. Bij de installatie van het raam in het vlak van de regendichting, wordt het raam onderworpen aan een regenbelasting waarbij alle punten van de

raamomtrek evenveel belast worden. (zie afbeelding 53). Afhankelijk van de positie van het raam zullen de opvangpunten op een andere plaats voorzien worden.

Om een eerste inschatting van de hoeveelheid infiltratiewater te maken en na te gaan of er naast de hoeken, waar infiltratie verwacht wordt, nog andere plaatsen zijn waar water binnenkomt, wordt een eerste kwalitatieve test uitgevoerd. Hierbij wordt het raam in het vlak van de regendichting geplaatst. In deze opstelling wordt de volledige omtrek van de aansluiting immers aan een gelijke waterbelasting onderworpen. Het doel van deze test is inzicht te krijgen, waar de meest kritieke punten voor waterinfiltratie zijn.



Afbeelding 60: Kwalitatieve proef: raam in vlak regenscherm, voeg opgevuld met zwelband

Voor de kwalitatieve test wordt de voeg tussen het raam en het regenscherm gevuld met een voorgecomprimeerde zwelband, deze dient als regenbarrière. De zwelband wordt geïnstalleerd zoals de fabrikant het voorschrijft. Dit wil zeggen dat de hoeken gestuikt uitgevoerd worden. De luchtdichtheid wordt verzekerd met behulp van een luchtdichtingsfolie. Hoe deze precies geïnstalleerd wordt, komt later aan bod.

Voor de installatie van het raam wordt de volledige omtrek van de raamopening ingekrijt. Tijdens de watertest zal het infiltratiewater het krijt wegspoelen. Op deze manier hopen we na de test te kunnen zien waar het water de aansluiting binnenkomt.



Afbeelding 61: inkrijten constructie – droge constructie - waterinfiltratie

Tijdens de test werd duidelijk dat er vooral in de hoeken grote luchtlekken ontstonden. Deze leidden tot waterinfiltratie. Doordat de zwelband in de hoeken niet goed uitgevoerd was komt er water voorbij de regenbarrière, dit water werd door de luchtstroming meegevoerd en komt via openingen in de folie, op de luchtdichtingsfolie terecht.



Afbeelding 62: waterinfiltratie hoeken onderaan

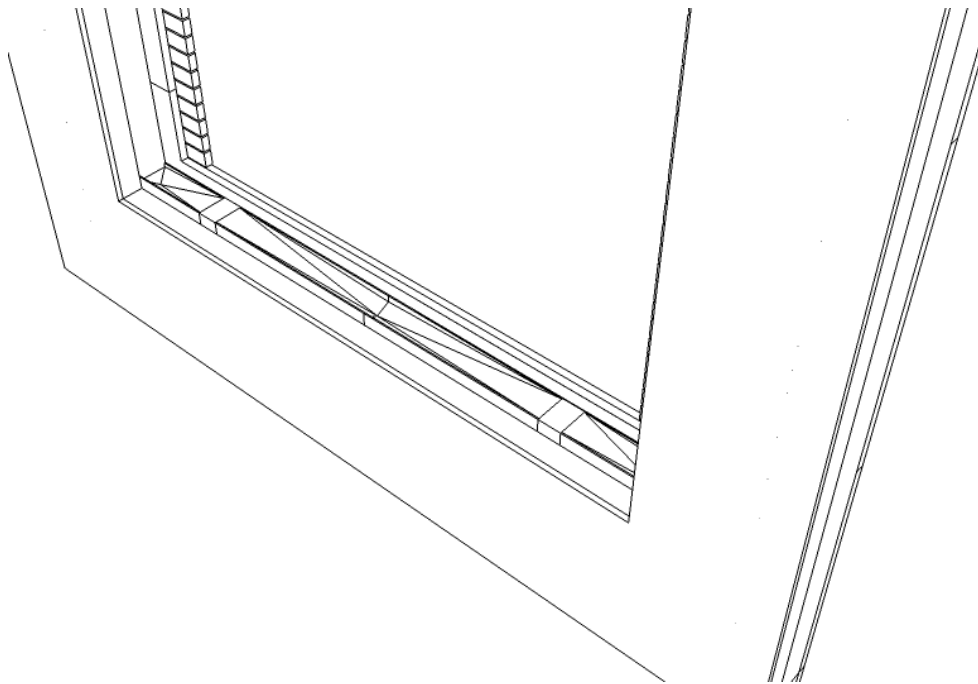
Na de proef werd de folie meteen losgemaakt om te kijken waar het krijt weggespoeld was. Het krijt bleek op geen enkele plek weggespoeld te zijn. Doordat het water het krijt donkerder gekleurd had kon wel vastgesteld worden waar het water de aansluiting binnengedrongen was. Wanneer het water echter opgedroogd was, was de plaats van infiltratie niet meer zichtbaar. Uit de aftekening van het water bleek dat er voornamelijk water binnenkwam in de hoeken. Ook langs de zijkant van de raamopening was er een aftekening van het water zichtbaar. (meer informatie in bijlage B).

De test toont aan dat de grootste hoeveelheden infiltratiewater binnenkomen via de hoeken. Deze kunnen opgevangen worden in een gootje onderaan. Het water dat via de zijkanten infiltreert kan via de keper naar beneden stromen en komt op deze manier ook in het gootje terecht.

Kwantitatieve testmethode

Aan de hand van de informatie uit de kwalitatieve test kan de testopstelling gebouwd worden. In de testopstelling wordt aan de onderzijde van het raam een opvanggootje geïnstalleerd. Op deze manier kan het water dat in de hoeken infiltreert opgevangen worden. Water dat aan de zijkanten infiltreert zal door de zwaartekracht langsheen de stijl naar de onderzijde stromen en ook in het gootje terechtkomen. De drainagegoot onderaan wordt voorzien van een waterdichte, hellende verbinding met de keper aan de zijkant.

Het opvanggootje bestaat uit 3 delen. Deze hebben elk een eigen afvoerpunt en eigen reservoir. Door 3 aparte gootjes te voorzien komt de verankering van het raam aan de onderzijde niet in het gedrang. De helling van de goot is voldoende groot om waterstagnatie te vermijden.



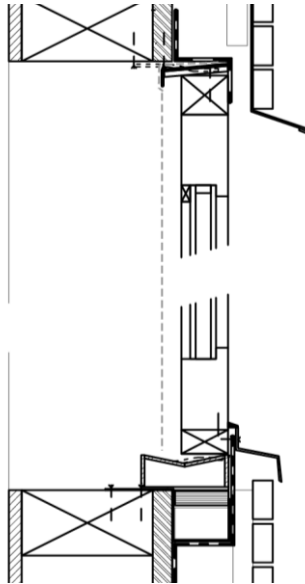
Afbeelding 63: 3D-beeld van gootje in wand

Het gootje wordt vervaardigd uit een stijf materiaal, 3 mm dik plexiglas. Door een doorzichtig materiaal kan er makkelijk nagegaan worden of er water in, onder, of naast de goot terechtkomt. De verkleaving van het plexiglas onderling gebeurt met behulp van chloroform. De aansluiting met de keper en afvoerbuis gebeurt door middel van kleurloze silicone.



Afbeelding 64: Installatie gootje onder raam

Gedurende het verloop van de testen worden enkele aanpassingen aan de testopstelling doorgevoerd. Wanneer het raam uit het vlak geplaatst wordt, wordt het gootje verplaatst. Doordat we in deze opstelling ook water in de bovenhoeken verwachten werd er juist boven het raam een hellend vlak gemaakt, waardoor infiltratiewater aan de bovenzijde van het raam, onder invloed van de zwaartekracht naar onder kan draineren. Deze opstelling wordt verder toegelicht in het experimentele luik.



Afbeelding 65: Aanpassing testopstelling bij locatie raam uit vlak

Het water wordt opgevangen in het gootje. Hier wordt het via de afvoerleiding naar het waterreservoir gebracht. Om luchtlekkage via de afvoer te vermijden dient het reservoir luchtdicht afgesloten te zijn. Het risico bestaat dat er in de afvoerleiding een waterkolom ontstaat, hierdoor kan het reservoir in overdruk gezet worden. Om dit te vermijden werd er met behulp van een buisje een verbinding gemaakt tussen de holte waar het gootje gepositioneerd is en het reservoir, zo blijven de holte en het reservoir op dezelfde druk. Dit zorgt ervoor dat het water enkel met behulp van zwaartekracht in de reservoirs terechtkomt en dat er geen extra krachten spelen die de waterinfiltratie beïnvloeden. De druk in de reservoirs wordt tijdens de test gemonitord om eventuele problemen snel vast te stellen.



Afbeelding 66: hermetisch gesloten bidon aangesloten op druksensor en druk in aansluiting, wateropvang

De waterreservoirs staan tijdens de proef op weegschalen. Op regelmatige tijdstippen wordt het gewicht in de reservoirs geregistreerd, aan de hand van deze gegevens kunnen de infiltratiedebieten gemeten worden. Er dient wel vermeld te worden dat het gewicht van het reservoir van het middenste gootje niet constant gemonitord wordt. Dit is echter geen probleem omdat er bij geen enkele test water infiltreert in dit gootje.

1.3. FOUTENCALCULATIE

1.3.1 LUCHTDICHTHEID

Voor de controle van de betrouwbaarheid van de metingen worden de resultaten onderworpen aan een foutencalculatie, deze wordt gebaseerd op de foutencalculatie van Van Den Bossche [13]. De foutencalculatie kwantificeert de betrouwbaarheid van de meetresultaten, door rekening te houden met mogelijke systematische en willekeurige fouten bij het meten. Er kunnen twee verschillende soorten fouten bepaald worden, namelijk fouten bij het meten en fouten bij de verwerking van de gegevens.

Laboratoriumcondities

De onzekerheid van de meetinstrumenten voor het meten van deze laboratoriumcondities wordt verondersteld verwaarloosbaar te zijn ten opzichte van andere onzekerheden bij de metingen. Hierdoor hoeven deze niet in rekening gebracht te worden in de foutenmarge.

Meetapparatuur

Verder zijn er ook onnauwkeurigheden door de meetapparatuur. Zo is de nauwkeurigheid van de testkast voor deze metingen vastgesteld op 3.965 %. Een foutenmarge die onder de voorgeschreven maximumwaarde van 5% ligt [39]. De foutenmarge van de druksensoren is kleiner dan 0.5%, in een interval tussen 50-200 Pa, en kleiner dan 0.2 % ;bij metingen tussen de 200-600 Pa. Deze fout wordt verwaarloosd ten opzichte van de andere onzekerheden. Voor de meting van het debiet doorheen de diafragma's worden de gegevens, stromingscoëfficiënt en stromingsexponent, uit het kalibratieverslag van de meetapparatuur overgenomen.

Fitten van de meetgegevens

De machtsfunctie wordt gelinealiseerd door het logaritme te nemen van beide zijden.

$$\dot{V} = C \Delta p^n$$

$$\ln(\dot{V}) = \ln(C) + n \cdot \ln(\Delta p)$$

$$\text{Met } \dot{V}: \text{debiet } \left[\frac{\text{m}^3}{\text{hm}} \right]; C: \text{stromingscoëfficiënt } \left[\frac{\text{m}^3}{\text{hPa}^n} \right];$$

$$n: \text{stromingsexponent } [-]; \Delta p: \text{drukverschil } [\text{Pa}]$$

Dit kunnen we schrijven als:

$$y = a + n \cdot x$$

Met

$$y = \ln(\dot{V}); a = \ln(C); x = \ln(\Delta p)$$

De best passende coëfficiënten en de bijhorende onzekerheid in de helling n en nulpunt a kunnen berekend worden met behulp van standaard statistische verbanden. Zo wordt eerst de gemiddelde waarde voor x en y berekend, gevolgd door de standaardafwijkingen hiervan en σ_{xy} . Uit deze gegevens kunnen n en $C (=e^a)$ bepaald worden. Zo kan de best passende machtsfunctie opgesteld worden.

$$n = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_y^2} ; a = y_{gem} - n \cdot x_{gem}$$

Op de fitting van de meetwaarden naar de machtsfunctie zitten ook onzekerheden en variaties die in rekening gebracht moeten worden, met N de grootte van de steekproef.

$$\sigma_n = \frac{1}{\sigma_x} \sqrt{\frac{\sigma_y^2 - n \cdot \sigma_{xy}}{N - 2}}$$

$$\sigma_a = \sigma_n \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N x_i^2}{N}}$$

Uit de standaardafwijking op a, wordt de standaardafwijking σ op C bereken. Algemeen geldt voor de functie: $q = f(x, y, z)$ waarbij de variabelen niet gecorreleerd zijn:

$$\delta q = \frac{\delta q}{\delta x} \cdot \delta x + \frac{\delta q}{\delta y} \cdot \delta y + \frac{\delta q}{\delta z} \cdot \delta z$$

Toegepast op $C = e^a$:

$$\delta q = \frac{\delta C}{\delta a} \cdot \delta a = \frac{\delta e^a}{\delta a} \cdot \delta a = \frac{\delta e^a}{\delta a} \cdot \delta a = \frac{e^a \delta a}{\delta a} \cdot \delta a = e^a \cdot \delta a$$

Met $\delta q = \sigma_q$ en $\delta a = \sigma_a$ vinden we

$$\sigma_q = e^a \cdot \sigma_a$$

De fitting wordt afzonderlijk toegepast op over- en onderdruk, zodat het mogelijk is om uit deze gegevens afzonderlijk een betrouwbaarheidsinterval van 95% op te stellen en een vergelijking mogelijk maken.

De foutenvoortplanting in de *power law* kan niet meteen vertaald worden naar een som van de fouten omdat er een correlatie bestaat tussen de C en n. Als nu algemeen verondersteld wordt dat x en y gemeten waarden zijn en $q = f(x, y)$, dan kan hieruit afgeleid worden dat $q_{fit} = f(x_{best}, y_{best})$. Uitgaand dat de standaardafwijking van x en y klein genoeg zijn, kan het effect op q berekend worden met een lineaire benadering.

$$\delta q^2 = \left(\frac{\delta q}{\delta x}\right)^2 \cdot \delta x^2 + \left(\frac{\delta q}{\delta y}\right)^2 \cdot \delta y^2 + 2 \cdot \left(\frac{\delta q}{\delta x}\right) \left(\frac{\delta q}{\delta y}\right) \cdot S_{xy}$$

Toegepast op de stromingsvergelijking:

$$S_V^2 = \left(\frac{\delta \dot{V}}{\delta C}\right)^2 \cdot \delta C^2 + \left(\frac{\delta \dot{V}}{\delta n}\right)^2 \cdot \delta n^2 + 2 \cdot \left(\frac{\delta \dot{V}}{\delta C}\right) \left(\frac{\delta \dot{V}}{\delta n}\right) \cdot S_{Cn}$$

Met

$$\begin{aligned} Q &= C \cdot \Delta P^n \\ \frac{\delta Q}{\delta C} &= \Delta P^n \\ \frac{\delta Q}{\delta n} &= C \cdot \Delta P^n \cdot \left[\delta n \cdot \ln(\Delta P) + n \cdot \frac{\delta(\Delta P)}{\Delta P} \right] \\ &= C \cdot \Delta P^n \cdot \ln(\Delta P) \end{aligned}$$

Dus

$$\sigma_V^2 = (\Delta P^n)^2 \cdot \sigma_C^2 + (C \cdot \Delta P^n \cdot \ln(\Delta P))^2 \cdot \sigma_n^2 + 2 \cdot (\Delta P^n)(C \cdot \Delta P^n \cdot \ln(\Delta P)) \cdot \sigma_{Cn}$$

Met de Pearson correlatiecoëfficiënt r:

$$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \cdot \sigma_y} = \frac{\sigma_{nC}}{\sigma_C \cdot \sigma_n} \text{ dus } \sigma_{Cn} = \sigma_C \sigma_n r$$

$$\sigma_V^2 = (\Delta P^n)^2 \cdot \sigma_C^2 + (C \cdot \Delta P^n \cdot \ln(\Delta P))^2 \cdot \sigma_n^2 + 2 \cdot (\Delta P^n)(C \cdot \Delta P^n \cdot \ln(\Delta P)) \cdot \sigma_C \cdot \sigma_n \cdot r$$

$$\sigma_V^2 = \sigma_C \cdot \sigma_n \cdot \left[(\Delta P^n)^2 \cdot \frac{\sigma_C}{\sigma_n} + (C \cdot \Delta P^n \cdot \ln(\Delta P))^2 \cdot \frac{\sigma_n}{\sigma_C} + 2 \cdot C \cdot \Delta P^{2n} \cdot \ln(\Delta P) \cdot r \right]$$

De pearson correlatiecoëfficiënt is afhankelijk van het aantal metingen en kan dus niet bepaald worden uit één meting. De bepaling van deze correlatiecoëfficiënt kan vanuit vorig onderzoek [37] bepaald worden, hierbij uitgaand van een negatieve correlatie en de strengste voorwaarde stellen we $r = -0,5$.

$$\sigma_V^2 = e^a \sigma_a \cdot \sigma_n \cdot \left[(\Delta P^n)^2 \cdot \frac{e^a \sigma_a}{\sigma_n} + (C \cdot \Delta P^n \cdot \ln(\Delta P))^2 \cdot \frac{\sigma_n}{e^a \sigma_a} + 2 \cdot C \cdot \Delta P^{2n} \cdot \ln(\Delta P) \cdot r \right]$$

95% zekerheidsinterval

De foutenvoortplanting van de machtsfunctie gaat uit van een normale verdeling, hoewel deze veronderstelling nog steeds aangehouden kan worden voor de berekening van het onzekerheidsinterval, valt de standaardafwijking van een kleine steekproef niet noodzakelijk samen met de standaardafwijking van de werkelijke kansverdeling. Hiervoor wordt een student T-verdeling toegepast, dit is een symmetrische continue kansverdeling die gelijkaardig is aan de normale verdeling. Deze verdeling geeft echter een grotere kans aan de waarden die ver van het gemiddelde liggen. De student T-de verdeling heeft een zwaardere staart dan de normale verdeling.

Het 95% tweezijdig onzekerheidsinterval wordt dan berekend volgens:

$$[\dot{V}_{best} - A(0,95; N - 2) \cdot \sigma ; \dot{V} + A(0,95; N - 2) \cdot \sigma] = P$$

Waarbij A afhankelijk is van de grootte van de steekproef, hier 2,4469.

Bij de verdere verwerking van deze fouten worden volgende verbanden steeds aangehouden. Voor ongecorreleerde fouten tellen we de absolute fouten en varianties op volgens $\delta q = \sqrt{\delta q^2 + \delta y^2}$. Voor systematische fouten worden de waarden absoluut opgeteld, terwijl voor systematisch gecorreleerde fouten het gemiddelde genomen wordt.

Verwerpen van meetgegevens

Verdachte meetgegevens kunnen uitgesloten worden als deze een te groot verschil vertonen met de bijhorende gefitte waarde. Doordat hier met meetgegevens vanuit verschillende meetcondities (verschillend drukverschil) moet een aangepaste berekening gebeuren voor deze afwijking. Dit omdat er bij deze meting twee variabelen zijn: het debiet en het drukverschil terwijl de standaard methode uitgaat van 1 variabele.

In eerste instantie wordt gekeken of het verschil tussen de gemeten waarde en de gefitte waarde kleiner is dan de meetnauwkeurigheid van de toestellen. Indien dit zo is, is het getal niet te verwerpen.

Is dit echter wel zo, moet de waarschijnlijkheid berekend worden dat deze waarde voorkomt in de steekproef, gebaseerd op de gefitte *power law*. Gebaseerd op het criterium van Chauvenet, werden data verworpen als de totale fout groter was dan de meetfout van de testkast. Hiervoor wordt in eerste instantie berekend hoeveel standaardafwijkingen ($t_{sus} \cdot \sigma$) de meetwaarde afwijkt van de gefitte waarde.

$$t_{sus} = \frac{|\dot{V} - \dot{V}_{sus,fit}|}{\sqrt{\frac{1}{N-2} \sum_{i=1}^N (\dot{V}_i - \dot{V}_{i,fit})^2}}$$

Met $\dot{V}_{sus}$ de verdachte waarde; $\dot{V}_{i,fit}$ het berekend debiet volgens de gefitte machtsfunctie [m^3/h]. $\dot{V}_i$ het luchtdebiet voor meetpunt i ; $\dot{V}_{i,fit}$ het berekend luchtdebiet volgens de gefitte machtsfunctie voor meetpunt i ; steeds uitgedrukt in [m^3/h]. En N het aantal metingen uitgevoerd. Gebaseerd op deze waarde kan de kans berekend worden dat het gemeten debiet $t_{sus} \cdot \sigma_V$ keer afwijkt van de gefitte waarde.

$$n_{sus} = N \cdot \text{Prob}(\text{outside } t_{sus} \cdot \sigma_V)$$

De data worden dus vergeleken met de best fit en worden verworpen als de waarschijnlijkheid te klein is. Het criterium van Chauvenet stelt hiervoor dat als de kans kleiner is dan 0,5 het meetpunt verworpen kan worden. De waarschijnlijkheid van het voorkomen van een waarde wordt berekend met behulp van de T-distributie.

Berekening Netto - debiet

Voor de bepaling van het netto debiet werden in eerste instantie de fouten berekend op respectievelijk over- en onderdruk. Hiervoor wordt uitgegaan van de volgende onderstellingen, de meetfout tussen de kalibratie en meting is systematisch, terwijl de fout voor de fit niet gecorreleerd verondersteld wordt. De totale fout wordt dan ook ondersteld niet gecorreleerd te zijn. De gemiddelde waarde werd vervolgens vanuit dezelfde veronderstellingen voor respectievelijk de meet- en fitfout berekend.

4.2 SLAGREGENDICHTHEID

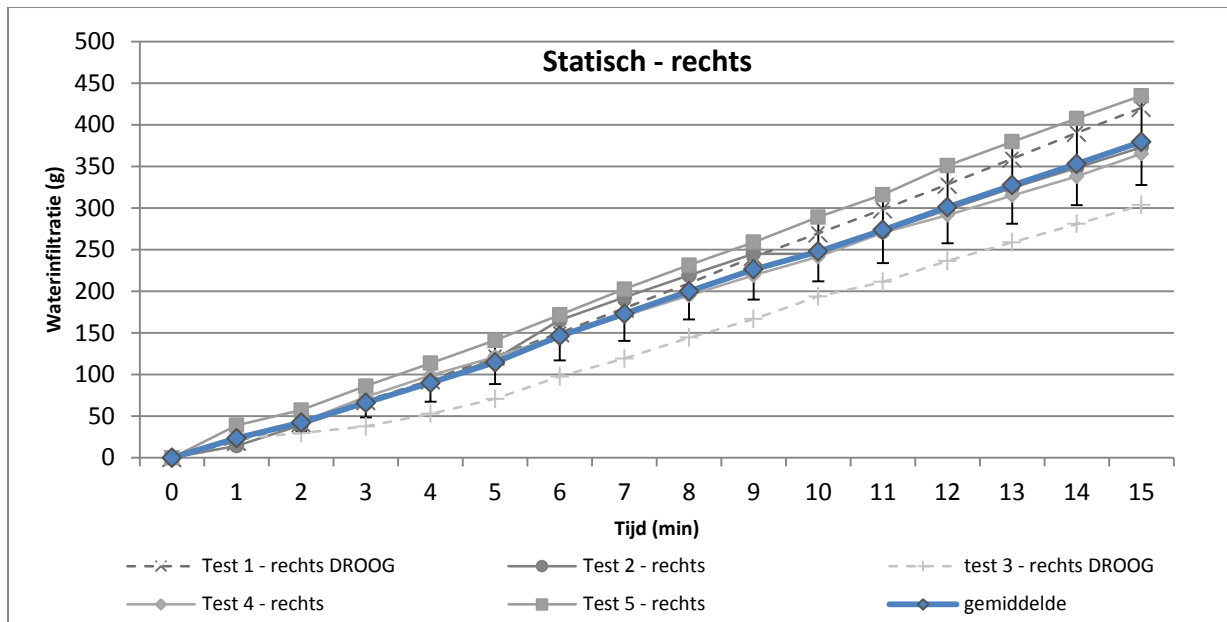
De reproduceerbaarheid van de metingen wordt nagegaan met behulp van een reeks controlemetingen. Door de eenzelfde test een aantal keer na elkaar uit te voeren wordt nagegaan hoe groot de afwijking is van de gegevens voor eenzelfde opstelling. De vergelijking van de opeenvolgende testen geeft een indicatie van het verschil in debiet van het infiltratiewater, dit door variërend sproeiwaterdebiet, de fout op de instelling van de druk, de variatie op de drukmoderatie, de variatie door verliezen over het pad van het infiltratiewater, de variatie van de weging van de weegschalen,...

Voor de druksensoren moet ook nog volgende opmerking gemaakt worden. Deze werden gekalibreerd met een toestel dat nauwkeurig is tot op 0.1 Pa. Gedurende de testen werd echter opgemerkt dat wanneer geen drukverschil werd opgelegd, deze druksensoren niet steeds nul waren. Voor de berekening van de drukverschillen werden deze echter wel steeds op nul geplaatst. De druksensoren kennen dus een grote fout wanneer kleine drukverschillen gekwantificeerd worden, waardoor de kleine drukverschillen die bekomen worden bij de berekening van de drukmoderatie dus met de nodige voorzichtigheid gehanteerd moeten worden.

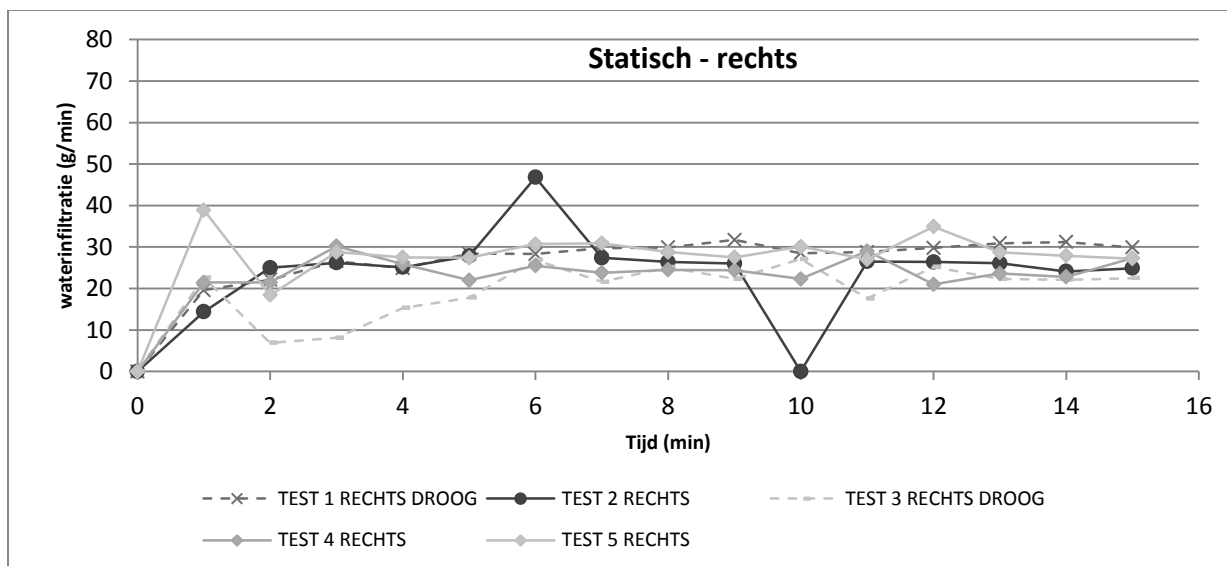
Voor deze metingen wordt zowel een statische, het drukverschil blijft statisch aangehouden, als een dynamische, met drukpulsen, proef uitgevoerd. Hierbij werd de proef enkel uitgevoerd voor een drukverschil van 300 Pa, en dit gedurende 15 minuten. Per testmethode werd vervolgens de spreiding van de gegevens bepaald. De proeven werden achtereenvolgens uitgevoerd, meer bepaald de statische proef wordt steeds opgevolgd door een dynamische. Hierbij werd de statische proef tweemaal aangevangen vanuit een 'droge' constructie, 24 uur na de vorige waterproef.

4.2.1 Statisch

De statische proeven vertonen een duidelijk onderscheid tussen de proeven die uitgevoerd worden startend vanuit een 'droge' constructie en deze gestart vanuit natte condities. Aan de rechterzijde kan bij test 1 in de grafiek weinig opgemerkt worden, het debiet nadert meteen het gemiddelde van de reeks testen. Voor de tweede test die vanuit een droge toestand wordt begonnen test 3 is er een 5 à 6-tal minuten nodig om het debiet te laten stabiliseren. Verder is er bij de proeven een verschil op te merken voor de waterinfiltratie aan de linker- of rechterzijde, hier spelen andere falingsmechanismen blijkbaar een rol.



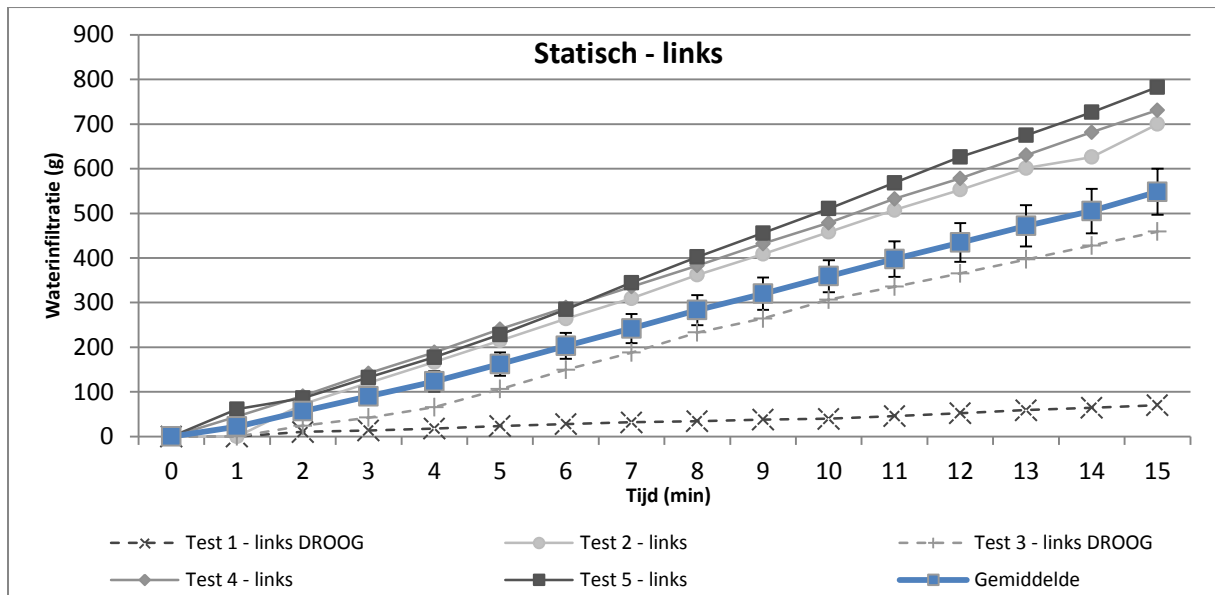
Figuur 4: Reeks testen reproduceerbaarheid, overzicht statische proefresultaten voor aansluiting rechts, totale waterinfiltratie



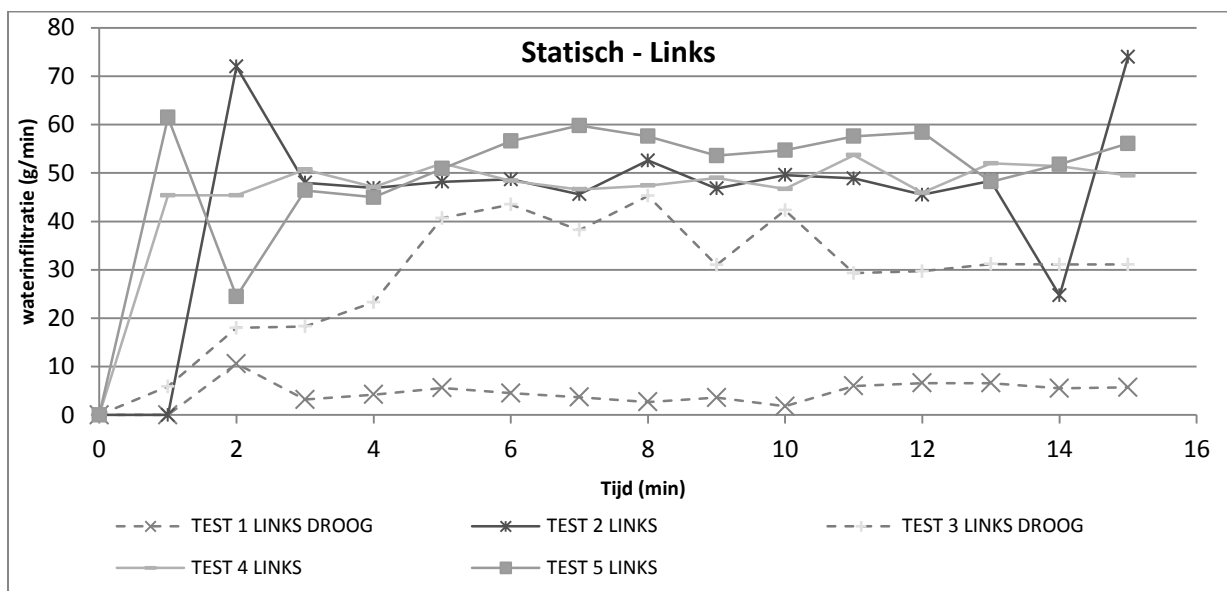
Figuur 5: Reeks testen reproduceerbaarheid, overzicht statische proefresultaten voor aansluiting rechts, waterinfiltratie

Aan de linkerzijde is een verschil op te merken in het verloop voor de testen die gestart zijn vanuit een 'droge' constructie. Hierbij zijn deze resultaten moeilijk kwantificeerbaar en stabiliseren deze niet voldoende over een kwartier.

Er is dus een verschil op te merken op deze testen waarbij gestart wordt vanuit een droge constructie, een kwartier blijkt onvoldoende om de falingscriteria onafhankelijk te maken van het nat of droog starten.



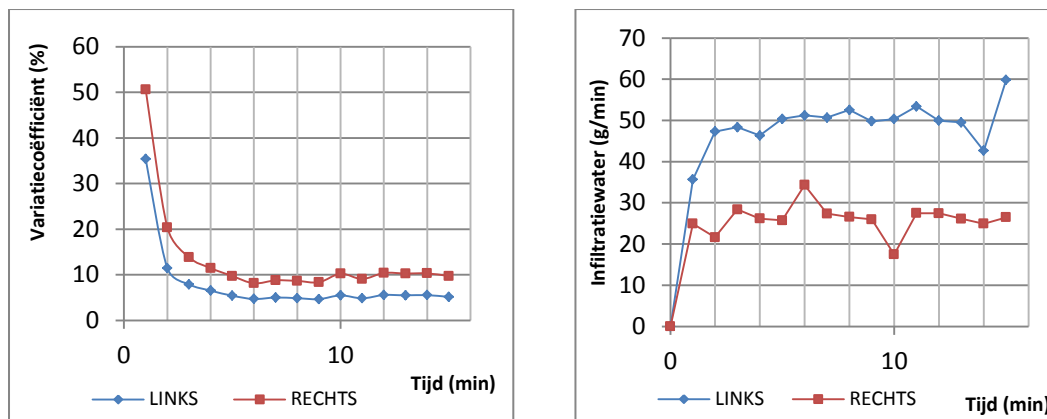
Figuur 6: Reeks testen reproduceerbaarheid, overzicht statische proefresultaten voor aansluiting links, totale waterinfiltratie



Figuur 7: Reeks testen reproduceerbaarheid, overzicht statische proefresultaten voor aansluiting links, waterinfiltratiedebiet

Wanneer echter de proef gestart wordt vanuit een 'natte' constructie –namelijk een constructie die meer dan een half uur onderworpen is aan een waterdebiet- kan een variatiecoëfficiënt van de gegevens gevonden worden die ongeveer 10% is, zie grafiek 8.

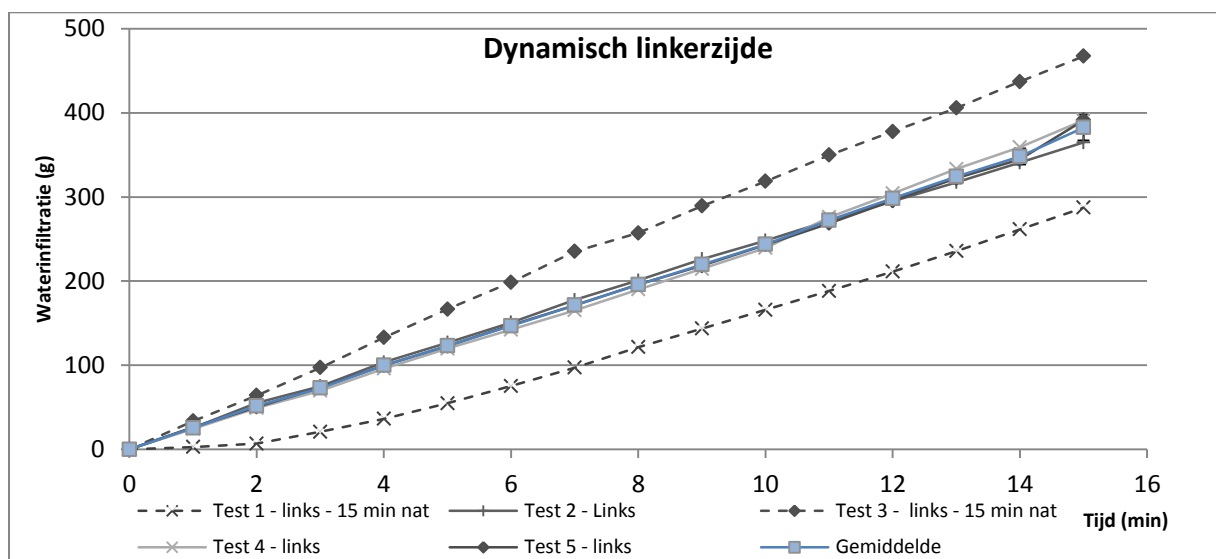
Dat het waterinfiltratiedebiet nog niet constant is na 15 min, betekent dat dit zijn vertaling zal kennen naar de controleproeven van het dynamisch testverloop.



Figuur 8 en 9: Reeks testen reproduceerbaarheid, overzicht statische proefresultaten variatiecoëfficiënt infiltratiedebiet

4.2.2 Dynamisch

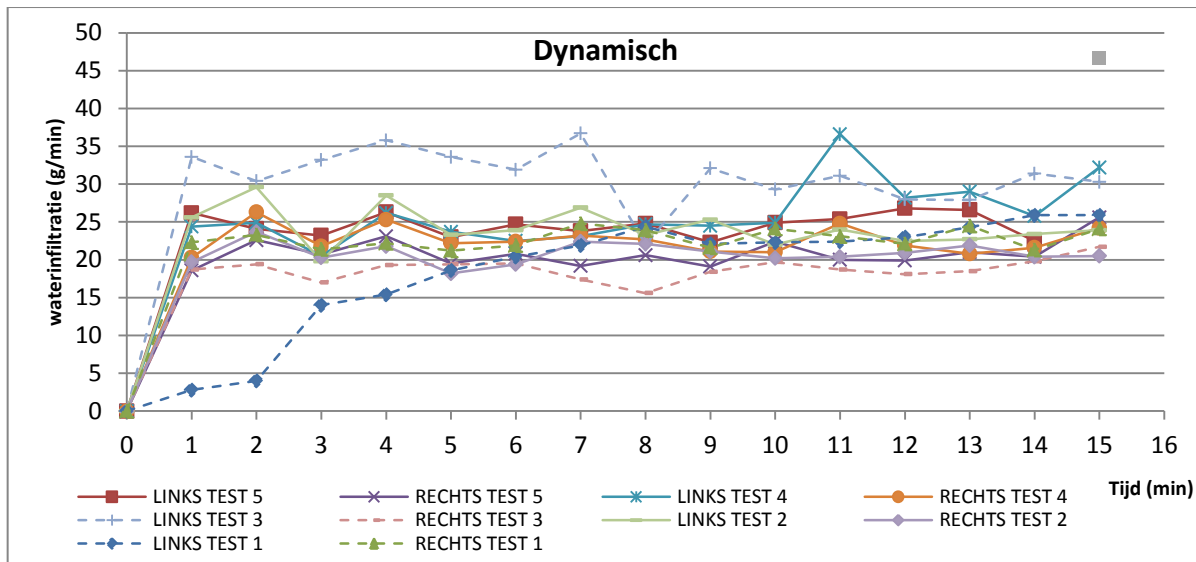
Bij deze proeven wordt het duidelijk dat het infiltratiedebiet vrij continu verloopt. De infiltratie links en rechts sluit ook vrij goed bij elkaar aan. Bij de dynamische proeven die uitgevoerd zijn na een kwartier onderwerping aan een statisch drukverloop en waterdebiet is nog een duidelijke afwijking merkbaar, dit zeer uitgesproken voor test 3 linkerzijde.



Figuur 10: Reeks testen reproduceerbaarheid, overzicht dynamische proefresultaten voor aansluiting links, totale waterinfiltratie

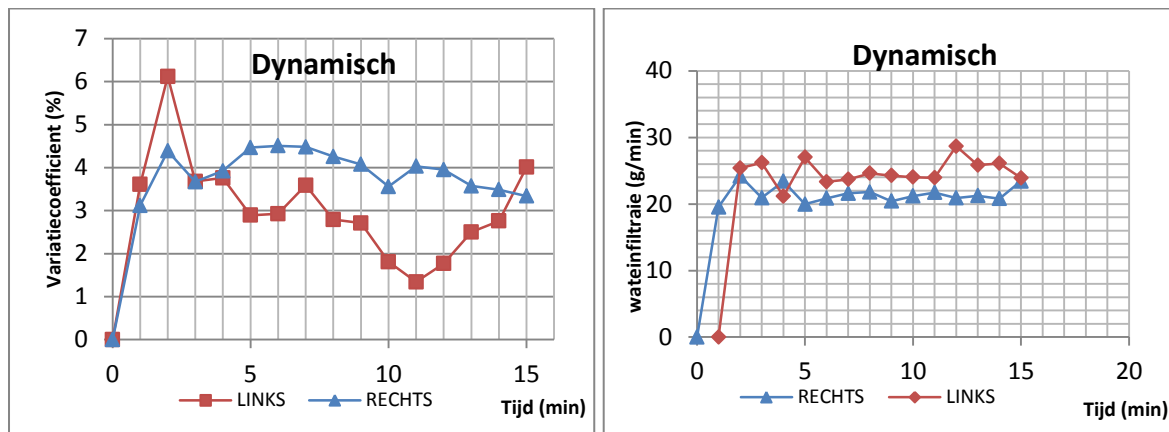
Wanneer enkel de waarden voor een 'natte' constructie in rekening worden gebracht, stabiliseert waterinfiltratiedebiet stabiliseert vrij snel, al na 1 min. Hierbij betekent 'nat' dat de constructie minimum een half uur onderworpen werd aan 300 Pa (dwz 1 statische en 1 dynamische test).

Bij een 'droge' constructie, de constructie is enkel onderworpen aan een statische test van 15 min bij 300 Pa, merken we een verschillende start tussen 0 en 4 voor test links 1, zie links test 1, maar daarna is een gelijkaardige richtingscoëfficiënt op te merken. Zelfs op eind links test 3 zien we dat de waarde zich stabiliseert richting 22.5 g/min. Verder verloopt de waterinfiltratie links en rechts ook vrij gelijklopend.



Figuur 11: Reeks testen reproduceerbaarheid, overzicht dynamische proefresultaten, vergelijking links en rechts, waterinfiltratiedebiet

Wanneer de constructie voldoende nat is, is er een zeer kleine spreiding, rond 6 %.



Figuur 12 en 13: Reeks testen reproduceerbaarheid, overzicht dynamische, proefresultaten variatiecoëfficiënt en infiltratiedebiet

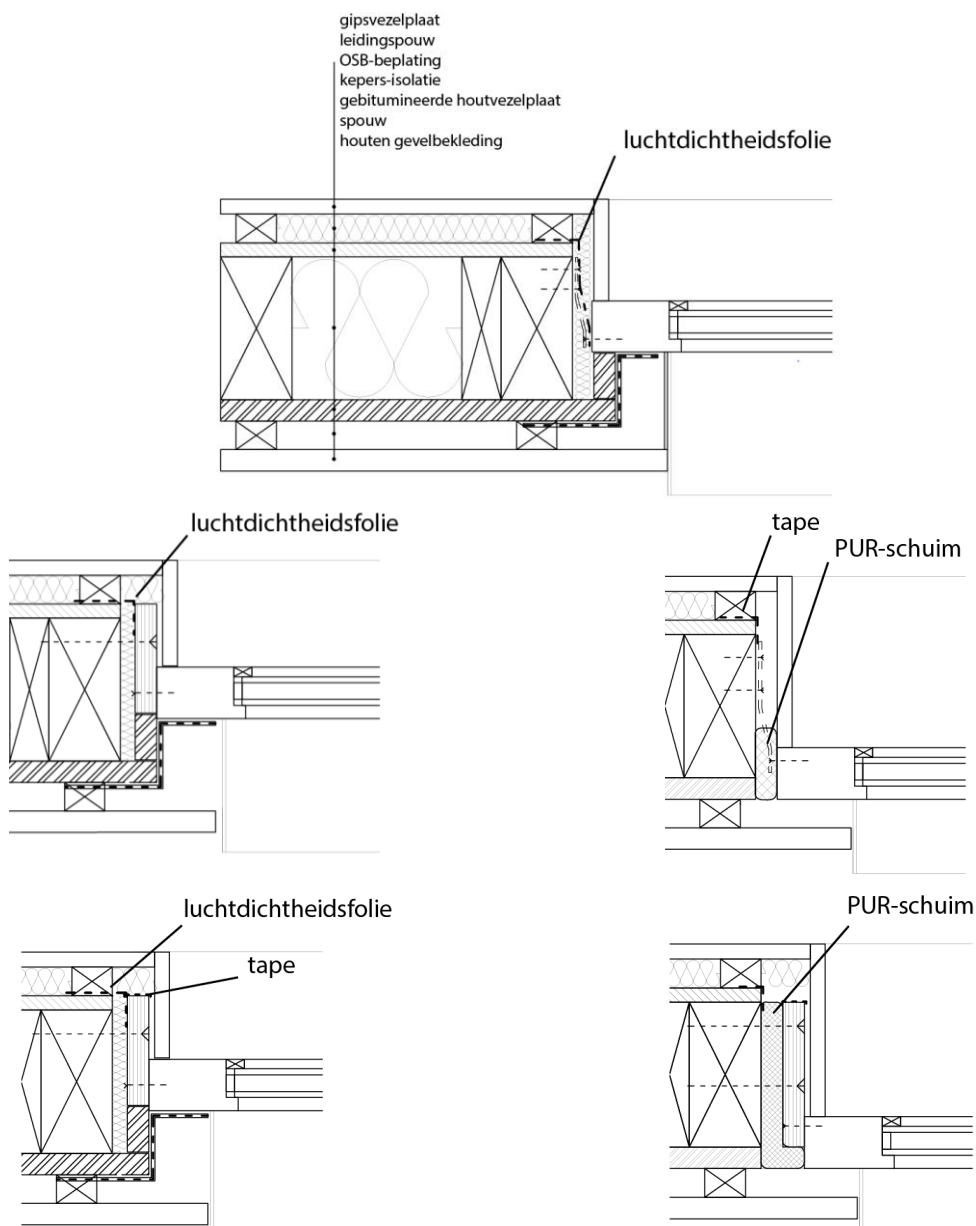
Bovenstaande waarden zijn natuurlijk slechts een benadering, aangezien slechts 5 testen uitgevoerd zijn. Deze waarden kunnen echter wel een indicatie zijn voor de reproduceerbaarheid van de testmethode.

De literatuur geeft zeer weinig informatie over de mogelijke fouten en foutenvoortplanting of reproduceerbaarheid van de toegepaste testmethodes. Slechts enkele gegevens konden teruggevonden worden die een beeld geven van de relativiteit van de uitgevoerde metingen. Zo vinden we bij Van Den Bossche [64] dat bijkomende testen uitgevoerd waren op de water infiltratie bij statische testen van de infiltratie door openingen. De herhaalbaarheid wordt gemeten aan de hand van kalibratie-opstellingen met variërende druk en sproeidebieten. Dit resulteerde in een standaardafwijking van 16,1 %, en het 95 % zekerheidsinterval was 28.8 %. Het grote verschil tussen de voorspelde en het gemeten fouten interval kan te wijten zijn aan het effect van het aflopend waterpatroon aan de buitenzijde. Ook bij Lacasse wordt slechts zeer kort een vermelding gemaakt van de herhaalbaarheid van de testen. De herhaalbaarheid werd nagegaan en de variatiecoëfficiënt voor 2 opeenvolgende proeven bij een drukverschil van 150 en 300 Pa was voor beide gevallen in minder dan 5%. De standaardafwijking die voor dit onderzoek behaald wordt is vergelijkbaar met de resultaten van Van Den Bossche [64].

2 PROEFRESULTATEN

2.1 LUCHTDICHTHEID

In eerste instantie worden een aantal verschillende raamaansluitingen onderworpen aan een luchtdichtheidstest. Aan elk van deze aansluitingen wordt vervolgens een luchtdichtheidsklasse toegekend. De verschillende methodes die gebruikt worden om de luchtdichtheid te verzekeren zijn, luchtdichtheidsfolie en PUR-schuim. Naast de verschillende materialen, om de luchtdichtheid te verzekeren, wordt ook nagegaan wat de invloed van de bevestigingsmethode is. Is het inderdaad zo dat het makkelijker is een goede luchtdichtheid te halen wanneer er een multiplexkader gebruikt wordt? Tenslotte worden een aantal gebreken in het luchtdichtingsvlak geïntroduceerd. Dit wordt gedaan om na te gaan hoe gevoelig de luchtdichtheid is voor eventuele gebreken.

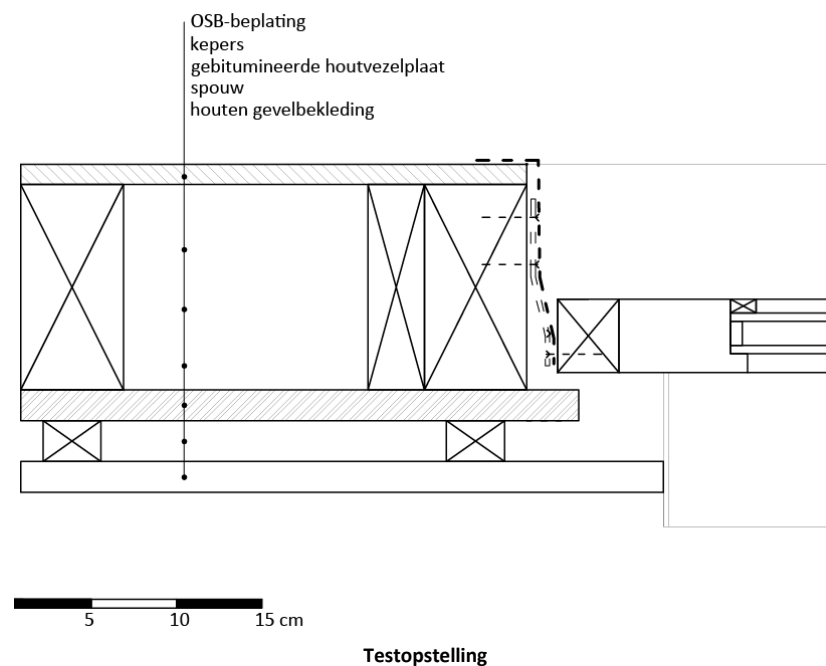
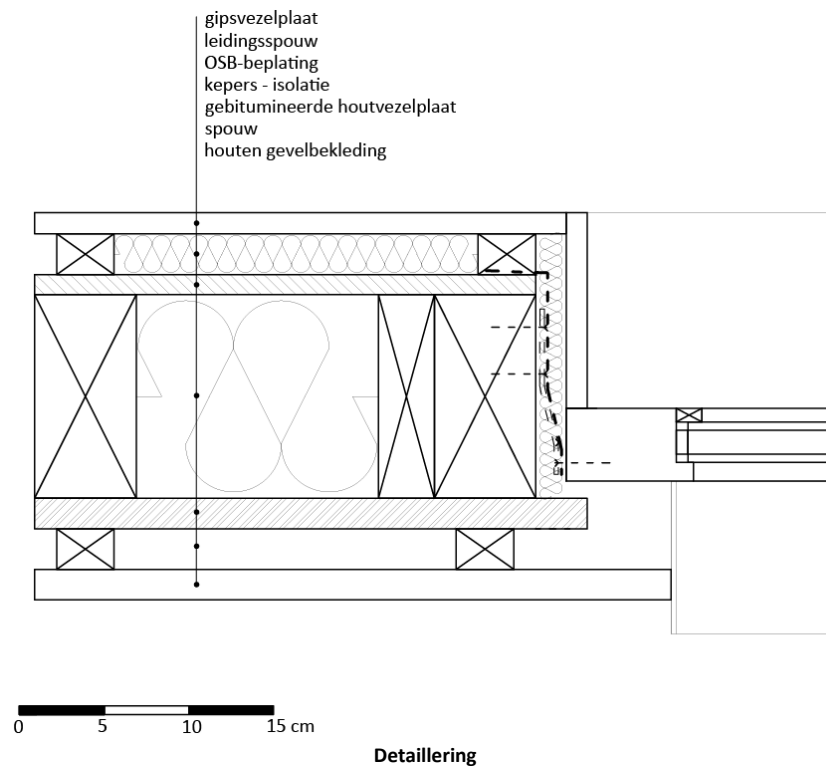


Afbeelding 67: luchtdichtingsmethoden

2.1.1 LUCHTDICHTHEIDSFOLIE

2.1.1.1 Raamankers

Bij deze opstelling wordt de luchtdichting gerealiseerd door middel van luchtdichtheidsfolie. Hierbij worden twee verschillende types luchtdichtheidsfolie onderzocht. Eerst wordt gekeken naar een luchtdichtheidsfolie die tweezijdig zelfklevend is. Daarna wordt een folie getest die enkel aan de zijde van het raamkader zelfklevend is, de zijde aan de OSB-beplating wordt met behulp van kozijnfolie-lijm verkleefd.



Afbeelding 68: detailtekeningen luchtdichtheidsoplossing folie met raamankers

A. Beschrijving opstelling

1. Luchtdichting

Bij deze opstelling wordt een luchtdichtheidsfolie van 200 mm breed gebruikt. De folie maakt de verbinding tussen het raamkader en de OSB-beplating. Het luchtdichtheidsvlak bevindt zich dus volledig aan de binnenzijde.

De verbinding met het raamkozijn wordt gerealiseerd door middel van een kleefstrook, aan de zijde van de OSB kan de verkleving op 2 wijzen gebeuren. Enerzijds wordt gebruik gemaakt van kozijnfolielijm en anderzijds van een butyl-kleefstrip. Deze butyl-kleefstrip dient in de praktijk vaak voor de verkleving op metselwerk. In dit onderzoek wordt deze butylstrip niet bijkomend verkleefd, er wordt nagegaan of er zo een voldoende luchtdichtheid verkregen kan worden.

De luchtdichtingsfolie wordt als volgt geplaatst. Eerst wordt de folie in één continue strook op de omtrek van het raamkader verkleefd. Hierbij speelt de locatie waar de twee uiteinden samenkomen een rol. Het wordt aangeraden om de verkleving van de folie niet te starten op een hoek van het raam. Aan de hoeken is er immers het grootste risico op infiltratie. De overlap gebeurt dus bij voorkeur in het midden van een zijde van het raam. Verder moeten de twee folies minimum 40 cm overlappen. De uiteinden worden verkleefd door middel van een lijm die compatibel is met de folie, zoals voorgeschreven door de fabrikant.



Afbeelding 69: folie tweezijdig zelfklevend



Afbeelding 70: folie eenzijdig zelfklevend

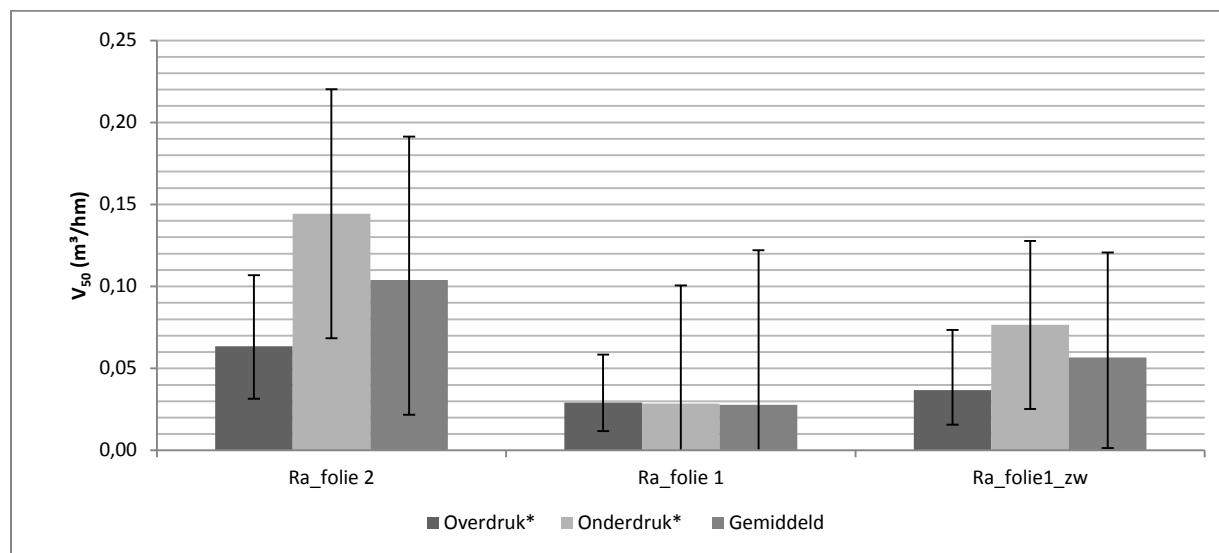
Er moet voldoende aandacht besteed worden aan de uitvoering van de folie ter plaatse van de hoeken. Doordat de omtrek van het raamkader kleiner is dan de omtrek van de raamopening dient er in de hoeken een plooï in de folie gemaakt te worden. De plooï zorgt ervoor dat de folie aan de zijde van de muuropening langer is, hierdoor kan de folie aan de zijde van de OSB een grotere omtrek overspannen. De plooï moet minstens even lang zijn als de schuine afstand tussen het raamkader en de OSB-beplating. Voor onze opstelling komt dit overeen met een plooï van 7 cm.

Op de luchtdichtheidsfolie worden vervolgens de raamankers geplaatst, die zorgen voor een bijkomende mechanische bevestiging van de folie. De plaatsing van het raam gebeurt met voldoende zorg, zodat de folie niet loskomt of scheurt door vb. tegen de kepers te schuren. Daarna wordt de folie verkleefd op de OSB-beplating. Bij de verkleving moet er aandacht besteed worden aan de hoeken. Zo wordt bij installatie met de kozijnfolielijm opgemerkt dat de hoek op korte termijn opnieuw loskomt, de folie trekt zich los door spanningen ter plaatse van de hoeken. De folie moet dus lang genoeg aangedrukt worden zodat de pasta tijd heeft om te hechten. Ook bij de verkleving met behulp van de butylstrook moeten de hoeken met voldoende druk verkleefd worden. De folie wordt voor beide opstellingen bijkomend aangedrukt ter plaatse van de verkleving. Het aandrukken van de folie bleek zeer belangrijk.

2. Waterdichting

Bij de proeven op luchtdichtheid was reeds een regendichting, zwelband, geïnstalleerd. De invloed van deze regen barrière op de luchtdichtheid werd vervolgens gekwantificeerd door een test uit te voeren zonder en met de zwelband. Hieronder worden de resultaten kort toegelicht.

B. Meetresultaten opstelling



Figuur 14: overzicht luchtdebieten, Raamankers met folie tweezijdig zelfklevend (Ra_folie 2); Raamankers met folie eenzijdig zelfklevend (Ra_folie 1); Raamankers met folie eenzijdig zelfklevend en zwelband als regendichting(RA_folie 1_zw)

		Stromingsvgl $V = C \cdot \Delta p^n$				Netto-debiet bij 50Pa										% verbetering	Luchtdichtheids-klasse
		Overdruk		Onderdruk		Overdruk*			Onderdruk*			Gemiddeld					
Afk.	Beschrijving	n (-)	C (m³/h.m)	n (-)	C (m³/h.m)	V ₅₀ (m³/h.m)	s-	s+**	V ₅₀ (m³/h.m)	s-	s+**	V ₅₀ (m³/h.m)	s-	s+**			
Ra_folie 2	Raamankers, folie tweezijdig zelfklevend	0,83	0,01	0,85	0,01	0,06	0,03	0,04	0,14	0,08	0,08	0,10	0,08	0,09	0	Goed	
Ra_folie 1	Raamankers, folie eenzijdig zelfklevend	0,63	0,02	0,79	0,01	0,03	0,02	0,03	0,03	0,07	0,07	0,03	0,07	0,09	273	Goed	
Ra_folie1_zw	Raamankers, folie eenzijdig zelfklevend, zwelband	0,63	0,02	0,69	0,01	0,04	0,02	0,04	0,08	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	84	Goed	

* V50 waarden werden niet afgeleid uit 'n' en 'C', maar zijn de netto debieten bij 50 Pa ** Het verschil tussen de fouteninterval is een doorrekening van de onzekerheid op de waarden bij overdruk van de kalibratiemeting, zie onderdeel testmethode.

Tabel 17: luchtdebiet opstelling met folie eenzijdig zelfklevend en tweezijdig zelfklevend in [m³/h/m]

In eerste instantie wordt de invloed van een zwelband op de luchtdichtheid nagegaan. De vergelijking van proeven met en zonder zwelband leert ons dat de zwelband een verwaarloosbare invloed heeft op de luchtdichtheid. De aansluiting zonder zwelband geeft immers een kleiner debiet dan met zwelband, het debiet ligt echter nog binnen de standaardafwijking.

Tijdens de test is duidelijk zichtbaar dat de grootste verliezen zich voordoen ter hoogte van de hoeken. Voor de eenzijdig zelfklevende folie is het faalmechanisme vooral te wijten aan de zelfklevende strook aan het raamkader, terwijl voor de tweezijdig zelfklevende strook het probleem zich aan twee zijden voordoet. Dit falen is duidelijk merkbaar bij hoge drukken, zo komt de tweezijdig zelfklevende folie los bij een druk van 600 Pa. Deze werd opnieuw aangedrukt om de

proef bij onderdruk uit te voeren. Initieel werden drukpulsen van 660 Pa gegeven voor het uitvoeren van de eigenlijke luchtdichtdichtingsproef, de pulsen bleken destructief voor de folie aan de zijde van de OSB-beplating, waardoor deze niet meer uitgevoerd worden bij de volgende testen.

Het verschil tussen onder- en overdruk is te wijten aan lagere waarden bij kalibratie. De kalibratiekast wordt immers strakker tegen de OSB getrokken, waardoor kleinere verliezen optreden. Dit werd reeds uitvoerig besproken in het onderdeel testmethode en wordt weergegeven in de foutenmarge, hier verrekend naar de standaardafwijking.

De folie die eenzijdig zelfklevend is en aan de OSB-zijde met behulp van kozijnfolie-lijm verkleefd werd, behaalt een hogere luchtdichtheid dan deze die tweezijdig zelfklevend is. Dit kon ook visueel opgemerkt worden tijdens de proeven. Tijdens de proeven werd immers opgemerkt dat er bij de tweezijdige zelfklevende folie, luchtstromen ontstaan ter hoogte van de verkleving met de OSB. Dit was niet of minder merkbaar wanneer de folie met kozijnfolie-lijm op de OSB verkleefd was.

C. Uitvoeringsgevoeligheden

Indien een luchtdichtingsfolie correct geïnstalleerd wordt, kan de aansluiting ondergebracht worden onder de goede luchtdichtheidsklasse. Omdat de uitvoering steeds een belangrijke rol speelt, wordt nagegaan hoe groot de invloed van bepaalde gebreken bij de installatie is. Wat gebeurt er als het oppervlak van het raamkader, waarop de folie verkleefd wordt, onregelmatig is? Vervolgens worden er een aantal gebreken in de luchtdichtingsfolie geïntroduceerd. Hierbij wordt de invloed van sneden en vijzen in de luchtdichtingsfolie bekeken.

1. *Invloed van de ondergrond op de verkleving*

Bij de installatie van luchtdichtingsfolie zijn de hoeken steeds belangrijk. Bij de fabricatie van het houten raamkader, kunnen onregelmatigheden van dit oppervlak ontstaan. Bijvoorbeeld ter hoogte van de hoeken. De zijden van het raamkozijn worden in de hoeken verbonden met behulp van een pen en gat verbinding. Bij de fabricage van het raamkozijn is het echter mogelijk dat deze pen en gat verbinding onvoldoende uitgelijnd werd, waardoor er 'gaten' ontstaan ter hoogte van de hoek, zie ook afbeelding



Afbeelding 71: kozijnen in elkaar zetten [65]



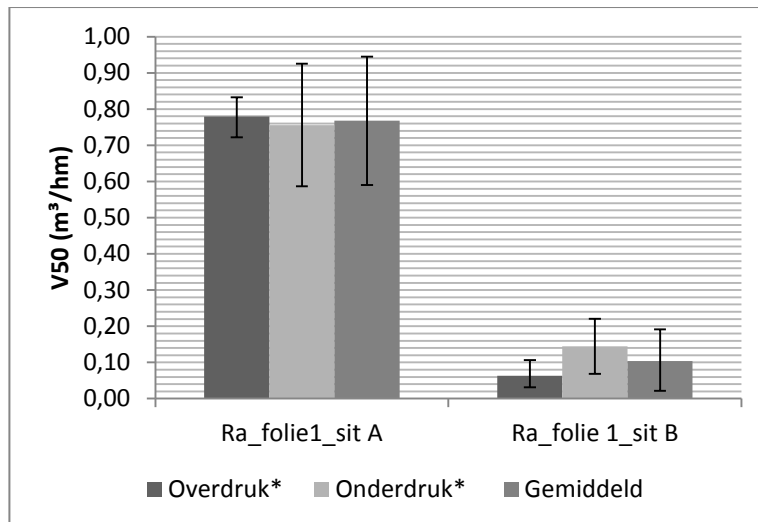
Situatie A



Situatie B

Afbeelding 72: uitvoeringsgevoeligheden, situatie A en situatie B

Het raamkader, waarmee de eerste luchtdichtheidstest werd uitgevoerd, vertoonde een dergelijk gebrek, de pen en gat verbindingen was niet voldoende afgewerkt, situatie A. Om de invloed van deze fout te kwantificeren werden de gaten opgevuld met silicone, hierna werd een extra kader geplaatst rondom het raam. De voeg tussen het raamkozijn en het extra kader werd luchtdicht afgesloten met behulp van dichtingskit, situatie B.



Figuur 15: overzicht luchtdebieten, Raamankers met folie eenzijdig zelfklevend_situatie A en situatie B

		Stromingsvgl $V = C \cdot \Delta p^n$				Netto-debiet bij 50Pa										% verbetering	Luchtdichtheids-klasse
		Overdruk		Onderdruk		Overdruk*			Onderdruk*			Gemiddeld					
Afk.	Beschrijving	n (-)	C (m³/h.m)	n (-)	C (m³/h.m)	V ₅₀ (m³/h.m)	s-	s+**	V ₅₀ (m³/h.m)	s-	s+**	V ₅₀ (m³/h.m)	s-	s+**			
Ra_folie2_sit A	Raamankers, folie tweezijdig zelfklevend _ Situatie A: foutieve uitvoering	0,72	0,07	0,89	0,03	0,78	0,06	0,05	0,76	0,17	0,17	0,77	0,18	0,18	0	Matig	
Ra_folie 2_sit B	Raamankers, folie tweezijdig zelfklevend_ Situatie B : correcte uitvoering	0,83	0,01	0,85	0,01	0,06	0,03	0,04	0,14	0,08	0,08	0,10	0,08	0,09	638	Goed	

* V50 waarden werden niet afgeleid uit 'n' en 'C', maar zijn de netto debieten bij 50 Pa

** Het verschil tussen de fouteninterval is een doorrekening van de onzekerheid op de waarden bij overdruk van de kalibratiemeting, zie..

Tabel 18: luchtdebiet opstelling met folie eenzijdig zelfklevend en tweezijdig zelfklevend in [m³/h/m]

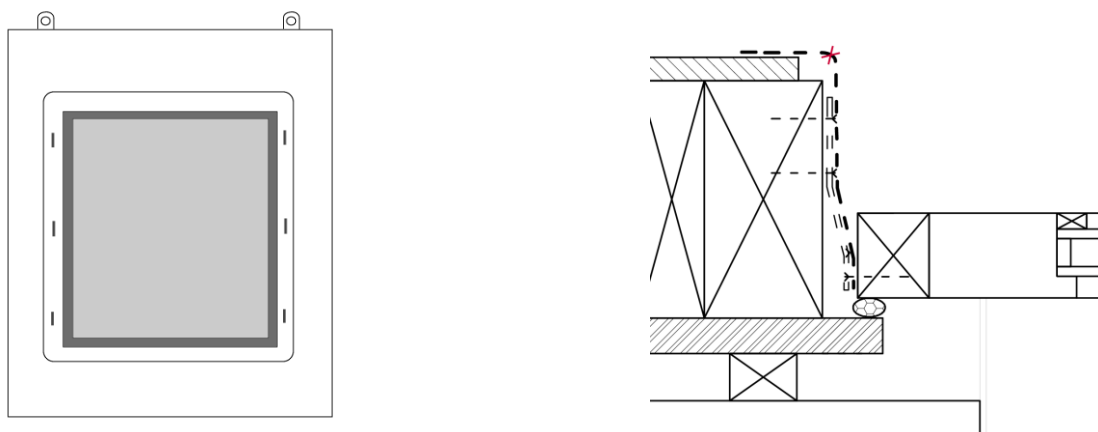
De resultaten tonen aan dat onregelmatigheden in het oppervlak van het raamkader een grote invloed kunnen hebben op de totale luchtdichtheid. Situatie A vertoont immers een bijkomend luchtverlies van 0,67 m³/hm ten opzichte van de installatie bij een raam zonder uitvoeringsfouten. Visueel werd ook waargenomen dat de folie ter hoogte van de hoeken onvoldoende verkleefde wanneer de verbinding met pen en gat niet goed afgewerkt was, zie afbeelding 73.



Afbeelding 73: uitvoeringsgevoeligheden, hoeken

2. Sneden in folie

Een andere fout die kan optreden bij de installatie van de luchtdichtheidsfolie is een scheur of snede in de folie. Bij dit soort gebrek wordt de invloed van de grootte van de snede onderzocht.



Afbeelding 74 en 75: locatie sneden

De proef wordt uitgevoerd door 6 sneden te maken aan weerszijden van het raam. De grootte van de sneden wordt na iedere luchtdichtheidsproef stelselmatig vermeerderd van 0, 2, 4, 6 tot 8 cm. De sneden worden ter hoogte van de aansluiting van de OSB-beplating met de keper gemaakt, zie afbeelding 74 en 75.

Bij het uitvoeren van de test is er een groot verschil tussen het luchtverlies voor over- en onderdruk. Dit verschil wordt veroorzaakt door de geometrische veranderingen van de folie. Bij grote drukverschillen in onderdruk wordt de folie aangetrokken tegen de keper, waardoor de luchtverliezen van door verkleving van de folie aan de OSB verkleinen. Ook het luchtverlies doorheen de snede ondergaat een verandering voor onder- en overdruk. De reden hiervoor ligt onder andere in de locatie van de sneden. Wanneer de kast in overdruk staat, wordt de folie weg van de OSB geblazen, waardoor de gaten openen. Bij onderdruk echter, wordt bij voldoende grote druk, de folie opnieuw tegen de OSB getrokken, waardoor het luchtverlies doorheen gaten veel kleiner wordt, zie afbeeldingreeks 76.

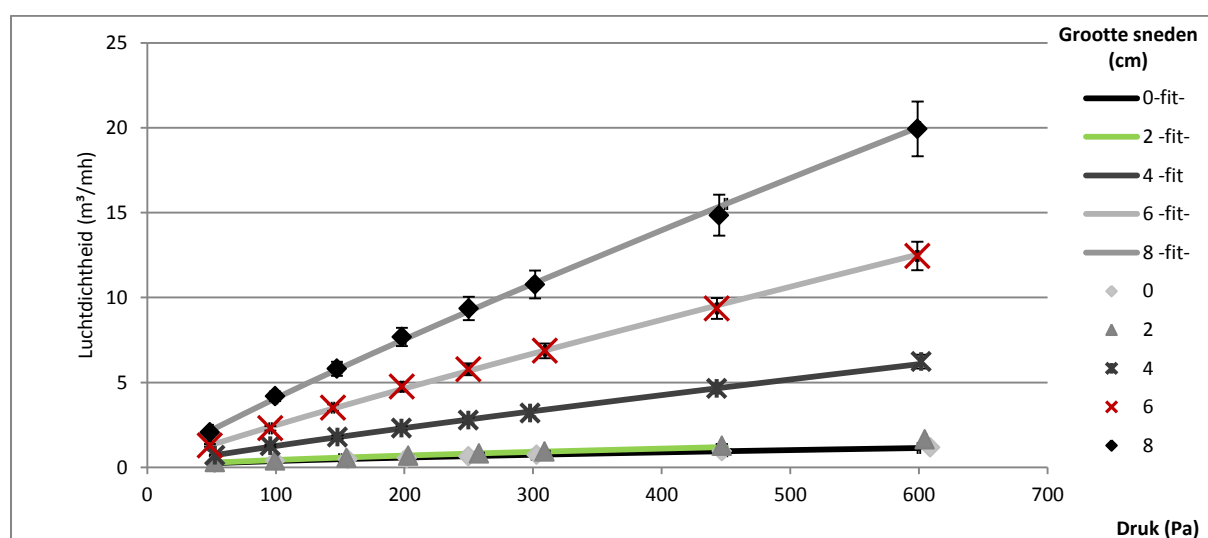




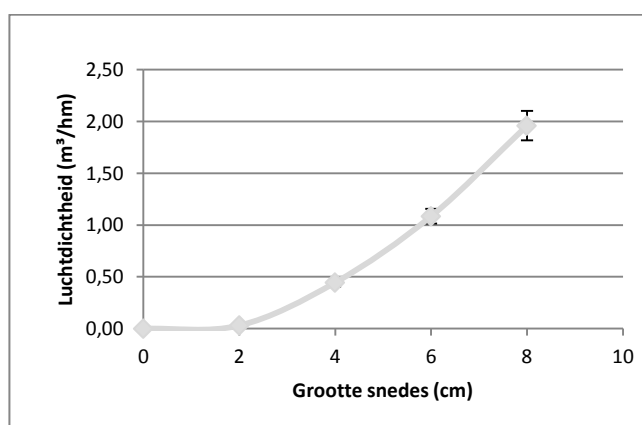
Afbeelding 76: reeks sneede 2 cm en 4 cm: respectievelijk zonder drukverschil, overdruk en onderdruk

Overdruk

Aangezien er een verschil is in de luchtdichtheid van de folie met sneeden in over- en onderdruk, worden deze apart behandeld. In eerste instantie kan het bruto-debiet van de folie met verschillende sneedegroottes uitgezet worden in een grafiek. Deze toont zowel de meetpunten als de bijhorende fit volgens de *power law*.



Grafiek 1: meetwaarden uitgezet in punten met bijhorende fit van de Power Law.



Grafiek 2: debiet doorheen 6 sneeden (m³/h.m)

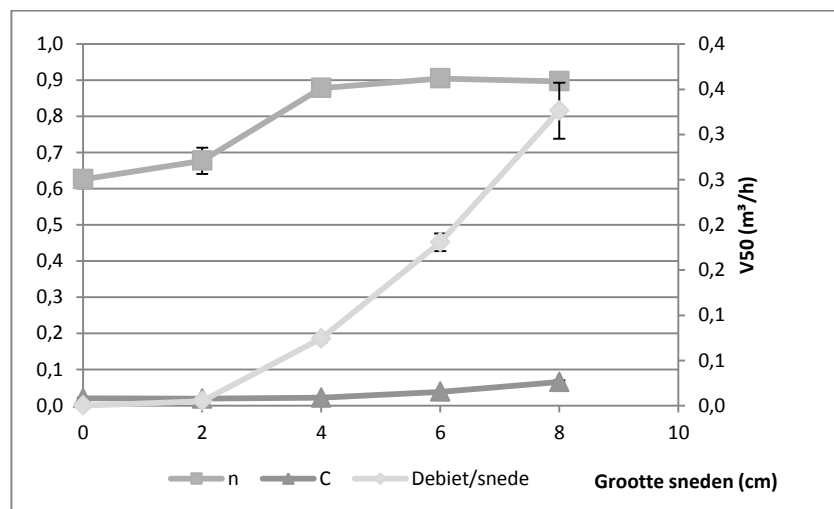
De grafiek van het luchtdebiet vertoont een vrij rechtlijnig verloop. Nochtans werd er verwacht, dat dit steeds minder rechtlijnig zou worden, de luchtstroom wordt bij grotere gaten turbulenter, waardoor de grafiek uitgesprokener een machtsfunctie zou volgen. Verder geeft de grafiek weer dat grote verliezen optreden bij hoge drukken en grote sneeden. In tegenstelling tot wat verwacht zou

worden is er geen lineair verband tussen de grootte van de sneden en de stijging van de luchtdoorlatendheid. Het debiet stijgt sneller naarmate de sneden vergroten. Dit geeft aanleiding tot een nader onderzoek van de luchtstroming doorheen de opening.

Uit vorig onderzoek weten we dat het luchtverlies een machtsfunctie volgt, zie ook literatuurstudie p9. Hogere debieten resulteren immers typisch in hogere waarden voor de lekkage coëfficiënt C en kleinere waarden voor de lekkage-exponent n , deze twee factoren hebben een negatieve correlatie, waarbij de pearson correlatiecoëfficiënt vanuit vorig onderzoek [37] gelijk gesteld word aan $-0,5$, zie ook foutencalculatie p 80.

Deze redenering gaat uit van de veronderstelling dat voor grotere openingen de luchtstroom zal overschakelen van een laminaire luchtstroom, waarbij n dus nadert naar 1, naar een turbulente, waarbij n 0,5 benadert. Voor deze test is de verwachting dus dat naarmate de sneden groter worden er een sterker turbulent verloop van de luchtstroom zal optreden.

De luchtstroming door de sneden gedraagt zich echter niet zoals verwacht. Naarmate de sneden vergroten, stijgt ook de stromingsexponent, wat wijst op een sterker laminair verloop van de luchtstroom. Ook de stromingscoëfficiënt stijgt.



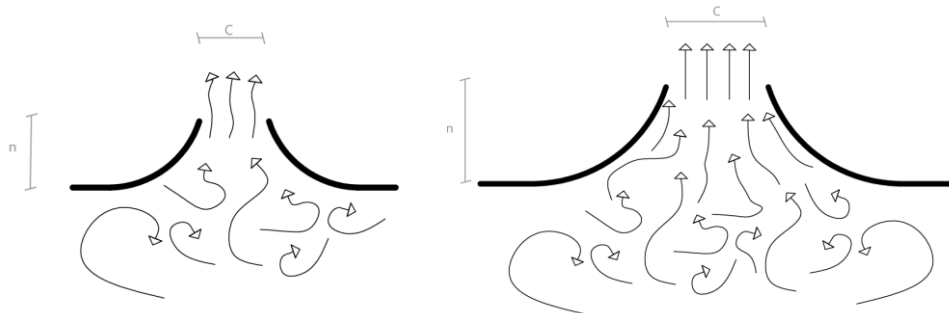
Grafiek 3: luchtstroming doorheen sneden: stromingsexponent n , stromingscoëfficiënt C en debiet/snede

grootte sneden	n	s_n	C	s_C	V_{50}^*	s	Variatie coeff	Debiet /snede	s
0	0,626	0,010	0,021	0,001	0,240	0,0127	0,053	0,000	0
2	0,677	0,036	0,019	0,004	0,270	0,0228	0,084	0,005	0,000426
4	0,878	0,011	0,022	0,001	0,685	0,0392	0,057	0,074	0,004241
6	0,905	0,011	0,038	0,002	1,324	0,0709	0,054	0,181	0,00967
8	0,897	0,013	0,065	0,005	2,198	0,208	0,095	0,326	0,030932

Tabel 19: luchtstroming doorheen sneden, * V_{50} waarden werden niet afgeleid uit ' n ' en ' C ', maar zijn de netto debieten bij 50 Pa

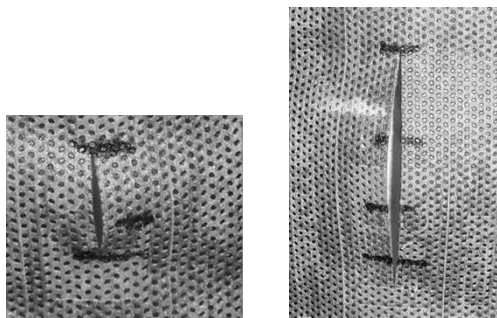
Deze drie parameters zijn ter vergelijking weergegeven in eenzelfde grafiek, waarbij duidelijk wordt dat alle drie de parameters stijgen naarmate de sneden vergroten. Dit wijst op een grotere, meer laminaire luchtstroom, naarmate de sneden vergroten. De verklaring hiervoor kan opnieuw gezocht worden in de vervorming van de folie, meer bepaald in de rand van de sneden. De stromingscoëfficiënt C blijkt voornamelijk afhankelijk van de breedte van de opening, terwijl het

verloop van n een omzetting van turbulente naar laminaire stroming doet vermoeden. Bij overdruk vervormt de snede tot een trechtervorm. Deze vorm zorgt voor een verandering van een turbulente stroming naar een laminaire stroming. Naarmate de sneden groter worden, wordt de trechtervorm uitgesprokener. Hierdoor wordt de luchtstroom laminair.



Afbeelding 77: luchtstroming doorheen snede, van turbulent naar laminair

Voor deze opstelling is er geen negatieve correlatie te vinden tussen de stromingsexponent en stromingscoëfficiënt. Hierbij kan verondersteld worden dat de stromingscoëfficiënt vooral afhankelijk is van de oppervlakte van de opening, terwijl n afhankelijk is van de trechterwerking die ontstaat, zie afbeelding 77. Het niet-lineaire verband van het debiet kan verklaard worden vanuit de vorm van de opening, immers hoe groter de snede wordt, hoe breder deze vervormd bij hoge drukken, zie afbeelding 78.

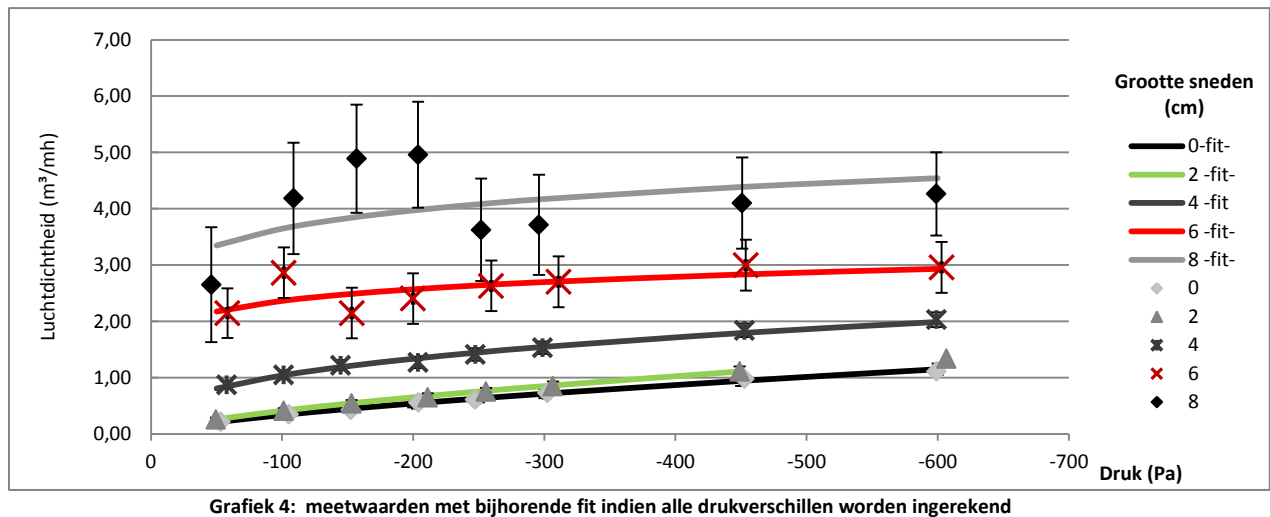


Afbeelding 78: vergelijking vervorming snede 2 cm ten opzichte van snede 4 cm

De foutencomputatie die hier wordt toegepast klopt niet geheel omdat deze nog steeds uitgaat van de negatieve correlatie tussen de stromingscoëfficiënt en stromingsexponent. Om tot een correcte inschatting van het fouteninterval te komen zou echter nog verder onderzoek uitgevoerd moeten worden. Op basis van een statistische analyse van een reeks dezelfde testen zou de correlatie tussen n en C afgeleid kunnen worden.

Onderdruk

Zoals reeds vermeld verlopen de debieten anders voor onderdruk. Hierbij is er een groot verschil tussen de lekkagedebieten voor hoge en lage drukverschillen.



Om het debiet te kwantificeren wordt enkel rekening gehouden met de verliezen bij kleine drukverschillen, aangezien deze vanuit een energiestandpunt het belangrijkste zijn. Hierbij wordt een 'fit' toegepast enkel op de waarden 50 en 100 Pa. Aangezien bij onderdruk het fitten met onvoldoende nauwkeurigheid kan gebeuren, wordt ook geen analyse gedaan van de bijhorende luchtstroming, hiervoor is verder onderzoek nodig.

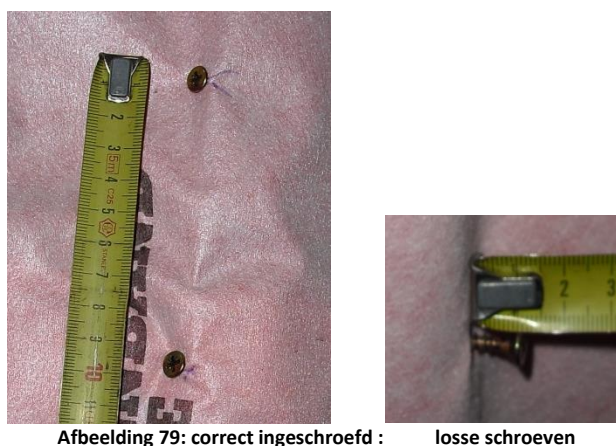
Vervolgens kan de vergelijking gemaakt worden tussen de luchtverliezen voor onder- en overdruk, vertaald naar debiet per snede. De fout die hierbij vermeld wordt is enkel de meetfout, de fout door het fitten is immers niet vergelijkbaar door het klein aantal meetpunten waarmee rekening gehouden werd voor onderdruk. De gegevens zijn dus louter indicatief, er is verder onderzoek nodig.

Grootte sneden (cm)		0	2	4	6	8
Overdruk	V ₅₀ / sneden (m³/h)	0	0,0051	0,1113	0,1807	0,3263
	Meetfout (%)	3,96	3,96	3,96	3,96	3,96
Onderdruk	V ₅₀ / snede (m³/h)	0,00	0,01	0,15	0,30	0,43
	Meetfout (%)	3,96	3,96	3,96	3,96	3,96

Tabel 20: overzicht luchtverlies doorheen sneden over- en onderdruk

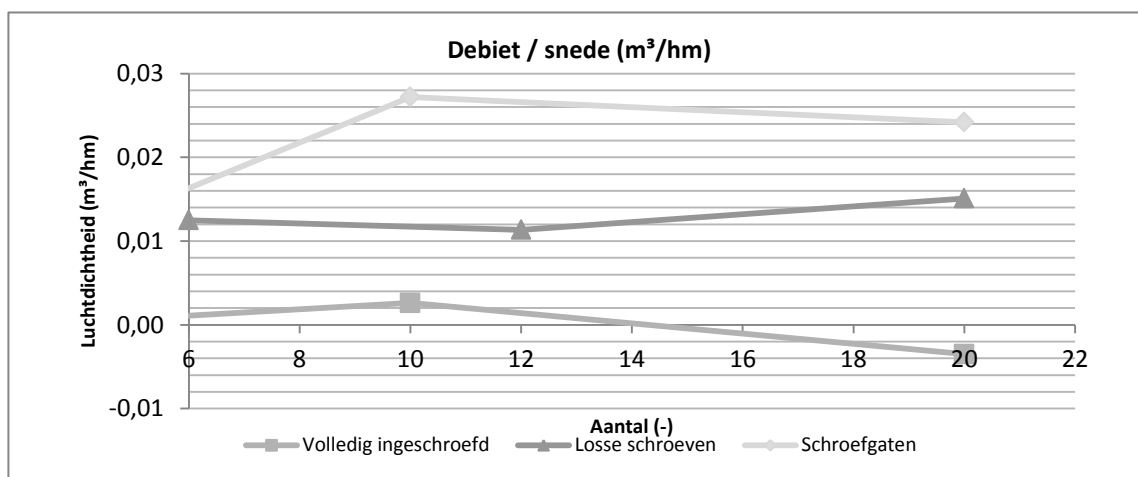
Ondanks het grote verschil tussen over- en onderdruk, kan er een eerste inschatting gemaakt worden van de luchtverliezen doorheen een snede. Zo kan een snede van 2 cm een verlies betekenen van 0,01 m³/h; terwijl een snede van 8 cm al snel een verlies van 0,43 m³/h betekent.

3. Invloed: schroeven



Afbeelding 79: correct ingeschroefd : losse schroeven

Een laatste uitvoeringsgevoeligheid die onderzocht wordt, is de doorboring van de luchtdichtheidsfolie met schroeven. Hierbij wordt de invloed van verschillende uitvoeringen getest. In eerste instantie werden schroeven correct ingevezen. Dit wil zeggen dat de schroeven worden ingeschroefd tot op het punt dat de vijsmachine onvoldoende kracht kan genereren om deze verder in te schroeven. In een volgende stap worden de schroeven 1 cm los geschroefd. In een laatste stap worden de schroeven uitgeschroefd, waarbij dus enkel het schroefgat overblijft. De schroeven die bij deze test gebruikt werden hadden schroefmaat van 4,5 x 35 wat overeenkomt met een schroefdraaddiameter van 4,5 mm. De schroeven werden aan beide zijden van het raam met een hart-op hart afstand van 9 cm geschroefd.



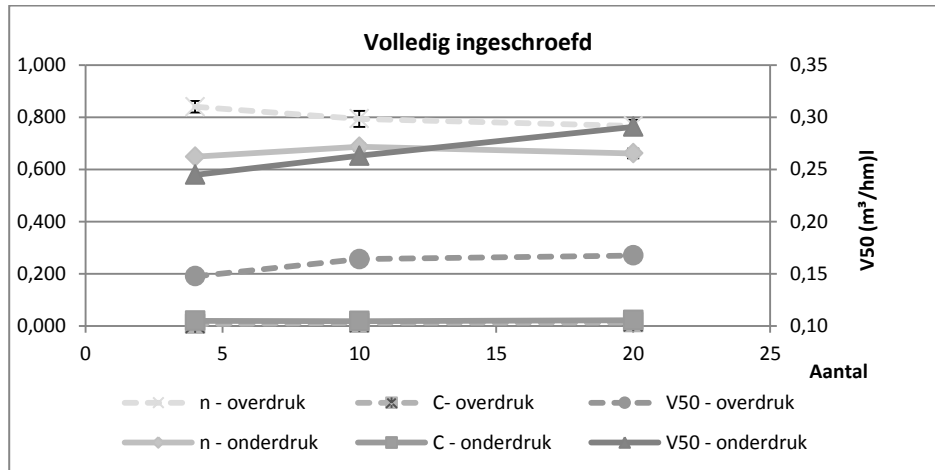
Grafiek 5: Luchtdebiet voor aantal schroeven

De grafiek toont dat een volledig ingeschroefde schroef een beperkte invloed heeft op de totale luchtdichtheid, met een gemiddelde verandering van $-0,00019 \text{ m}^3/\text{h}$ per schroef, wat vanuit het fouteninterval van het totale debiet kan gelijk gesteld worden aan $0 \text{ m}^3/\text{h}$ per schroef. Terwijl de luchtdichtheid van de raam-aansluiting door een losse schroef gemiddeld kan verminderen met $0,01297 \text{ m}^3/\text{h}$ per schroef. Een schroefgat kan een gemiddeld verlies in luchtdichtheid opleveren van $0,03 \text{ m}^3/\text{h}$ voor de raam-muuraansluiting. Dit is een aanzienlijk aandeel voor een aansluiting met goede luchtdichtheid.

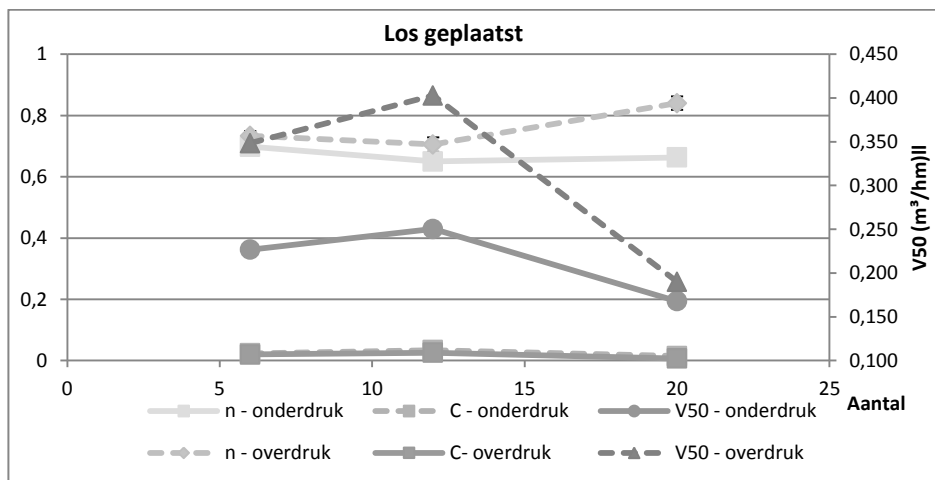
Verder is ook kort nagegaan welk type luchtstroom te verwachten is bij dit type gat, namelijk laminair of turbulent. Dit wordt nagegaan door te kijken hoe de stromingsvergelijking beïnvloed

wordt indien meer schroeven toegepast worden. Immers naarmate meer schroeven aanwezig zijn, hoe groter de invloed van de luchtstroom door de schroeven wordt.

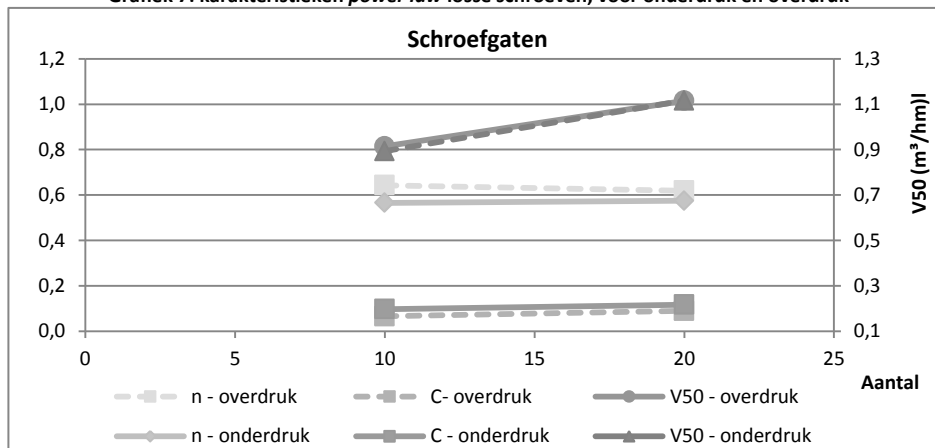
De resultaten hierbij sluiten aan bij het verwachtingspatroon, hoe meer vijzen, des te uitgesprokener er een turbulente luchtstroom ontstaat, n daalt. Dit zowel voor over- als onderdruk. Dus meer vijzen resulteert in een turbulenter stroom en een groter luchtverlies, dus n daalt, C stijgt en de V_{50} wordt groter.



Grafiek 6: karakteristieken *power law* volledig ingeschoefd, voor onderdruk en overdruk



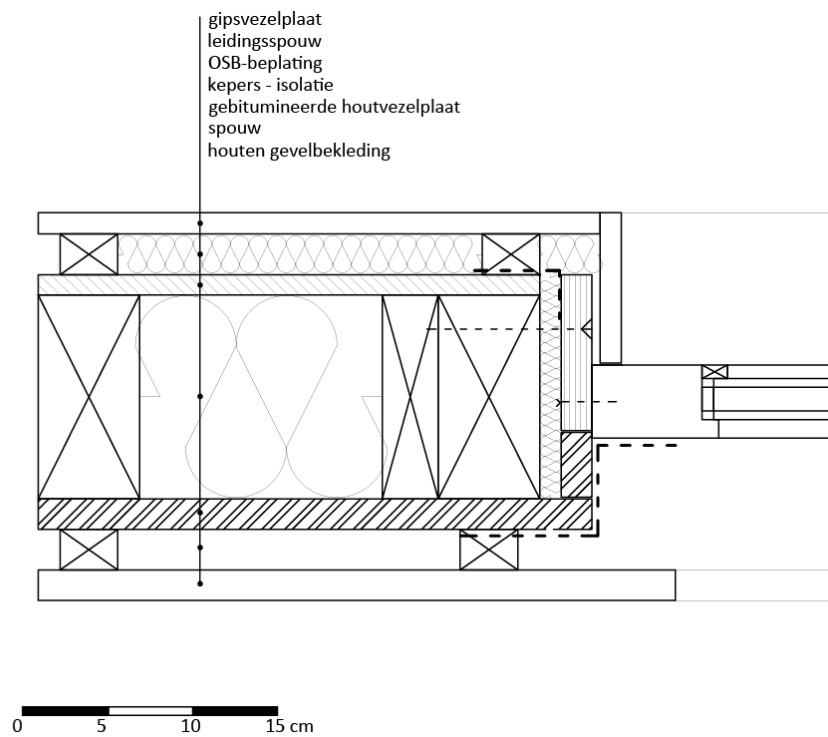
Grafiek 7: karakteristieken *power law* losse schroeven, voor onderdruk en overdruk



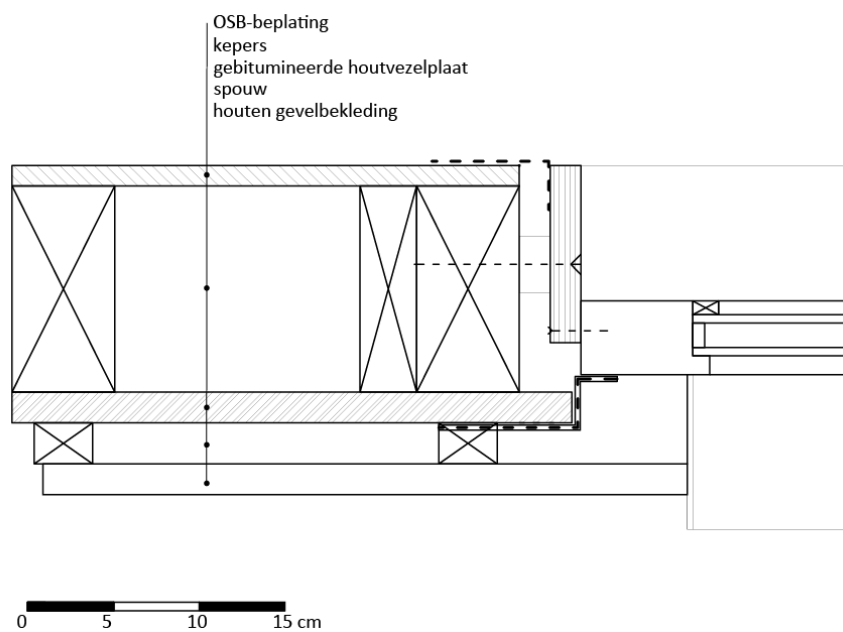
Grafiek 8: karakteristieken *power law* schroefgaten, voor onderdruk en overdruk

2.1.1.2 Multiplexkader

A. Beschrijving opstelling



Detailtering



Testopstelling

Afbeelding 80: detailtekeningen luchtdichtheidsoplossing multiplexkader folie

1. Luchtdichting

Bij deze opstelling wordt een luchtdichtheidsfolie van 200 mm breed gekleefd op het multiplexkader, aan de buitenzijde. Deze wordt na plaatsing van het raam aan de andere zijde verkleefd op de OSB-beplating. De plaat die gebruikt wordt voor het maken van het multiplexkader is een standaard multiplexplaat van 1,8cm. Het kader is 7,5 cm breed en wordt telkens met 5 schroeven bevestigd op het raamkader. Tussen het multiplexkader en het raamkozijn wordt een dichtingskit toegepast, ook de hoek tussen beiden wordt nadien met deze kit opgevuld.

Voor deze test wordt de folie gebruikt die eenzijdig zelfklevend bevestigd wordt aan het multiplexkader en door middel van kozijnfolie-lijm aan de OSB wordt verkleefd. De installatie van de folie verloopt verder volledig analoog aan de installatie met raamkaders.

De plaatsing van het raam in de opening gebeurt door middel van stelblokjes van 1,8 cm dik. Het multiplexkader wordt vastgezet met vijzen doorheen deze stelblokjes. Aan elke zijde van het raamkader worden hiervoor 2 stelblokjes voorzien.

2. Waterdichting

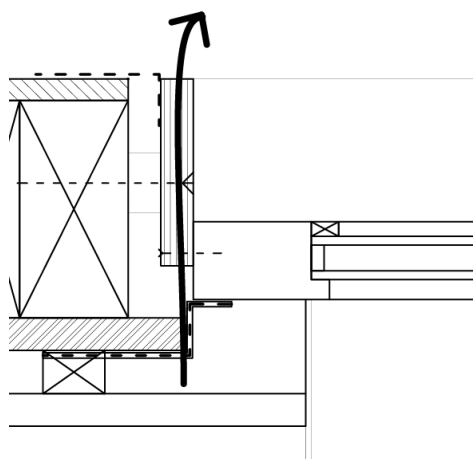
De test wordt uitgevoerd met een regendichtingsfolie, uitgevoerd in overlap. Om na te gaan of deze een invloed heeft op de luchtdichtheid, werd er een nieuwe luchtdichtheidstest uitgevoerd wanneer enkel een regendichtingsfolie aanwezig was. Deze gaf een luchtdichtheid van $8,1 \text{ m}^3/\text{hm}$, wat voor opstelling als verwaarloosbaar beschouwd kan worden.

B. Meetresultaten opstelling

Tijdens het verloop van de eerste luchtdichtheidstest worden grote debieten geregistreerd. Bij het nagaan van de oorsprong van deze debieten is een sterke luchtstroom waarneembaar ter hoogte van de kopse kant van het multiplexkader. Deze luchtverliezen zijn waarschijnlijk te wijten aan een onvoldoende luchtdichte verlijming van de fineerlagen, ook ter hoogte van onvolkomenheden in de fineerlaagjes is de luchtstroom sterk voelbaar. Deze onvolmaaktheden kunnen veroorzaakt zijn door het zagen van de platen door bijvoorbeeld de kwasten in de fineerlaagjes.

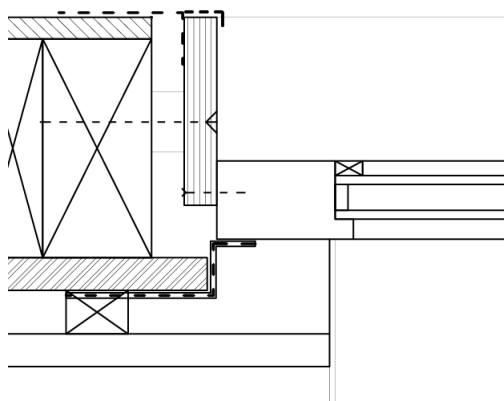


Afbeelding 81: fouten in de fineerlaagjes.

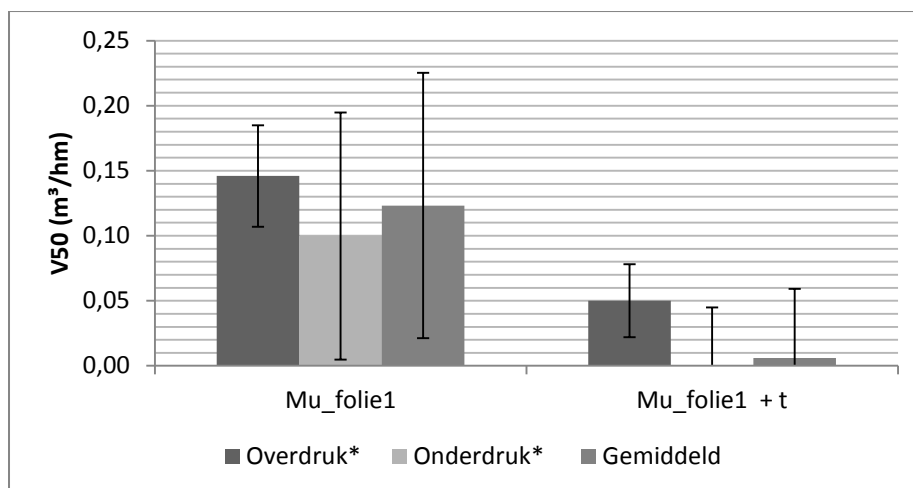


Afbeelding 82: luchtstroom doorheen multiplexkader

In een volgende test werd de kopse zijde van het multiplexkader afgesloten door middel van een luchtdichtheidstape, zie afbeelding 83. De afsluiting van de kopse kant zorgt voor een verbetering van de luchtdichtheid. Ter plaatse van de hoeken, zowel aan het raamkader als aan de verkleefing van de folie op de OSB, is er nog een luchtstroom waarneembaar.



Afbeelding 83: tape op kopse zijde multiplexkader



* V50 waarden werden niet afgeleid uit 'n' en 'C', maar zijn de netto debieten bij 50 Pa

Figuur 16: Overzicht luchtdebieten, Multiplexkader met folie eenzijdig zelfklevend (Mu_folie 1); Multiplexkader met folie eenzijdig zelfklevend met tape op kopse zijde multiplex (Mu_folie 1 +T)

		Stromingsvgl $V = C \cdot \Delta p^n$				Netto-debiet bij 50Pa											% ver- betering	Luchtdicht- heids- klasse
		Overdruk		Onderdruk		Overdruk*			Onderdruk*			Gemiddeld						
Afk.	Beschrijving	n (-)	C (m³/h.m)	n (-)	C (m³/h.m)	V ₅₀ (m³/h.m)	S-	S+**	V ₅₀ (m³/h.m)	S-	S+**	V ₅₀ (m³/h.m)	S-	S+**				
Mu_folie1	Multiplexkader, folie, eenzijdig zelfklevend, folie	0,77	0,02	0,78	0,02	0,15	0,04	0,04	0,10	0,10	0,10	0,12	0,10	0,10	-16	Goed		
Mu_folie1 + t	Multiplexkader, folie, eenzijdig zelfklevend + tape kopse kant, folie	0,66	0,02	0,80	0,01	0,05	0,03	0,03	0,00	0,05	0,05	0,01	0,05	0,05	1611	Goed		

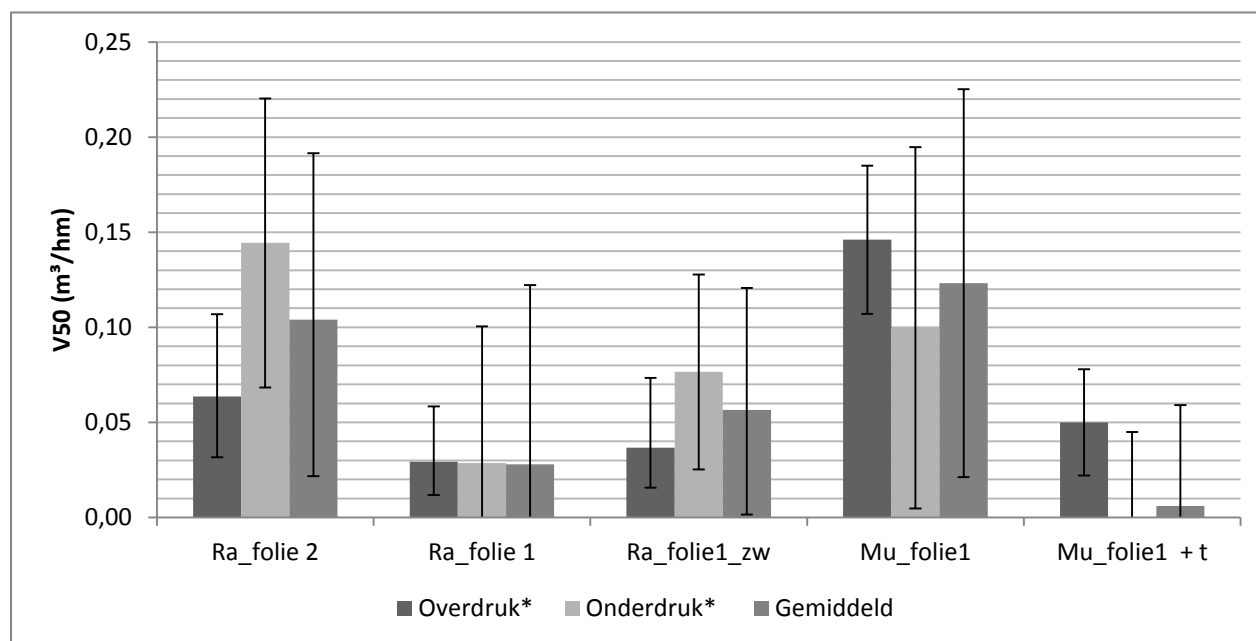
* V50 waarden werden niet afgeleid uit 'n' en 'C', maar zijn de netto debieten bij en drukverschil van 50 Pa.

Tabel 21: luchtdebiet opstelling met multiplexkader en folie eenzijdig zelfklevend

De waarden gemeten bij de bruto-meting bij onderdruk zijn kleiner dan deze gemeten voor kalibratie, er is echter nog een aanzienlijk deel van de foutenmarge die boven nul ligt. We zien dat in het geval van de combinatie luchtscherm en tape het luchtverlies zeer klein wordt. Het debiet doorheen de kopse zijde van het multiplexkader is dus een aanzienlijk verlies. Het verschil tussen de waarden voor over-en onderdruk kan verklaard worden vanuit de aanzuiging van de folie bij onderdruk, waardoor de verliezen ter hoogte van de aansluiting van de OSB kleiner worden.

In realiteit wordt de folie echter vaak verkleefd aan de binnenzijde van het multiplexkader. Aangezien er opgemerkt wordt dat er een luchtverlies is doorheen de multiplexplaat, kan deze installatiemethode hiervoor een oplossing bieden.

2.1.1.3 Conclusie



Figuur 17: Overzicht luchtdebieten folie

		Stromingsvgl $V = C \cdot \Delta p^n$				Netto-debiet bij 50Pa										% verbetering	Luchtdichtheids-klasse
		Overdruk		Onderdruk		Overdruk*			Onderdruk*			Gemiddeld					
Afk.	Beschrijving	n (-)	C (m³/h.m)	n (-)	C (m³/h.m)	V ₅₀ (m³/h.m)	s-	s+**	V ₅₀ (m³/h.m)	s-	s+**	V ₅₀ (m³/h.m)	s-	s+**			
Ra_folie 2	Raamankers, folie tweezijdig zelfklevend	0,83	0,01	0,85	0,01	0,06	0,03	0,04	0,14	0,08	0,08	0,10	0,08	0,09	0	Goed	
Ra_folie 1	Raamankers, folie eenzijdig zelfklevend	0,63	0,02	0,79	0,01	0,03	0,02	0,03	0,03	0,07	0,07	0,03	0,07	0,09	273	Goed	
Ra_folie1_zw	Raamankers, folie eenzijdig zelfklevend, zwelband	0,63	0,02	0,69	0,01	0,04	0,02	0,04	0,08	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	84	Goed	
Mu_folie1	Multiplexkader, folie, eenzijdig zelfklevend, folie	0,77	0,02	0,78	0,02	0,15	0,04	0,04	0,10	0,10	0,10	0,12	0,10	0,10	-16	Goed	
Mu_folie1 + t	Multiplexkader, folie, eenzijdig zelfklevend + tape kopse kant, folie	0,66	0,02	0,80	0,01	0,05	0,03	0,03	0,00	0,05	0,05	0,01	0,05	0,05	1611	Goed	

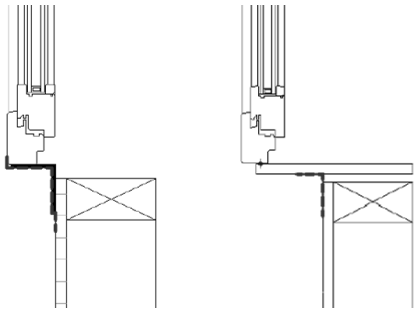
* V50 waarden werden niet afgeleid uit 'n' en 'C', maar zijn de netto debieten bij en drukverschil van 50 Pa.

Tabel 22: Overzicht luchtverlies folie

Voor de aansluitingen die in dit onderzoek getest worden, scoort de toepassing van een bevestiging met een multiplexkader gecombineerd met luchtdichtheidsfolie en een aftaping van de kopse zijde van het multiplexkader het best. Wanneer de verliezen doorheen het multiplexkader uitgesloten worden is een betere luchtdichtheid merkbaar dan wanneer de bevestiging gebeurt door middel van raamankers. De reden hiervoor kan gevonden worden in perforatie van het luchtscherm bij

installatie met raamankers. De raamankers worden immers mechanisch bevestigd aan het raam, bovenop de luchtdichtheidsfolie, waardoor er een doorboring is van de folie. Deze mechanische bevestiging bestaat vaak uit een pin waarmee het raamanker in eerste instantie vastgezet wordt, gevolgd door een vijs.

De gemeten waarden sluiten aan bij deze van vorige onderzoeken, zie literatuuronderzoek. Zo kwamen Vandeweerd en Penne [66] bij de toepassing van doorlopende folie tot een waarde 0,29 m³/hm bij raamankers en 0,082 m³/hm voor een multiplexkader. Het verschil voor de waarde bij de toepassing van raamankers kan verklaard worden door de verschillende bevestiging aan het raamkader. Hierbij verkleven Vandeweerd en Penne de folie niet aan de zijkant van het raam, zoals in de praktijk wordt toegepast, maar aan de voorzijde. Bovendien wordt de verbinding met een luchtdichtheidsvlak aan de buitenzijde gemaakt.



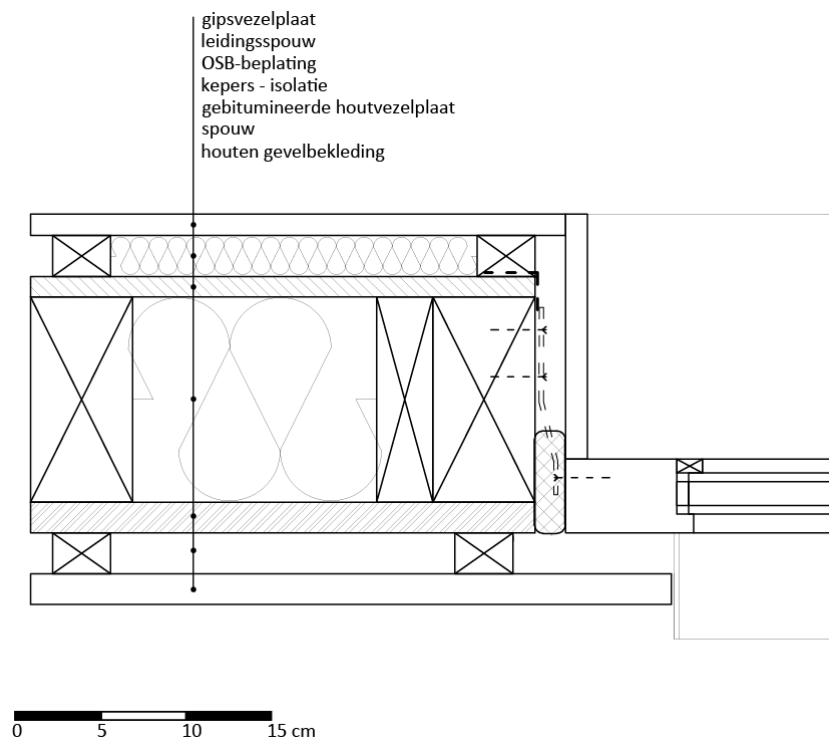
Afbeelding 84: Vandeweerd-Penne [66]

Ook de waarden van Proskiw [35] liggen in dezelfde grootte-orde als de resultaten hier verkregen: respectievelijk 0,096 m³/m.h voor een folie die aan de zijkant van het raam wordt verkleefd. Ten opzichte van Relander [42], die bij goede uitvoering een luchtdichtheid van 0,31 m³/h behaalt, zijn de resultaten hier lager. De oorzaak van de lagere resultaten kan aan het gebruik van een andere bevestigingsmethode liggen. De resultaten van het onderzoek tonen immers aan dat de bevestigingsmethode een invloed kan hebben op de luchtdichtheid.

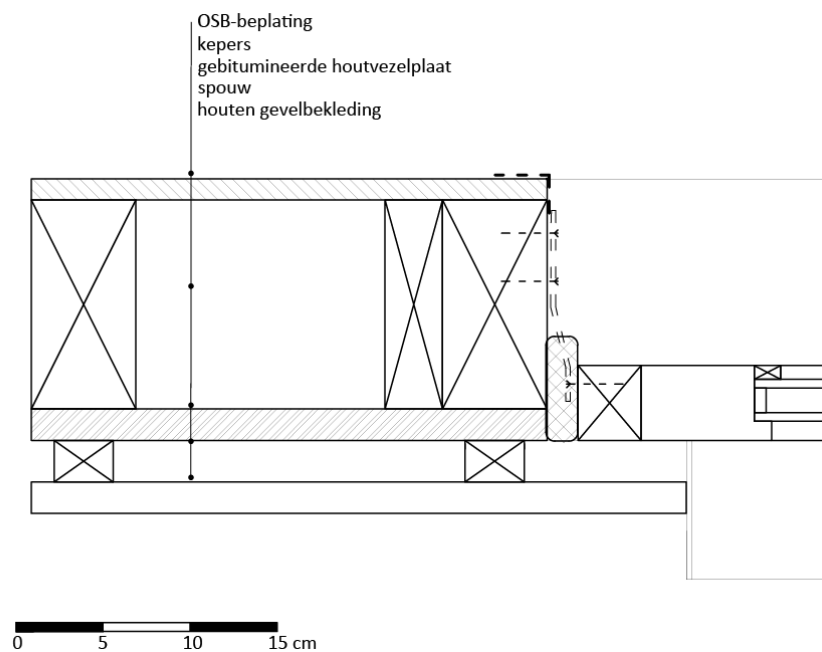
Uitvoeringsfouten kunnen al snel een grote invloed hebben op de totale luchtdichtheid van de aansluiting. Zo kan een onnauwkeurig uitgevoerd raamkader, met openingen ter hoogte van de pen en gat verbinding aan de hoeken een bijkomend luchtverlies bij 50 Pa drukverschil van 0.67 m³/h.m aansluiting opleveren. Bij de doorboring van de folie door een schroefgat kan al snel een bijkomend verlies bij 50 Pa drukverschil van 0,03 m³/h ontstaan, terwijl door een snede van 8 cm bij een drukverschil van 50 Pa een luchtstroom van 0,43 m³/h kan stromen.

2.1.2 PUR-SCHUIM + TAPE

2.1.2.1 Raamankers



Detailtering



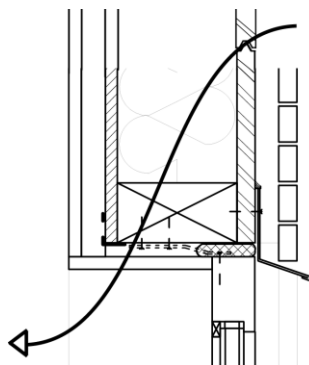
Testopstelling

Afbeelding 85: detailtekeningen luchtdichtheidsoplossing PUR + tape met raamankers

C. Beschrijving opstelling

1. *Luchtdichting*

Bij deze opstelling wordt de luchtdichtheid verzekerd door een verbinding te maken van het raamkader naar de keper door middel van PUR-schuim. Voor het uitvoeren van de test worden enkele voorzorgen genomen. Zo worden de hoeken van de raamopening afgetaped, meer bepaald de voegen tussen de aansluitende kepers. Op deze manier wordt het verlies langsheen spleten in de hoeken niet ingecalculeerd.



Afbeelding 86: Luchtverlies langs voegen dwarsbalk bovenaan

Verder wordt de voeg tussen het raam en kader verkleind door de plaatsing van een extra balk aan de onderzijde. Deze wordt eveneens luchtdicht verbonden met behulp van luchtdichte tape. Het raam wordt geplaatst door aan de onderzijde 2 stelblokjes te plaatsen ter hoogte van de raamankers, waarna de ankers overal vastgeschroefd worden. De voeg rondom meet 3,5 cm boven; 1,6 cm aan de zijkanten en 2,2 cm onder.

Verder wordt ook meteen tape voorzien ter verbinding van de keper met het luchtdichtheidsvlak de OSB. Zo wordt het luchtdichtheidsvlak van het raam overgedragen via het PUR-schuim naar de keper, die dan door de tape luchtdicht verbonden wordt met de OSB-beplating, deze aansluiting is ook te zien op afbeelding 85.

Het PUR-schuim wordt vanuit de binnenzijde gespoten met behulp van een pistool. Hierna vindt een visuele controle plaats en wordt waar nodig PUR bijgespoten vanaf de buitenzijde. Het schuim wordt toegepast over een diepte van 6 cm, in dit geval betekent dit dat het schuim gespoten wordt over de volledige breedte van het raamkozijn, namelijk 4,5 cm, waarna dit expandeert tot 6 cm.

2. *Waterdichting*

Bij het testen van PUR als luchtdichtheid werd geen bijkomende regendichting voorzien.

D. Meetresultaten opstelling

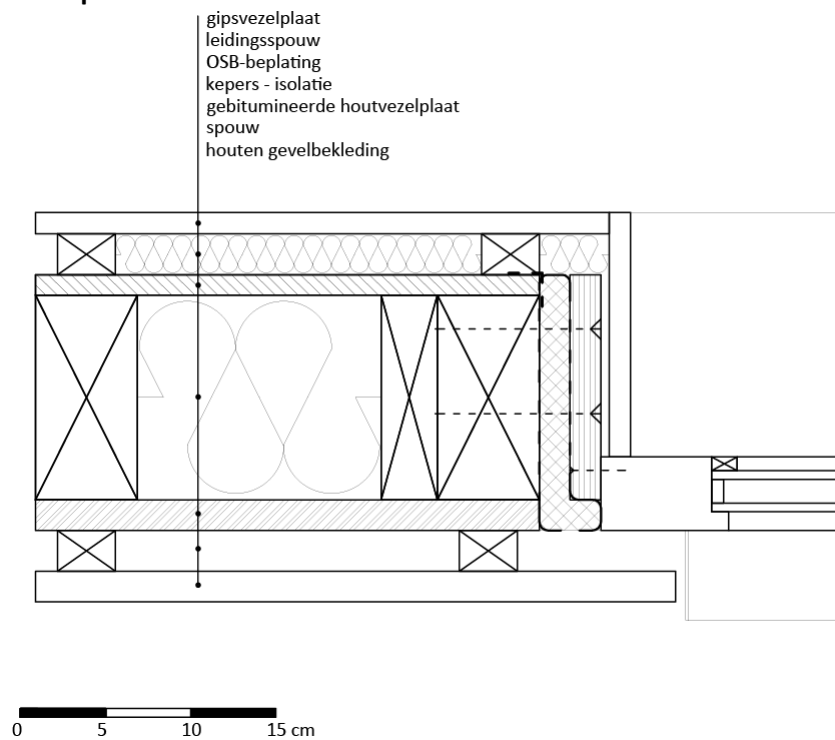
		Stromingsvgl $V = C \cdot \Delta p^n$				Netto-debiet bij 50Pa									
		Overdruk		Onderdruk		Overdruk*			Onderdruk*			Gemiddeld			Luchtdicht heids- klasse
Afk.	Beschrijving	n (-)	C (m³/h.m)	n (-)	C (m³/h.m)	V ₅₀ (m³/h.m)	s-	s+	V ₅₀ (m³/h.m)	s-	s+	V ₅₀ (m³/h.m)	s-	s+	
Ra_PUR+t	Raamankers, PUR-schuim +tape	0,72	0,02	0,70	0,02	0,08	0,02	0,02	0,08	0,05	0,05	0,08	0,053	0,053	Goed

* V50 waarden werden niet afgeleid uit 'n' en 'C', maar zijn de netto debieten bij en drukverschil van 50 Pa.

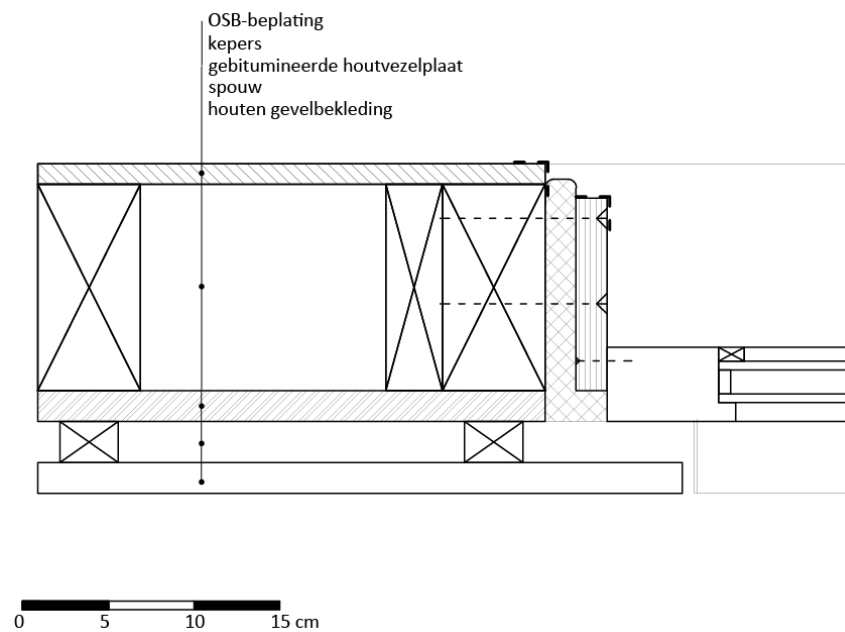
Tabel 23: luchtdebiet raamankers PUR schuim en tape

De grootste luchtstromen zijn waarneembaar ter hoogte van de onderbrekingen in de voeg, namelijk ter hoogte van de hoeken, de raamankers en de stelblokjes. Ter hoogte van de stelblokjes is een kleinere dikte PUR toegepast, hierdoor werden luchtverliezen verwacht. Verder zijn de luchtstromen ter plaatsen van raamankers en hoeken ook te wijten aan een onnauwkeurige uitvoering. Ter hoogte van de onderbrekingen is er immers een bijkomende moeilijkheid om het schuim correct te plaatsen.

2.1.2.2 Multiplexkader



Detaillering



Testopstelling

Afbeelding 87: detailtekeningen luchtdichtheidsoplossing multiplex PUR-schuim

E. Beschrijving opstelling

1. Luchtdichting

Voor deze opstelling worden opnieuw dezelfde voorzorgen genomen, de hoeken in de aansluiting tussen de verschillende kepers worden afgetaped om bijkomende luchtlekkages te vermijden.

Verder wordt de voeg tussen het raam en kader ook verkleind door de plaatsing van een extra balk onderin. Deze wordt eveneens luchtdicht verbonden met behulp van luchtdichte tape. Bij de toepassing van luchtdichtheidsfolie met een multiplexkader werd opgemerkt dat er grote verliezen doorheen de kopse zijde van het multiplexkader optreden, waarna deze afgetaped werden. Ook in deze opstelling wordt de kopse zijde van het multiplexkader afgetaped.

De plaatsing van het raam in de opening gebeurt opnieuw door middel van stelblokjes van 1,8 cm dik, aan alle vier de zijden. Het raamkader wordt vastgezet met vijzen doorheen deze stelblokjes. Er worden op elke zijde van het raamkader 2 stelblokjes voorzien.

De voeg rondom meet aan alle zijden 1,8 cm. Verder wordt het PUR-schuim toegepast over verschillende dieptes links en rechts, respectievelijk 13,5 en 12 cm. Dit verschil wordt geïntroduceerd voor de waterdichtheidsproeven.



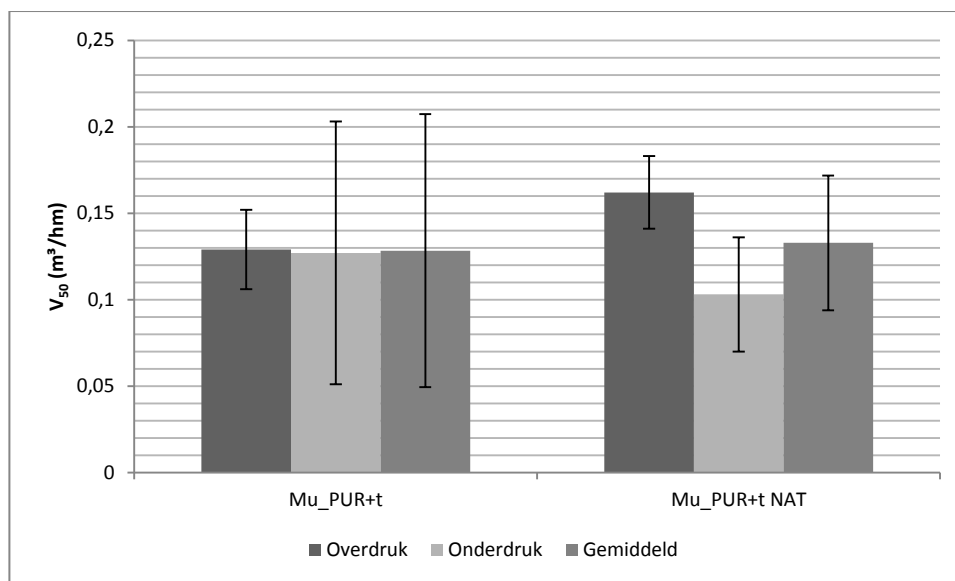
Afbeelding 88: opstelling vanuit binnenzijde, stelblokjes

2. Waterdichting

Bij het testen van PUR + tape als luchtdichtheid werd geen waterdichting voorzien.

F. Meetresultaten opstelling

De opstelling werd tweemaal aan een luchtdichtheidsproef onderworpen. De test werd op dezelfde testopstelling opnieuw uitgevoerd na de waterdichtheidstesten. Deze proef wordt uitgevoerd in de verwachting dat de aansluiting beter zal scoren op vlak van luchtdichtheid wanneer de aansluiting nat is. Kleine gaten en poriën zullen immers gevuld zijn met water, waardoor minder luchtverliezen aanwezig zijn.



Figuur 18: Luchtverliezen voor PUR-aansluiting

V = C.Δp ⁿ						Netto-debiet bij 50Pa										% verbetering	Luchtdichtheidsklasse
		Overdruk		Onderdruk		Overdruk*			Onderdruk*			Gemiddeld					
	Beschrijving	n (-)	C (m³/h.m)	n (-)	C (m³/h.m)	V ₅₀ (m³/h.m)	s-	s+	V ₅₀ (m³/h.m)	s-	s+	V ₅₀ (m³/h.m)	s-	s+			
Mu_PUR+t	Multiplexkader, PUR-schuim +tape	0,84	0,01	0,66	0,01	0,13	0,02	0,02	0,18	0,09	0,09	0,15	0,09	0,09	0	Matig	
Mu_PUR+t NAT	Multiplexkader, PUR-schuim +tape	0,66	0,03	0,65	0,03	0,16	0,02	0,02	0,15	0,06	0,06	0,16	0,06	0,06	3	Matig	

* V50 waarden werden niet afgeleid uit 'n' en 'C', maar zijn de netto debieten bij en drukverschil van 50 Pa.

Tabel 24: Luchtdebieten voor multiplex PUR

De meetresultaten van de natte PUR geven iets hogere luchtlekkagedebieten, de verwachte verbetering in luchtdichtheid is dus niet opgetreden. Verder bevinden de grootste lekkagepaden zich opnieuw ter hoogte van de onderbrekingen in de voeg. Door gebruik te maken van stelblokjes in plaats van afstandsschroeven is er een opmerkelijk groter oppervlak onderbroken in de voeg. De grootste luchtlekkages bevinden zich dan ook ter hoogte van deze stelblokjes en hoeken. Vooral aan de zijkanten is er een groot verliesdebiet.

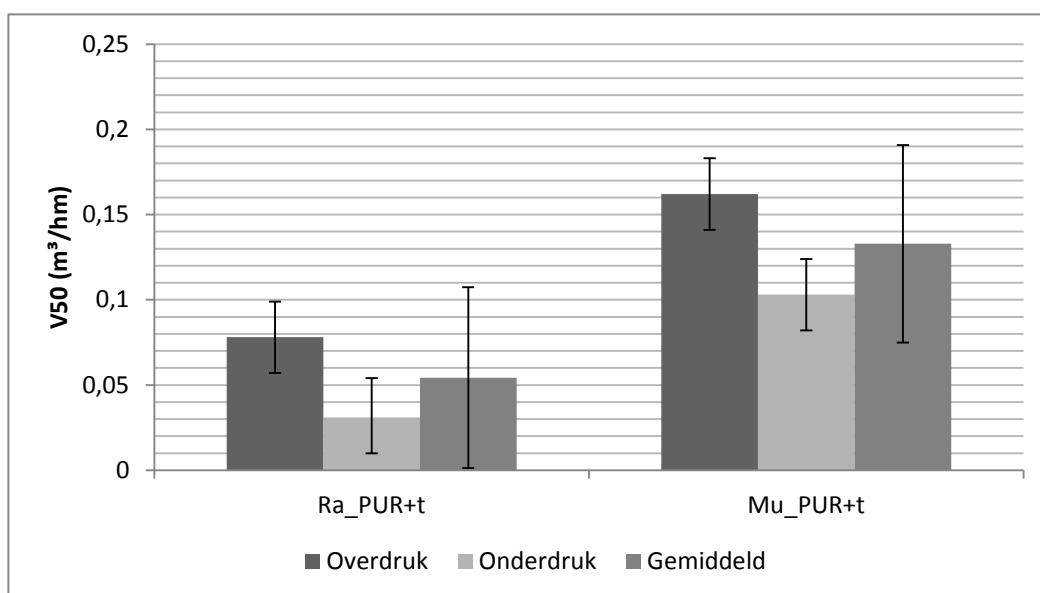
De oorzaak hiervan kan gevonden worden in het gedrag van het net gespoten PUR-schuim. Het schuim zakt immers onder eigengewicht. Ter hoogte van onderbrekingen zoals een stelblokje aan de zijkant zakt het schuim aan de onderzijde van het stelblokje, waardoor er een slechte hechting is van het schuim op het houten blokje. De debieten zijn sterker voelbaar aan de rechterzijde, waar de PUR over een kleinere diepte voorzien was.

De meting doet vermoeden dat de bevestiging van het multiplexkader met behulp van afstandsschroeven een betere oplossing zou bieden. Het aantal onderbrekingen doorheen de PUR, tot aan de binnenzijde wordt immers sterk beperkt. Doordat dit echter niet vaak toegepast wordt, kan er ook geopteerd worden kleinere stelblokjes te gebruiken.



Afbeelding 89: stelblokje zijkant rechts

2.1.2.3 Conclusie



Figuur 19: Vergelijking raamankers en multiplexkader voor PUR+tape

		Stromingsvgl $V = C \cdot \Delta p^n$				Netto-debiet bij 50Pa									
		Overdruk		Onderdruk		Overdruk*			Onderdruk*			Gemiddeld			Luchtdichtheids-klasse
Afk.	Beschrijving	n (-)	C (m³/h.m)	n (-)	C (m³/h.m)	V ₅₀ (m³/h.m)	s-	s+	V ₅₀ (m³/h.m)	s-	s+	V ₅₀ (m³/h.m)	s-	s+	
Ra_PUR+t	Raamankers, PUR-schuim +tape	0,72	0,02	0,70	0,02	0,08	0,02	0,02	0,08	0,05	0,05	0,08	0,053	0,053	Goed
Mu*_PUR+t	Multiplex-kader, PUR-schuim +tape	0,84	0,01	0,66	0,01	0,16	0,02	0,02	0,15	0,06	0,06	0,16	0,06	0,06	Goed

* V50 waarden werden niet afgeleid uit 'n' en 'C', maar zijn de netto debieten bij en drukverschil van 50 Pa.

** De kopse zijde van het multiplexkader werd afgesloten met luchtdichtheidstape nadat hierlangs grote debieten merkbaar waren.

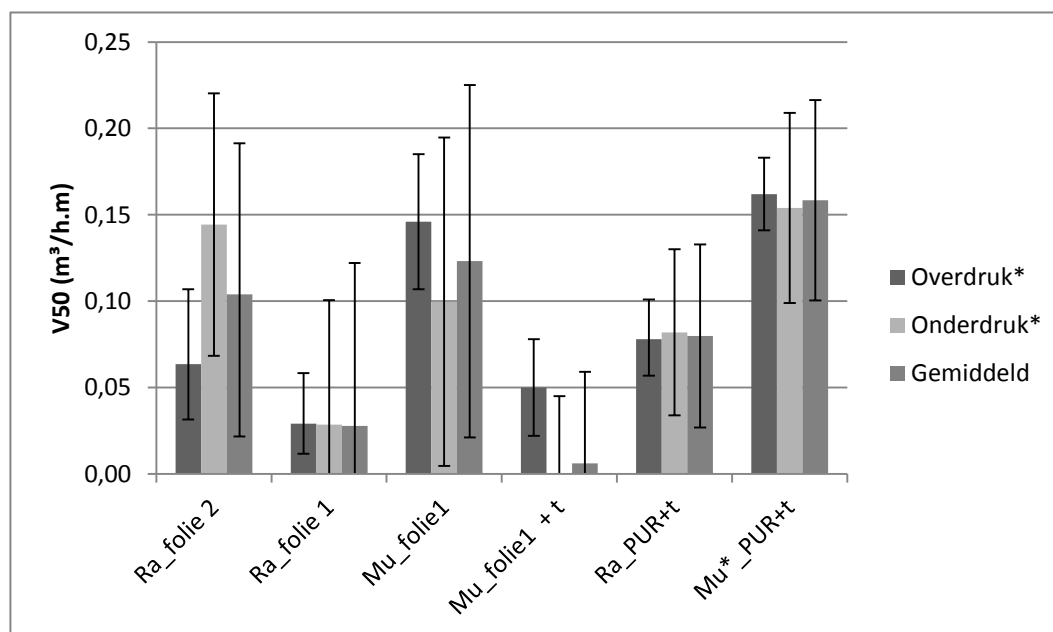
Tabel 25: Luchtverliezen vergelijking PUR bij bevestiging multiplex of raamankers

Uit de vergelijking van het PUR-schuim met verschillende bevestigingsmethodes scoren de raamankers op eerste zicht beter. Dit ondanks de opmerkelijk grotere voeg bij de raamankers, onder 2,2 cm, boven 3,3 cm, aan de zijkanten 1,6 cm, dan bij het multiplexkader, 1,8 cm. De foutenmarges van beide oplossingen overlappen echter wel, waardoor de verbetering niet met zekerheid kan gesteld worden.

Onze resultaten liggen hoger dan deze gevonden door Vandeweerd Penne [66], die respectievelijk voor de bevestiging met raamankers en multiplexkader debieten van 0,0082 en 0,038 m³/hm haalden. Dit verschil kan deels te wijten zijn aan de installatiemethode door Vandeweerd Penne, hierbij werden, voorzover nagegaan kan worden vanuit de foto's van de opstelling, geen stelblokjes gebruikt voor de plaatsing, hoe deze aansluiting dan wel bevestigd werd is onduidelijk.

Het mogelijke verschil in luchtdichtheid tussen de toepassing van raamankers of multiplexkader kan mogelijks ook verklaard worden vanuit de installatiemethode van het multiplexkader met stelblokjes, door deze bevestigingsmethode te gebruiken worden immers meer onderbrekingen geïntroduceerd in de voeg waardoor er een slechtere luchtdichtheid ontstaat. Ook Van Den Bossche [11] [37] stelt vast dat de grootste luchtlekken optreden ter hoogte van de raamankers en stelblokjes.

Vanuit de vergelijking van deze twee oplossingen is de veronderstelling dat vooral het aantal onderbrekingen een grote rol speelt. De resultaten doen vermoeden dat indien het volledige multiplexkader bevestigd zou worden met afstandsschroeven er reeds een sterke verbetering zou optreden. Ook voor de raamankers kan het weglaten van de stelblokjes een verbetering in luchtdichtheid betekenen.



Figuur 20: Luchtdebieten, vergelijking tussen de verschillende materialen

V = C.Δp ⁿ						Netto-debiet bij 50Pa										
		Overdruk		Onderdruk		Overdruk*			Onderdruk*			Gemiddeld			% verbetering	Luchtdichtheidsklasse
	Beschrijving	n (-)	C (m³/h.m)	n (-)	C (m³/h.m)	V ₅₀ (m³/h.m)	s-	s+**	V ₅₀ (m³/h.m)	s-	s+**	V ₅₀ (m³/h.m)	s-	s+**		
Ra_folie 2	Raamankers, folie tweezijdig zelfklevend	0,83	0,01	0,85	0,01	0,06	0,03	0,04	0,14	0,08	0,08	0,10	0,08	0,09	0	Goed
Ra_folie 1	Raamankers, folie eenzijdig zelfklevend	0,63	0,02	0,79	0,01	0,03	0,02	0,03	0,03	0,07	0,07	0,03	0,07	0,09	73	Goed
Mu_folie1	Multiplexkader, folie, eenzijdig zelfklevend, folie	0,77	0,02	0,78	0,02	0,15	0,04	0,04	0,10	0,10	0,10	0,12	0,10	0,10	-19	Goed
Mu_folie1 + t	Multiplexkader, folie, eenzijdig zelfklevend + tape kopse kant, folie	0,66	0,02	0,80	0,01	0,05	0,03	0,03	0,00	0,05	0,05	0,01	0,05	0,05	94	Goed
Ra_PUR+t	Raamankers, PUR-schuim +tape	0,72	0,02	0,70	0,02	0,08	0,02	0,02	0,08	0,05	0,05	0,08	0,05	0,05	23	Goed
Mu*_PUR+t	Multiplexkader, PUR-schuim +tape	0,84	0,01	0,66	0,01	0,16	0,02	0,02	0,15	0,06	0,06	0,16	0,06	0,06	-52	Goed

* V50 waarden werden niet afgeleid uit 'n' en 'C', maar zijn de netto debieten bij en drukverschil van 50 Pa.

Tabel 26: Totaaloverzicht luchtdichtheid verschillende aansluitingen

De metingen geven aan dat naargelang het type aansluiting het gemiddelde lekdebiet kan variëren van 0,01 tot 0,16. Door de kleine waarden van deze metingen is het fouteninterval relatief groot, waardoor vele oplossingen een overlappend fouteninterval hebben. Alle oplossingen vallen echter onder de classificatie van goede luchtdichtheid. De aansluitingen kunnen dus toegepast worden als

‘passiefhuis-oplossing’. Het onderzoek toont aan dat de klasse goede luchtdichtheid op een relatief eenvoudige manier bereikt kan worden.

Er zijn wel een aantal aandachtspunten bij het aanbrengen van de luchtdichting. Bij folie moet voldoende aandacht besteed worden aan de verkleving, vooral ter hoogte van de hoeken zijn er grote luchtdebieten merkbaar. Bij de toepassing van PUR-schuim zijn vooral het aantal onderbrekingen, bijvoorbeeld stelblokjes en raamankers, een belangrijke parameter voor de luchtdichtheid.

Gebreken in de folie of een onzorgvuldige installatie kunnen meteen een grote invloed hebben op de luchtdichtheid van de aansluiting. In de proeven werd de invloed van schroeven, sneden en een gebrekkige verkleving van de folie op het raamkader nagegaan. Bij de testen met het multiplexkader als bevestigingsmethode werd, verrassend genoeg, een groot lekkagedebiet opgemerkt langsheen de kopse zijde van het multiplexkader.

Uit het onderzoek naar luchtdichtheid blijkt het multiplexkader aan de kopse zijde weinig luchtdicht. Aangezien het multiplexkader vaak vooropgesteld wordt als een installatiemethode waarbij makkelijk een goede luchtdichtheid bereikt kan worden, lijkt het aangewezen hier verder onderzoek naar uit te voeren. Over de bevestiging van het multiplexkader aan de wand bestaan nog een aantal vragen. Zo kan de verbetering van de luchtdichtheid bij het gebruik van afstandsschroeven in plaats van stelblokjes nagegaan worden.

Bij de proeven waarin we de invloed van sneden in de luchtdichtingsfolie nagaan, blijkt het type stroming – laminair of turbulent - te variëren in functie van de grootte van de snede. Verder onderzoek zou uitgevoerd moeten worden om dit fenomeen na te gaan.

Ten slotte blijkt het residueel debiet van onze metingen vrij hoog te liggen in vergelijking met de gemeten debieten. Dit heeft als gevolg dat onze foutenintervallen zeer groot zijn en vaak overlappen. Wanneer men uitspraken wil doen over de relatieve verbetering van de verschillende uitvoeringsmethoden wordt aangeraden de metingen te herhalen met een lager residueel debiet.

Opmerking: enkel regendichting

In het onderzoek naar waterdichtheid is het interessant om ook het *worst-case* scenario te bestuderen. Namelijk wat als er helemaal geen luchtdichtheidsscherm aanwezig is? In dat geval wordt de voeg tussen het raamkader en de opening enkel door middel van het regenscherm 'afgedicht'. Het is evenwel interessant om even te verklaren waarom het luchtverlies zo groot is wanneer er enkel een regen barrière toegepast wordt.

Om dit toe te lichten nemen we het voorbeeld van een regenfolie, die exact hetzelfde materiaal is als de luchtdichtheidsfolie en op exact dezelfde manier toegepast wordt. Namelijk een eenzijdig zelfklevende folie, continu verkleefd met een plooi in de hoeken.

Wanneer deze folie als luchtdichtingsfolie gebruikt wordt, wordt deze verbonden aan het luchtdichtheidsvlak van de wand, namelijk de OSB-beplating. Indien de folie echter als regenscherm gebruikt wordt verkleven we deze aan de buitenzijde, op het regenscherm, de gebitumineerde houtvezelplaat.

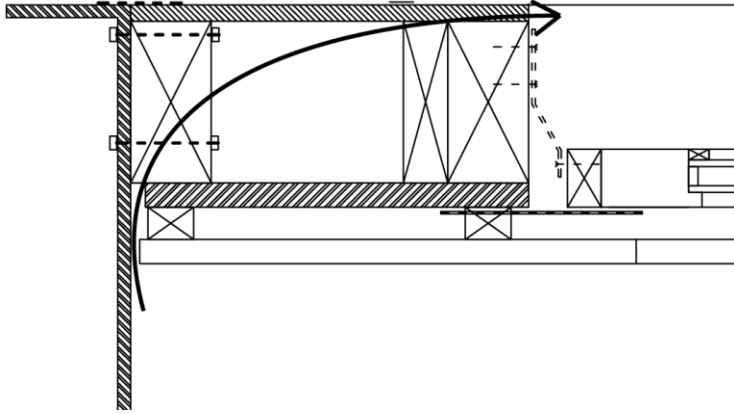
V = C · Δp ⁿ						Netto-debiet bij 50Pa										
		Overdruk		Onderdruk		Overdruk*			Onderdruk*			Gemiddeld			% ver-betering	Luchtdichtheids-klasse
	Beschrijving	n (-)	C (m³/h.m)	n (-)	C (m³/h.m)	V ₅₀ (m³/h.m)	s-	s+	V ₅₀ (m³/h.m)	s-	s+	V ₅₀ (m³/h.m)	s-	s+		
Ra_f1_zw	Raamkaders, folie eenzijdig zelfklevend, zwelband	0,63	0,02	0,69	0,01	0,04	0,02	0,04	0,08	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0	Goed
Ra_f1	Raamkaders, geen luchtdichting, folie	0,54	0,72	0,69	0,42	5,81	0,18	0,18	6,15	0,12	0,12	5,98	0,19	0,19	10459	Slecht

* V50 waarden werden niet afgeleid uit 'n' en 'C', maar zijn de netto debieten bij 50 Pa

Tabel 27: Luchtverliezen vergelijking folie verbonden met gebitumineerde houtvezelplaat of OSB

Het verschil in luchtdichtheid tussen beide uitvoeringen is opmerkelijk. De oorzaak hiervan is te vinden in de bijkomende lekkagepaden wanneer de folie als regenscherm gebruikt wordt. Deze bijkomende lekkagepaden ontstaan doordat er geen verbinding gemaakt wordt naar het luchtdichtheidsvlak van de wand. Een eerste verliespost treedt op in de aansluiting tussen de OSB-beplating en de keper.

Verder kan er ook een luchtstroom, doorheen de voeg van de gebitumineerde houtvezelplaten, naar de raamopening stromen. Uit de gegevens van Langmans (bron) blijkt dat dit een verlies van 0,47 m³/h per lopende meter voeg bij 50Pa drukverschil kan zijn. Dit geldt voor een correct uitgevoerde voeg. Indien er 2 mm speling tussen de platen zit, vb. wanneer het tand en groef systeem niet 100% correct is uitgevoerd, kan een debiet van 0,92 m³/h per lopende meter bij 50 Pa ontstaan. Wanneer we dit vertalen naar onze aansluiting geeft dit al een bijkomende luchtlekkage van 1,656 m³/h/m.



Afbeelding 90: luchtverlies langs aansluiting gebitumineerde houtvezelplaten: zij aansluiting

Dit is echter niet de grootste verliespost in onze opstelling. Het grootste aandeel van lekkage bevindt zich simpelweg in de aansluiting van het regenscherm op de kast, deze is immers niet luchtdicht uitgevoerd, waardoor hierdoor zeer grote verliezen ontstaan, zie afbeelding 90.

De luchtdichtheidsmetingen zonder luchtdichtheidsscherm zijn dus niet representatief voor een uitvoering op de werf, het is echter wel een *worst-case* scenario.

2.2 WATERINFILTRATIE

In dit deel van de scriptie worden de verschillende resultaten van de waterdichtheidstesten geanalyseerd. In eerste instantie worden de resultaten van de verschillende testen uitgebreid besproken, waarna voor iedere testreeks een vergelijking, tussen de verschillende metingen, opgesteld wordt. Bij iedere reeks wordt een duidelijk overzicht gegeven van de verschillende mechanismen die de waterinfiltratie beïnvloeden.

De verschillende testen worden als volgt besproken: eerst worden de opstellingen met het raam aan de binnenzijde van het regenscherm besproken. Dit gebeurt voor twee regendichtheidsoplossingen: zwelband en regenfolie. Bij de regenfolie wordt de invloed van een installatiefout, de wijze van installatie, en de bevestigingsmethode van het raam nagegaan. Vervolgens wordt de aansluiting voor het raam naar het buitenvlak onderzocht, hierbij wordt gekeken naar de regenfolie in overlap. Een laatste raampositie die onderzocht wordt, is deze van het raam in het vlak. Hierbij wordt opnieuw gebruik gemaakt van verschillende regendichtheidsmethodes: regendichtingsfolie en PUR-schuim. Bij de bespreking van de resultaten van testen met PUR-schuim wordt de invloed van de bevestigingswijze nagegaan.

Door de vele parameters is het niet evident een overzicht te bewaren. Er werd een bladwijzer opgesteld, zodat steeds gevolgd kan worden welke parameters er variëren en ten opzichte van welke aansluiting een vergelijking gemaakt wordt. Naast de parameters uit de tabel varieert de luchtdichtheid van de aansluitingen.

De lezer die snel een algemene indruk van de resultaten wil krijgen wordt aangeraden om meteen door te bladeren naar de conclusies, hieronder wordt een overzicht gegeven:

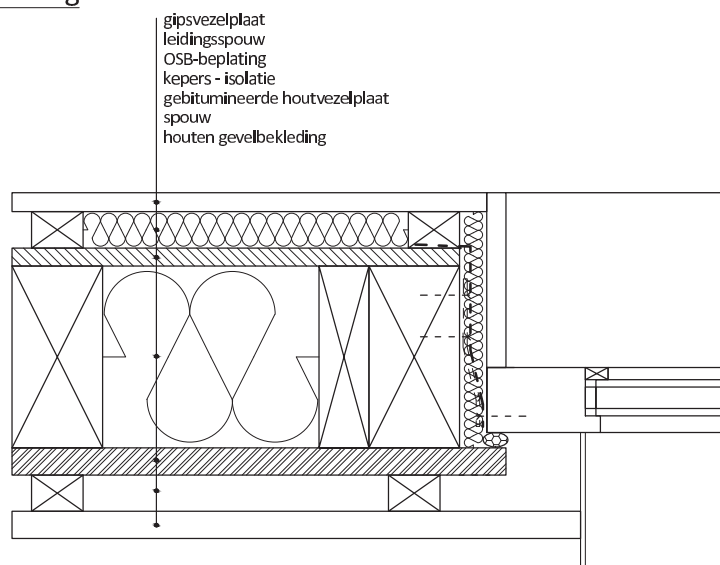
- Vergelijking uitvoeringswijze folie p 192
- Vergelijking bevestigingsmethode p 205
- Algemene conclusie p 242

2.2.1 Raam naar binnen

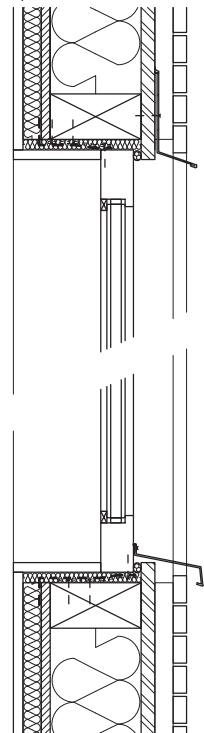
2.2.1.1 ZWELBAND

Detaillering

Plan 1/5

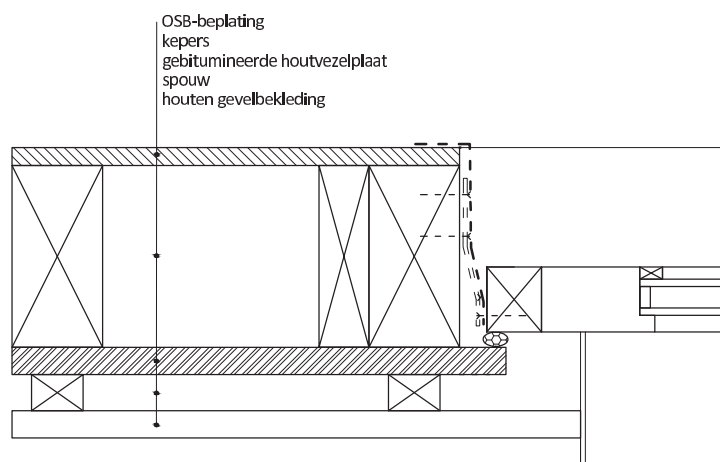


Snede 1/10

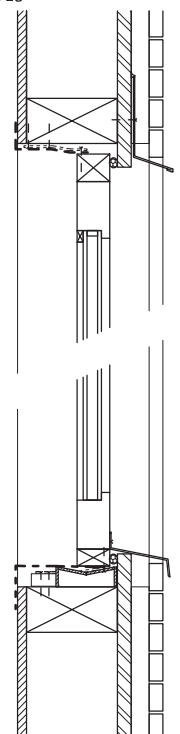


Testopstelling

Plan 1/5

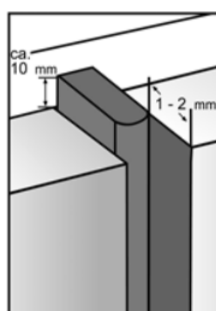


Snede 1/10



1. Opstelling

In een eerste reeks testen wordt de regendichting verzekerd door een voorgecomprimeerde zwelband. Deze wordt achter slag van de gebitumineerde houtvezelplaat geplaatst. De luchtdichtheid wordt verzekerd door een luchtdichtingsfolie die met de zelfklevende strook aan de zijkant van het raamkozijn gekleefd wordt. De hoeken van de folie worden geplooid zodat dat luchtdichtingsfolie continu uitgevoerd kan worden. (zie hoofdstuk luchtdichtheid). Hierna worden de raamankers bevestigd en wordt het raam geïnstalleerd. De luchtdichtingsfolie wordt met kozijnfolielijm verkleefd op de OSB. In de voeg tussen het raam en de gebitumineerde houtvezelplaat wordt de zwelband geplaatst. De voeg bedraagt 18 mm, waarbij een zwelband wordt toegepast die geschikt is voor een voegbreedte van 10 tot 20 mm. De hoeken zijn gestuikt uitgevoerd, dit wordt voorgeschreven in de technische fiche van de producent. Hierna wordt een periode van 12 u voorzien om de zwelband te laten uitzetten, zodat de gewenste compressie bereikt wordt.



Afbeelding 91: plaatsing zwelband

Na deze periode wordt gecontroleerd of de zwelband voldoende gecomprimeerd is. Vervolgens wordt de gevel geïnstalleerd. Tenslotte wordt de dorpel aan het raam bevestigd. Doordat de dorpel niet de volledige breedte van het raam overspant veronderstellen we dat de hoeken de meest kritieke punten voor waterdichtheid zijn.

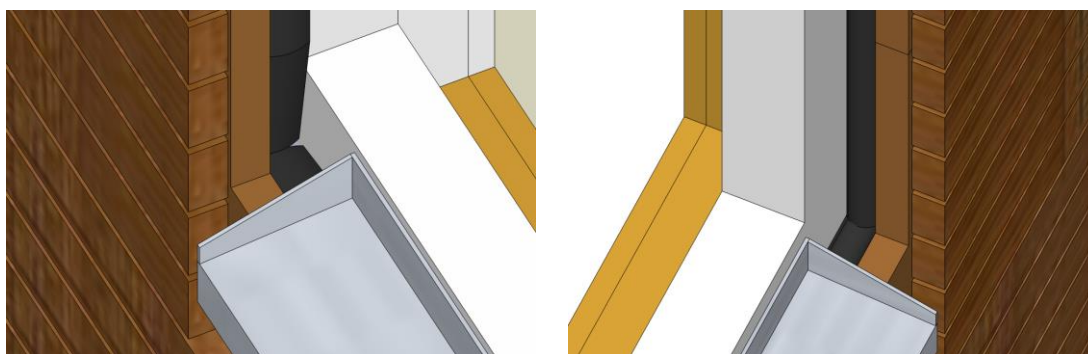


Afbeelding 92: installatiemethode zwelband onderhoeken

2. Variaties

In deze reeks testen worden 4 proeven uitgevoerd. In de proeven wordt de luchtdichtheid gevarieerd door sneden in de luchtdichtingsfolie te maken. Verder wordt ook de invloed van een afwerkingslat in de voeg tussen het raam en de gevel nagegaan, dit wordt slechts voor één luchtdichtheidsklasse toegepast. De meeste opstellingen worden dus getest zonder afwerkingslat, waardoor een *worst case scenario* getest wordt.

Om de gevoeligheid van de zwelband voor uitvoeringsfouten te testen, wordt aan de rechterzijde een installatiefout geïntroduceerd. De zwelband wordt iets dieper in de voeg geplaatst. Aan de linkerzijde wordt de voegband gelijk met de rand van de houtvezelplaat geplaatst.



Afbeelding 93 en 94: verschil in installatie: correct uitgevoerd – niet correct uitgevoerd



Afbeelding 95 en 96 : installatiemethode zwelband onderzoeken

3. Meetresultaten

3.1. Zwelband – goede luchtdichtheid

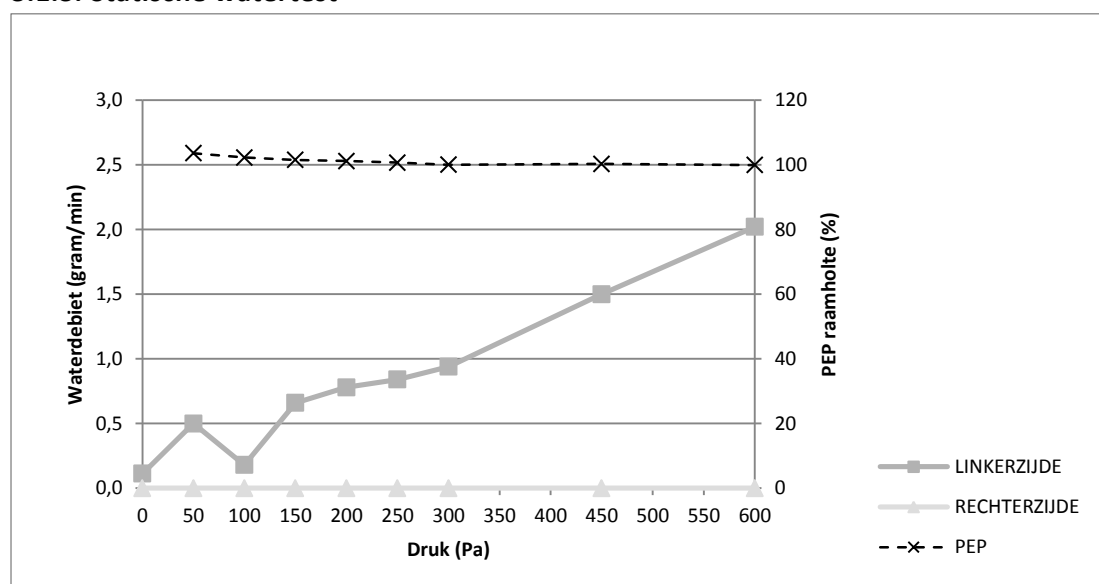
3.1.1 Luchtdichtheid

De luchtdichtheidstest geeft een Q_{50} van $0,57\text{m}^3/\text{hm}$, dit komt overeen met een goede luchtdichtheid.

Netto-debiet bij 50 Pa	Overdruk		Onderdruk		Gemiddeld		Luchtdichtheids- klasse
Beschrijving	V_{50} ($\text{m}^3/\text{h.m}$)	s	V_{50} ($\text{m}^3/\text{h.m}$)	s	V_{50} ($\text{m}^3/\text{h.m}$)	s	
zweband	0,04	0,02	0,08	0,05	0,06	0,06	Goed

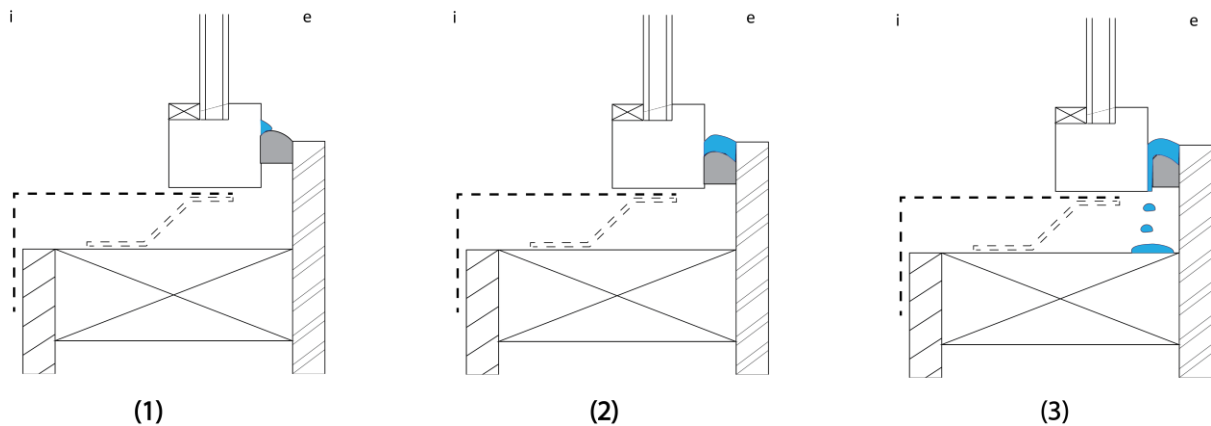
Tabel 28: luchtdebiet zweband klasse goede luchtdichtheid

3.1.3. Statische watertest



Grafiek 9: statische test zweband, goede luchtdichtheid

Bij de statische proef komt er links water binnen bij 0 Pa. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door hydrostatische druk. Waarschijnlijk is de zweband, door een combinatie van eigen gewicht en het gewicht van water, naar beneden gezakt (fase 2 afbeelding 97). Hierdoor ontstaat er een 'gootje' waar het water stagneert.

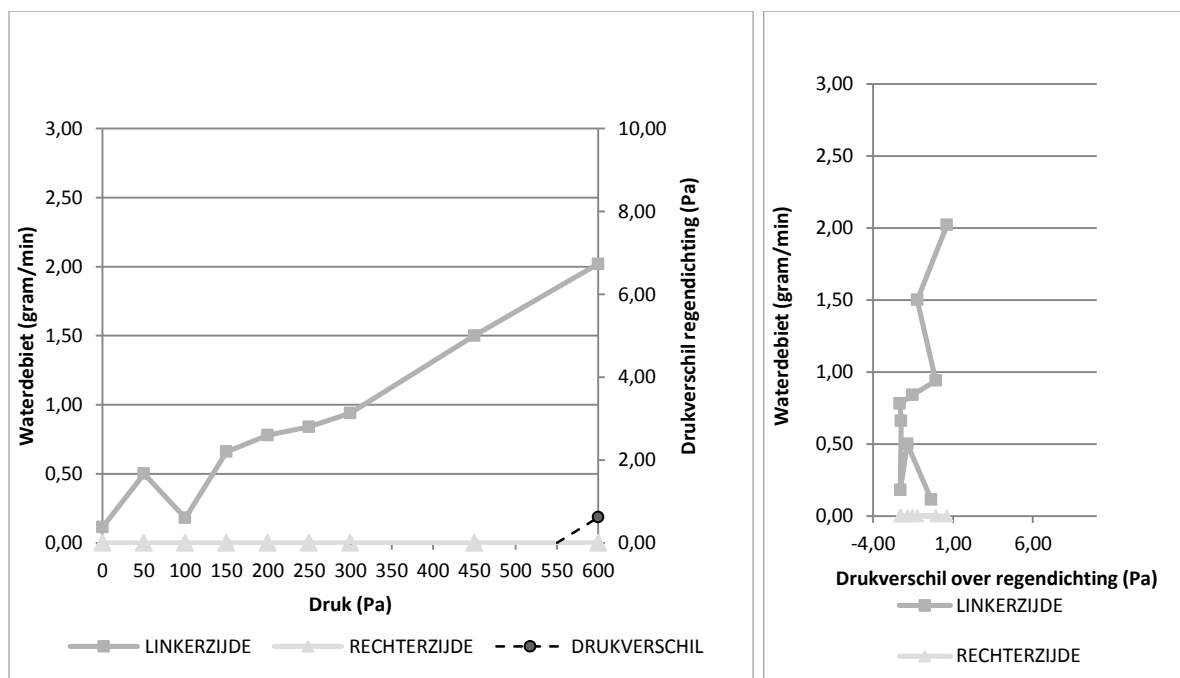


Afbeelding 97: falingsmechanisme zwelband

Wanneer er veel water in het 'gootje' staat, wordt de hydrostatische druk zo groot, dat het water door gebreken in de zwelband naar binnen gestuwd wordt (fase 3 afbeelding 97). Hoewel er reeds bij 0 Pa water binnenkomt zijn de hoeveelheden infiltratiewater zeer beperkt. Opmerkelijk is dat er enkel aan de linkse zijde water binnenkomt, dit was de correct uitgevoerde versie, bijgevolg werd eerder aan de rechterzijde waterinfiltratie verwacht. Het is moeilijk hier een reden voor te vinden, wellicht is er een fout in de aansluiting die niet met het blote oog zichtbaar is.

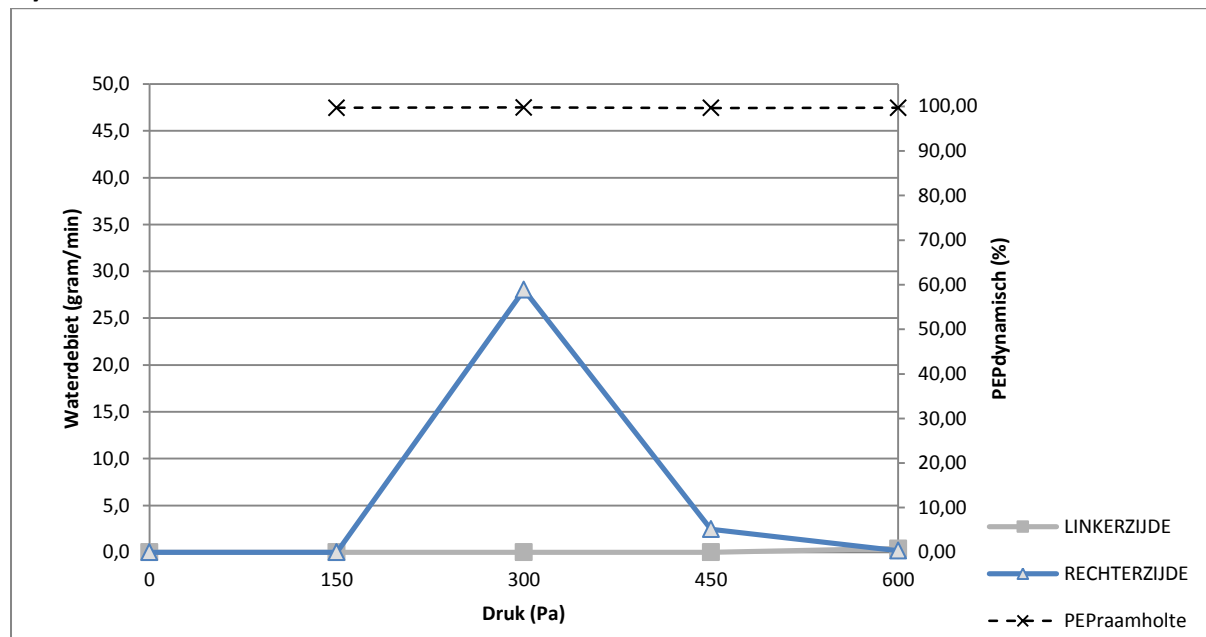
De drukmoderatie in de raamholte, holte tussen zwelband en luchtdichtingsfolie, is lichtjes dalend en zeer hoog, gemiddeld 101%. De daling kan verklaard worden door het constant blijven de van de druk in de raamholte terwijl de druk over de volledige wand toeneemt. De goede drukmoderatie kan een verklaring zijn voor de beperkte hoeveelheid infiltratiewater.

Naarmate de aangelegde druk over de wand groter wordt, is er een zeer beperkte stijging van de hoeveelheid water die links binnenkomt, dit terwijl het drukverschil over de regendichtheid zeer beperkt is en quasi constant blijft.



Grafiek 10 en 11: statische test zwelband goede luchtdichtheid, waterinfiltratiedebiet (g/min) en drukverschil over regendichtheid (Pa)

Dynamische test



Grafiek 12: dynamische test, zwelband goede luchtdichtheid

In tegenstelling tot bij de statische test komt er bij de dynamische test geen water binnen bij 0 Pa. Dit kan verklaard worden doordat er bij de dynamische test een lager sproeidebiet opgelegd wordt dan bij de statische test. Doordat de dynamische test voorafgegaan wordt door een statische test is de opstelling ook nat, hierdoor kunnen de zwelband en gebitumineerde houtvezelplaat iets opgezwollen zijn en kunnen kleine onvolmaaktheden verdwenen zijn. Er blijkt dat er bij de linkeraansluiting minder water binnenkomt dan bij de rechteraansluiting. Bij de statische test werd het omgekeerde opgemerkt. Bij de rechteraansluiting infiltreert er water bij 300 Pa. Bij 300 Pa is er ook een piek in het debiet aan de rechterzijde. Naarmate de opgelegde druk verder stijgt neemt het debiet opnieuw af. Voor deze piek is het moeilijk een verklaring te bieden. Ook hier is het drukverschil over de zwelband zeer klein en vrij constant, 0,63 Pa. De drukmoderatie is dan ook zeer hoog nl. 99,68 %.

3.2. Zwelband – matige luchtdichtheid

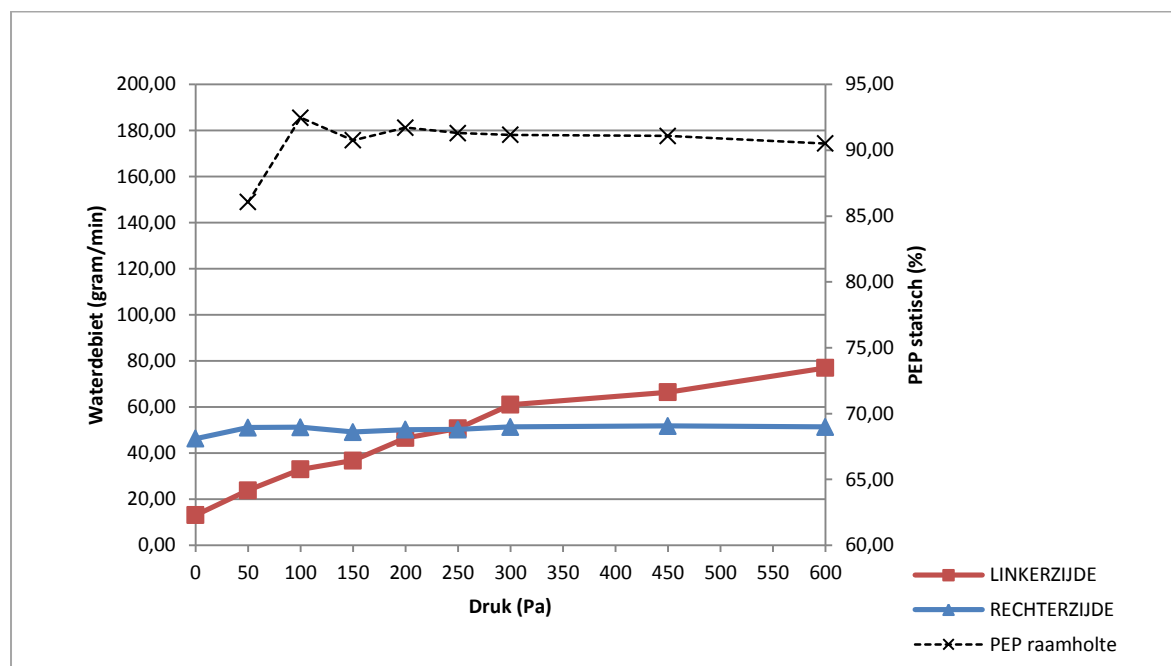
3.2.1. Luchtdichtheid

Door een aantal sneden te maken in de luchtdichtingsfolie bekomen we een luchtdichtheid van $0,773 \text{ m}^3/\text{h.m}$. Dit stemt overeen met een matige luchtdichtheid.

Netto-debiet bij 50 Pa	Overdruk		Onderdruk		Gemiddeld		Luchtdichtheids-klasse
Beschrijving	V_{50} ($\text{m}^3/\text{h.m}$)	s	V_{50} ($\text{m}^3/\text{h.m}$)	s	V_{50} ($\text{m}^3/\text{h.m}$)	s	
zwelband	0,54	0,07	1,00	0,18	0,77	0,20	Matig

Tabel 29: Luchtdebiet zwelband klasse matige luchtdichtheid

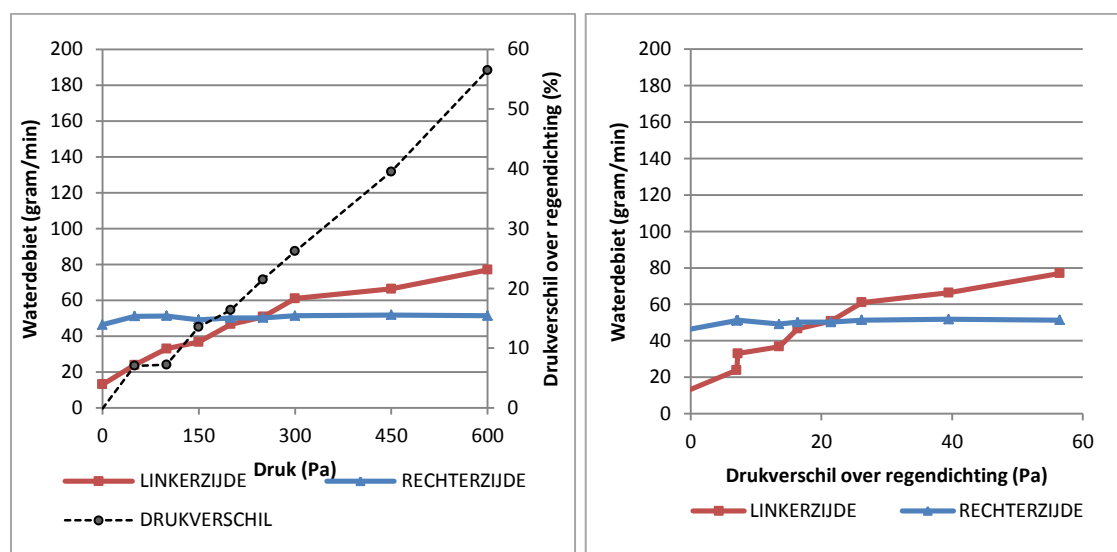
3.2.2. Statistische test



Grafiek 13: Statistische test zwelband matige luchtdichtheid

Zowel links als rechts infiltreert er water bij 0 Pa. Uit het verloop van de test blijkt dat het infiltratiedebiet bij de correct geïnstalleerde aansluiting stijgt naarmate de druk over de wand toeneemt. Aan de foutief geïnstalleerde zijde blijft het debiet vrij constant. Dit kan erop wijzen dat het water dat hier infiltreert in hoofdzaak afkomstig is van een lek onderaan de aansluiting. Doordat de opening vrij groot is kan er onder invloed van de zwaartekracht water infiltreren, dit gebeurt onafhankelijk van het opgelegde drukverschil. Aan de linkerzijde komt er waarschijnlijk water binnen door de hydrostatische druk, wat merkbaar is aan het debiet bij 0 Pa.

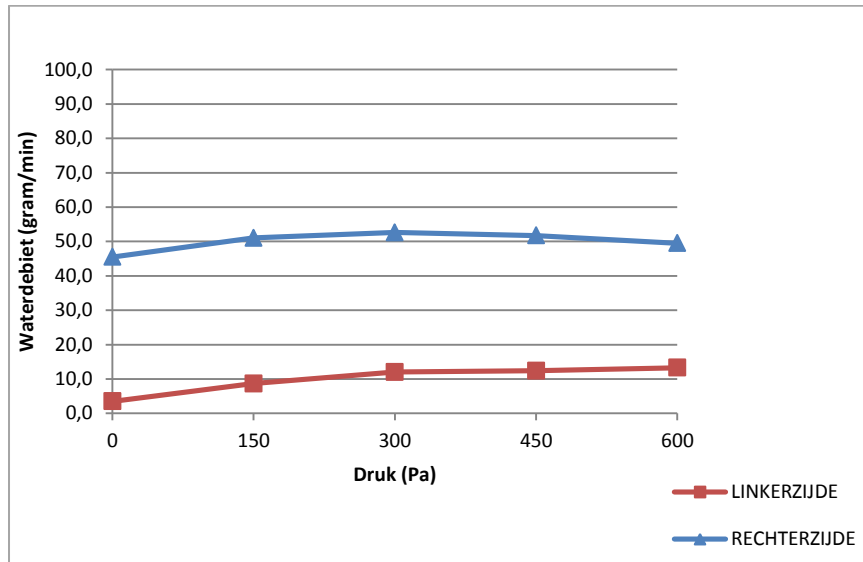
De drukmoderatie ligt een pak lager dan bij de goede luchtdichtheid. Dit viel te verwachten aangezien er bij de aansluiting matige luchtdichtheid veel lucht verloren gaat door de sneden, ligt de druk in de raamholte lager dan deze in de kast. We halen een PEP statisch van 90,63% dit ligt nog altijd vrij hoog.



Grafiek 14 en 15: statische test zwelband, matige luchtdichtheid

3.2.3. Dynamische test

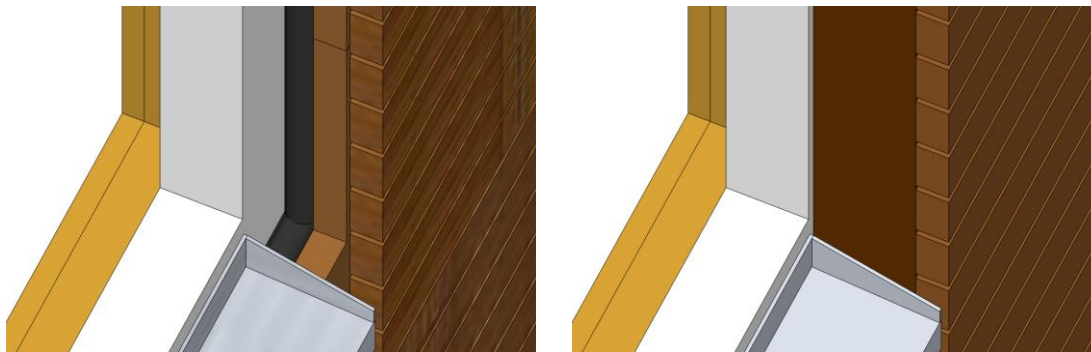
Bij de dynamische test is geen drukverloop over de wand beschikbaar. Wel valt op dat het infiltratiedebiet vrij constant blijft wanneer de druk over de wand stijgt. De rechterzijde scoort opvallend slechter dan de linkerzijde.



Grafiek 16: Dynamische test, zwelband matige luchtdichtheid

3.3. Zwelband – matige luchtdichtheid – afwerkingslat

Tot hier toe zijn de testen uitgevoerd zonder een afwerkingslat aan de zijkant te voorzien. Deze test gaat na welke invloed de installatie van een afwerkingslat heeft op de waterdichtheid van een raamaansluiting. De afwerkingslat wordt achter de gevelafwerking geplaatst, tussen het raamkader en de houten beplanking.



Afbbeelding 98 en 99: aansluiting met en zonder afwerkingslat

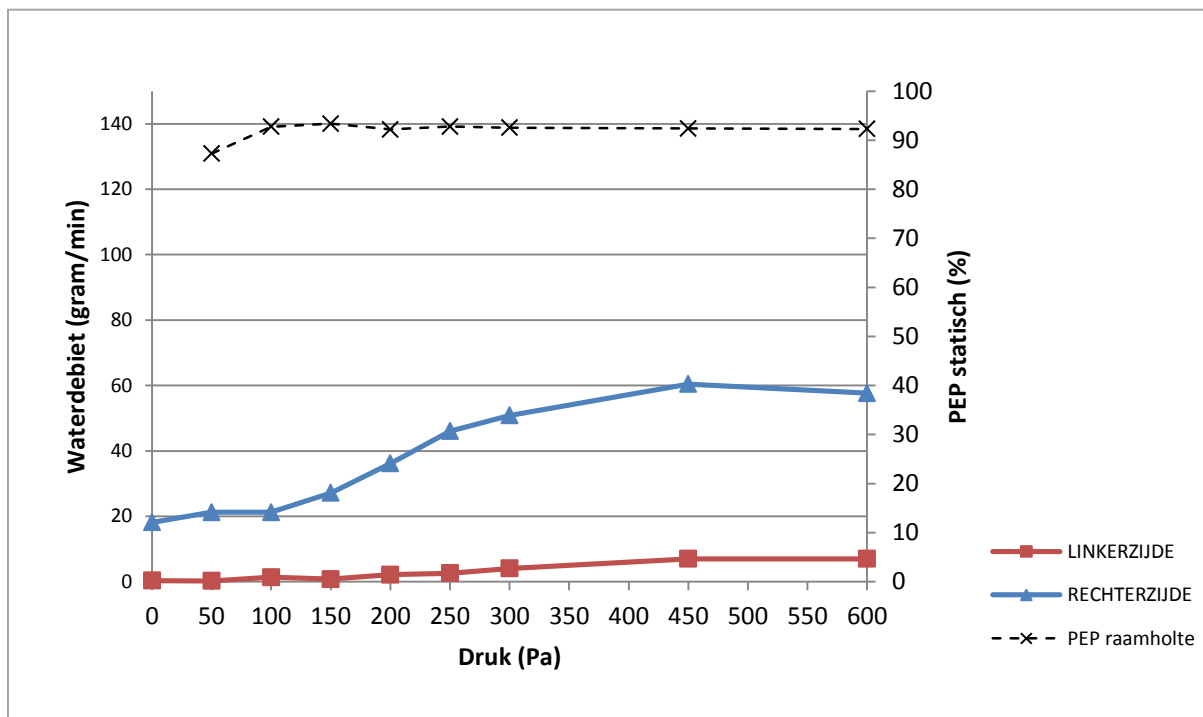
3.3.1. Luchtdichtheid

Er worden geen wijzigingen aangebracht aan de luchtdichtheid ten opzichte van de vorige proef. De luchtdichtheid bij een drukverschil van 50 Pa bedraagt dus 0,745 m³/hm en de aansluiting behoort tot een matige luchtdichtheid.

Netto-debiet bij 50 Pa	Overdruk		Onderdruk		Gemiddeld		Luchtdichtheids- klasse
Beschrijving	V ₅₀ (m ³ /h.m)	s	V ₅₀ (m ³ /h.m)	s	V ₅₀ (m ³ /h.m)	s	
zwelband	0,75	0,11	0,99	0,22	0,87	0,24	Matig

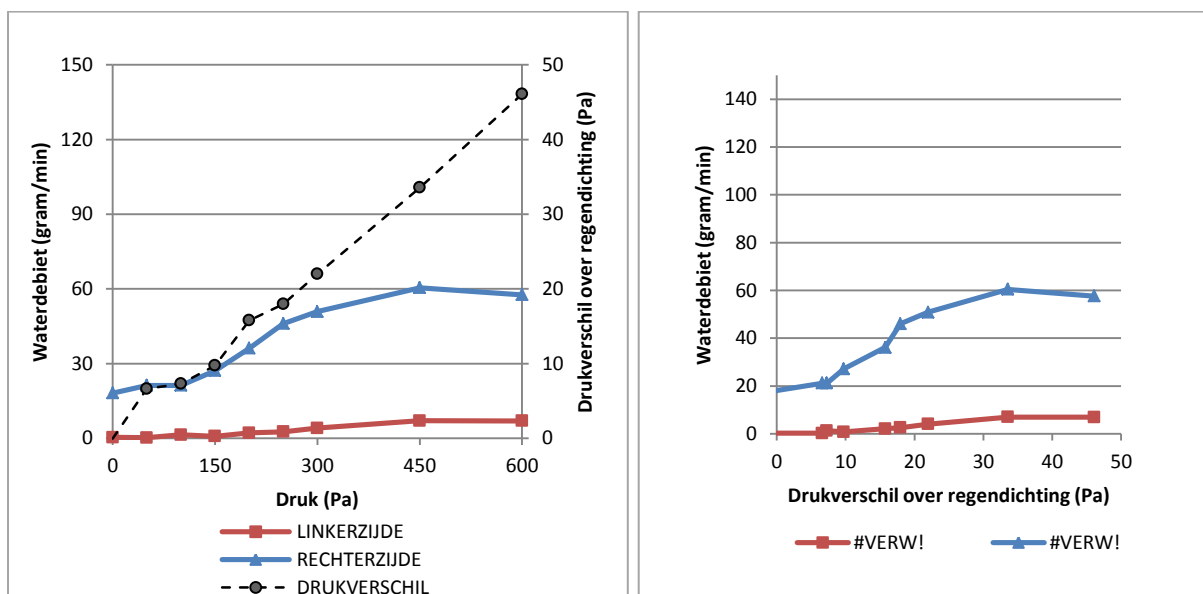
Tabel 30: luchtdebiet zwelband met afwerkingslat klasse matige luchtdichtheid

3.3.2. Statische watertest



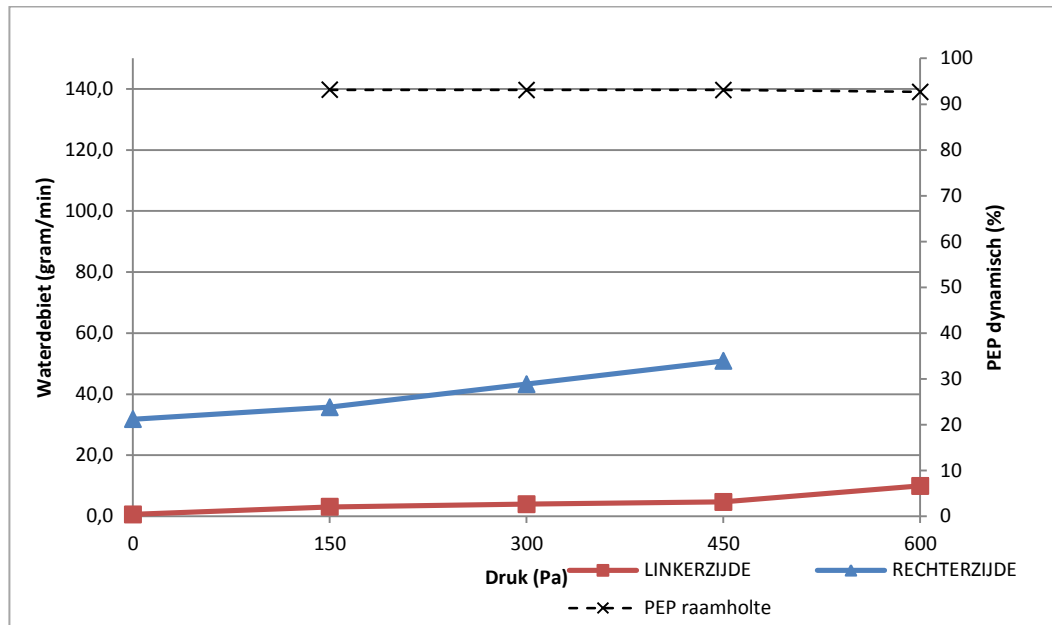
Grafiek 17 Statische test zwelband matige luchtdichtheid en afwerkingslat

De waterdebieten liggen duidelijk lager dan deze voor de aansluiting zonder afwerkingslat. Dit viel te verwachten er is namelijk een bijkomende regenbescherming aan de zijkanten. Hierdoor worden de hoeken beter afgeschermd. De plaatsing van de afwerkingslat zorgt voor een daling van het infiltratiewater van 90,32 % aan de linkerzijde en 30,90 % aan de rechterzijde. Dit levert een verbetering van het totale waterdebiet van 43,37% op. Aan de linkerzijde is er een gelijkaardige verloop zichtbaar als bij de opstelling zonder regendichtheid alleen ligt het debiet veel lager.



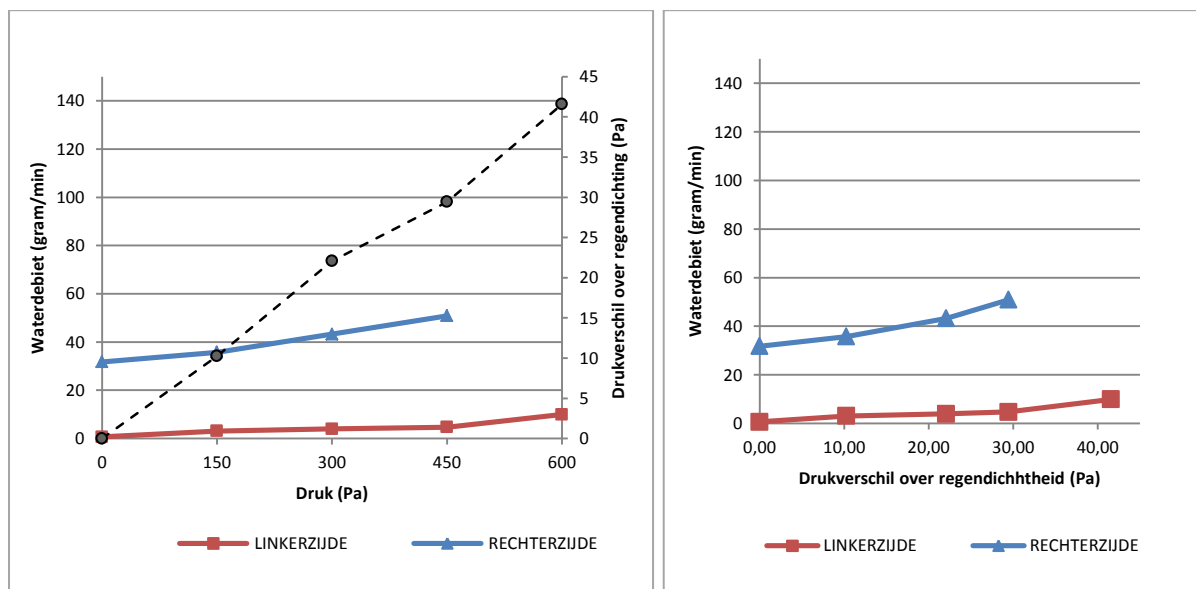
Grafiek 18 en 19: Statische test zwelband matige luchtdichtheid en afwerkingslat

3.3.3. Dynamische test



Grafiek 20: Dynamische test zwelband matige luchtdichtheid en afwerkingslat

Bij de dynamische test neemt het waterdebiet licht toe naarmate de druk over de wand toeneemt. Aan de rechterzijde ontbreekt de waarde voor 600 Pa. Dit doordat de capaciteit van de weegschaal niet voldoende hoog was om de grote waterhoeveelheid te meten.



Grafiek 21 en 22: dynamische test zwelband matige luchtdichtheid en afwerkingslat

3.4. Zwelband – slechte luchtdichtheid

3.4.1. Luchtdichtheid

Door een aantal sneden in de folie te maken verlaagt de luchtdichtheid van de aansluiting. De aansluiting geeft een luchtdichtheid Q_{50} van 3,935 m³/hm, dit komt overeen met de klasse van slechte luchtdichtheid.

Netto-debiet bij 50 Pa	Overdruk		Onderdruk		Gemiddeld		Luchtdichtheids- klasse
Beschrijving	V ₅₀ (m ³ /h.m)	s	V ₅₀ (m ³ /h.m)	s	V ₅₀ (m ³ /h.m)	s	
zwelband	3,93	0,25	4,74	1,28	4,34	1,31	Slecht

Tabel 31: Luchtdebiet zwelband slechte luchtheid

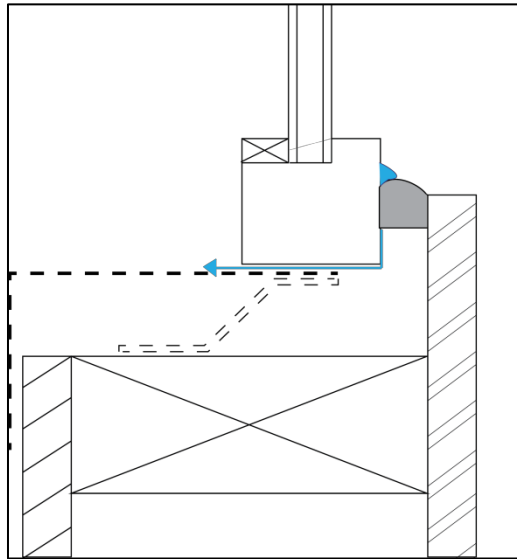
1.4.2 Statische test

Tijdens de test wordt infiltratiewater zichtbaar bovenop de luchtdichtingsfolie.



Afbeelding 100: water bovenop luchtdichtingsfolie
Afbeelding 101: water bovenop luchtdichtingsfolie in hoek

Het water dat voorbij de zwelband infiltreert loopt langs het raamkader naar beneden. In de verkleving tussen de luchtdichtingsfolie en het raamkader zijn er kleine luchtlekken ontstaan. De luchtstroom door deze openingen zal het water meevoeren. Hierdoor komt een deel van het water op de luchtdichtingsfolie terecht. In de hoeken wordt dit eerst zichtbaar, hier zijn de luchtlekken ook het grootst.



Afbeelding 102: principe water op luchtdichtingsfolie

Doordat niet al het infiltratiewater opvangen wordt, is het niet mogelijk uitspraken te doen over de gemeten debieten. Deze waarden zullen dan ook niet in de vergelijking van de infiltratiedebieten opgenomen worden.

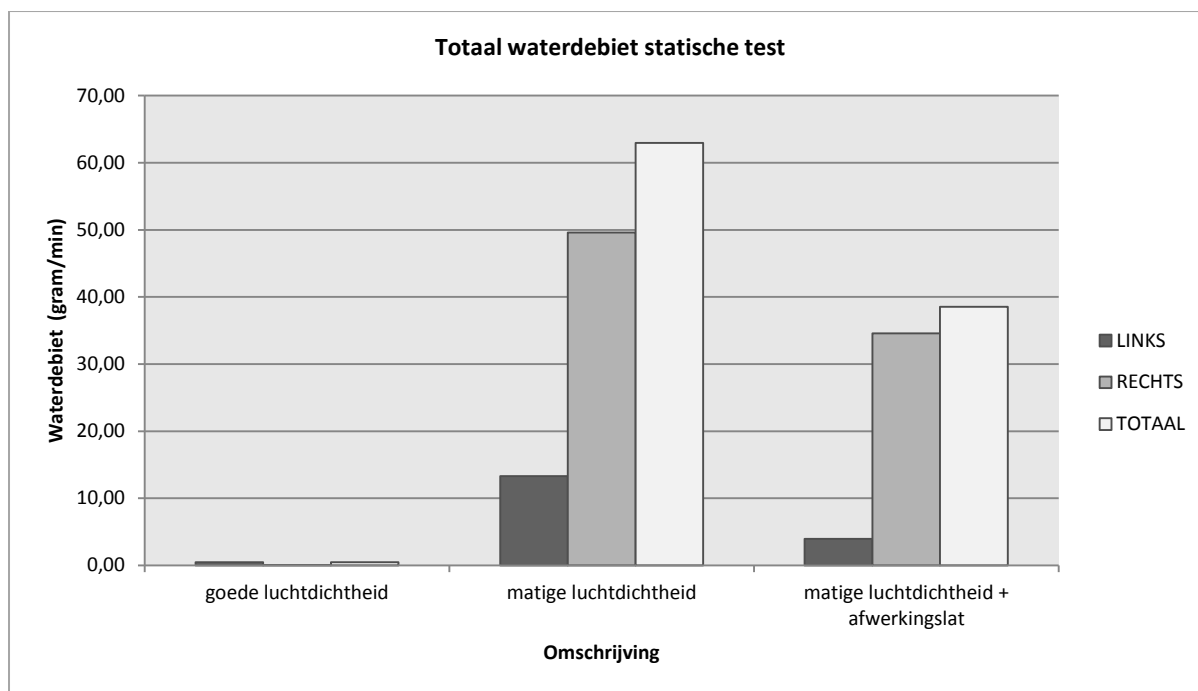
1.4.3. Dynamische test

Doordat niet al het infiltratiewater opgevangen werd kunnen geen uitspraken over de infiltratiedebieten gedaan worden.

4. Overzicht testverloop - vergelijking

4.1. Statisch

Een vergelijking van de totale resultaten op basis van het gemiddeld infiltratiedebiet geeft aan dat de goede luchtdichtheid het beste scoort. Ook het al dan niet plaatsen van een afwerkingslat heeft grote invloed op de hoeveelheid water die infiltreert. In wat volgt wordt het waterdebiet in functie van de druk onderzocht. Dit voor de linkerzijde, correcte installatie en rechterzijde, aansluiting met installatiefout, apart.



Figuur 21: overzicht waterinfiltratie zwelband, statische test

DATUM	OMSCHRIJVING	HOEEVEELHEID WATER			DRUK BIJ INFILTRATIE	
	LUCHTDICHTHEID	LINKS (gram/min)	RECHTS (gram/min)	TOTAAL (gram/min)	LINKS (Pa)	RECHTS (Pa)
15/apr	goede luchtdichtheid	0,48	0,00	0,48	0	/
17/apr	matige luchtdichtheid	13,33	49,62	62,95	0	0
18/apr	matige luchtdichtheid + afwerkingslat	3,95	34,58	38,53	50	0
	slechte luchtdichtheid					

*tot 600 Pa getest

** Slechte luchtdichtheid kan niet vergeleken worden, water niet opgevangen

Tabel 32: overzicht waterinfiltratie zwelband, statische test

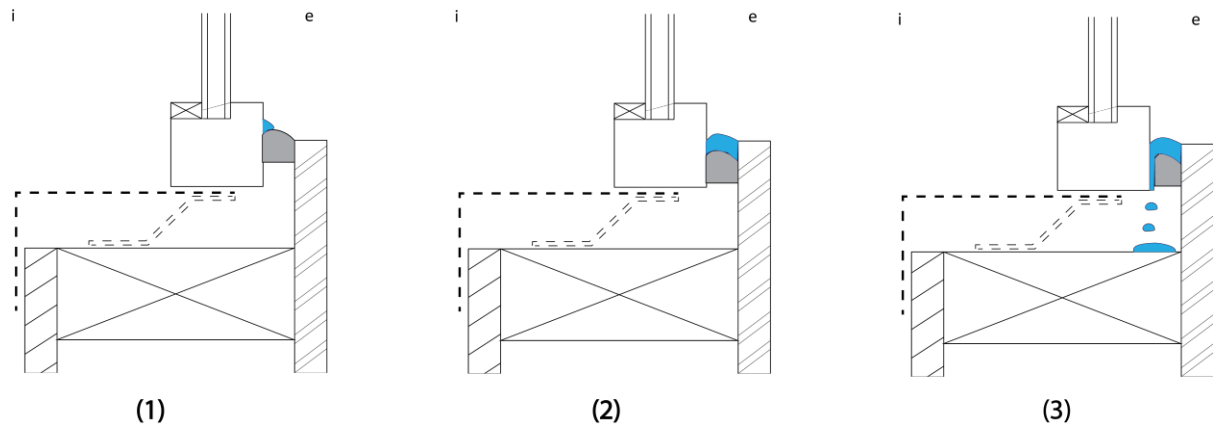
4.1.1. Linkerzijde: correct uitgevoerd

Het is meteen duidelijk dat de luchtdichtheid een grote rol speelt in de waterdichtheid van een aansluiting. De resultaten voor de goede luchtdichtheid liggen beduidend lager dan deze voor de matige luchtdichtheid. Niet enkel de hoeveelheid waterinfiltratie maar ook het verloop van het waterdebiet in functie van de druk varieert naarmate de luchtdichtheid verandert. Dit is logisch het drukverschil over de regendichting neemt immers toe naarmate de luchtdichtheid slechter wordt. De toename van het drukverschil over de regendichting betekent een toename van de drijvende kracht voor het infiltratiewater.

Bij de matige luchtdichtheid, stijgt het drukverschil over de regendichting naarmate de druk hoger wordt. Hierdoor neemt het infiltratiedebiet toe. Bij de goede luchtdichtheid is het drukverschil over de regendichting vrij constant, bijgevolg is ook het infiltratiedebiet vrij constant.

Verder komt er zowel bij de matige en goede luchtdichtheid water binnen bij 0 Pa. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door hydrostatische druk. Waarschijnlijk is de zwelband, door een

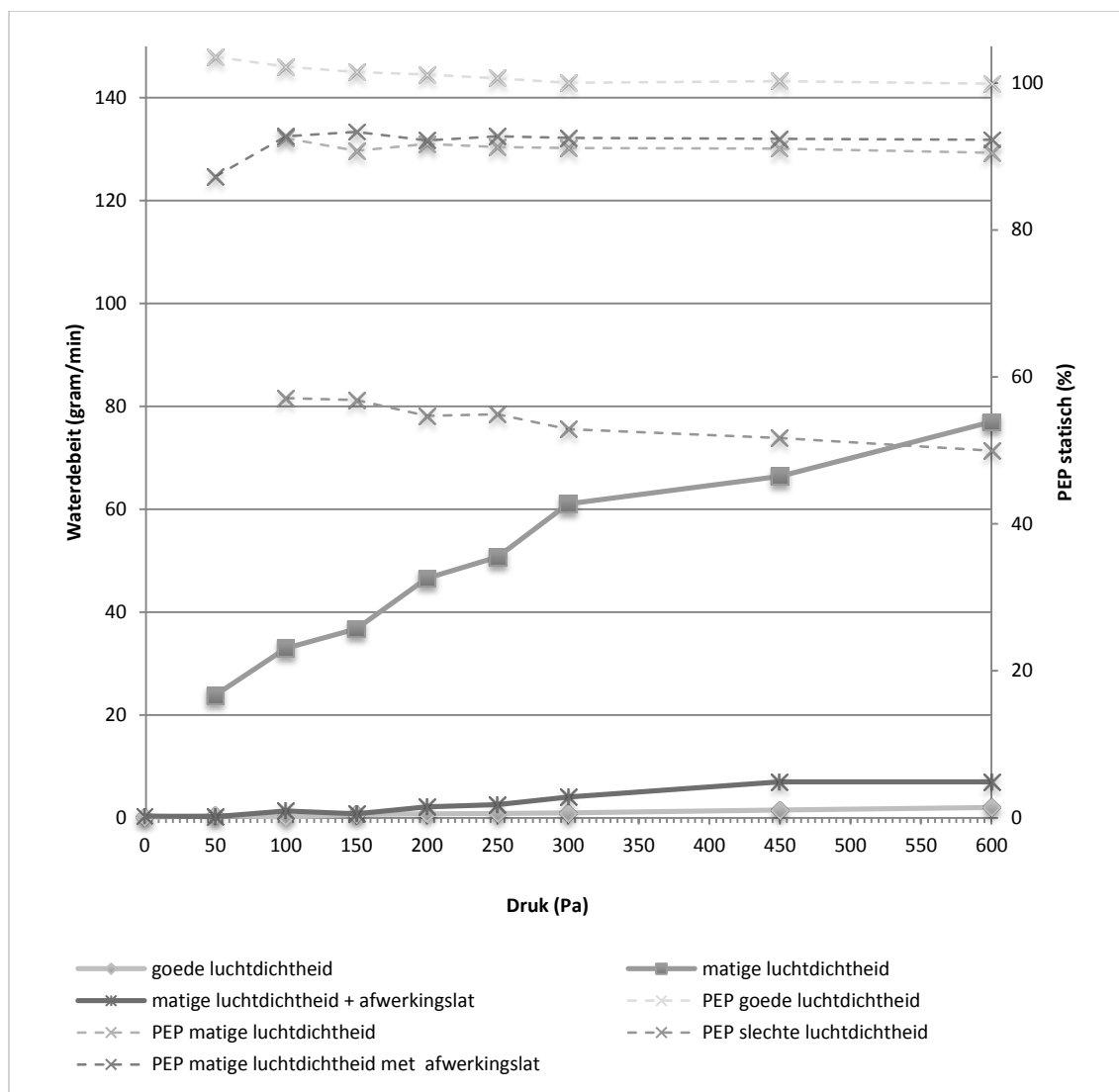
combinatie van eigen gewicht en het gewicht van water, naar beneden gezakt (fase 2 afbeelding 103). Hierdoor ontstaat er een 'gootje' waar het water stagneert.



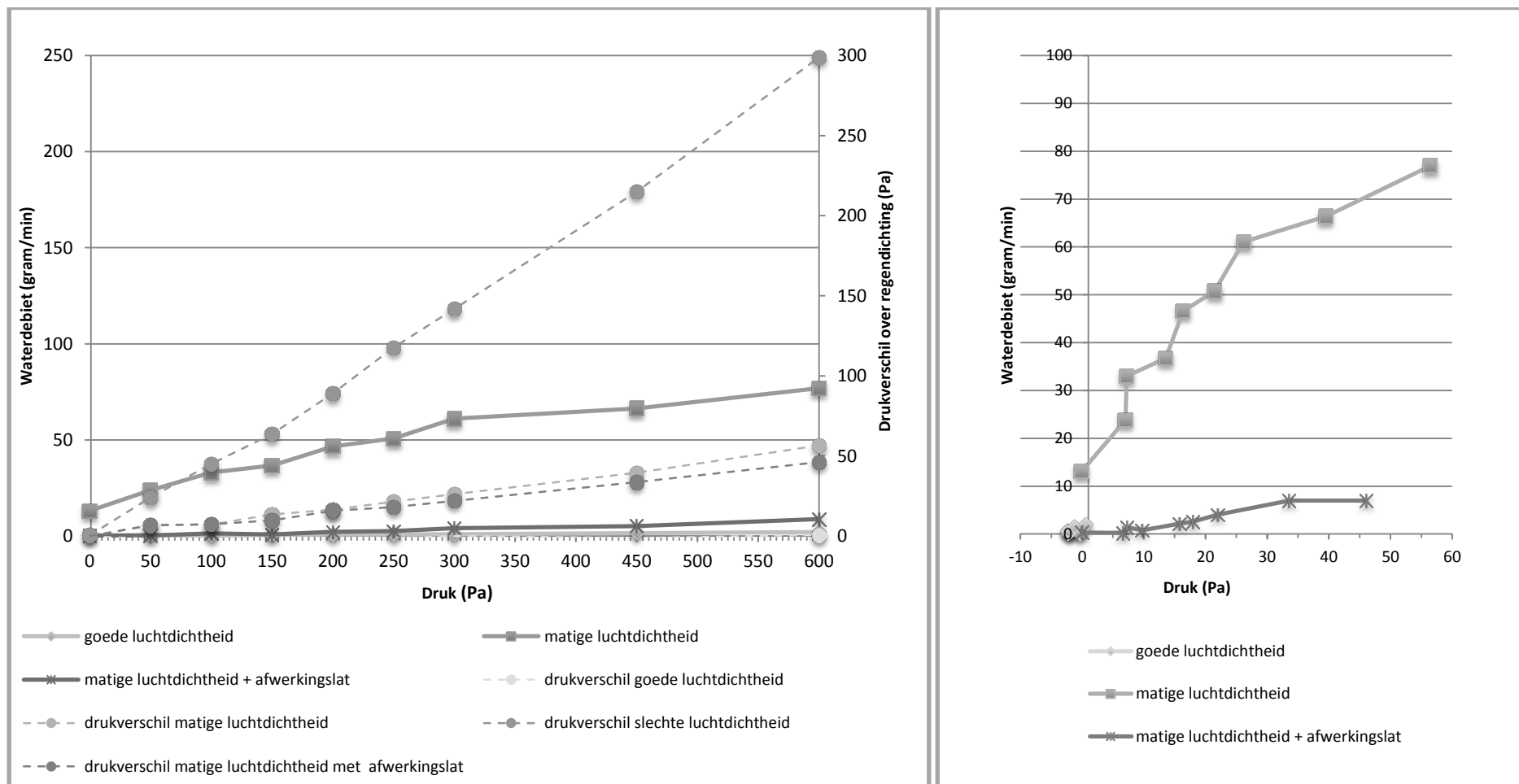
Afbeelding 103: falingsmechanisme zwelband

Wanneer er veel water in het 'gootje' staat, wordt de hydrostatische druk zo groot, dat het water door gebreken in de zwelband naar binnen gestuwd wordt. We veronderstellen dat de gebreken in de zwelband zich vooral aan de hoeken voordoen.

Indien er een afwerkingslat voorzien wordt komt er pas water binnen bij 50 Pa. Dit kan verklaard worden doordat de hoek afgeschermd wordt van het water, door de afwerkingslat. Hierdoor komt er minder water in het 'gootje' terecht en kan er minder water stagneren. De debieten liggen dan ook veel lager bij de aansluiting met afwerkingslat, de afwerkingslat levert een verbetering van 90,32% op.



Grafiek 23: Overzicht waterinfiltratie links zweiband, statische test

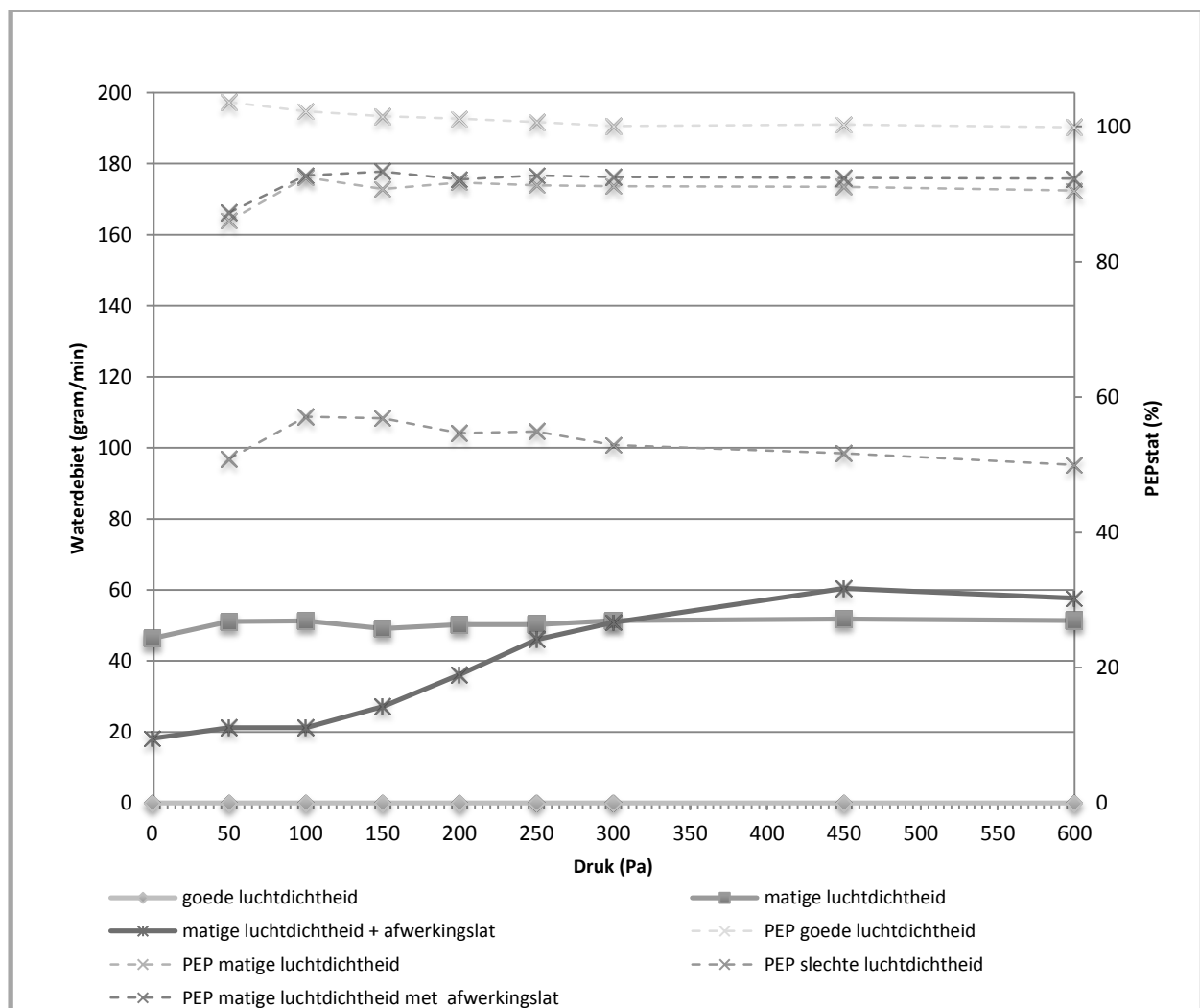


Grafiek 24 en 25: overzicht waterinfiltratie links zwelband, statisch testverloop

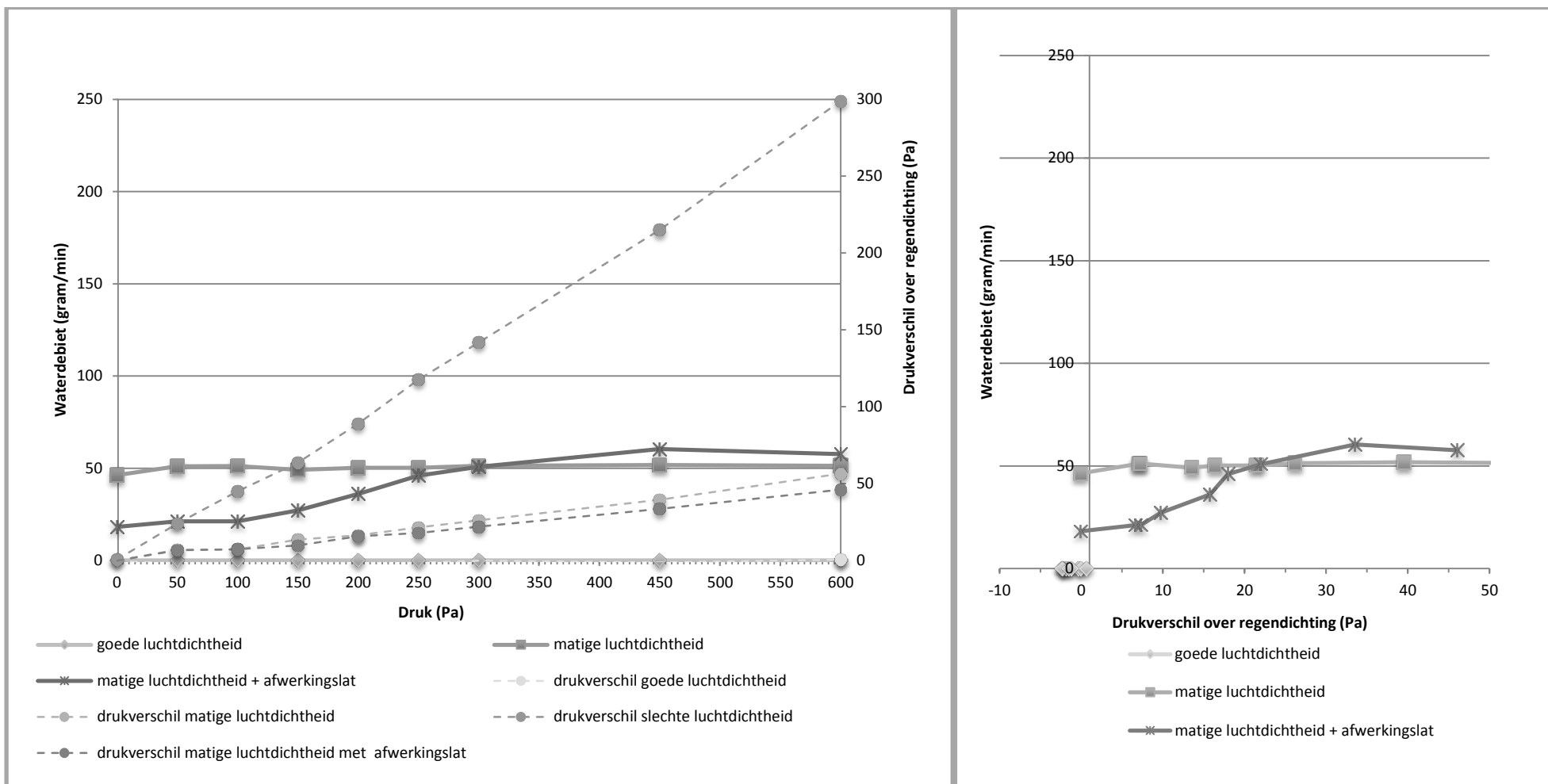
4.1.2. Rechterzijde: installatiefout

Door de installatiefout is het verloop van het waterdebiet minder eenduidig. Bij de opstellingen zonder afwerkingslat verloopt het debiet vrij constant in de tijd. De hoeveelheid infiltratiewater is bijgevolg onafhankelijk van de druk. Dit kan verklaard worden doordat het water vooral infiltreert onder invloed van de zwaartekracht. Door deze onafhankelijkheid is het verschil in infiltratiedebiet tussen goede en slechte luchtdichtheid moeilijk te verklaren. De enige verklaring die we hier voor kunnen vinden is het veranderen van het stromingspatroon van het run-off water. Het is ook opmerkelijk dat de installatie met installatiefout bij de test met goede luchtdichtheid, beter presteerde dan de correct uitgevoerde aansluiting.

Bij de aansluiting waarbij een afwerkingslat geïnstalleerd wordt, is het waterdebiet wel afhankelijk van de druk. Door de afwerkingslat te plaatsen wordt de hoeveelheid water die door de installatiefout infiltreerde gereduceerd, hierdoor zal het aandeel van het infiltratiewater door zwaartekracht verminderen en zal het aandeel infiltratiewater afkomstig van de drukverschillen toenemen. Dit resulteert in een waterdebiet dat afhankelijk is van de druk.



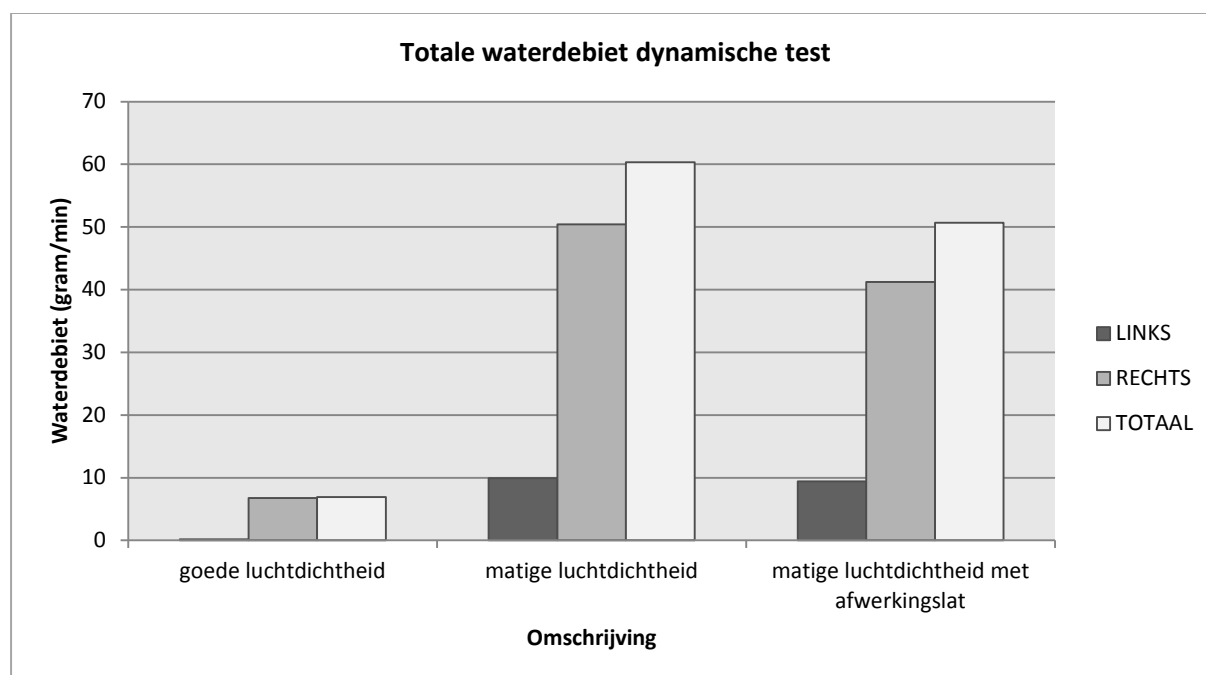
Grafiek 26: overzicht waterinfiltratie rechts zwelband, statische testmethode



Grafiek 27 en 28: overzicht waterinfiltratie rechts zwelband, statische testmethode

4.2 Dynamisch

Bij de dynamische test worden gelijkaardige resultaten verkregen als bij de statische test. Ook hier presteert de goede luchtdichtheid best.



Grafiek 29: Overzicht waterinfiltratie zwelband dynamische testmethode

DATUM	OMSCHRIJVING	HOEEVEELHEID WATER			DRUK BIJ INFILTRATIE	
	LUCHTDICHTHEID	LINKS	RECHTS	TOTAAL	LINKS	RECHTS
		(gram/min)	(gram/min)	(gram/min)	(Pa)	(Pa)
15/apr	goede luchtdichtheid	0,15	6,76	6,91	450,00	300,00
17/apr	matige luchtdichtheid	9,90	50,43	60,33	0,00	0,00
18/apr	matige luchtdichtheid met afwerkingslat	9,42	41,23	50,65	0,00	0,00
16/apr	slechte luchtdichtheid**					

* tot 600 Pa

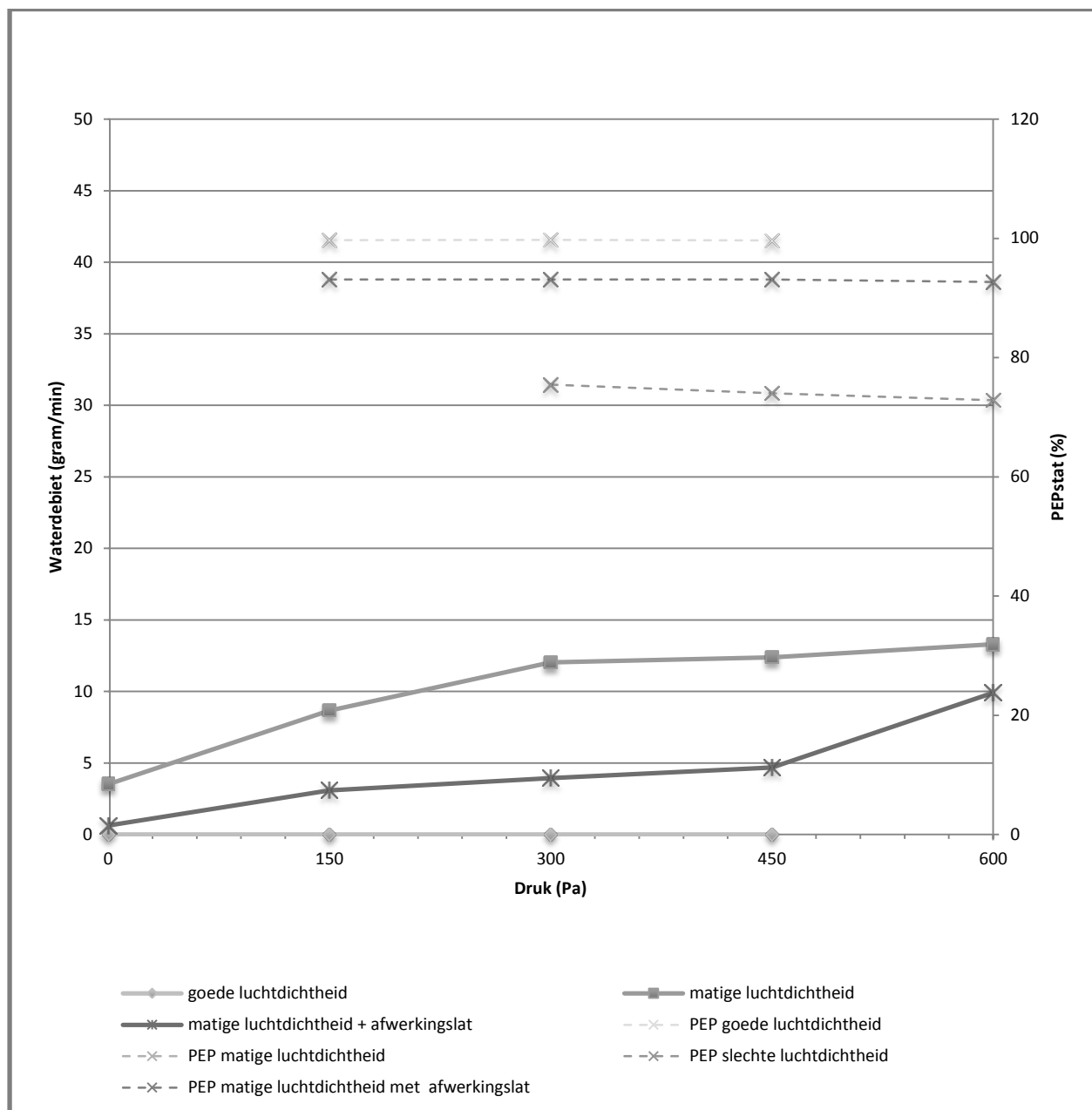
**waarden voor slechte luchtdichtheid kunnen we niet vergelijken

Tabel 33: Overzicht waterinfiltratie zwelband dynamische testmethode

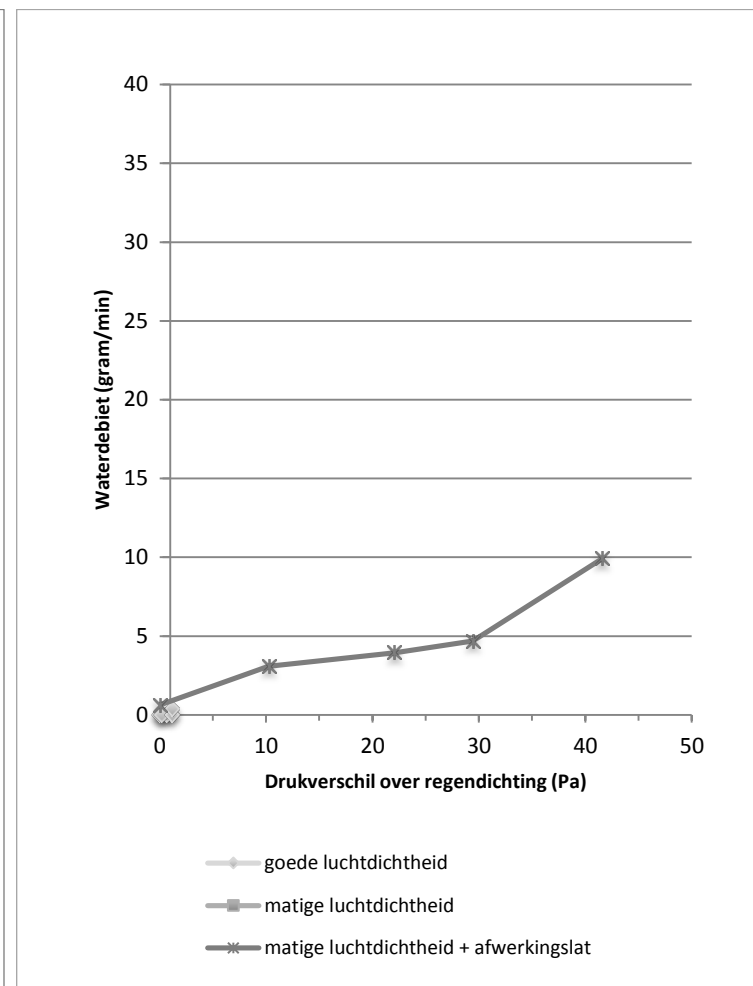
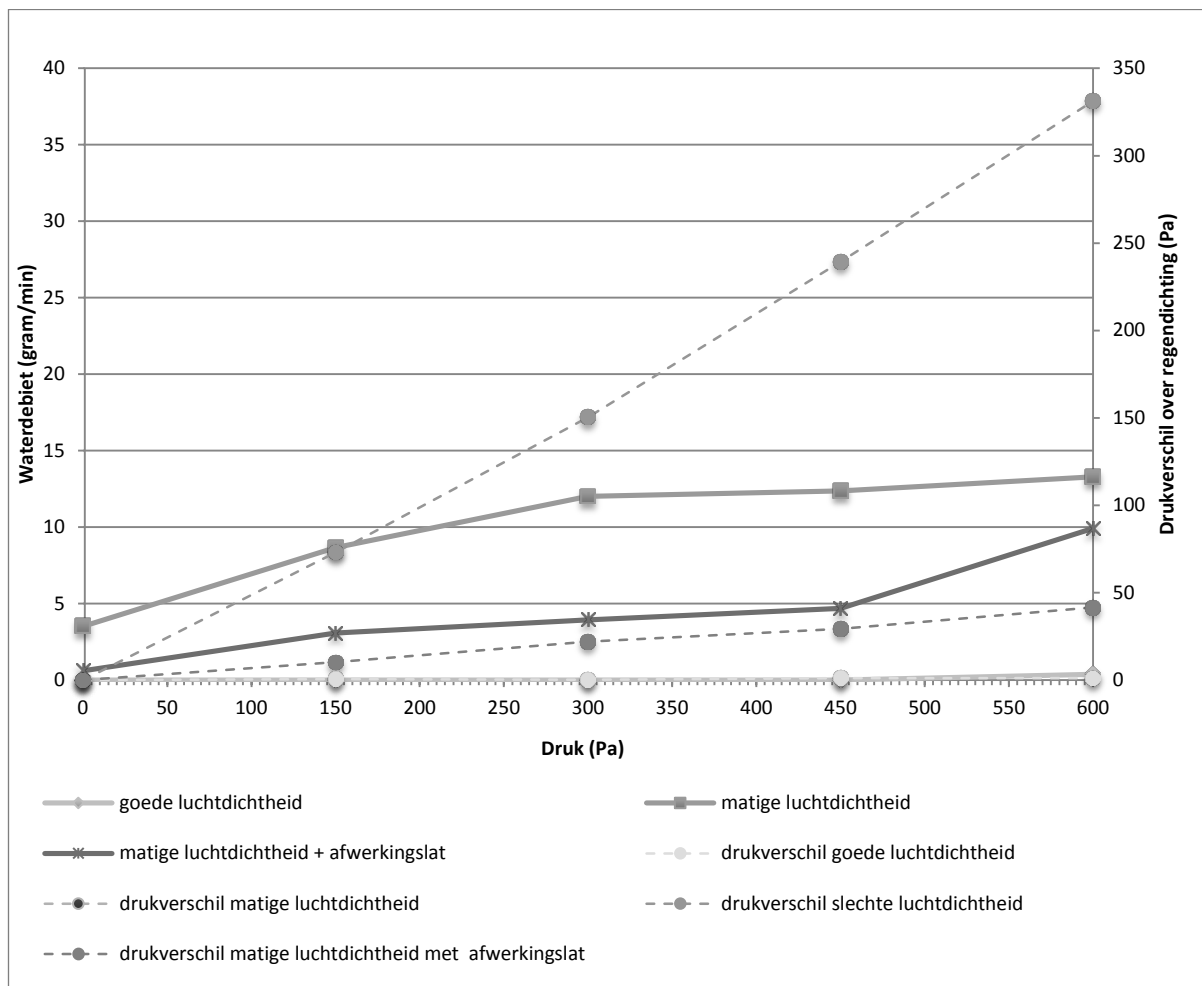
4.2.1. Linkerzijde: correct geïnstalleerd

Bij de dynamische test zijn dezelfde trends zichtbaar als bij de statische test. Bij de goede luchtdichtheid is het infiltratiedebiet het laagst en is dit het minst afhankelijk van de druk. Bij de matige luchtdichtheid is het waterdebiet veel hoger en afhankelijk van de druk. Bij goede luchtdichtheid komt er geen water binnen bij 0 Pa, terwijl er voor de matige luchtdichtheid wel water infiltreert. Het verschil in waterdebiet bij 0 Pa valt opnieuw moeilijk te verklaren. De enige verklaring die hiervoor gevonden kan worden is een veranderend stromingspatroon van het run-off water.

Het plaatsen van een afwerkingslat levert een aanzienlijke verbetering, nl. 4,78 %.



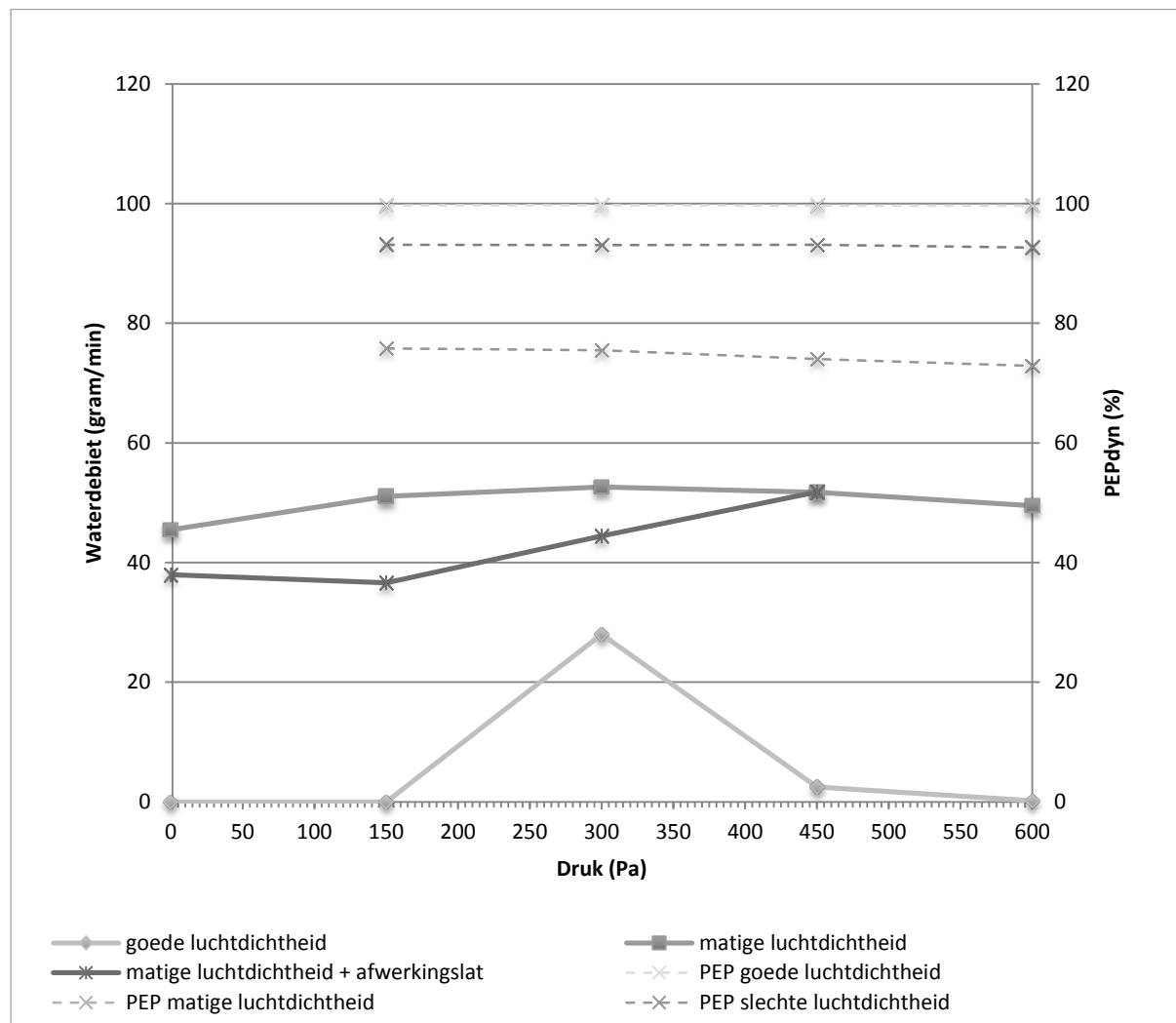
Grafiek 30: overzicht waterinfiltratie links zwelband, statische testmethode



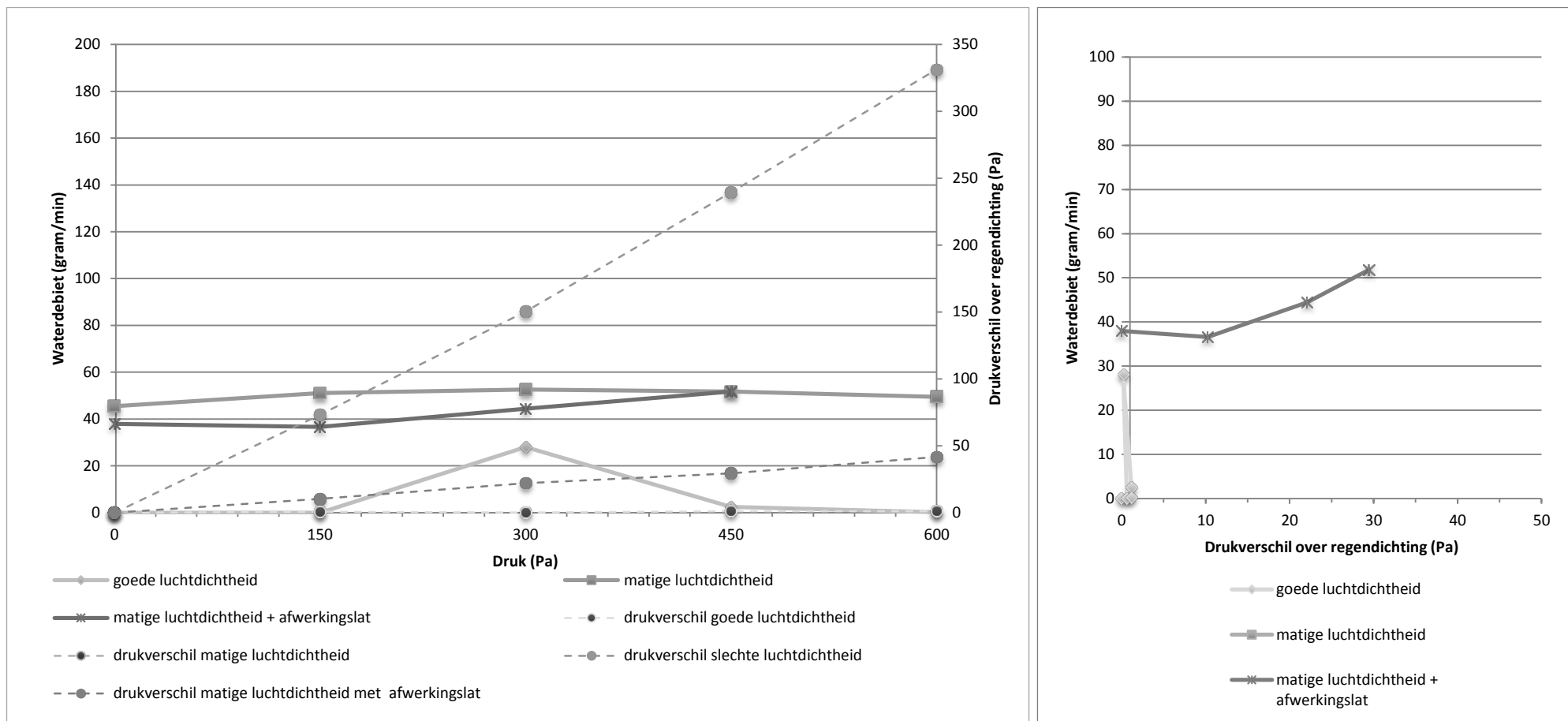
Grafiek 31 en 32: overzicht waterinfiltratie links zwelband, statische testmethode

4.2.2. Rechterzijde: installatiefout

Het waterdebiet verloopt veel minder eenduidig aan de rechterzijde. In grote lijnen zijn dezelfde trends op te merken als bij de statische test. Het debiet is minder afhankelijk van de druk. Bij de goede luchtdichtheid treedt er een piek op bij 300 Pa, een reden voor het optreden van deze piek is niet direct voor handen. Verder is er een gelijkaardig verloop op te merken als bij de statische test. De matige luchtdichtheid is vrij constant, terwijl de aansluiting met afwerkingslat afhankelijk is van de druk.



Grafiek 33: overzicht waterinfiltratie rechts zwelband, statische testmethode



Grafiek 34 en 35: overzicht waterinfiltratie rechts zwelband, statische testmethode

5. Conclusie

5.1 Overzicht resultaten goede installatie

DATUM	OMSCHRIJVING	HOEEVEELHEID WATER		DRUK BIJ INFILTRATIE		KLASSE
	LUCHTDICHTHEID	STATISCH (gram/min)	DYNAMISCH (gram/min)	LINKS (Pa)	RECHTS (Pa)	
15/apr	goede luchtdichtheid	0,48	0,15	0	450,00	0
17/apr	matige luchtdichtheid	13,33	9,90	0	0	0
18/apr	matige luchtdichtheid + afwerkingslat	0,00	9,42	50	0	1A

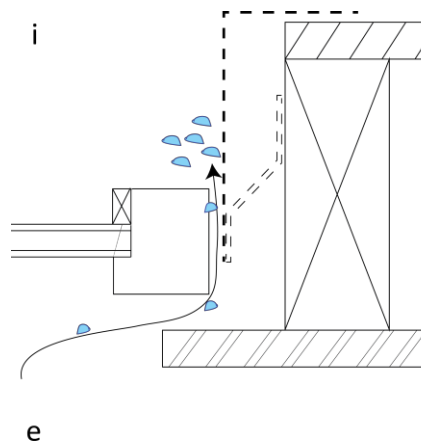
Tabel 34: Overzicht resultaten goede installatie

5.2 Algemeen

Het is opmerkelijk dat er in bijna alle testen water infiltreert bij 0 Pa. Dit wijst op een defect in de regendichtheidsbarrière, de zwelband. Bij het inspecteren van de opstelling na de reeks testen kan het mogelijke probleem opgemerkt worden. De zwelband in de onderste voeg is gezakt aan de zijkanten, hierdoor verzamelt het water in de voeg en stroomt het onder inwerking van de hydrostatische druk naar binnen. Er hoeft dus helemaal geen drukverschil op te treden vooraleer er waterinfiltratie optreedt. De zwelband is waarschijnlijk onder zijn eigengewicht gezakt. Wanneer de zwelband nat is neemt het gewicht toe, de compressie alsook de zelfklevende strook kunnen niet genoeg weerstand bieden aan dit gewicht, waardoor de zwelband naar beneden zakt.

5.3 Luchtdichtheid

Ondanks er geen beroep kan gedaan worden op de resultaten van de proef met slechte luchtdichtheid, is er een duidelijk verband tussen de regen- en luchtdichtheid merkbaar. Bij de goede luchtdichtheid is het drukverschil over de regendichting zeer klein, ongeveer 1 Pa, en vrij constant, hierdoor is er geen drijvende kracht die het water voorbij de zwelband kan stuwten. Enkel wanneer er een opening in de zwelband is waar het water kan accumuleren zal er onder inwerking van de hydrostatisch druk water infiltreren. Er kan ook water infiltreren wanneer de opening in de regendichting voldoende groot is zodat het water door de kinetische energie van de regendruppels voorbij de water barrière kan komen. Bij de matige luchtdichtheid treedt er wel een drukverschil over de regendichting op. Het waterdebiet is dan ook sterker afhankelijk van de opgelegde druk. Doordat er een drukverschil over de regendichting ontstaat kunnen er ook waterdruppels met de lucht meegevoerd worden door middel van kinetische energie, zie afbeelding 104.



Afbeelding 104: waterdruppels meegevoerd door luchtstromen

5.4 Invloed afwerkingslat

Zoals eerder vermeld wordt het waterdebiet sterk verlaagd door het plaatsen van een afwerkingslat. Voor deze opstelling leverde de plaatsing van de afwerking een totale verbetering van het debiet van 43,37%.

5.5 Uitvoeringsfouten

Aan de rechterzijde werd de zwelband iets verder in de voeg geplaatst. Door deze installatiefout ontstaat er een opening ter plaatse van de aansluiting tussen de 2 voegbanden. Deze opening is vrij groot waardoor er veel water binnenkomt. Dit is zichtbaar in de resultaten, het infiltratiedebiet is vrij constant wanneer de druk toeneemt in tegenstelling tot de linkerzijde waar de hoek beter uitgevoerd werd. Hierdoor kan verondersteld worden dat er voornamelijk water binnenkomt door de zwaartekracht. Een foutieve uitvoering van de zwelband resulteert in veel grotere infiltratiedebieten. Bij matige luchtdichtheid komt er voor de foutief geplaatste zwelband ongeveer 75% meer water binnen bij de statische test en 80% meer bij de dynamische test in vergelijking met de correct geplaatste zwelband.

5.6 Verschil statisch dynamisch

Bij de goede luchtdichtheid en correcte installatie, blijkt er bij de statische test water te infiltreren bij lagere drukken, 0 Pa, als bij de dynamische test, 450 Pa. Een classificatie van de aansluitingen aan de hand van de druk bij infiltratie zal dus een groot verschil opleveren in de prestaties die aan het raam toegeschreven worden. Bij de matige luchtdichtheid liggen de resultaten in dezelfde lijn bij dynamisch en statisch test.

5.7 Bijkomende tests

Om de correctheid van de resultaten en bijgevolg ook de correctheid van de conclusies na te gaan is de reproduceerbaarheid van de test gecontroleerd. In een tweede aanvullende test is nagegaan wat de gewichtstoename van de zwelband is wanneer deze nat is, op deze manier kunnen we kijken of de zwelband water absorbeert. In de proeven wordt namelijk verondersteld dat de zwelband zakt door de gewichtstoename.

5.8 Reproduceerbaarheid

Om de reproduceerbaarheid van de test na te gaan hebben we de test, een ingekorte versie, een aantal keer herhaald, dit zowel voor de statische als dynamische test.

Bij de statische test werd eerst een kwartier op 0 Pa getest waarna een kwartier op 300 Pa getest werd. De testen werden verspreid over meerdere dagen zodat ook de invloed van een test gestart bij droge of natte condities kon nagegaan worden. Uit de testen blijkt dat er een groot verschil is tussen de resultaten over de verschillende dagen heen. De resultaten per dag liggen dan weer dicht bijeen. Er is ook een groot verschil wanneer we testen vanuit een droge opstelling of vanuit een natte opstelling zie reproduceerbaarheid bij testmethode.

Links	gem	min	max	standaardafwijking	%
Dag 1	35,45	22,2	48,7	18,74	52,86
Dag 2	98,85	77,6	121,3	16,45	16,65
Dag 3	265,5	253,2	277,8	17,39	6,55
Totaal	124,6625	22,2	277,8	92,57	74,26

Tabel 35: statische test, linkerzijde, reproduceerbaarheid

Rechts	gem	min	max	standaardafwijking	%
Dag 1	525,55	514,6	536,5	15,49	2,95
Dag 2	957,5	400	1359,6	248,08	25,91
Dag 3	236,25	187,9	284,6	68,38	28,94
Totaal	776,65	187,9	1359,6	466,93	60,12

Tabel 36: statische test, rechterzijde, reproduceerbaarheid

Bij de dynamische test, werd er opnieuw een kwartier getest bij 0 Pa, waarna er een kwartier pulsen gegeven werden tussen 0 en 300 Pa. Ook hier merken we grote verschillen over de verschillende dagen heen.

Links	gem	min	max	standaardafwijking	%
Dag 2	116,5	92,3	150,5	22,56	19,36
Dag 3	256,9	209,5	282,8	41,11	16,00
Totaal	169,15	92,3	282,8	77,80499	46,00

Tabel 37: dynamische test, linkerzijde, reproduceerbaarheid

Rechts	gem	min	max	standaardafwijking	%
Dag 2	879,04	827,7	913,8	34,92	3,97
Dag 3	176,4667	140,2	206	33,41	18,93
Totaal	615,575	140,2	913,8	365,01	59,30

Tabel 38: dynamische test, rechterzijde, reproduceerbaarheid

Een mogelijke verklaring zou het zwellen en krimpen van de zwelband, door bevochtigen en drogen kunnen zijn. In principe zou de zwelband hieraan moeten kunnen weerstaan, deze wordt zelfs verondersteld niet water absorberend te zijn door de impregnering. De compressie van de zwelband zou voldoende groot moeten zijn om in droge toestand alle openingen te dichten. Dit blijkt echter niet het geval, de zwelband zet telkens anders uit waardoor we iedere keer een ander waterdebiet krijgen.

De test blijkt dus weinig reproduceerbaar te zijn. We veronderstellen echter wel dat de algemene principes die afgeleid werden, kloppen.

5.9 Gewichtstoename zwelband

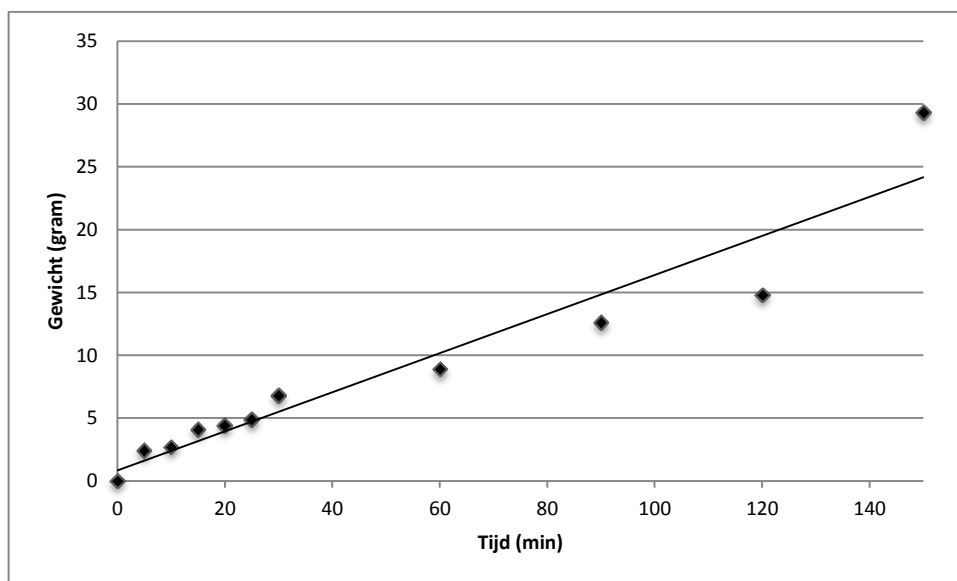
Om na te gaan of het vermoeden van het krimpen en zwellen van de zwelband klopt, is er een materiaaltest uitgevoerd. De zwelband werd volledig ondergedompeld in water, waarna de gewichtstoename in de tijd geregistreerd werd. De gegevens geven aan dat de zwelband inderdaad water absorbeert. Verder onderzoek zou gedaan kunnen worden naar de vervorming die hierdoor optreedt, of naar de verkleving van de zwelband op het raamkader.



Afbeelding 105 en 106: materiaaltest waterabsorptie van de zwelband: afmetingen proefstuk, onderdompeling

TIJD (min)	GEWICHT	
	BRUTO (gram)	NETTO (gram)
0	39,3	0
5	41,7	2,4
10	42	2,7
15	43,4	4,1
20	43,7	4,4
25	44,2	4,9
30	46,1	6,8
60	48,2	8,9
90	51,9	12,6
120	54,1	14,8
150	68,6	29,3

Tabel 39: waterabsorptie zwelband verband gewichtstoename in functie van de tijd



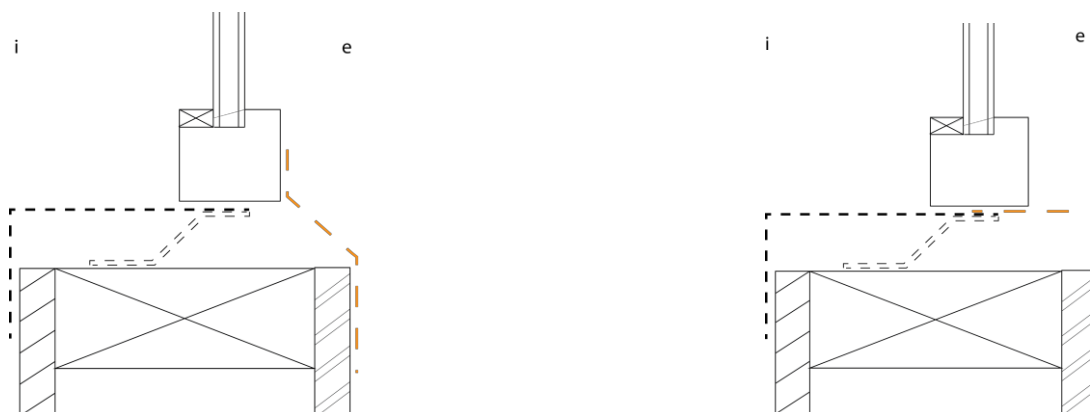
Grafiek 36: waterabsorptie zwelband verband gewichtstoename in functie van de tijd

2.2.1.2 REGENDICHTINGSFOLIE

Algemeen

Bij de volgende proeven, wordt de aansluiting waarbij de regendichtingsfolie de regenbarrière vormt, getest. Hierbij wordt de folie met behulp van kozijnfolielijm verkleefd op de gebitumineerde houtvezelplaten. De zijde aan het raamkader wordt door middel van een zelfklevende strook, voorzien op de folie, verkleefd. Voor de plaats van verkleving op het raamkader zijn er twee verschillende mogelijkheden, ofwel wordt de folie verkleefd aan de voorzijde van het raamkader ofwel aan de zijkant, zie afbeelding 107 en 108. Deze keuze wordt uit esthetische overwegingen gemaakt. Wanneer de folie aan de zijkant van het raamkozijn verkleefd wordt is deze namelijk niet zichtbaar van buiten af. Sommige profielen zijn echter voorzien van een uitsparing waarin de folie langs de voorzijde verkleefd kan worden zonder dat dit visuele hinder veroorzaakt.

De plaats waar de folie op het raamkader verkleefd wordt, heeft implicaties op de wijze waarop de hoeken uitgevoerd worden. Wanneer de folie aan de zijkant verkleefd wordt kan ervoor geopteerd worden de folie in één stuk te plaatsen. Hierdoor zijn er minder voegen en bijgevolg minder plaatsen waar water mogelijk kan infiltreren. Om de folie in één stuk te kunnen uitvoeren moeten de hoeken gevouwen worden. Het principe van vouwen is parallel aan het vouwprincipe bij het plaatsen van een luchtdichtingsfolie. Wanneer de folie op de voorzijde van het raam verkleefd wordt, wordt deze in verschillende stroken geïnstalleerd. (zie foto's afbeelding 109 en 110). Aangezien de plaats van verkleving de faalmechanismen voor waterinfiltratie kunnen beïnvloeden lijkt het aangewezen deze parameter even te bestuderen.



Afbeelding 107 en 108: principetekening installatiewijze folie.



Afbeelding 109 en 110: verkleving overlap aan voorzijde raamkader - verkleving met vouw aan zijkant raamkader

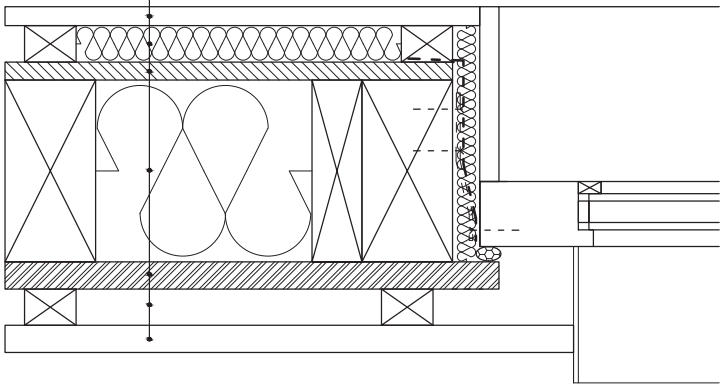
In wat volgt worden eerst de resultaten van de testen met regendichtingsfolie, verkleefd aan de voorzijde van het raam, besproken. Hierbij wordt de invloed van een aantal installatiefouten nagegaan. In een tweede deel komen de testen aan bod waarbij een continue folie geplaatst wordt, verkleefd aan de zijkant van het raam. Tot slot worden de resultaten van beide testen vergeleken.

A. Regenfolie overlap

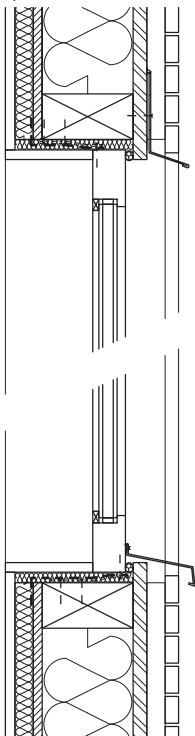
Detaillering

Plan 1/5

gipsvezelplaat
leidingsspouw
OSB-beplating
kepers - isolatie
gebitumineerde houtvezelplaat
spouw
houten gevelbekleding



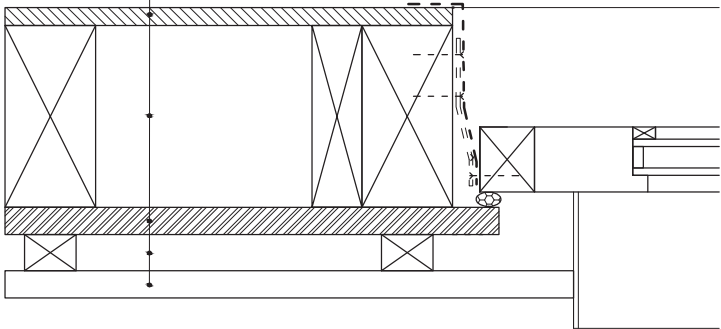
Snede 1/10



Testopstelling

Plan 1/5

OSB-beplating
kepers
gebitumineerde houtvezelplaat
spouw
houten gevelbekleding



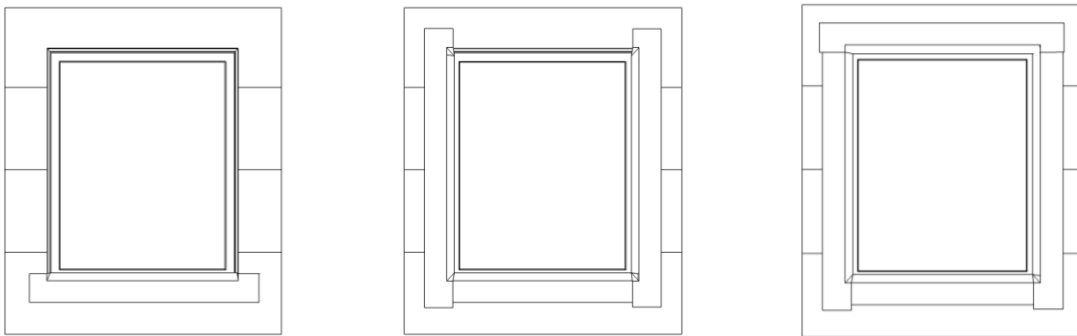
Snede 1/10



1. Opstelling

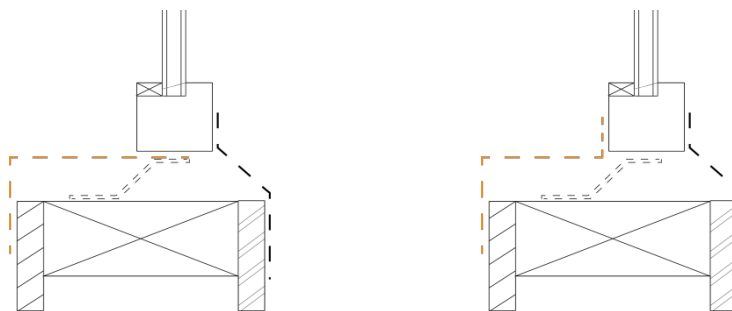
In een eerste testopstelling wordt de regendichtingsfolie verkleefd aan de voorzijde van het raamkader. Bij het verkleven van de folie op het raamkader wordt enkel gebruik gemaakt van de zelfklevende strook voorzien op de folie. Uit de technische fiche blijkt immers dat deze kleefstrook voldoende sterk is.

De folie wordt in verschillende stroken geplaatst, waarbij de uiteinden telkens overlappen. Hierbij is het belangrijk de folie aan de verschillende zijden in de juiste volgorde te kleven. De folie onderaan moet eerst verkleefd worden zodat water dat achter de verticale stroken infiltreert, over de onderste folie heen loopt. De bovenste strook folie wordt als laatst gekleefd.



Afbeelding 111: uitvoeringsvolgorde regenfolie

Voor de luchtdichtheid wordt opnieuw gebruik gemaakt van een luchtdichtingsfolie. Uit de voorgaande proeven is gebleken dat het verkleven van de luchtdichtingsfolie aan de zijkant van het raam problemen kan opleveren om het infiltratiewater op te vangen. Om dit te vermijden bij de volgende proeven wordt ervoor gekozen de luchtdichtheidsfolie aan de binnenzijde van het raamkozijn te plakken. Dit stemt niet overeen met de realiteit, maar het laat wel toe een correctere inschatting van het infiltratiewater te maken.



Afbeelding 112: vereenvoudiging verkleving luchtdichtingsfolie

Het raam wordt eerst in de wandopening geplaatst met raamankers, hierna worden de regen- en luchtdichtingsfolie verkleefd aan het raamkozijn. Ter plaatse van de gebitumineerde houtvezelplaat wordt een kozijnfolielijm toegepast voor de verkleving van de regendichtingsfolie.

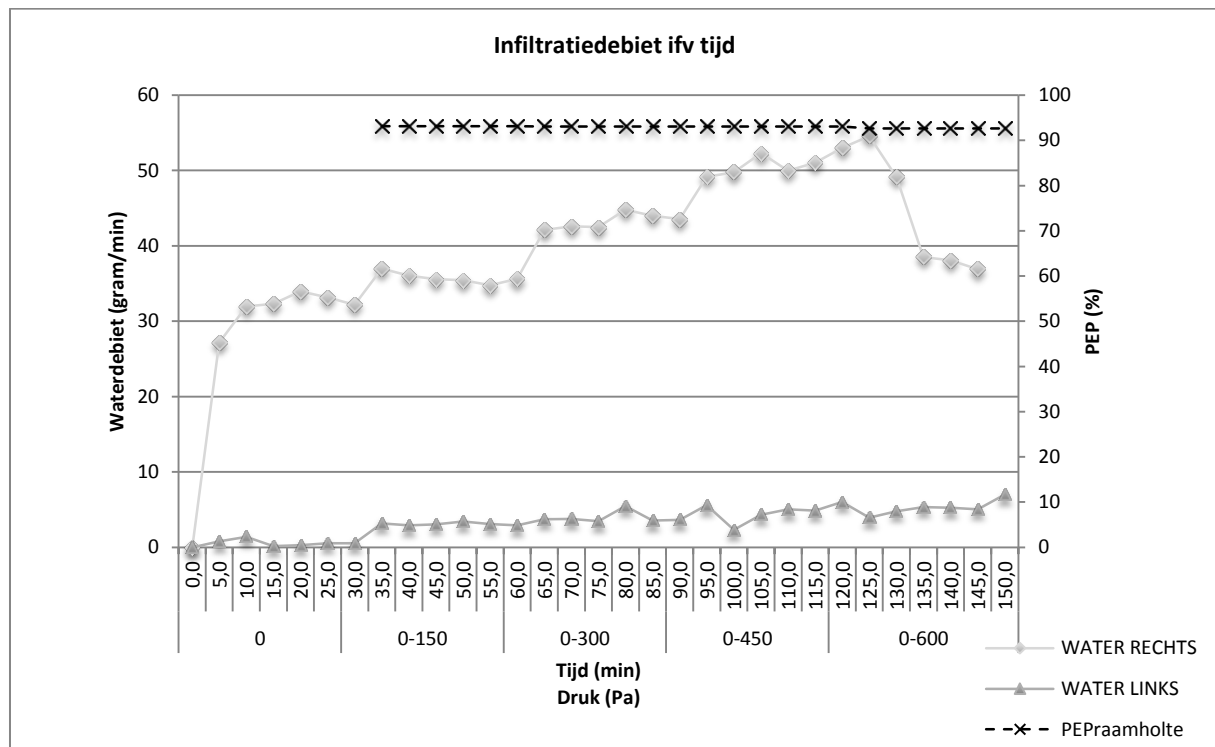
2. Variaties

In eerste instantie wordt het *worst-case* scenario, een opstelling waarbij luchtdichting en afwerkingslat ontbreken, onderworpen aan een test. Deze proef heeft het voordeel dat er een visuele controle mogelijk is, aan de binnenzijde van het raam. Hierdoor kan makkelijk vastgesteld worden waar water infiltreert. Vervolgens wordt er een luchtdichtingsfolie geplaatst, hierbij wordt de aansluiting met goede luchtdichtheid getest. De proef wordt hierna herhaald voor matige luchtdichtheid. Als laatste wordt de invloed van een afwerkingslat aan de zijkanten nagegaan.

3. Aanpassingen aan de proefmethode

Voor het uitvoeren van deze testen werden enkele aanpassingen gemaakt aan de testprocedure. Zo wordt de maximale testdruk verlaagd van 600 naar 450 Pa. Bij het uitvoeren van de proeven op hoge druk is immers opgemerkt dat deze soms destructief kunnen zijn voor de luchtdichtheidsfolie, wat een vertekend beeld kan geven. De reden voor het falen van de luchtdichtingsfolie is de verkleefing aan de voorzijde, waardoor deze sneller loskomt dan wanneer correct verkleefd. De keuze voor een lagere maximale testdruk kan verantwoord worden op basis van de windsnelheden die voorkomen in de praktijk. Een druk van 600 Pa zal in ons klimaat zeer uitzonderlijk zijn. Bovendien zal de druk enkel over zeer korte periodes voorkomen. Hierdoor is het in dit onderzoek niet interessant de druk op te voeren tot 600 Pa.

Verder wordt ook de duur van de dynamische test ingekort. Uit vorige testen (zie grafiek 37), waarbij de drukverhoging telkens na een half uur werd uitgevoerd, blijkt er reeds na 15 minuten een betrouwbaar verband kan gevonden worden tussen de druk en het waterdebiet. De testprocedure gaat dus over naar intervallen van 15 minuten, waardoor de dynamische test nog 60 minuten duurt. Het infiltratiedebiet zal hierbij op kortere intervallen geregistreerd worden.



Grafiek 37: waterdebiet ifv druk - zwelband matige luchtdichtheid

4. Meetresultaten

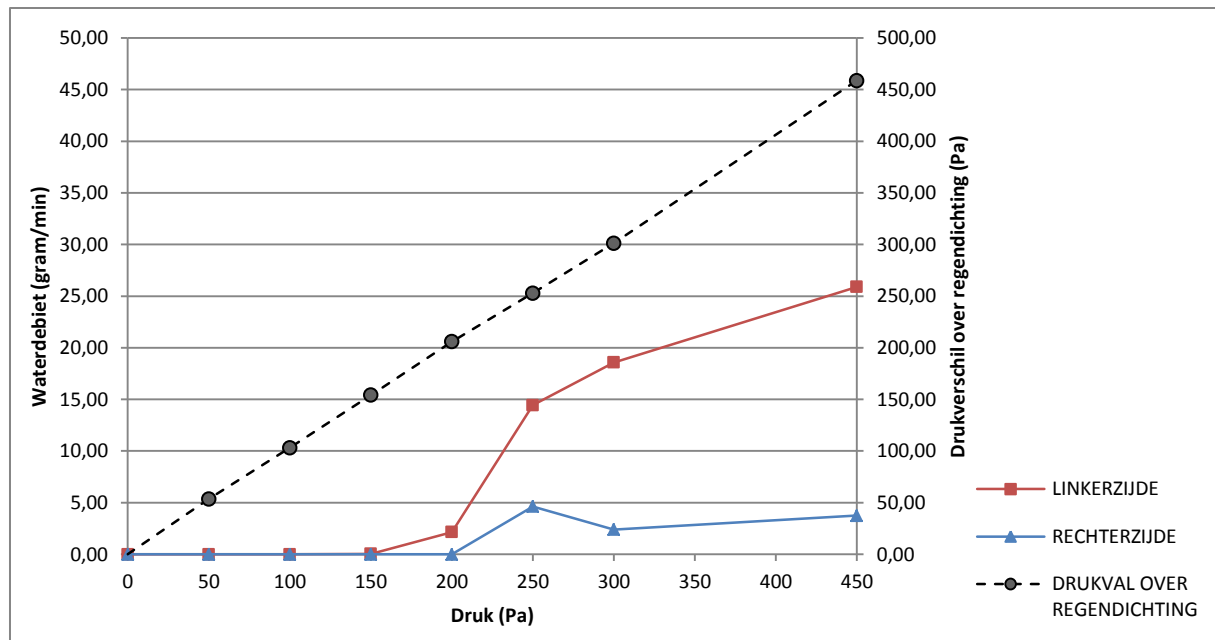
In wat volgt worden de resultaten eerst per opstelling besproken. Hierbij worden eventuele onregelmatigheden die tijdens de test naar voren kwamen behandeld. Om het verloop van de testen beter te begrijpen was het in sommige gevallen nodig, tussen twee proeven door, een visuele controle van de aansluiting door te voeren. Wanneer dergelijke visuele inspectie plaats vond, worden de vaststelling ook kort naar voren gebracht. Na het verslag van de resultaten per proef worden de resultaten samengebracht en vergeleken.

1. Regenfolie overlap – geen luchtdichtheid – zonder afwerkingslat

1.1. Luchtdichtheid

In deze proef werd er geen luchtdichting geïnstalleerd. Dit geldt als een *worst-case* scenario. Bovendien heeft het testen zonder luchtdichting het voordeel dat een duidelijke visuele inspectie mogelijk is tijdens de proef. Op deze manier kan direct achterhaald worden waar het infiltratiewater vandaan komt.

1.2. Statistische test

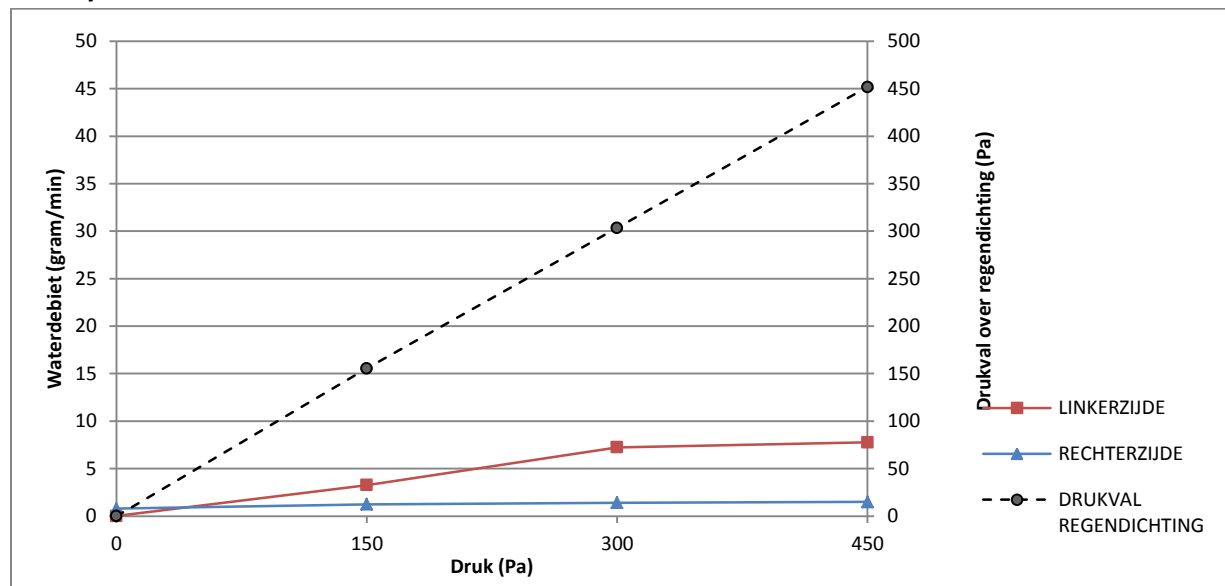


Grafiek 38: statistische test, folie overlap geen luchtdichtheid

Bij de statistische test infiltreert geen water bij 0 Pa, wat aangeeft dat er in eerste instantie geen infiltratiepaden zijn waardoor water kan infiltreren door zwaartekracht of hydrostatische druk. In eerste instantie doet deze grafiek vermoeden dat de infiltratie-openingen links en rechts niet even groot zijn. De opening (en) aan de linkerzijde zijn groter, waardoor met een kleiner drukverschil over de regendichting, namelijk 150 Pa het water doorheen de openingen kan gestuwd worden. De linker-aansluiting toont waterinfiltratie vanaf 150 Pa, het debiet kent een lichte stijging, tussen 150 en 200 Pa, vanaf 250 Pa ligt het debiet veel hoger. De stijging van het debiet bij 250 Pa kan verschillende oorzaken hebben. Er kan een tweede lek ontstaan zijn of het eerste lek kan, al dan niet door de vervorming van de regenfolie onder invloed van de druk, uitgebreid zijn. De precieze oorzaak van de stijging is moeilijk te achterhalen.

In eerste instantie kan verondersteld worden dat ook aan de rechterzijde hetzelfde fenomeen optreedt. De volgende test doet echter vermoeden dat de verkleving van de folie op het raamkader faalt bij een drukverschil over het regenscherm van 200 Pa.

1.3. Dynamische test



Grafiek 39: dynamische test, folie overlap geen luchtdichtheid

Aan de linkerzijde stijgt het waterdebiet gedurende het verloop van de test. Het waterdebiet is afhankelijk van de druk, dit is logisch aangezien het drukverschil over de regendichting sterk toeneemt en het water bijgevolg een grote drijvende kracht heeft.

In tegenstelling tot bij de statische test komt er aan de rechterzijde reeds water binnen bij 0 Pa, dit geeft aan dat er bij het opvoeren van de druk bij de statische test een gebrek ontstaan is. Het infiltratiedebiet is vrij constant, wat het vermoeden wekt dat de oorzaak van waterinfiltratie een opening in de horizontale folie onderaan is. Hierlangs kan water infiltreren door de zwaartekracht.

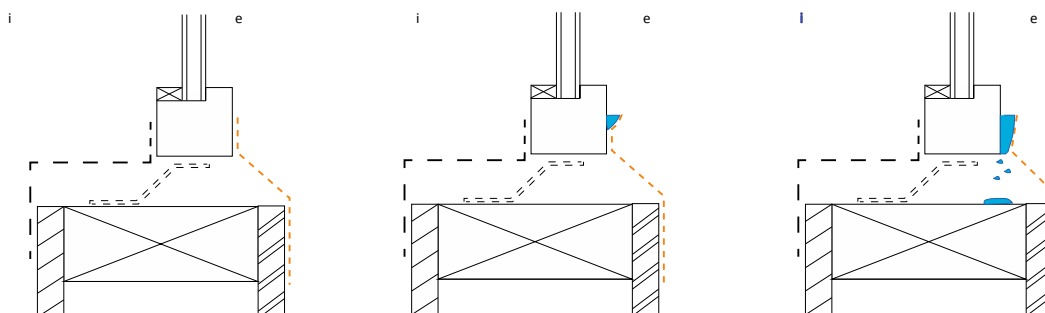
1.4. Visuele inspectie

Na de proef vond er een visuele inspectie van de aansluiting plaats om na te gaan of en waar er een opening ontstaan is. Vooraleer dit kon gebeuren, diende de gevel verwijderd te worden. Uit de inspectie blijkt er een opening in de regenfolie aanwezig te zijn. Deze opening bevindt zich tussen het raamkader en de horizontale strook folie aan de onderzijde, hierdoor worden de vermoedens bevestigd. Bij 0 Pa infiltreert water door de zwaartekracht.



Afbeelding 113: rechterhoek

De oorzaak voor het ontstaan van het lek is te wijten aan de slechte verkleving van de regenfolie op het raamkader. Het falen van de verkleving kan een combinatie van verschillende oorzaken zijn. Enerzijds kan het water in de aansluiting geïnfiltreerd zijn en hier verzameld hebben, door de hydrostatische druk wordt de verkleving steeds zwaarder belast. Bovendien zal de druk die opgebouwd wordt in de kast de folie bijkomend belasten, de combinatie van deze factoren heeft waarschijnlijk tot het falen van de folie geleid. (Zie afbeelding 114)



Afbeelding 114: falingsmechanisme folie

Doordat er aan de rechterzijde een opening ontstaat en er dus andere infiltratie-mechanismen gelden, worden de resultaten voor de linker- en rechteraansluiting bij de volgende proeven apart behandeld. Hierbij wordt onderzocht of de waterinfiltratie, langsheen de slechte verkleving van de folie sterk beïnvloed wordt door een verbetering in luchtdichtheid of door de toepassing van een afwerkingslat.

2. Regenfolie overlap – goede luchtdichtheid –zonder afwerkingslat

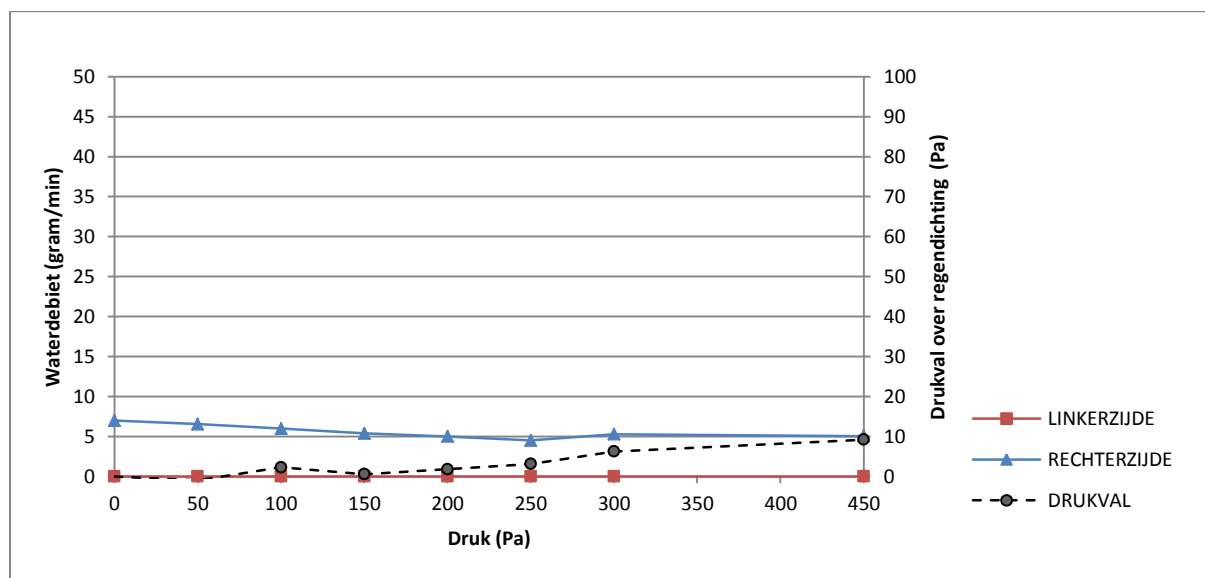
2.1. Luchtdichtheid

In een tweede proef wordt dezelfde type aansluiting opnieuw onderworpen aan een reeks testen. Het verschil met de vorige aansluiting ligt in de luchtdichtheid, in deze opstelling werd, in tegenstelling tot bij de vorige aansluiting, wel een luchtdichtingsfolie geplaatst. Door het voorzien van de luchtdichtingsfolie wordt een luchtdichtheid van 0,166 m³/hm gehaald. Dit komt overeen met de klasse van goede luchtdichtheid. Er dient opgemerkt te worden dat deze folie, zoals eerder vermeld, niet aan de zijkant van het raam verkleefd werd, maar de aan binnenzijde van het raamprofiel.

Netto-debiet bij 50 Pa	Overdruk		Onderdruk		Gemiddeld		Luchtdichtheids-klasse
Beschrijving	V ₅₀ (m ³ /h.m)	s	V ₅₀ (m ³ /h.m)	s	V ₅₀ (m ³ /h.m)	s	
Folie overlap	0,18	0,03	0,15	0,09	0,17	0,09	Goed

Tabel 40: luchtdebiet folie overlap goede luchtdichtheid

2.2. Statistische test



Grafiek 40: waterinfiltratie statische test, folie overlap

Linkeraansluiting: correcte aansluiting

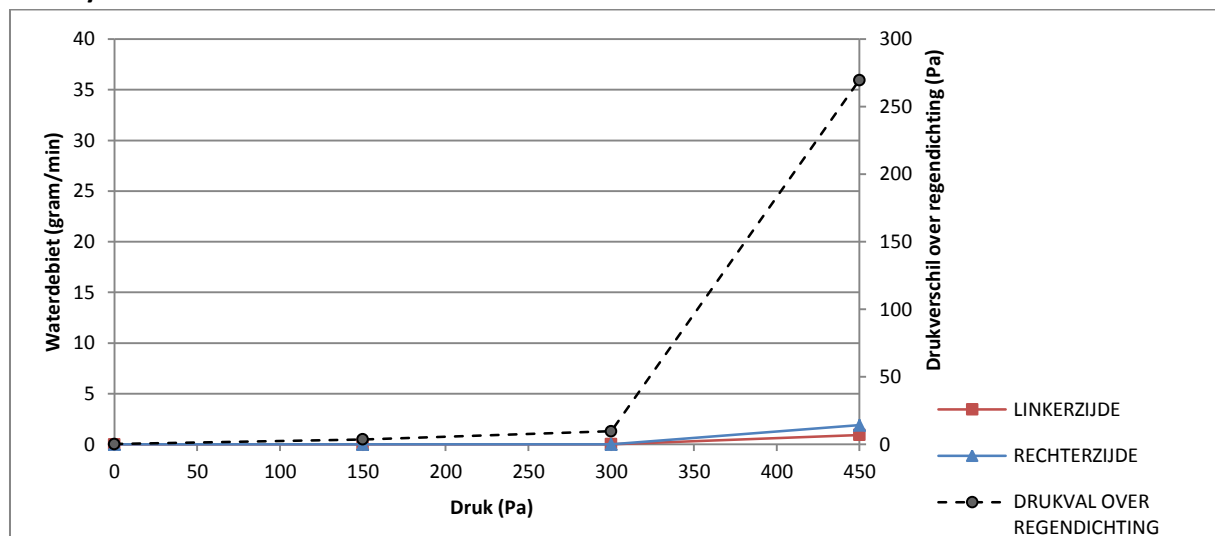
Bij de statische test met goede luchtdichtheid komt er geen water binnen aan de linkerzijde, dit volgt het verwachtingspatroon aangezien de drukken over het regenscherm veel kleiner zijn dan bij de aansluiting zonder regendichting. Hierdoor kunnen de capillaire krachten en oppervlaktespanningen niet overwonnen worden.

Rechteraansluiting: slechte verkleving folie

Aan de rechterzijde infiltreert er water vanaf 0 Pa. Dit is te wijten aan de opening die ontstaan is bij het uitvoeren van vorige proef. Doordat de druk op de folie steeds verhoogt, wordt de opening tussen de folie en het raamkader waarschijnlijk dichtgeduwd, hierdoor kan er minder water infiltreren. Dit is ook zichtbaar in de grafiek. Door het ontstaan van een opening in de aansluiting, is

het niet mogelijk de waterdebieten te vergelijken met de debieten van de vorige test waar er aan het begin nog geen gebrek in de aansluiting aanwezig was.

2.3. Dynamische test



Grafiek 41: dynamische test, folie overlap geen luchtdichtheid

Linkeraansluiting: correcte aansluiting

Bij de dynamische test treed pas infiltratie op bij de drukpulsen van 450 Pa. De grafiek toont duidelijk dat dit gepaard gaat met een toename van het drukverschil over de regendichting. De oorzaak hiervan ligt in het loskomen van de luchtdichtingsfolie onder invloed van de drukpulsen van 450 Pa, hierdoor ontstaat er een groter drukverschil en bijgevolg ook een grotere drijvende kracht voor waterinfiltratie. Het loskomen van de folie kan te wijten zijn aan de verkleefing van de luchtdichtheidsfolie langs de voorzijde van het raamkader.

Rechteraansluiting: slechte verkleefing folie

Bij de rechteraansluiting verloopt de grafiek hetzelfde als bij de linker-aansluiting. In tegenstelling tot bij de statische test, komt hier geen water binnen bij 0 Pa. Een mogelijke verklaring zou kunnen liggen in de lagere waterdebieten of een veranderend stromingspatroon.

Uit een vergelijking van de debieten van deze proef met de debieten van de dynamische proef voor de aansluiting met slechte luchtdichtheid blijken de debieten voor de goede luchtdichtheid lager te liggen. Op het eerst zicht is dit logisch aangezien het drukverschil over de regendichting afgenomen is. Wanneer we echter veronderstellen dat er in de voorgaande test water binnenkwam onder invloed van de zwaartekracht, verwachten we dat ook bij deze opstelling water zal infiltreren. Uit de resultaten blijkt echter dat dit niet het geval is. Een mogelijke verklaring is dat de folie opnieuw aangedrukt werd tijdens de korte drukverhoging die toegepast wordt tussen 2 opeenvolgende testen om achtergebleven infiltratiewater uit de aansluiting te 'blazen'. Een andere mogelijke oorzaak zou opnieuw, het veranderend stromingspatroon van het run-off water kunnen zijn.

3. Regenfolie overlap – matige luchtdichtheid –zonder afwerkingslat

3.1. Luchtdichtheid

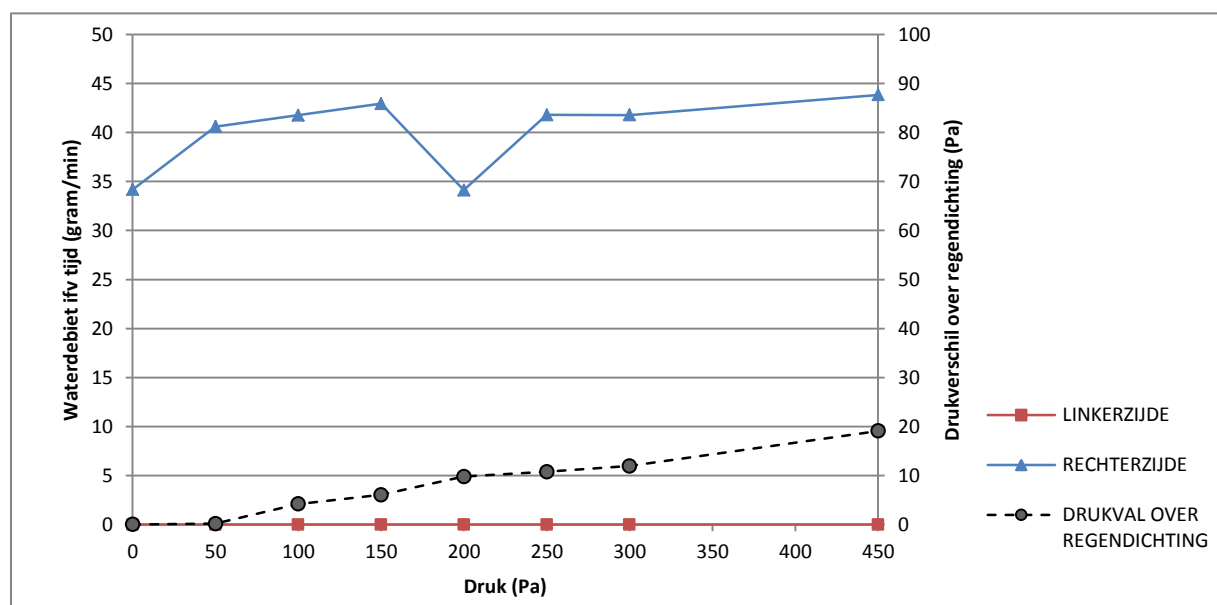
De luchtdichtheid van de opstelling wordt aangepast door een aantal gaten in de luchtdichtingsfolie te maken. Hierdoor wordt een V_{50} bereikt van $0,826 \text{ m}^3/\text{hm}$. Dit komt overeen met een matige luchtdichtheidsklasse. Er dient opgemerkt te worden dat de luchtdichtingsfolie voor de start van de

test nog eens extra aangerold werd. Dit gebeurde om te vermijden dat de folie opnieuw zou loskomen tijdens de test.

Netto-debiet bij 50 Pa	Overdruk		Onderdruk		Gemiddeld		Luchtdichtheids- klasse
Beschrijving	V ₅₀ (m³/h.m)	s	V ₅₀ (m³/h.m)	s	V ₅₀ (m³/h.m)	s	
Folie overlap	0,83	0,07	0,92	0,07	0,87	0,10	matig

Tabel 41: Luchtdebiet folie overlap matige luchtdichtheid

3.2. Statistische test



Grafiek 42: statistische test, folie overlap matige luchtdichtheid

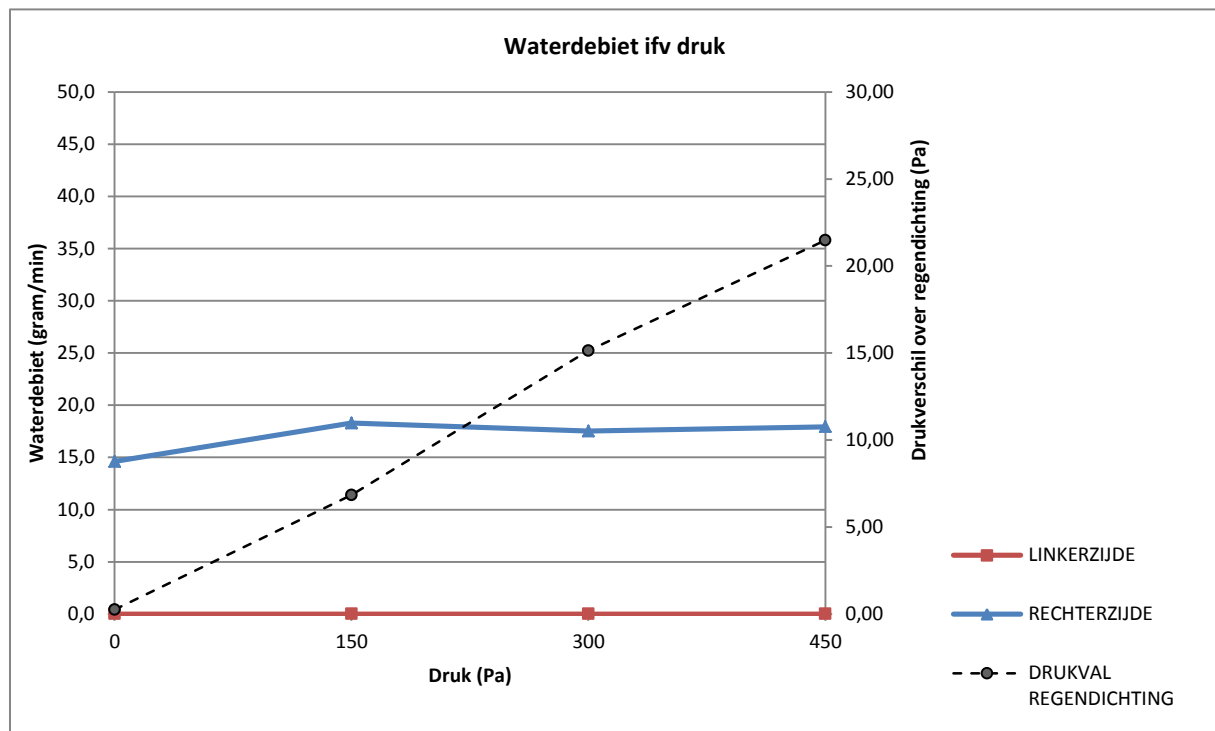
Linkeraansluiting: correcte aansluiting

Aan de linkerkzijde komt er gedurende de test geen water binnen. Hoewel het drukverschil over de regendichting, weliswaar zeer beperkt, stijgt. Er wordt verondersteld dat het beperkte drukverschil over de regendichting, maximaal 20 Pa, weinig invloed heeft op de waterdichtheid van deze aansluiting.

Rechteraansluiting: slechte verkleving folie

Aan de rechterzijde is er vanaf het begin opnieuw een vrij groot infiltratiedebiet, dit blijft quasi constant in de tijd. Het water komt waarschijnlijk binnen via het lek ontstaan in de statische test zonder luchtdichtheid. Bij 200 Pa is er een dal in het waterdebiet zichtbaar, hier is niet direct een logische verklaring voor te vinden. Een mogelijke verklaring is het veranderen van het stromingspatroon van het run-off water. Doordat er voor iedere test een luchtdichtheidsproef uitgevoerd wordt kan het zijn dat het gebrek in de verkleving onder inwerking van de onderdruk bij het uitvoeren van de luchtdichtheidsproeven uitgebreid is. Hierdoor liggen de infiltratiedebieten vrij hoog in vergelijking met de voorgaande proeven.

3.3. Dynamische test



Grafiek 43: dynamische test, folie overlap matige luchtdichtheid

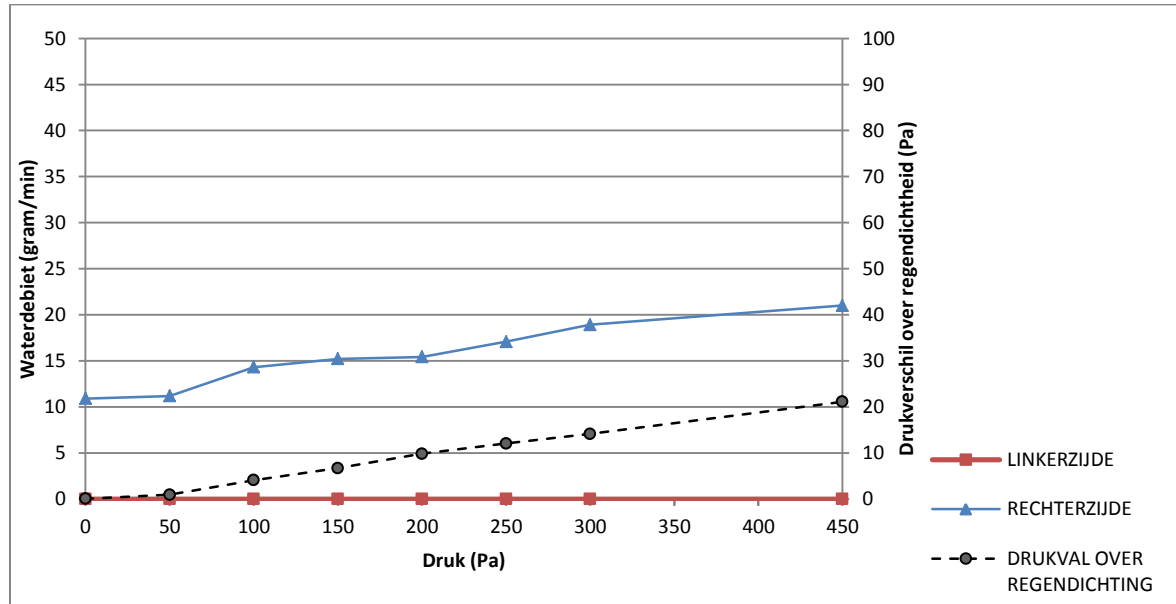
De dynamische test heeft hetzelfde verloop als de statische test, enkel in infiltratiedebiet aan de rechterzijde ligt lager. Dit kan verklaard worden doordat het aangelegde waterdebiet bij de statische test lager ligt dan bij de dynamische test. Het kan ook zijn dat er minder water op de opening terecht komt, doordat er een andere stromingspatroon ontstaat.

4. Regenfolie overlap – matige luchtdichtheid –afwerkingslat

4.1. Luchtdichtheid

De onderstelling is dat de afwerkingslat geen invloed heeft op de luchtdichtheid, de luchtdichtheid blijft dezelfde

4.2. Statische test



Grafiek 44: statische test folie overlap matige luchtdichtheid afwerkingslat

Linkeraansluiting: correcte aansluiting

Tijdens de dynamische test komt er aan de linkerzijde opnieuw geen water binnen.

Rechteraansluiting: slechte verkleving folie

Aan de rechterzijde neemt het waterdebiet toe naarmate de druk stijgt. Het infiltratiedebiet ligt een pak lager dan bij de aansluiting zonder afwerkingslat.

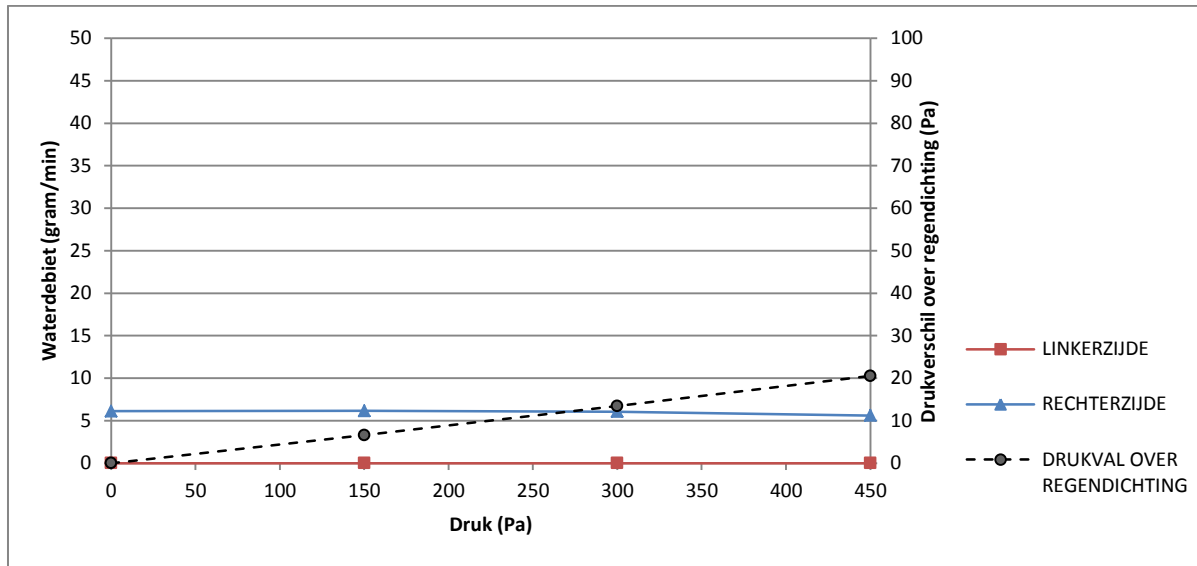


Afbeelding 115: installatie afwerkingslat

Dit was verwacht, de afwerkingslat schermt de onderste hoek af waardoor er minder water terechtkomt op deze aansluiting. De stijging van het waterdebiet in functie van de druk kan er op wijzen dat het aandeel infiltratiewater door hydrostatische druk sterk afgenomen is. Hierdoor wordt het aandeel van lekken door het drukverschil over de regendichting groter en is er een stijgende

trend merkbaar. Of deze lekken reeds aanwezig waren of in deze test ontstaan zijn is moeilijk te achterhalen. Een andere verklaring voor de stijgende trend zou kunnen zijn dat er onder inwerking van de druk meer water voorbij de afwerkingslat komt, hierdoor komt er meer water op het bestaande gebrek naarmate de druk stijgt.

4.3. Dynamische test



Grafiek 45: dynamische test folie overlap matige luchtdichtheid afwerkingslat

Linkeraansluiting: correcte aansluiting

Bij de dynamische test zonder afwerkingslat kwam geen water binnen. Het is dan ook niet verwonderlijk dat er door de plaatsing van een afwerkingslat nog steeds geen water binnenkomt.

Rechteraansluiting: slechte verkleving folie

Het infiltratiedebiet verloopt bij deze test vrij analoog als bij de test zonder afwerkingslat enkel de debieten liggen lager. Dit bevestigt dat de afwerkingslat de opening in de regenfolie afschermt waardoor er minder water infiltreert.

5. Overzicht testverloop - vergelijking

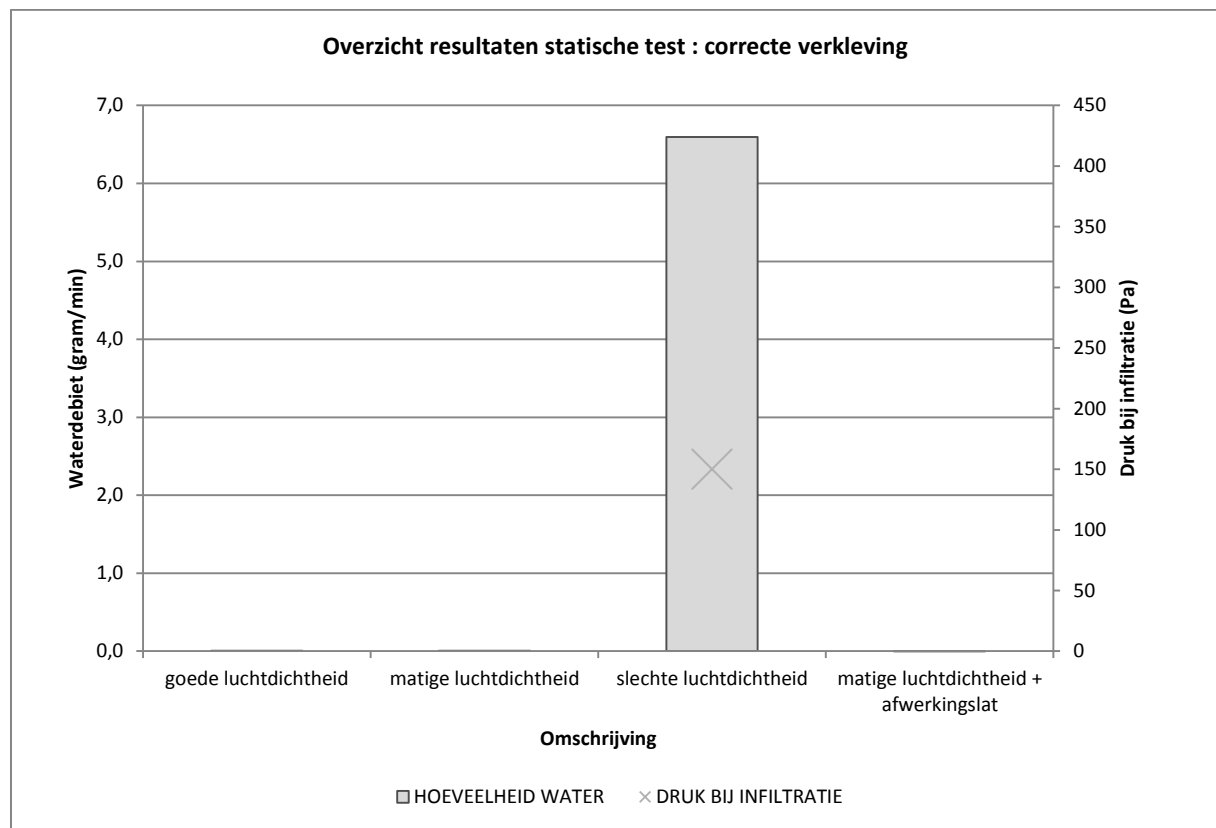
Doordat er in de loop van de testen een duidelijk verschil in de linker- en rechteraansluiting ontstaan is lijkt het aangewezen de resultaten apart te behandelen.

1. Linkeraansluiting: correcte verkleving

1.1. Statische test

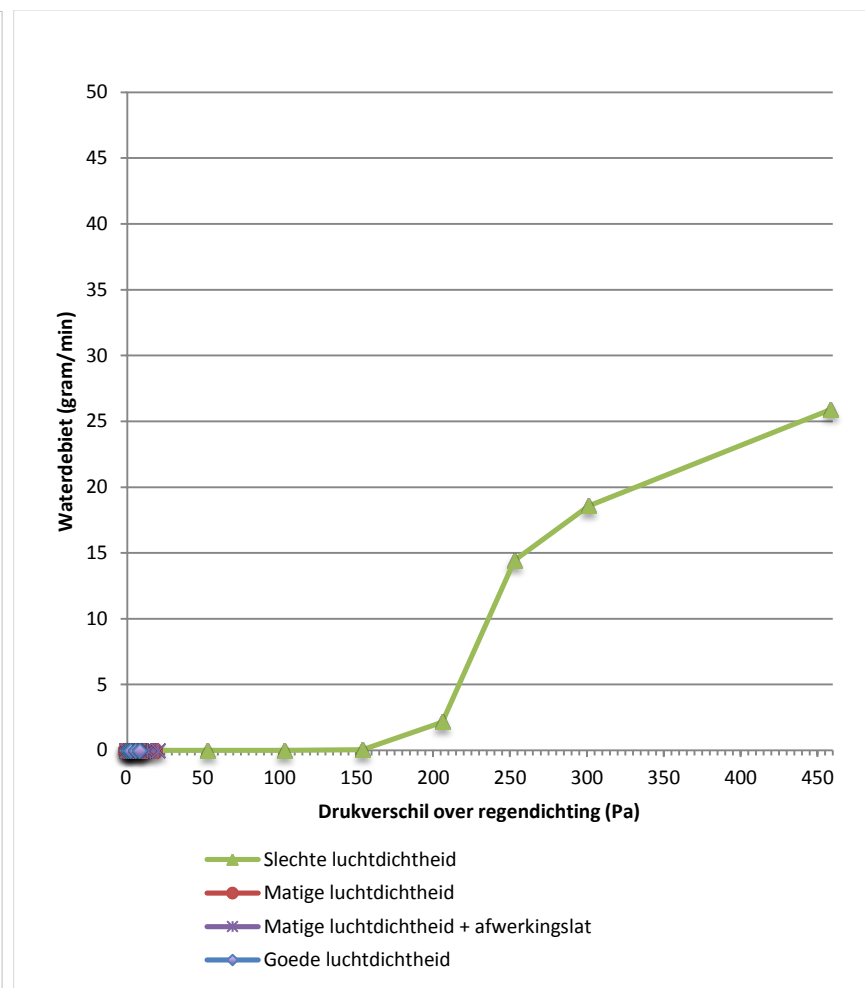
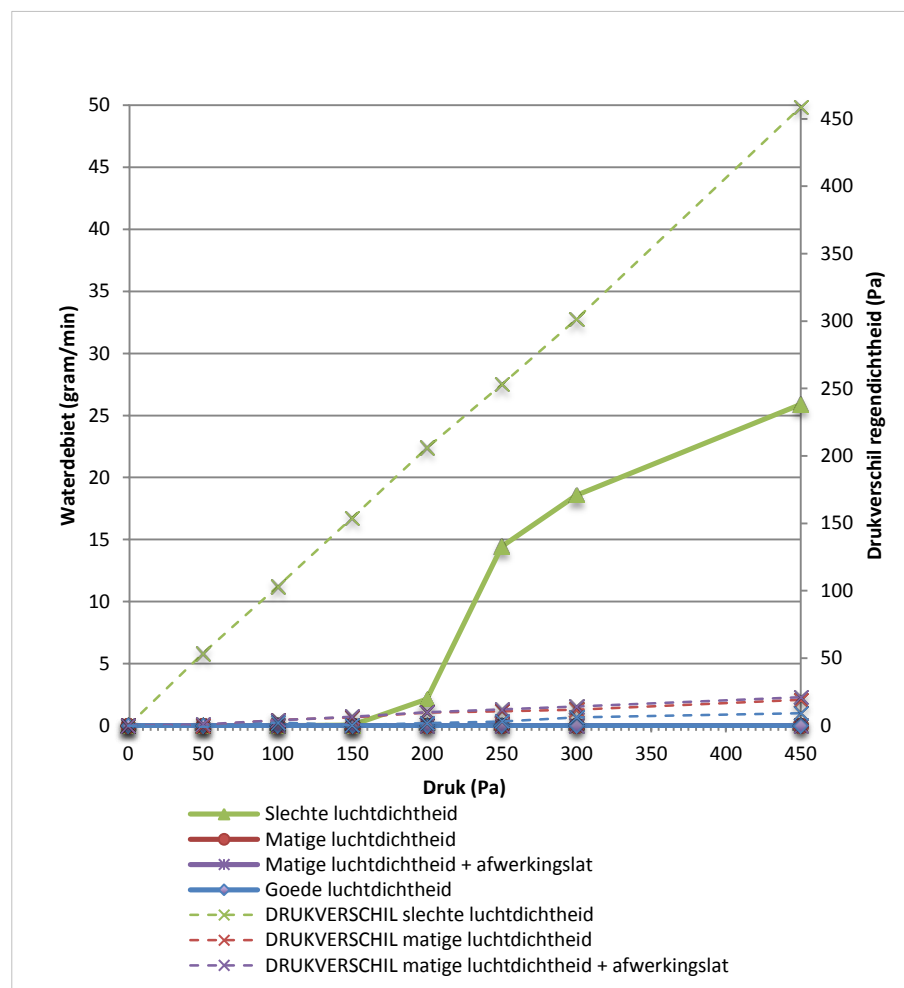
TEST-VOLGORDE	OMSCHRIJVING	HOEEVEELHEID WATER	DRUK BIJ INFILTRATIE
	LUCHTDICHTHEID	LINKS (gram/min)	LINKS (Pa)
15/mei	goede luchtdichtheid	0,0	/
16/mei	matige luchtdichtheid	0,0	/
14/mei	slechte luchtdichtheid	6,6	150
16/mei	matige luchtdichtheid + afwerkingslat	0,0	/

Tabel 42: Vergelijking waterinfiltratie statische test correcte verkleving folie overlap



Grafiek 46: Vergelijking waterinfiltratie statische test correcte verkleving folie overlap

Aan de linkerzijde is er enkel waterinfiltratie bij de slechte luchtdichtheid. Dit vanaf 150 Pa, met een bijhorend drukverschil over de regendichting dat even groot is. Vanaf er waterinfiltratie optreedt, neemt het debiet toe naarmate de druk stijgt. Wanneer de druk stijgt, stijgt ook het drukverschil over de regendichting, hierdoor is er een grote drijvende kracht om het water naar binnen te stuwen en kan er waterinfiltratie optreden. Het drukverschil over de regendichting bij de matige en goede luchtdichtheid blijkt onvoldoende groot om de capillaire krachten te overwinnen en het water door openingen in de aansluiting te stuwen, bijgevolg is er geen waterinfiltratie.

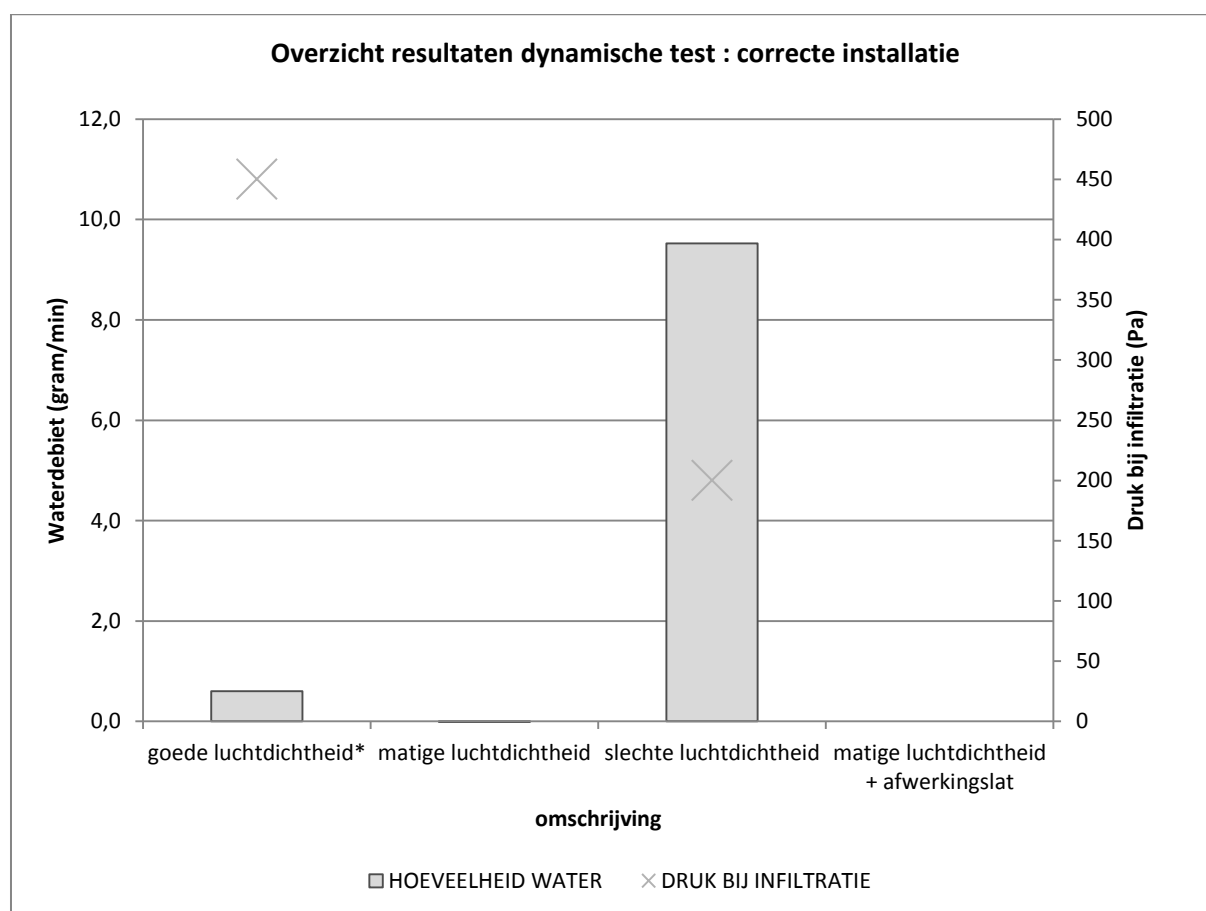


Grafiek 47 en 48: Vergelijking waterinfiltratie statische test correcte verkleefing folie overlap

Dynamische test

Volgorde van testen	OMSCHRIJVING	HOEEVEELHEID WATER	DRUK BIJ INFILTRATIE
	LUCHTDICHTHEID	LINKS (gram/min)	LINKS (Pa)
15/mei	goede luchtdichtheid	0,6	450
16/mei	matige luchtdichtheid	0,0	/
14/mei	slechte luchtdichtheid	9,5	200
16/mei	matige luchtdichtheid + afwerkingslat	0,0	/

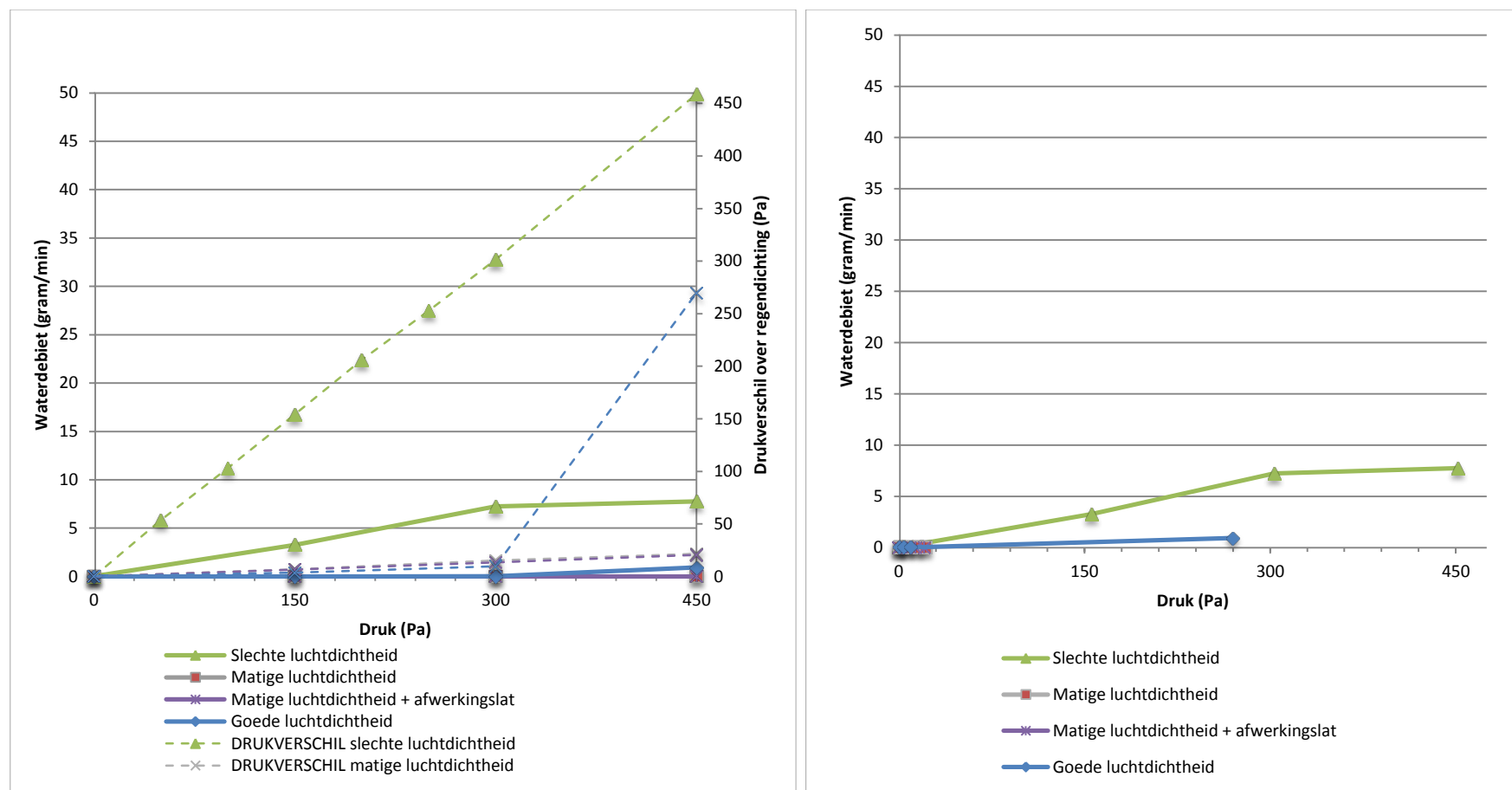
Tabel 43: Vergelijking waterinfiltratie dynamische test correcte verkleefing folie overlap



*Bij de goede luchtdichtheid is de luchtdichtingsfolie losgekomen tijdens de test, hierdoor is er water geïnfiltreerd.

Grafiek 49: Vergelijking waterinfiltratie dynamische test correcte verkleefing folie overlap

Bij de dynamische testen kunnen dezelfde vaststellingen gemaakt worden als bij de statische testen. Enkel bij goede luchtdichtheid is er een verschil zichtbaar. Bij 450 Pa is de luchtdichtingsfolie losgekomen, hierdoor ontstaat er een groot drukverschil over de regendichting, dat resulteert in waterinfiltratie. Indien de folie stand zou houden is de verwachting dat er zich hier geen waterinfiltratie zou voordoen. De oorzaak van het loskomen van de folie kan gevonden worden in de verkleefing aan de voorzijde van het raamkozijn. In de praktijk wordt dit echter niet toegepast waardoor er ook minder problemen verwacht worden.



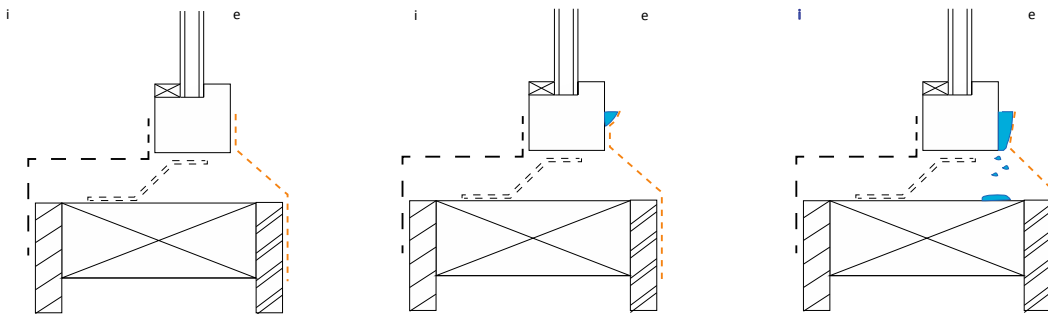
Grafiek 50 en 51: vergelijking waterinfiltratie dynamische test correcte verkleefing folie overlap

Rechterzijde: slechte verkleving

In de aansluiting aan de rechterzijde is er tijdens het testen een gebrek in de aansluiting tussen de regenfolie en het raamkader ontstaan. Dit gebrek is ontstaan bij grote drukverschillen over de regendichtingsfolie, namelijk 200 Pa. In normale omstandigheden zullen de drukverschillen over het regenscherm niet zo groot zijn door de aanwezigheid van het luchtscherm. Het gebrek is waarschijnlijk te wijten aan de slechte verkleving van de folie op het raamkader. Dit kan erop wijzen dat de zelfklevende strook van de regendichtingsfolie onvoldoende hecht. Er kan echter ook een onregelmatigheid op het oppervlak van het raamkader geweest zijn bij de installatie. Doordat al de testen op één raamkader uitgevoerd worden is het oppervlak, waarop de folie verkleefd wordt, in de loop der testen steeds ruwer geworden. Dit kan ook een oorzaak zijn van de slechte verkleving.

2.1. Statisch

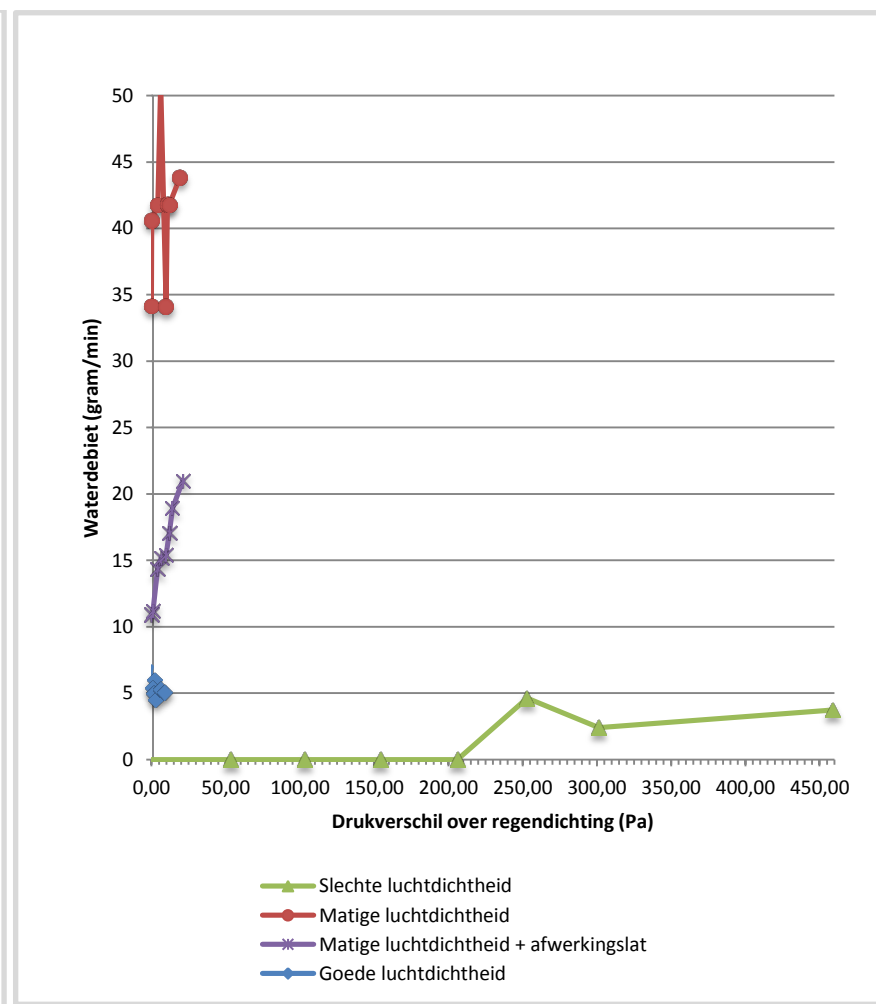
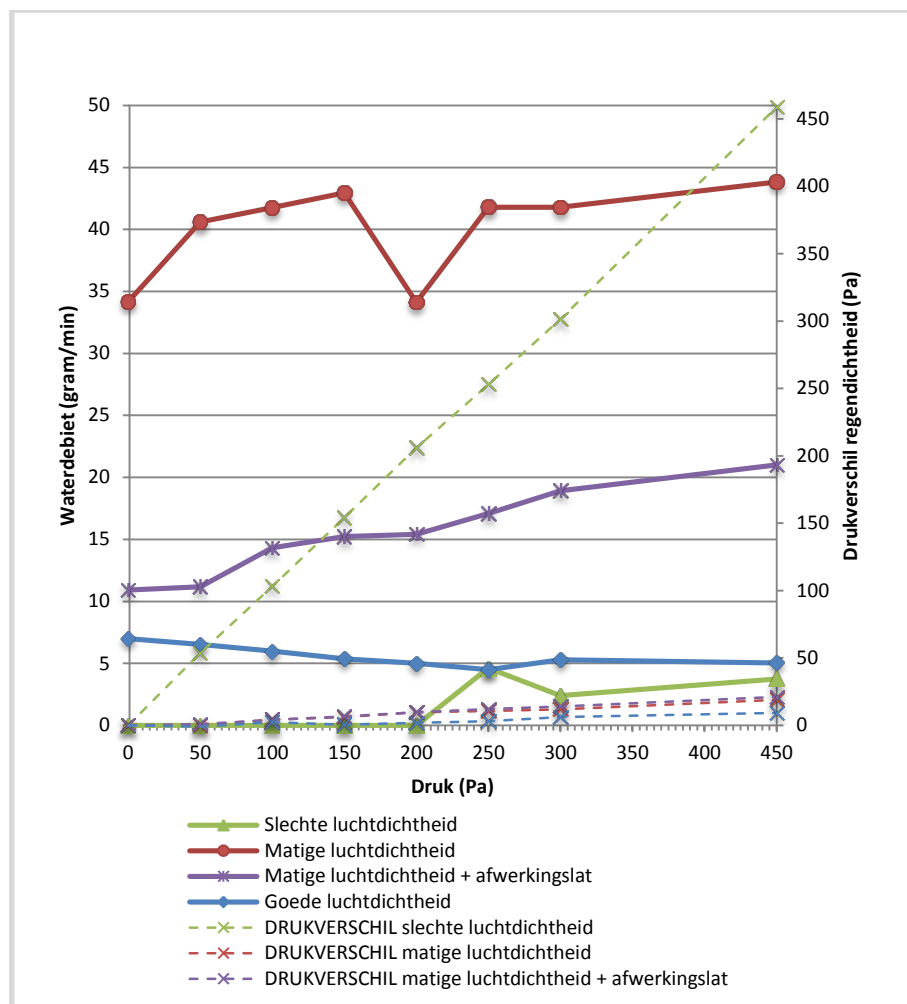
Aan de rechterzijde is het verhaal dan ook minder duidelijk. De onderstelling is dat er door grote drukverschillen over de regendichting in combinatie met de inwerking van de hydrostatische druk, een opening ontstaan is in de regenfolie.



Afbeelding 116: falingsmechanisme bij de verkleving van de folie aan de voorzijde van het raamkader

Deze opening is ontstaan tussen de verkleving van de regenfolie en het raamkader. Onder inwerking van de zwaartekracht kan er water naar binnen lopen onafhankelijk van de opgelegde druk en luchtdichtheid. Dit resulteert in een vrij constant waterdebiet. Bij de test met goede luchtdichtheid neemt het debiet af naarmate de druk stijgt, dit kan eventueel veroorzaakt worden doordat de druk op de folie toeneemt en de opening hierdoor wordt dichtgedrukt. Het verloop van het debiet bij de aansluiting met matige luchtdichtheid verloopt opnieuw vrij constant. Het debiet ligt wel vrij hoog ten opzicht van voorgaande proeven, hierdoor wordt verondersteld dat het gebrek uitgebreid is bij de luchtdichtheidstesten. Deze redenering is echter gebaseerd op veel onzekerheden waardoor de correctheid in twijfel getrokken kan worden.

Het is wel duidelijk dat de plaatsing van een afwerkingslat een grote invloed heeft op de regendichting. Door het plaatsen van een afwerkingslat wordt een verbetering van 62,6% gerealiseerd. Bij de aansluiting met de afwerkingslat merken we ook op, dat het debiet licht toeneemt naarmate het drukverschil over de wand stijgt. Hierdoor is het aandeel van de waterinfiltratie ten gevolge van drukverschillen over de regendichting groter en is het waterdebiet afhankelijk van het drukverschil over de regendichting. Een andere verklaring is dat er door het verhogen van de druk meer water voorbij de afwerkingslat terechtkomt. Een grotere hoeveelheid water voorbij de afwerkingslat zorgt voor een grotere belasting van het gebrek en bijgevolg hogere infiltratiedebieten.



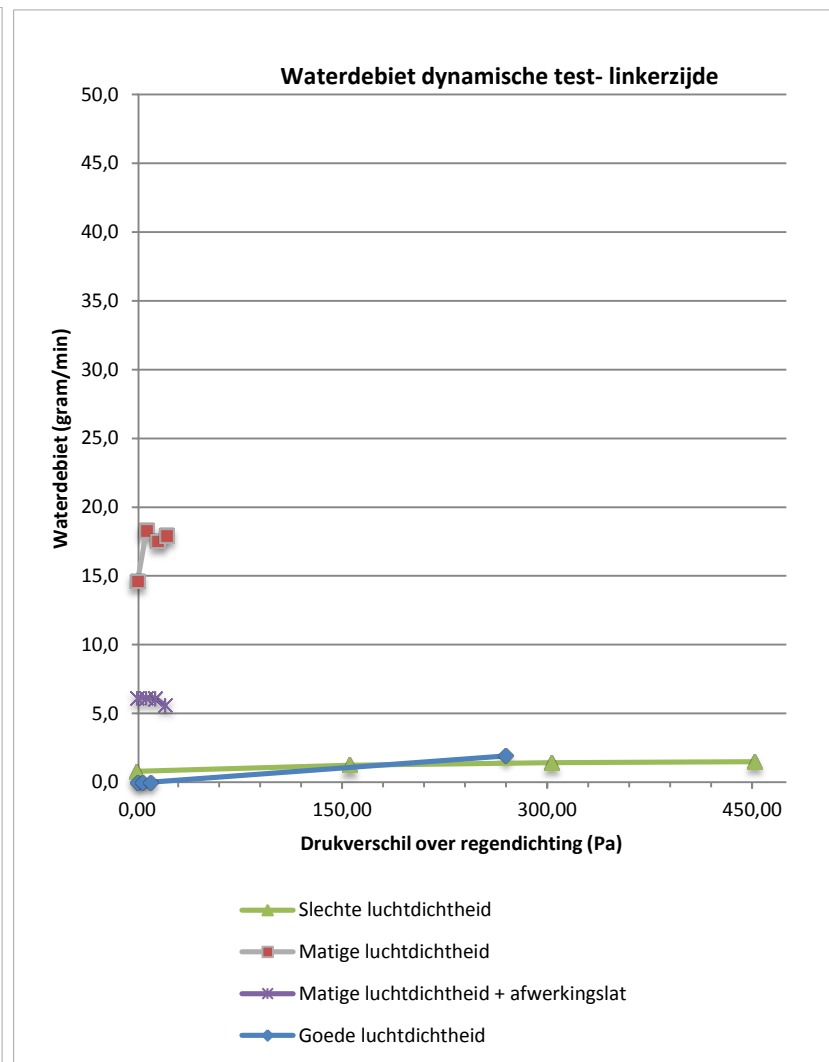
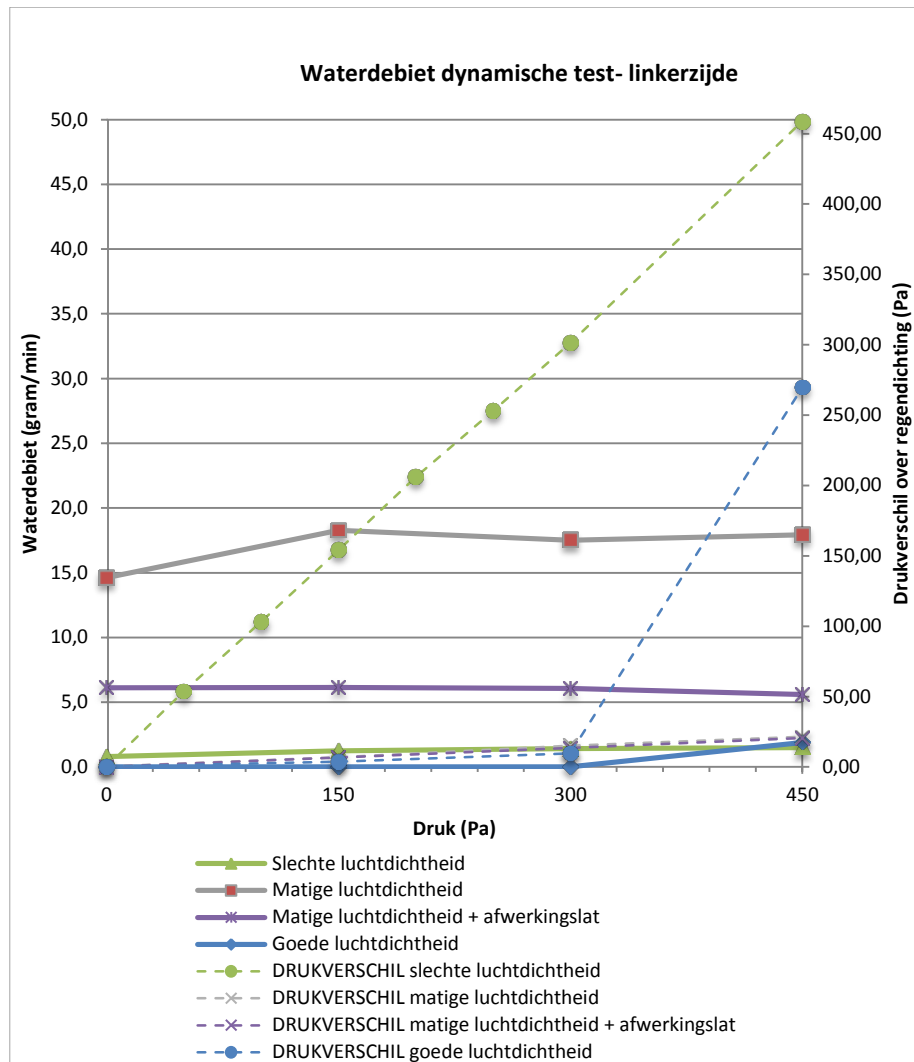
Grafiek 52 en 53: Vergelijking waterinfiltratie statische test slechte verkleving folie overlap

2.2. Dynamische test

DATUM	OMSCHRIJVING	HOEEVEELHEID WATER	DRUK BIJ INFILTRATIE
	LUCHTDICHTHEID	RECHTS (gram/min)	RECHTS (Pa)
15/mei	goede luchtdichtheid	1,0	450
16/mei	matige luchtdichtheid	34,6	0
14/mei	slechte luchtdichtheid	0,9	250
16/mei	matige luchtdichtheid + afwerkingslat	14,7	0

Tabel 44:

Uit de dynamische test zijn gelijklopende conclusies te trekken. Op het eind van de proef met goede luchtdichtheid wordt de stijging van het debiet veroorzaakt door een vergroot drukverschil over het regenscherm, veroorzaakt door het loskomen van de luchtdichtingsfolie. De debieten liggen steeds lager dan deze gevonden voor de statische proef. Dit valt te verklaren vanuit het lager sproeidebiet.



Grafiek 54 en 55: Vergelijking waterinfiltratie dynamische test slechte verkleefing folie overlap

6. Conclusie

6.1 Algemeen

Over het algemeen presteert deze methode van waterdichting goed wanneer er voldoende aandacht aan de verkleving wordt besteed. In een volgende tabel is een overzicht van de resultaten van de aansluiting met goede verkleving weergegeven.

DATUM	OMSCHRIJVING	HOEEVEELHEID WATER		DRUK BIJ INFILTRATIE		CLASSIFICATIE
	LUCHTDICHTHEID	STATISCH (gram/min)	DYNAMISCH (gram/min)	STATISCH (Pa)	DYNAMISCH (Pa)	
15/mei	goede luchtdichtheid	0,0	0,6	/	450	>9A
16/mei	matige luchtdichtheid	0,0	0,0	/	/	>9A
14/mei	slechte luchtdichtheid	6,6	9,5	150	0	4A
16/mei	matige luchtdichtheid + afwerkingslat	0,0	0,0	/	/	>9A

Tabel 45: Vergelijking folie overlap

6.2 Installatiefouten

Aan het begin van de reeks testen werd de aansluiting aan beide zijden op dezelfde wijze uitgevoerd. Bij de eerste test ontstaat er ter hoogte van de rechteraansluiting een opening. Hierdoor komt er meer water binnen langs deze zijde dan langs de linkerzijde. Uit een visuele inspectie volgt dat het lek zich aan de onderzijde van het raam bevindt. Hierdoor kan water onder invloed van de zwaartekracht in de opening stromen. De oorzaak voor het ontstaan van de opening kan mogelijks de slechte verkleving van de folie op het raamkozijn zijn. Deze faalt onder grote drukverschillen. Dit is echter een veronderstelling en kon niet met zekerheid vastgesteld worden. Uit de test blijkt wel duidelijk dat er voldoende aandacht aan de correcte verkleving van de regenfolie op het raamkozijn besteed moet worden.

6.3 Verschil door variëren luchtdichtheid

Wanneer de resultaten van de testen, met verschillende luchtdichtheden, vergeleken worden, wordt duidelijk dat ook hier de luchtdichtheid een belangrijk aandeel in de waterdichtheid heeft. Vooral de opstelling zonder luchtdichting scoort slecht. Bij de goede en matige luchtdichtheidsklasse is er geen waterinfiltratie. Hier is het drukverschil over de regendichting te klein om water door openingen in de regenfolie te stuwen. Het is ook duidelijk dat wanneer de luchtdichtingsfolie loskomt bij de dynamische test met goede luchtdichtheid er onmiddellijk een groot drukverschil over de regenfolie ontstaat waardoor er meteen veel water infiltreert. De luchtdichtheid van een aansluiting blijkt dus een belangrijke parameter te zijn.

6.4 Verschil afwerkingslat

Het plaatsen van een afwerkingslat heeft aan de linkerzijde geen invloed. Dit doordat er bij de opstelling zonder afwerkingslat al geen water binnenkwam. Bij de aansluiting met slechte verkleving daarentegen levert de afwerkingslat een verbetering van 62,6% op.

6.5 Verschil statisch- dynamisch

De resultaten voor statisch en dynamisch zijn zeer gelijklopend. Bij de goede luchtdichtheid komt er bij de dynamische test eerder water binnen dan bij de statische test. Dit ligt aan het loskomen van de luchtdichtingsfolie en geeft dus een vertekend beeld. Bij de slechte luchtdichtheid is er ook een klein verschil merkbaar. Het is moeilijk uitspraken te doen over het verschil tussen de statische en dynamische methode wanneer er geen of beperkte hoeveelheden water binnenkomen.

B. INSTALLATIEFOUT: REGENFOLIE OVERLAP

1. Opstelling

In een volgende testreeks wordt nagegaan wat de invloed is van een installatiefout op de waterdichtheid van een aansluiting. De fout die geïntroduceerd wordt in de aansluiting ontstaat bij de installatie van de afwerkingslat. Doordat deze iets te groot is, komt de regenfolie aan de onder en bovenzijde van het raam onder spanning. Doordat de spanning zo groot is komt de folie los van het raamkader. Hierdoor ontstaan grote openingen in de aansluiting.



Afbeelding 117: foutieve installatie afwerkingslat



Afbeelding 118: bovenaanzicht, na wegnemen afwerkingslat

2. Variaties

De testreeks bestaat uit vier proeven. Eerst wordt de aansluiting zonder installatiefout getest, op deze manier is er een referentiepunt om de resultaten met gebrek te vergelijken. In de eerste proef wordt getest zonder luchtdichting. Hierdoor kan er visueel makkelijk vastgesteld worden waar en wanneer het water infiltreert. In tweede instantie wordt het gebrek aan de aansluiting aangebracht en wordt de test herhaald zonder luchtdichting. Hierna volgen nog 2 proeven waarbij een luchtdichtingsfolie geïnstalleerd wordt, de luchtdichtheidsklassen worden hierbij gevarieerd met goede en de matige luchtdichtheid.

3. Meetresultaten

In wat volgt worden de resultaten van de verschillende proeven direct vergeleken. (de resultaten van de afzonderlijke testen zijn terug te vinden in bijlage C). In de conclusie bespreken we enkel de

aansluiting aan de rechterzijde. Dit doordat er bij de herinstallatie van de dorpel een wijziging in de installatie plaatsvond aan de linkerzijde.

4. Overzicht testverloop-vergelijking

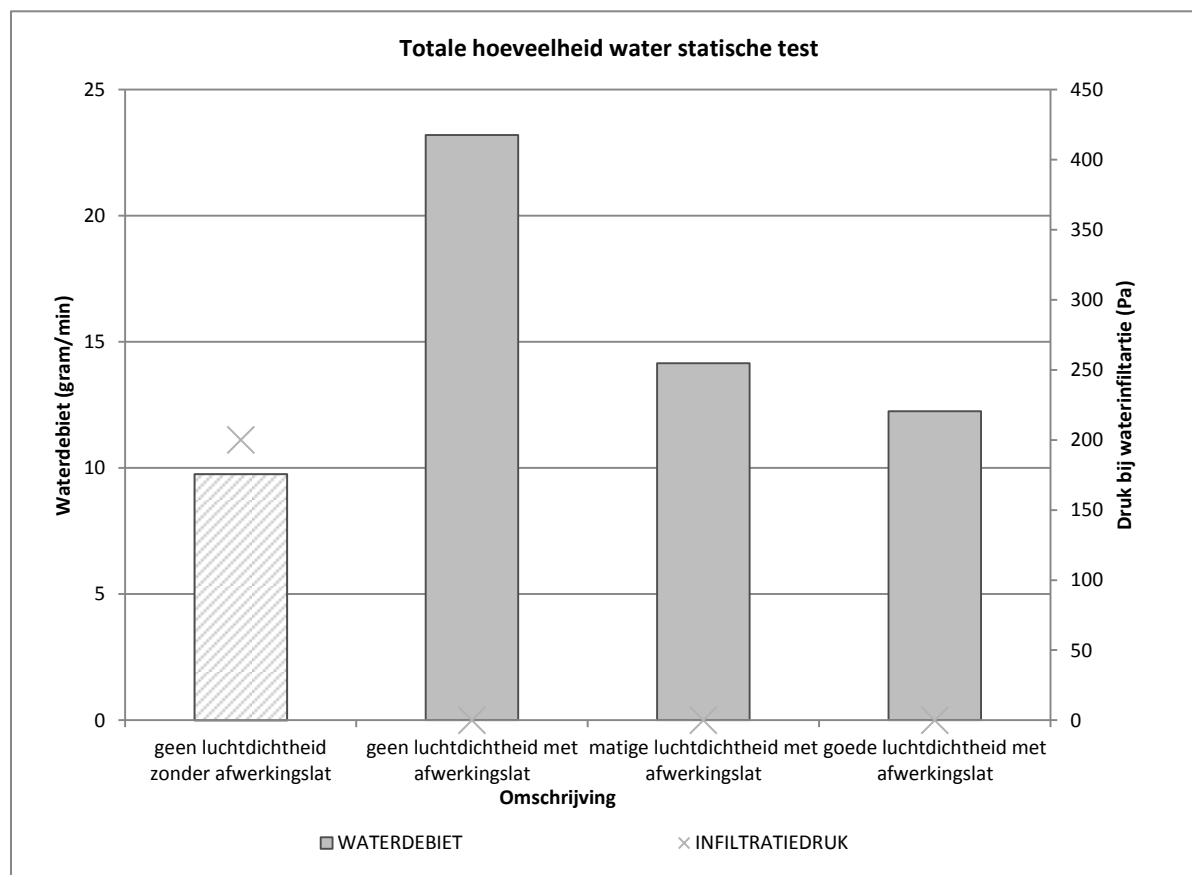
1. Statistische test

1.1. Algemeen

Datum	OMSCHRIJVING	HOEEVEELHEID WATER	INFILTRATIEDRUK
	LUCHTDICHTHEID	(gram)	(Pa)
23/apr	geen luchtdichtheid zonder afwerkingslat	9,8	200,0
24/apr	geen luchtdichtheid met afwerkingslat	23,2	0,0
26/apr	matige luchtdichtheid met afwerkingslat	14,2	0,0
25/apr	goede luchtdichtheid met afwerkingslat	12,3	0,0

Tabel 46: vergelijking statische test folie overlap voor installatiefout afwerkingslat

Bij het bekijken van de resultaten waarbij er een installatiefout geïntroduceerd werd door het plaatsen van een afwerkingslat komt er ongeacht de klasse van luchtdichtheid water binnen bij 0 Pa. Dit was verwacht aangezien de geïntroduceerde fout een gat onderaan de regenfolie is. Hierdoor infiltreert het water onder invloed van de hydrostatische druk en zwaartekracht. Hoewel er bij alle opstellingen water binnenkomt bij 0 Pa draagt de luchtdichtheid nog steeds bij tot de hoeveelheid infiltratiewater.

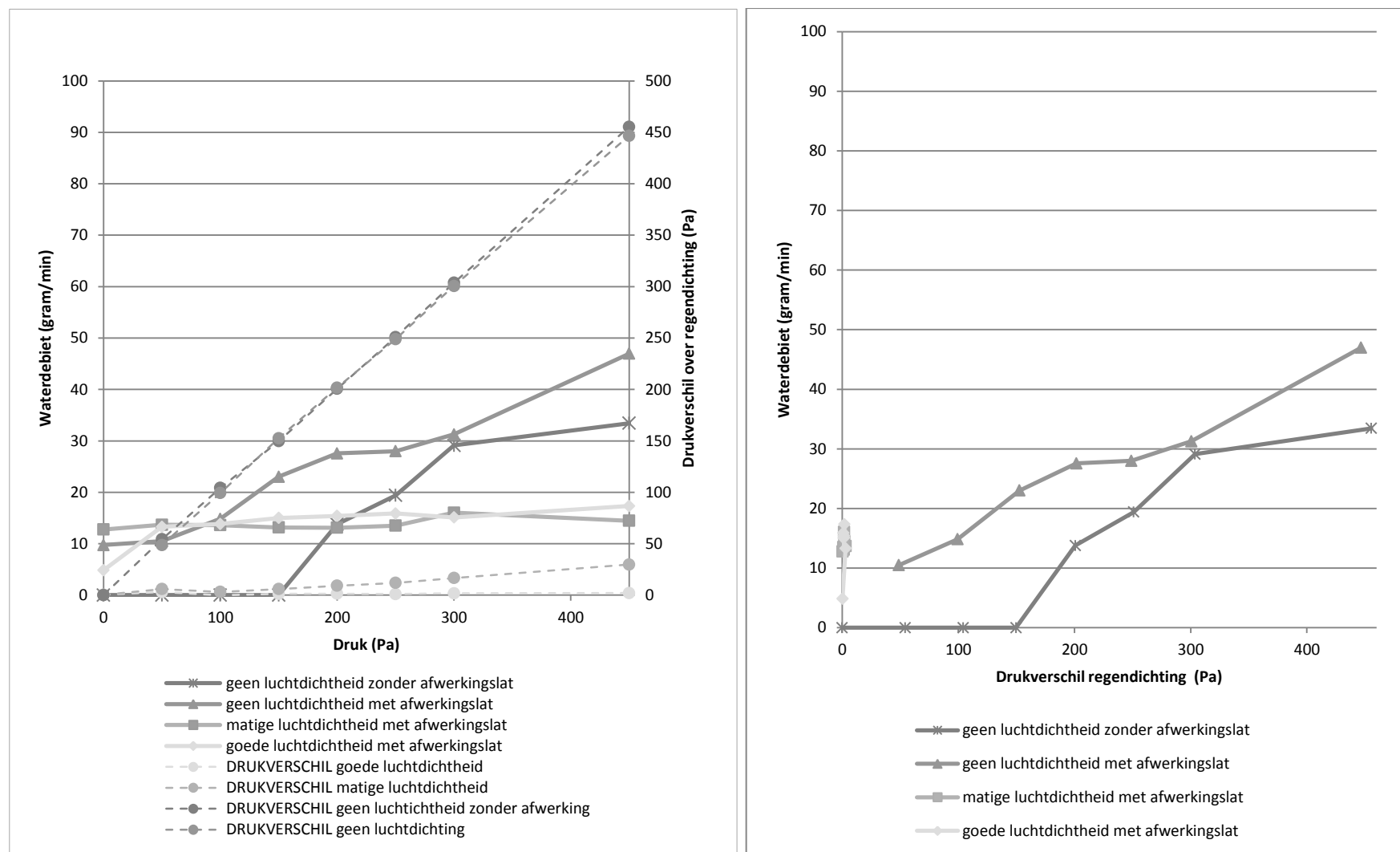


Grafiek 56: vergelijking totale hoeveelheid water statische test folie overlap voor installatiefout afwerkingslat

Uit de resultaten van de test blijkt dat er door het introduceren van de opening een verhoging van het waterdebiet is met 57%.

Uit de eerste test, geen luchtdichtheid en correct geïnstalleerd, blijkt dat er door de drukverschillen over de regendichting, water binnenkomt bij een druk van 200 Pa. Er is dus al waterinfiltratie vooraleer de installatiefout aangebracht wordt. In de volgende proef, slechte luchtdichting met afwerkingslat, is het waterdebiet aanzienlijk gestegen. Er komt reeds water binnen bij 0 Pa, dit wijst erop dat er door het geïntroduceerde gebrek water binnenkomt onder inwerking van de hydrostatische druk. Doordat er geen luchtdichting aanwezig is neemt het drukverschil over de regendichting sterkt toe, wanneer de druk in de kast stijgt. Dit drukverschil is bovenop de hydrostatische druk een bijkomende drijvende kracht voor het water.

De resultaten van de test van de aansluiting met goede en matige luchtdichtheid, vertonen een ander verloop. Hoewel de druk over de wand stijgt is het infiltratiedebiet vrij constant. Doordat de luchtdichtheid van de aansluiting een pak hoger ligt is het drukverschil over het regenschermbepaald. Hierdoor zal enkel de hydrostatische druk optreden als drijvende kracht. Enkel bij de test met goede luchtdichtheid is er een stijging van het debiet wanneer de druk toeneemt, van 0 naar 50 Pa. De precieze oorzaak valt moeilijk te achterhalen. Bij de voorgaande test waren de waterinfiltratiedebieten immers hoger, en er zijn geen indicaties dat er bijkomende openingen ontstaan zijn. Een geometrische verandering van de folie zou een oorzaak kunnen zijn, maar ook het veranderen van het stromingspatroon van het run-off water is een optie.



Grafiek 57 en 58: vergelijking statische test, rechterzijde, folie overlap voor installatiefout afwerkingslat

Dynamische test

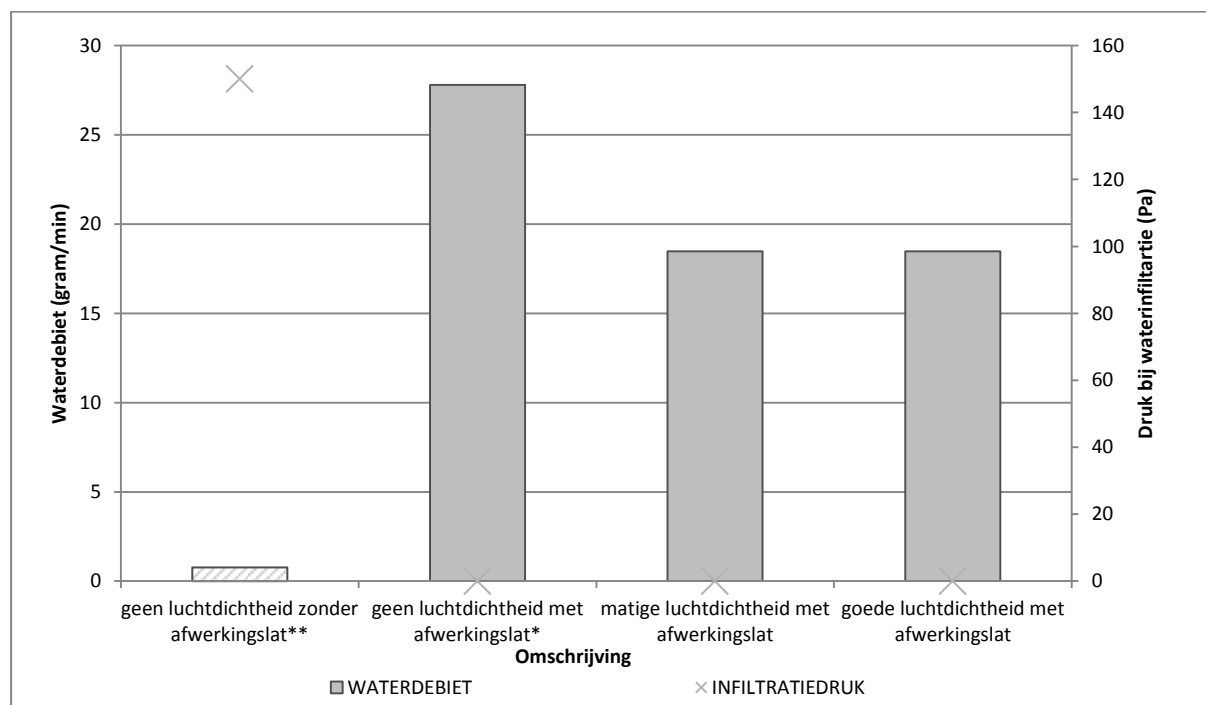
Algemeen

UITVOERINGS- VOLGORDE	OMSCHRIJVING	INFILTRATIE- DEBIET	DRUK BIJ INFILTRATIE
		(gram/min)	(Pa)
23/apr	geen luchtdichtheid zonder afwerkingslat**	0,8	150,0
24/apr	geen luchtdichtheid met afwerkingslat*	27,8	0,0
26/apr	matige luchtdichtheid met afwerkingslat	18,5	0,0
25/apr	goede luchtdichtheid met afwerkingslat	18,5	0,0

* getest tot 600 Pa, maar hier waarden van 450 Pa gebruikt

** Bij de test zonder afwerkingslat hebben we geen drukpulsen bij 450 Pa hierdoor moeten de resultaten voorzichtig geïnterpreteerd worden.

Tabel 47: vergelijking dynamische test folie overlap voor installatiefout afwerkingslat

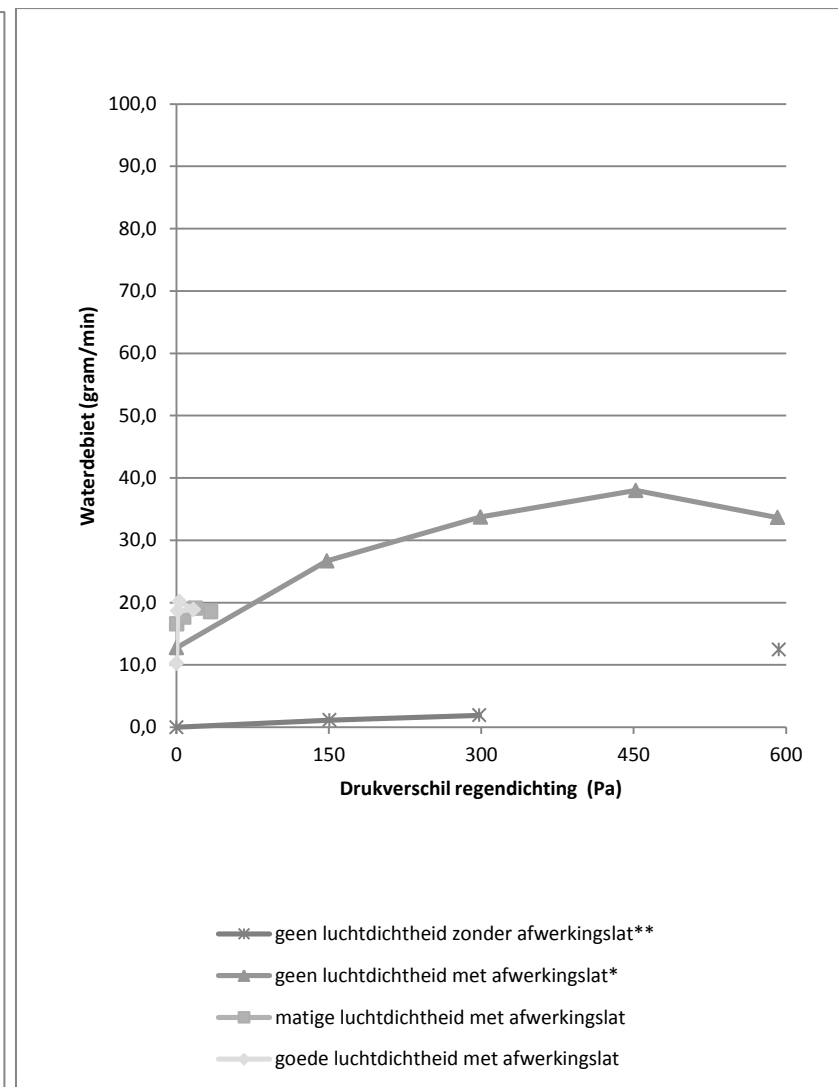
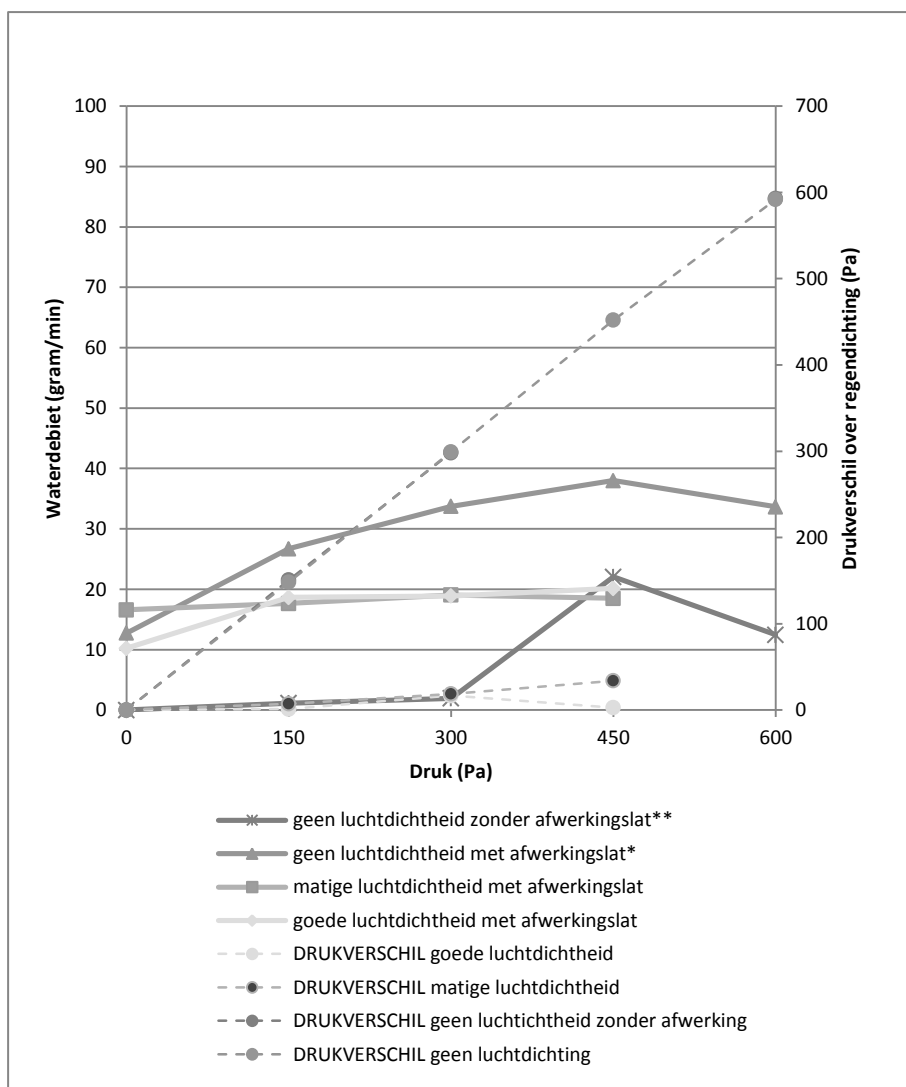


Grafiek 59: vergelijking dynamische test folie overlap voor installatiefout afwerkingslat

Net als bij de statische testen stijgt het infiltratiedebiet door het introduceren van het gebrek in de folie. Het infiltratiedebiet verhoogt met 97,23%.

Het waterdebiet van de aansluiting zonder afwerkingslat kent over het algemeen een stijgende trend. Bij 450 Pa is er een piek in het waterdebiet dit kan er op wijzen dat capillaire krachten overwonnen worden en er een nieuw lek ontstaat. Direct na de piek neemt het debiet terug of. Dit is moeilijk te verklaren. Het zou kunnen dat er, door het doorbreken van de capillaire krachten, een ander stromingspatroon van de rivulets rond de opening optreedt.

Verder is het waterdebiet vrij gelijklopend aan de resultaten van de statische test. De debieten bij goede en matige luchtdichtheid verlopen vrij constant. De aansluiting zonder luchtdichtheid is dan weer drukafhankelijk.



Grafiek 60 en 61: vergelijking dynamische test folie overlap voor installatiefout afwerkingslat

5. Conclusie

Bij het plaatsen van een afwerkingslat kan er door onvoorzichtigheden een opening in de regenfolie gemaakt worden. Dit veroorzaakt een verhoging van het waterdebiet. In bovenstaande testreeks werd deze problematiek onderzocht.

DATUM	OMSCHRIJVING	HOEEVEELHEID WATER		INFILTRATIEDRUK		CLASSIFICATIE
	LUCHTDICHTHEID	STATISCH (gram)	DYNAMISCH (gram)	STATISCH (Pa)	DYNAMISCH (Pa)	
23/apr	geen luchtdichtheid zonder afwerkingslat	9,8	0,8	200,0	150,0	5A
24/apr	geen luchtdichtheid met afwerkingslat	23,2	27,8	0,0	150,0	1A
26/apr	matige luchtdichtheid met afwerkingslat	14,2	18,5	0,0	150,0	1A
25/apr	goede luchtdichtheid met afwerkingslat	12,3	18,5	0,0	150,0	1A

Tabel 48: Vergelijking folie overlap voor installatiefout afwerkingslat

Bij de statisch test veroorzaakte de opening in de folie een toename van het infiltratiedebiet met 57%, bij de dynamische test was dit 97%.

Verskil door variëren luchtdichtheid

Zowel bij de statische als dynamische test wordt duidelijk dat de waterdichtheid van een aansluiting sterk afhankelijk is van de luchtdichtheid. Vooral het verschil in de aansluiting zonder luchtdichting en de aansluiting met matige of goede luchtdichtheid is opmerkelijk. Het verschil tussen de goede en matige luchtdichtheid is dan weer vrij beperkt.

Verskil statisch- dynamisch

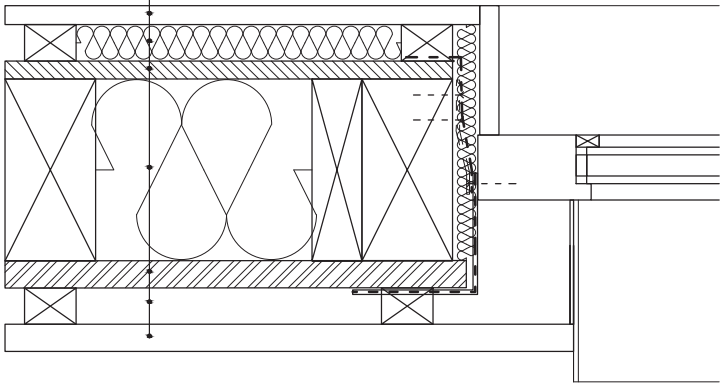
De druk waarbij waterinfiltratie optreedt ligt lager bij de dynamische test. De dynamische test blijkt dus een strengere testprocedure dan de statische.

D. UITVOERING: REGENFOLIE CONTINU UITGEVOERD

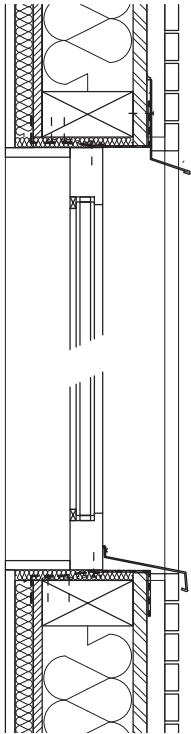
Detaillering

Plan 1/5

gipsvezelplaat
leidingsspouw
OSB-beplating
kepers -isolatie
gebitumineerde houtvezelplaat
spouw
houten gevelbekleding



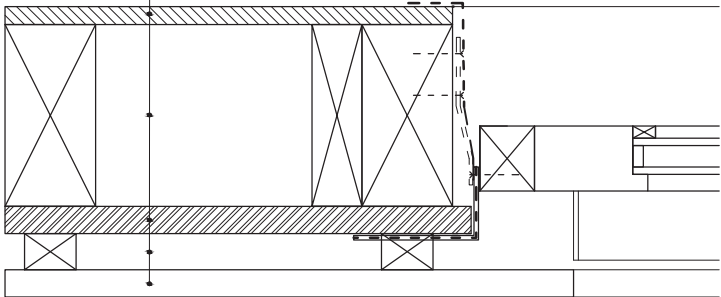
Snede 1/10



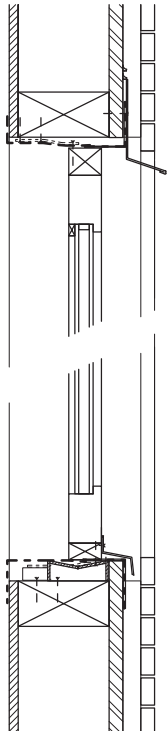
Testopstelling

Plan 1/5

OSB-beplating
kepers
gebitumineerde houtvezelplaat
spouw
houten gevelbekleding

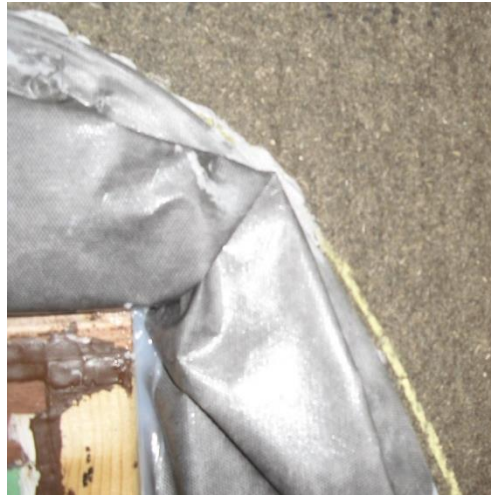


Snede 1/10



1. Opstelling

In een volgende reeks testen wordt nagegaan of de aansluiting waarbij de folie op de zijkant van het raam verkleefd wordt, beter of slechter presteert dan wanneer de folie aan de voorzijde van het raamkader verkleefd wordt. De folie wordt in deze opstelling uit één strook voorzien. Om de hoeken te maken wordt er net zoals bij de luchtdichtingsfolie gebruik gemaakt van een 'plooi techniek'. In de linkerhoek verkleven we de folie bijkomend door gebruik te maken van silicone.



Afbeelding 119: uitvoering hoeken folie continu uitgevoerd

De luchtdichtheid wordt verzekerd door een luchtdichtingsfolie die, met de zelfklevende strook, aan de zijkant van het raamkozijn, over de regenfolie, gekleefd wordt. De hoeken van de folie worden geplooid zodat dat ook de luchtdichtingsfolie continu uitgevoerd kan worden. (zie hoofdstuk luchtdichtheid).

Hierna worden de raamankers bevestigd en wordt het raam geïnstalleerd. De regenfolie wordt met behulp van kozijnfolielijs verkleefd ter hoogte van de gebitumineerde houtvezelplaat. De luchtdichtingsfolie wordt verkleefd naar de OSB-beplating met behulp van een butylkleefstrook.

2. Variaties

De aansluiting wordt eerst getest met een goede luchtdichtheid, hierna wordt de luchtdichtingsfolie weggenomen om een 'worst case scenario' te simuleren. Bij de installatie van de folie werd de linkerhoek bijkomend verkleefd met silicone. Dit om na te gaan of de verkleaving van de folie op het raam een invloed heeft op de regendichting. In een volgende stap wordt gekeken of de aansluiting beter presteert wanneer de voeg tussen het raamkader en de folie, over de volledige omtrek, afgedicht wordt met silicone.

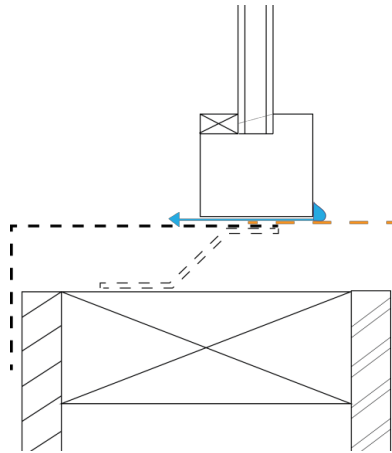


3. Meetresultaten

1. Regenfolie – continu uitgevoerd – goede luchtdichtheid

1.1. Luchtdichtheid

Bij deze opstelling wordt geopteerd de luchtdichtheidsfolie op een manier te verkleven die gangbaar is in de praktijk. De folie werd dus aan de zijkant van het raamkader verkleefd en niet aan de voorzijde. De reden hiervoor ligt in het feit dat de wijze van verkleven een impact zal hebben op de hoeveelheid infiltratiewater en vooral waar het infiltratiewater zich verzamelt. Bij de luchtdichtheidsproeven blijken de hoeken onvoldoende verkleefd te zijn, waardoor deze bijkomend met tape bevestigd worden.



Afbeelding 122: waterinfiltratie tussen raam en regendichtingsfolie

Tijdens de testen werd duidelijk dat, door de regenfolie eerst te installeren en hierna de luchtdichtingsfolie te verkleven, er water infiltreert langs de voeg tussen het raamkader en de regenfolie. Hierdoor kwam het infiltratiewater bovenop de luchtdichtingsfolie terecht. Wanneer er over de luchtdichtingsfolie gepleisterd wordt zal dit grote problemen opleveren.

Doordat niet al het infiltratiewater opgevangen werd, konden geen correcte infiltratiedebieten gemeten worden. Als gevolg hiervan worden de resultaten niet opgenomen in deze scriptie. De druk waarbij waterinfiltratie optrad werd wel genoteerd.



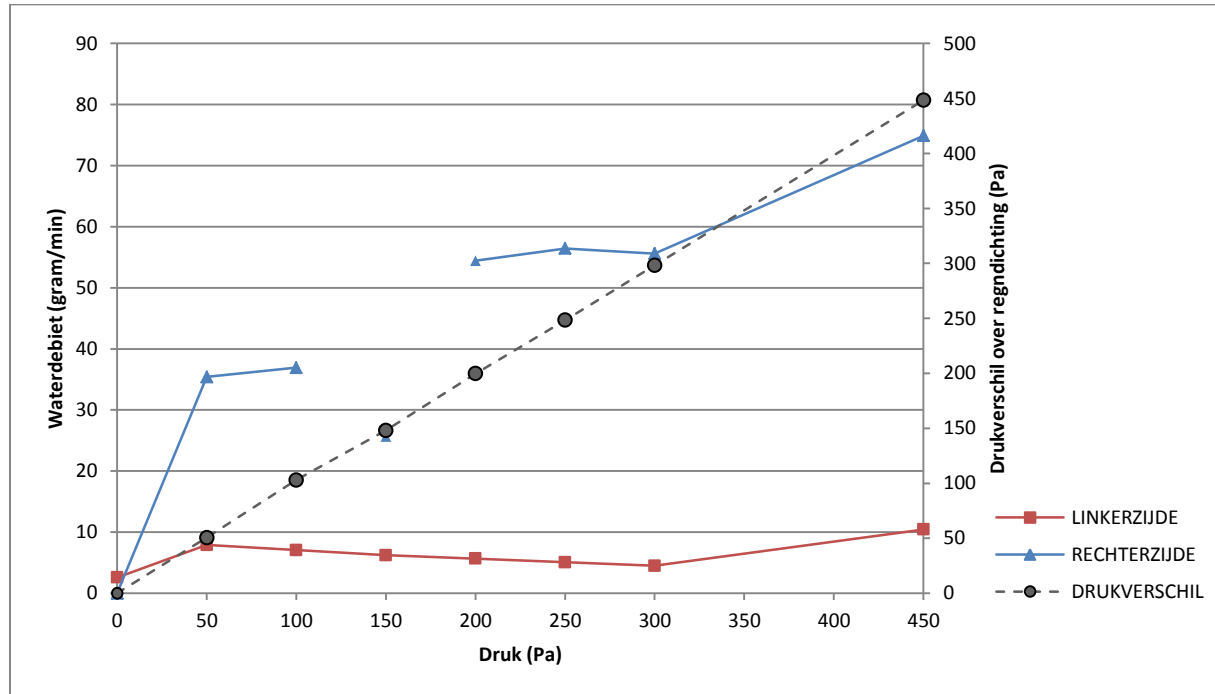
Afbeelding 123 en 124: waterinfiltratie tussen regendichting en raamkader, op de luchtdingsfolie

2. Regenfolie – continu uitgevoerd – geen luchtdichtheid

2.1. Luchtdichtheid

Voor de volgende proeven wordt de luchtdichtingsfolie verwijderd. Er is dus geen luchtdichtheidsbarrière.

2.2. Statistische test



Grafiek 62: statische test regenfolie continu uitgevoerd, geen luchtdichtheid

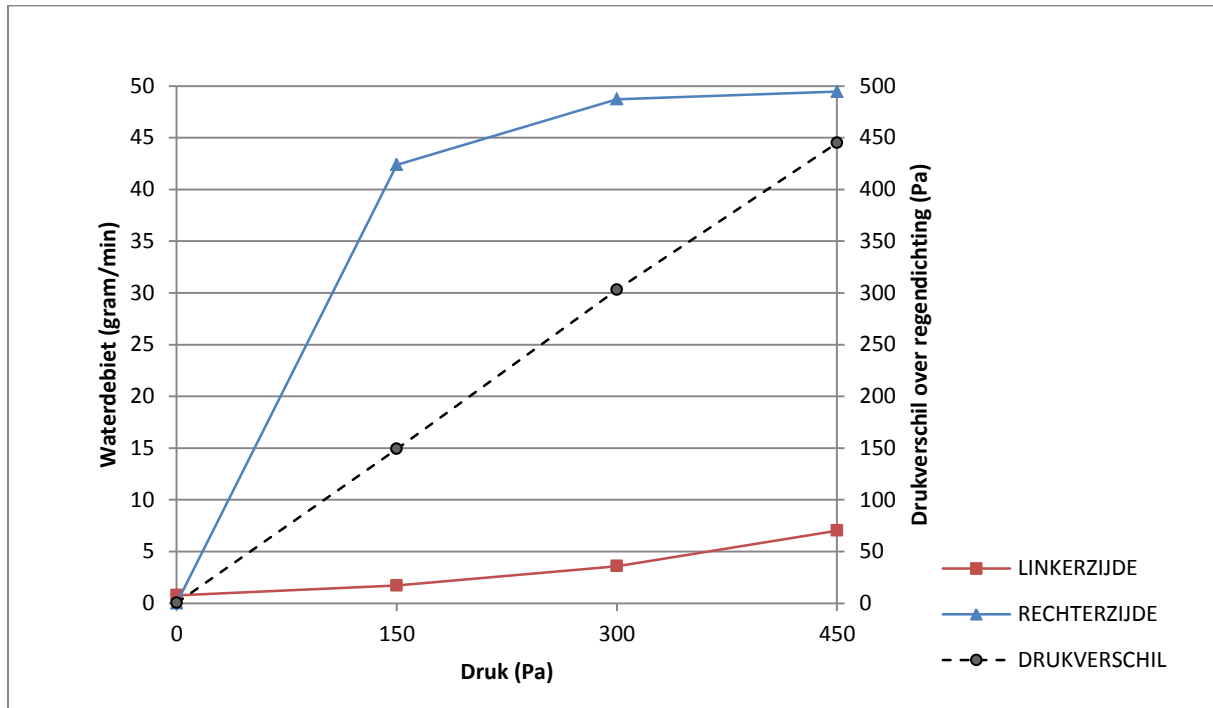
Rechterzijde: niet extra gedicht

In het verloop van de statisch test zijn de waterdebieten tussen de linker- en rechteraansluitingen groot. Aan de rechterzijde neemt het debiet toe, naarmate de druk stijgt. Dit viel te verwachten doordat er geen luchtdichtingsfolie aanwezig is zijn de drukverschillen over de regendichting immers groot. Het dal in het debiet bij 150 Pa is geen plotse daling van de hoeveelheid water die binnenkomt. Het opvanggootje was even verstopt waardoor het water niet naar de meetpunten kon doorstromen.

Linkerzijde: extra verkleefd

Aan de linkerzijde komt er al water binnen bij 0 Pa. Dit was niet verwacht aangezien verondersteld werd dat deze aansluiting beter zou scoren op vlak van waterdichting gezien de extra verkleefing in de hoeken met behulp van silicone. Wanneer de druk toeneemt neemt het infiltratiedebiet eerst toe waarna het opnieuw daalt. Bij 450 Pa stijgt het infiltratiedebiet opnieuw. De daling van het debiet tussen 50 en 300 Pa is moeilijk te verklaren, een mogelijke verklaring is het veranderend stromingspatroon van het run-off water. Een andere mogelijkheid is dat de folie, door de druk een geometrische vervorming ondergaan heeft waardoor er minder water binnenkomt. De daling van het debiet is echter vrij beperkt. Uit de controlemeting van het infiltratiewater na de proef blijkt dat de hoeveelheid infiltratiewater tijdens de proef overschat is. Er is een verschil tussen beide metingen van 10,73%. Dit ligt op de rand van het fouteninterval. Hierdoor dienen de resultaten met enige voorzichtigheid bekeken te worden.

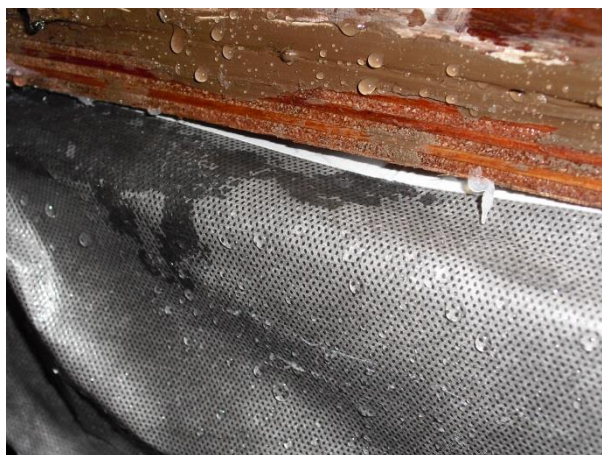
2.3. Dynamische test



Grafiek 63: dynamische test regenfolie continu uitgevoerd, geen luchtdichtheid

Rechterzijde: niet extra verkleefd

Aan de rechterzijde is er bij 0 Pa geen waterinfiltratie, vanaf 150 Pa neemt het debiet sterk toe. Door het verhogen van de druk ontstaat er een drijvende kracht waardoor water doorheen de openingen gestuwd wordt. Het debiet neemt verder lichtjes toe.



Afbeelding 125: loskomen van de folie aan het raamkader

Uit de visuele inspectie wordt snel duidelijk dat de folie losgekomen is van het raamkader. Dit verklaart de grote infiltratiedebieten.

Linkerzijde: extra verkleefd

Bij de dynamische test komt er aan de linkerzijde opnieuw water binnen bij 0 Pa, het debiet neemt licht toe naarmate de druk stijgt. De infiltratiedebieten liggen wel veel lager dan deze in de aansluiting zonder extra verkleving.

3. Regenfolie – continu uitgevoerd – geen luchtdichtheid extra verkleving

Bij de voorgaande testen werd vastgesteld dat het water tussen de zelfklevende strook van regenfolie en het raamkozijn infiltreerde. Om de invloed van deze lekkage te onderzoeken wordt de voeg tussen de folie en het kozijn volledige afgedicht met een siliconevoeg.

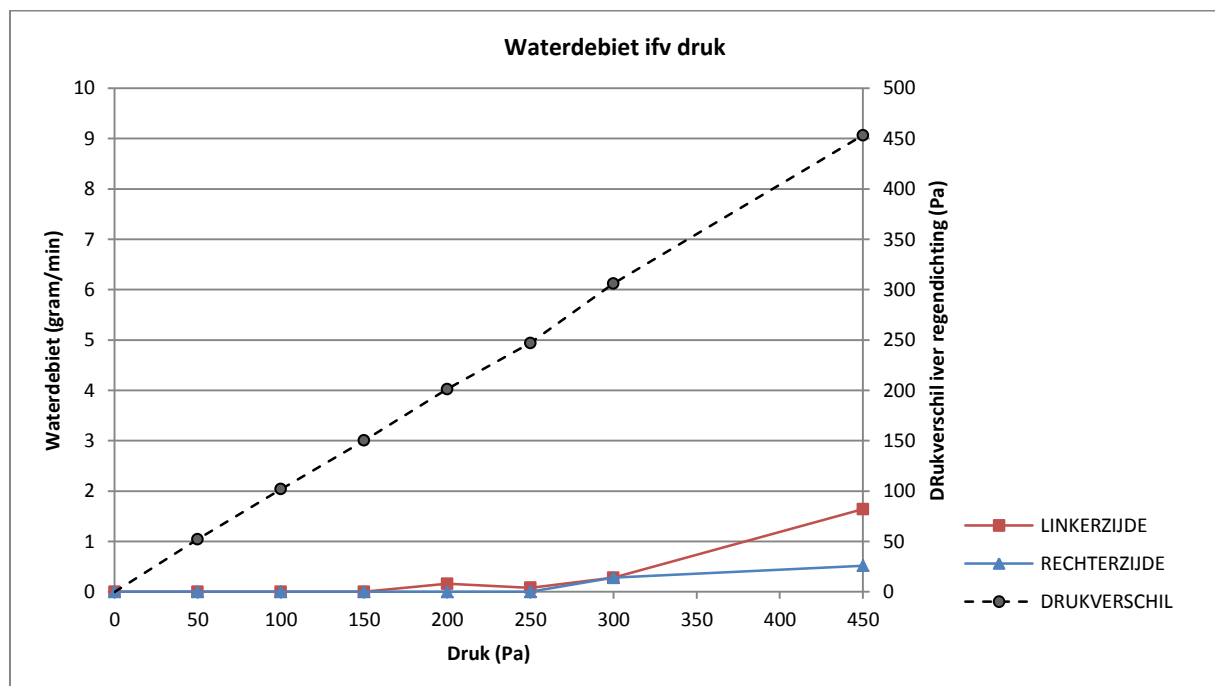


Afbeelding 126: silicone op voeg raam-folie

3.1. Luchtdichtheid

Deze test wordt opnieuw zonder luchtdichtheidsscherm uitgevoerd.

3.2. Statistische test

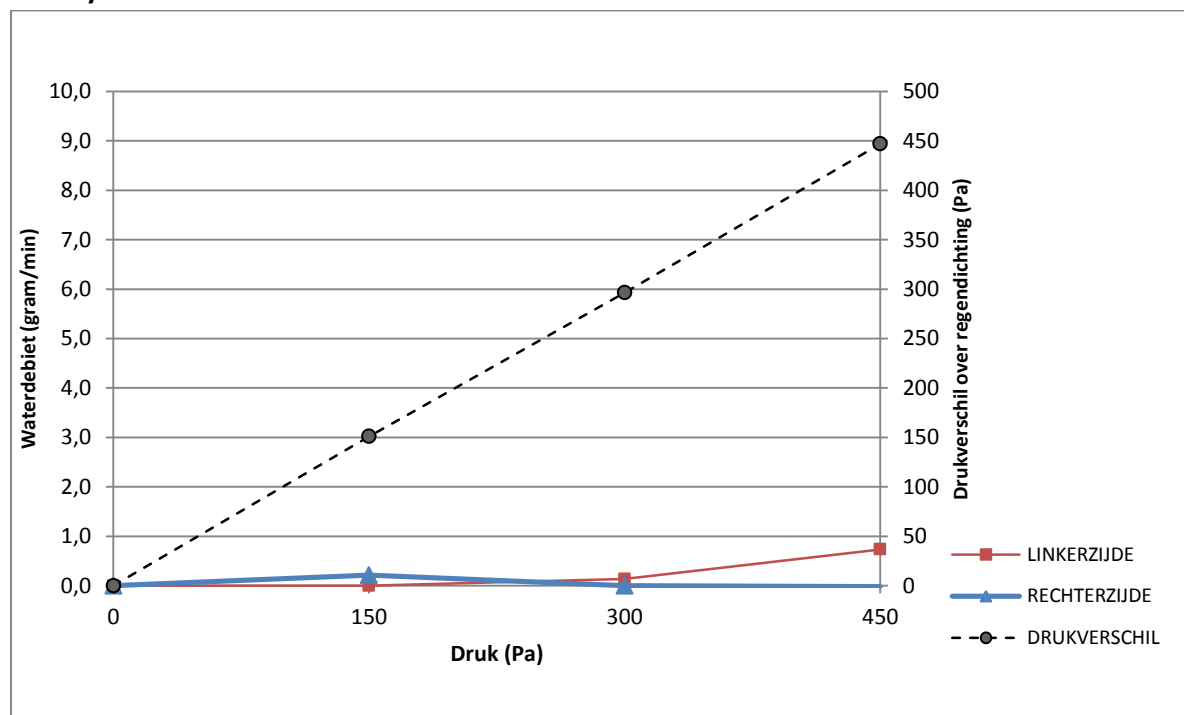


Grafiek 64: statische test, folie continu, extra verkleving

Er dient opgemerkt te worden dat er in deze test slechts zeer kleine waterhoeveelheden gemeten worden aangezien de absolute fout op de opstelling vrij groot is, is het dan ook zeer moeilijk de gegevens correct te interpreteren. Dit geldt ook bij de dynamische test.

Aan de linkerzijde komt er vanaf 200 Pa water binnen in de aansluiting. Het debiet bij 250 Pa is iets lager, maar hierna stijgt het naarmate het drukverschil over de regendichting stijgt. Ook bij de aansluiting met regendichting die bijkomende verkleefd is komt er dus water binnen, de hoeveelheden zijn weliswaar zeer klein. Aan de rechterzijde is een gelijkaardig verloop zichtbaar.

3.3. Dynamische test



Grafiek 65: dynamische test, folie continu, extra verklewing

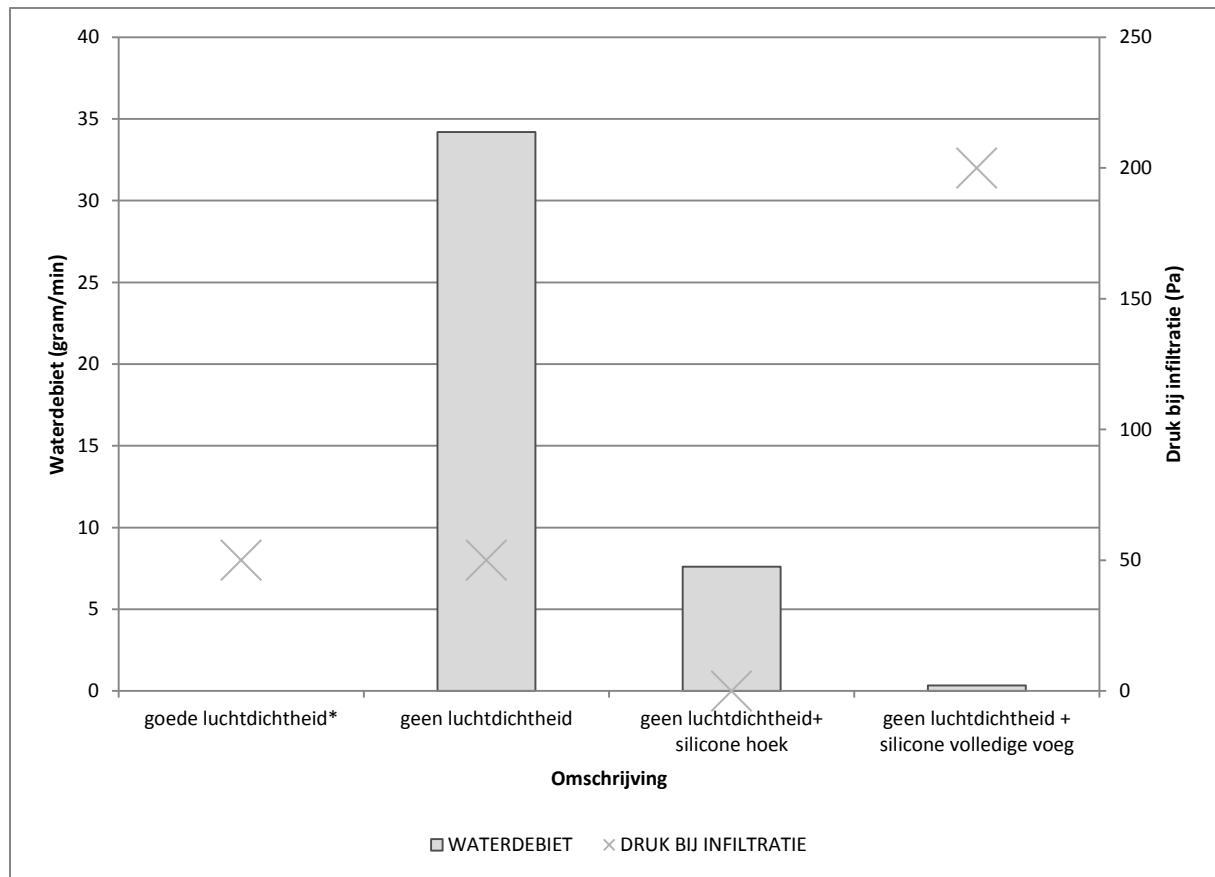
Bij de dynamische test komt er aan de linkerzijde water binnen vanaf 300 Pa. Ook hier blijft het infiltratiedebiet zeer laag. Aan de rechterzijde komt er reeds een zeer beperkte hoeveelheid water binnen bij 0 Pa. Doordat de absolute fout zeer hoog is en de waterdebieten bij 450 Pa kleiner zijn dan 0, worden deze resultaten niet verder besproken.

4. Overzicht testverloop - vergelijking

4.1. Statische test

UITVOERINGS-VOLGORDE	OMSCHRIJVING	WATERDEBIET	DRUK BIJ INFILTRATIE
	LUCHTDICHTHEID	(gram/min)	(Pa)
1	goede luchtdichtheid*		50
2	geen luchtdichtheid	34,2	50
3	geen luchtdichtheid+ silicone hoek	7,596	0
4	geen luchtdichtheid + silicone volledige voeg	0,338	200

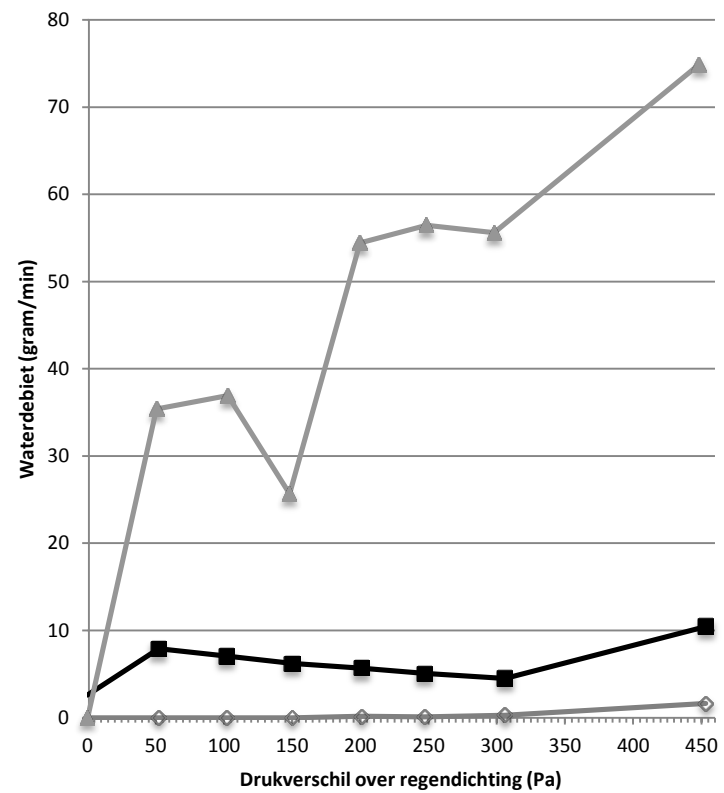
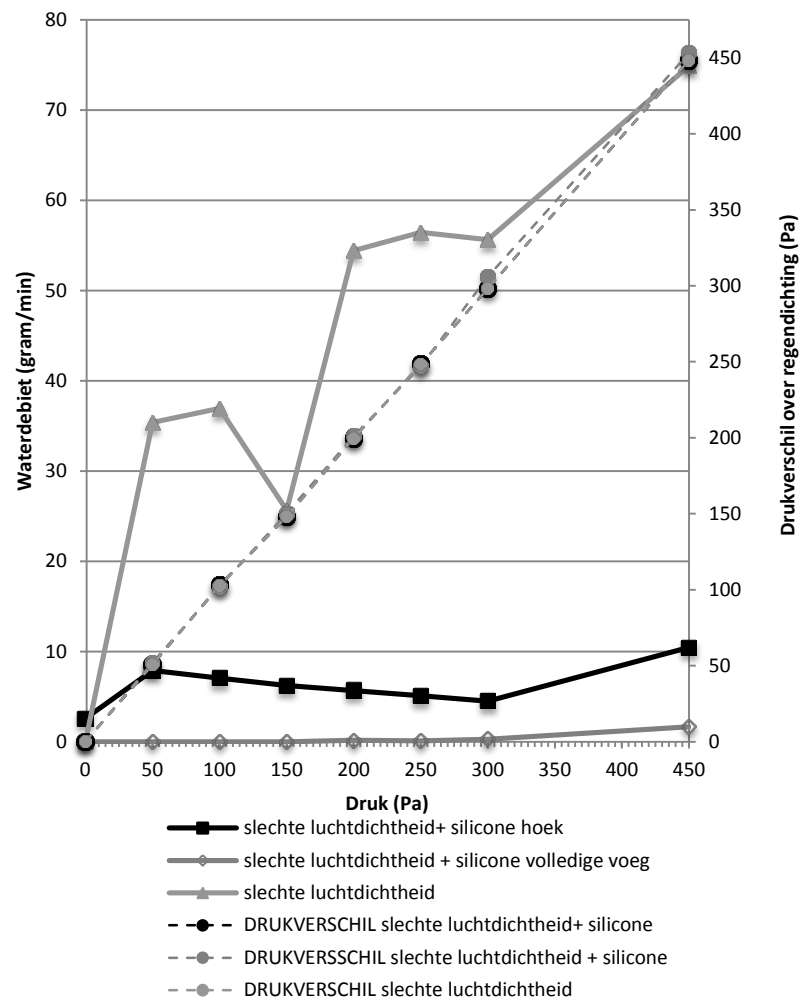
Tabel 49: overzicht statische test folie continu



* Bij de goede luchtdichtheid werd niet al het infiltratiewater opgevangen, hierdoor brengen we de waterdebieten niet in rekening.

Grafiek 66: overzicht statische test folie continu

Uit de vergelijking van de resultaten blijkt dat de aansluiting waarbij de voeg volledig afgedicht werd met silicone het beste scoort. De bijkomende dichting levert een verbetering van 99,01% ten opzicht van de aansluiting zonder bijkomende dichting. Dit bewijst dat de grootste hoeveelheid infiltratiewater afkomstig is van de aansluiting tussen de regenfolie en het raamkader. De verkleaving van de folie is dus een belangrijke factor voor het waterdicht aansluiten van een raam. Het is wel opmerkelijk dat er bij de aansluiting waarbij de hoek extra verkleefd werd reeds water binnenkwam bij 0 Pa. Hier is niet echt een verklaring voor. Misschien is er bij de installatie iets fout gelopen. De totale hoeveelheid water die binnenkomt ligt wel veel lager dan bij de aansluiting zonder bijkomende verkleaving. Een ander opmerkelijk punt is dat het infiltratiedebiet weliswaar daalt wanneer er een bijkomende verkleaving voorzien wordt, maar er verandert niks aan de drukval over de regendichting. De verbeterde prestaties zijn dus enkel afkomstig van het uitsluiten of beperken van openingen in de aansluiting.

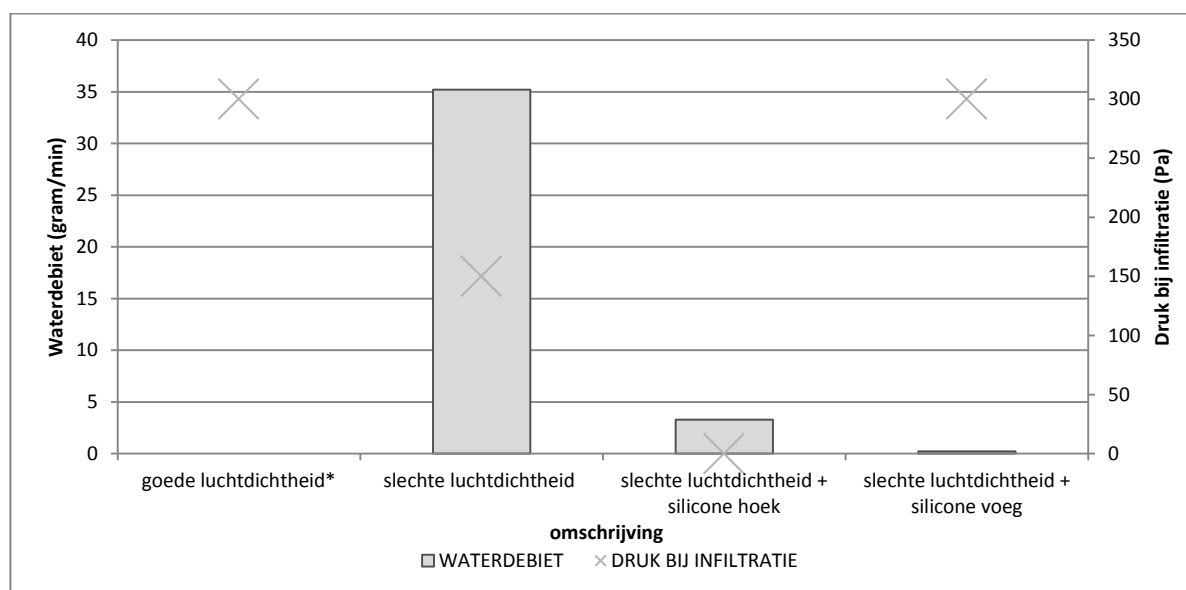


Grafiek 67 en 68: overzicht statische test folie continu

4.2. Dynamische test

DATUM	OMSCHRIJVING	HOEEVEELHEID WATER	DRUK BIJ INFILTRATIE
	LUCHTDICHTHEID	(gram/min)	(Pa)
1	goede luchtdichtheid*		300
2	slechte luchtdichtheid	35,2	150
3	slechte luchtdichtheid + silicone hoek	3,3	0
4	slechte luchtdichtheid + silicone voeg	0,2	300

Tabel 50: overzicht dynamische test, folie continu

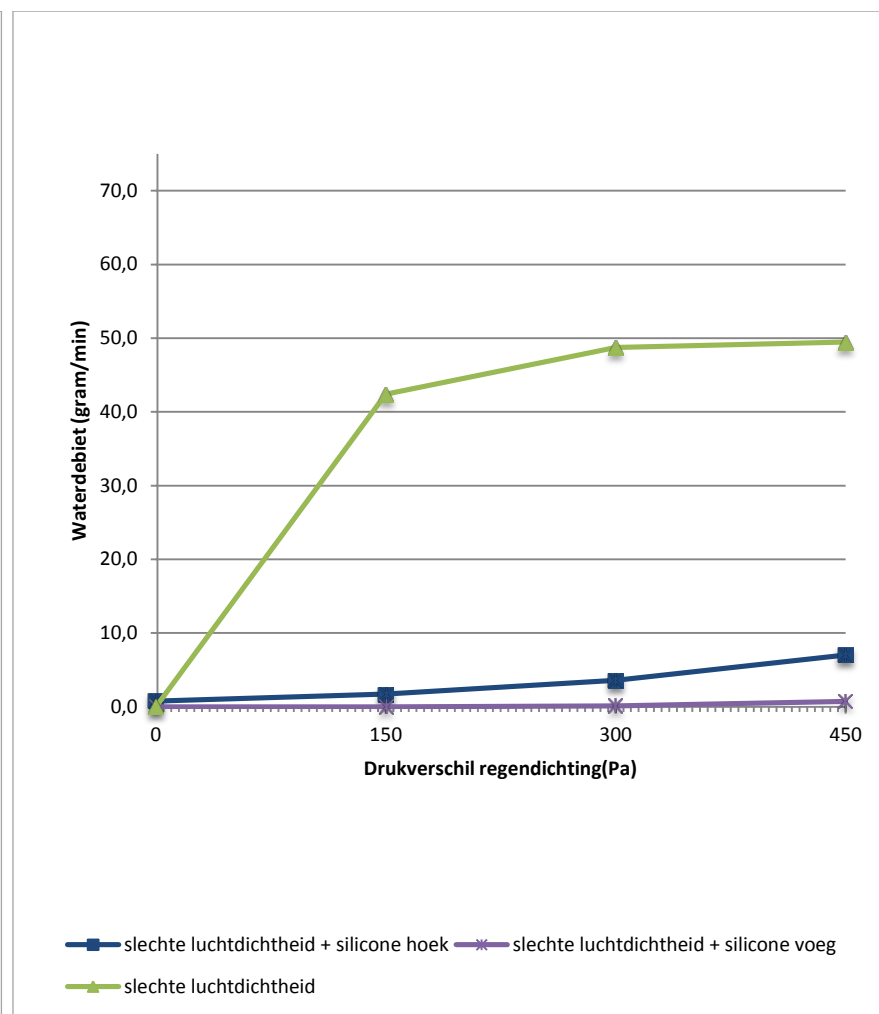
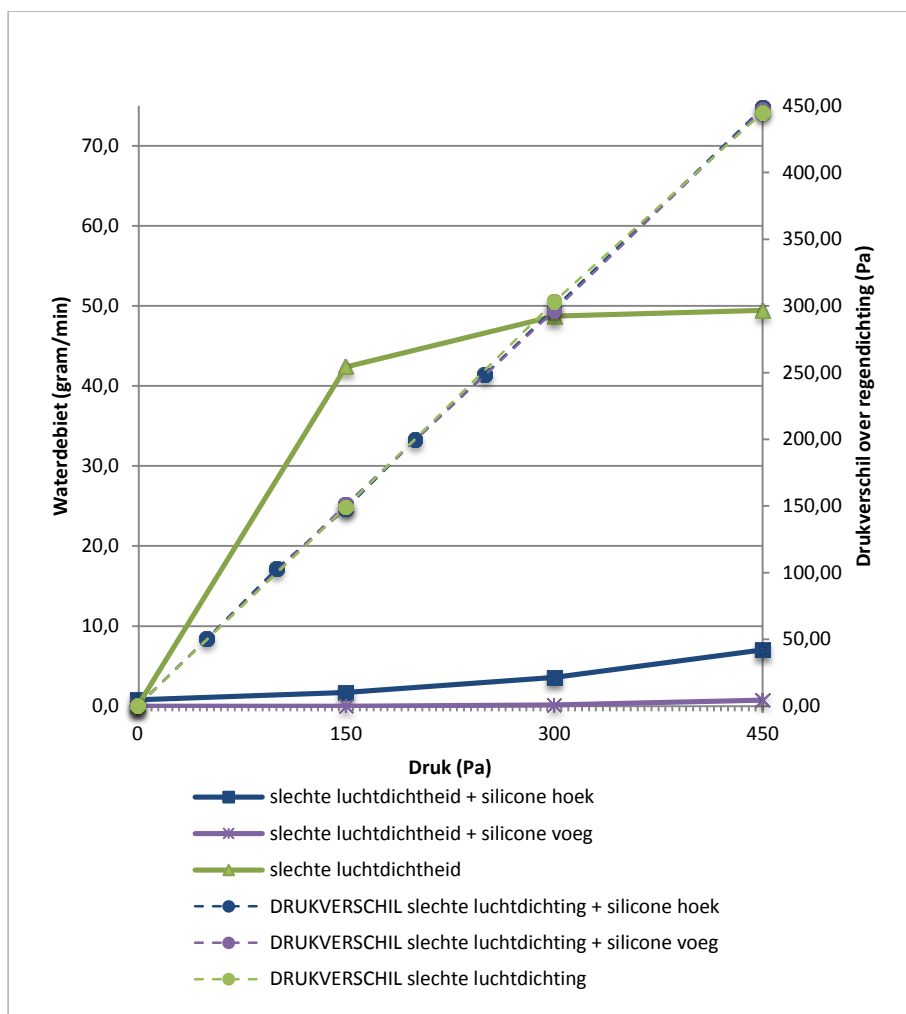


*Bij de goede luchtdichtheid werd niet al het infiltratiewater opgevangen, hierdoor brengen we de waterdebieten niet in rekening.

Grafiek 69: overzicht dynamische test folie continu

De vergelijking op basis van infiltratiedebieten toont hier gelijkaardige resultaten als bij de statische test. Wanneer enkel rekening gehouden wordt met de druk bij infiltratie blijkt dat er bij de aansluiting met goede luchtdichtheid later water binnenkomt dan bij de aansluiting zonder luchtdichting, dit valt binnen de verwachtingen, het drukverschil over de regendichting en de bijhorende drijvende kracht voor waterinfiltratie is immers veel kleiner. Bij de aansluiting waarbij de hoeken bijkomend verkleefd zijn komt er reeds bij 0 Pa water binnen. Doordat de precieze oorzaak van de infiltratie bij 0 Pa niet gekend zijn, kunnen moeilijk uitspraken gedaan worden over het al dan niet verbeteren van de prestaties door het bijkomend afdichten van de hoeken. Het zou immers kunnen zijn dat de infiltratie niet in de hoeken, maar op een andere plaats in de aansluiting plaatsvindt, vb. aan de zijkant van het raamkader.

De bijkomende dichting over de volledige omtrek van het raamkader levert duidelijke betere prestaties van het raam op. De dichting brengt echter geen veranderingen in het drukverschil over de regendichting teweeg. De verbeterde prestaties kunnen bijgevolg enkel verklaard worden door het uitsluiten/ beperken van eventuele openingen in de aansluiting tussen de regenfolie en het raamkader.



Grafiek 70 en 71: overzicht dynamisch testverloop links continue folie

5. Conclusie

DATUM	OMSCHRIJVING	WATERDEBIET		DRUK BIJ INFILTRATIE		CLASSIFICATIE
	LUCHTDICHTHEID	STATISCH (gram/min)	DYNAMISCH (gram/min)	STATISCH (Pa)	DYNAMISCH (Pa)	
27/apr	goede luchtdichtheid*			50	0	2A
27/apr	slechte luchtdichtheid	34,2	35,2	50	150	2A
27/apr	slechte luchtdichtheid+ silicone hoek	7,596	3,3	0	0	1A
29/apr	slechte luchtdichtheid + silicone volledige voeg	0,338	0,0	200	300	5A

* Bij de goede luchtdichtheid werd niet al het infiltratiewater opgevangen, hierdoor brengen we de waterdebieten niet in rekening.

Tabel 51: overzicht continue folie

Uit de resultaten blijkt dat aansluiting met extra afdichting de beste resultaten oplevert. De betere prestaties zijn enkel te wijten aan het afdichten van potentiële openingen waarlangs het water kan infiltreren. De afdichting resulteert immers niet in een verandering van het drukverschil over de regendichting.

Verskil door variëren luchtdichtheid

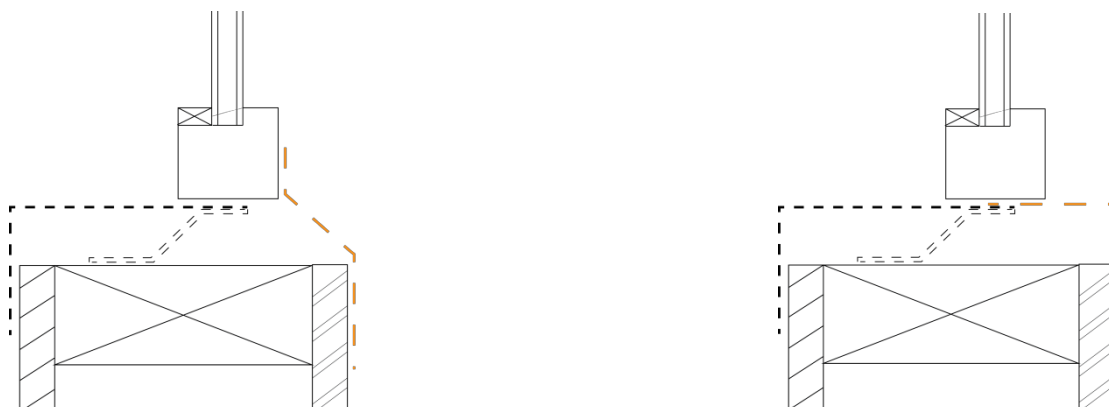
Doordat er bij de test met goede luchtdichtheid een deel van het water op de luchtdichtingsfolie terecht kwam in plaats van in het opvanggootje kunnen enkel uitspraken gedaan worden uit de vergelijking van de druk bij infiltratie. Uit de statische test blijkt dat de opstelling met goede luchtdichtheid hetzelfde presteert als deze zonder luchtdichting. Bij de dynamische test presteert de aansluiting met goede luchtdichtheid dan weer beter. Een eenduidige uitspraak over de prestatie in functie van de luchtdichtheid kan hier dus niet geformuleerd worden.

Verskil statisch- dynamisch

De waterhoeveelheden van de statische en dynamische test zijn zeer gelijklopend. Doordat er bij de dynamische test een lager sproeidebiet is kan verwacht worden dat de infiltratiedebieten lager liggen, dit blijkt niet het geval. Door het verschil in sproeidebiet is het moeilijk uitspraken te doen op basis van de infiltratiedebieten. Wanneer de infiltratiedrukken vergeleken worden zien we dat er kleine verschillen bestaan. Doordat de verhoging van de druk bij de dynamische test in grotere stappen verloopt is het logisch dat deze iets hoger liggen dan bij de statische test. Enkel bij de goede luchtdichtheid is dit niet het geval. We kunnen dus stellen dat beide testmethodes gelijkaardige resultaten vertonen.

2.2.1.3 VERGELIJKING UITVOERING: FOLIE IN OVERLAP – CONTINU

In eerste instantie worden de resultaten van de verschillende aansluitingen bij elkaar gebracht. Op deze manier kan een eerste inschatting gemaakt worden van de prestaties van de aansluitingen.



Afbeelding 127 en 128: principetekening verschillende verkleavingswijzen folie



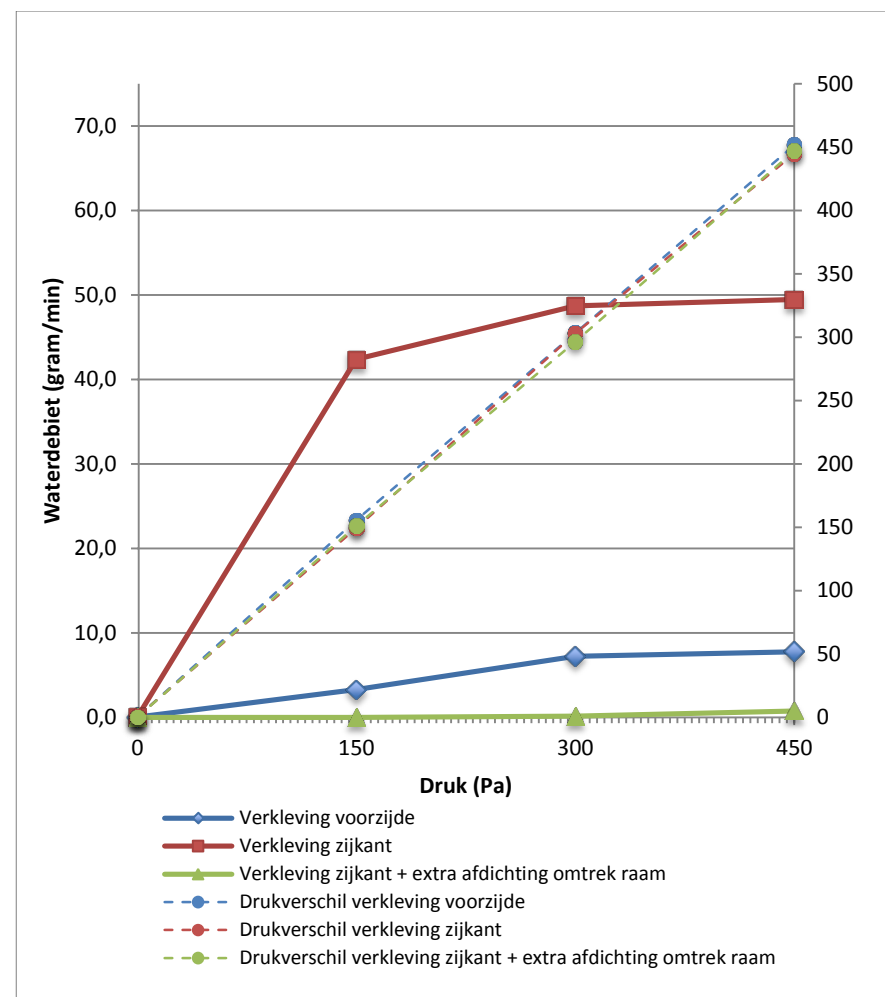
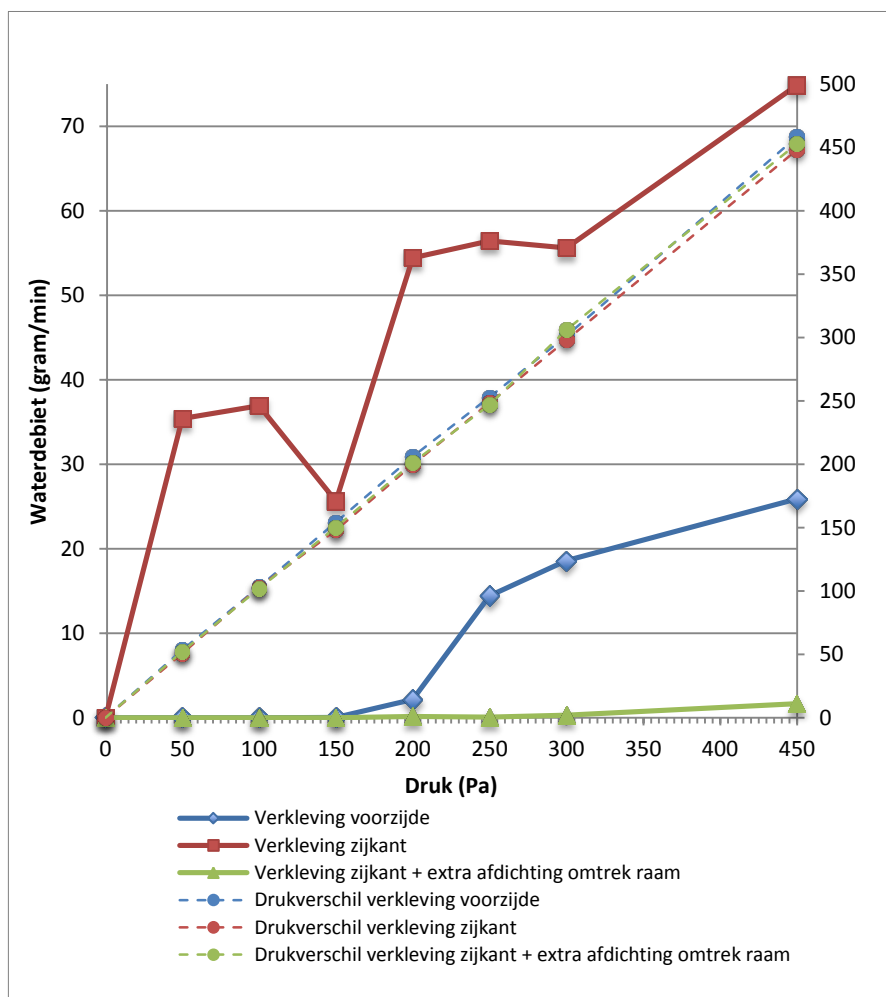
Afbeelding 129 en 130: uitvoering overlap met verkleving op voorzijde raamkader en continu met verkleving op zijkant raamkader

Vergelijking resultaten

Doordat er veel onzekerheden spelen bij het bepalen van de infiltratiedebieten moet deze vergelijking met zeer grote voorzichtigheid bekeken worden. Bovendien kon bij de proef op de aansluiting van de folie aan de zijkant van het raam, met goede luchtdichtheid, niet al het infiltratiewater opvangen worden. Hierdoor blijft de vergelijking beperkt tot de resultaten van de aansluiting zonder luchtdichtheid.

DATUM	OMSCHRIJVING	INFILTRATIE-DEBIET		DRUK BIJ INFILTRATIE	
		STATISCH (gram/min)	DYNAMISCH (gram/min)	STATISCH (Pa)	DYNAMISCH (Pa)
14/mei	Verkleving voorzijde	6,6	9,5	150	0
27/apr	Verkleving zijkant	34,2	35,2	50	150
29/apr	Verkleving zijkant + extra afdichting omtrek raam	0,3	0,3	200	150

Tabel 52: Overzicht verkleving folie



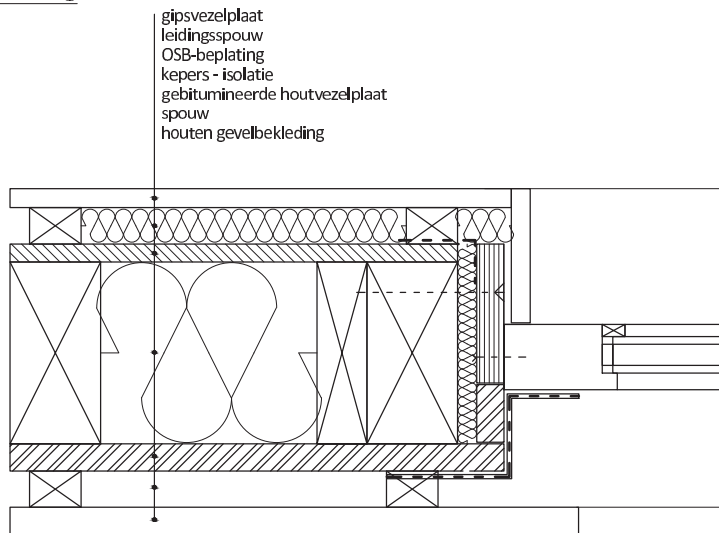
Grafiek 72en 73: Overzicht verkleaving statische test en dynamische test

E. Bevestiging: regendichtingsfolie – multiplexkader

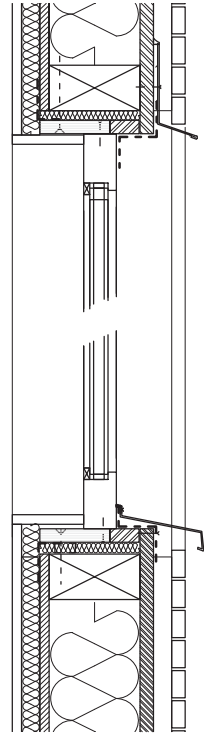
In onderstaande proeven wordt de invloed van de bevestigingsmethode nagegaan. In eerste instantie bespreken we de resultaten van de proeven met multiplexkader. In een volgend deel wordt een vergelijking gemaakt tussen de resultaten van de proeven met raamankers en de proeven met het multiplexkader.

Detaillering

Plan 1/5

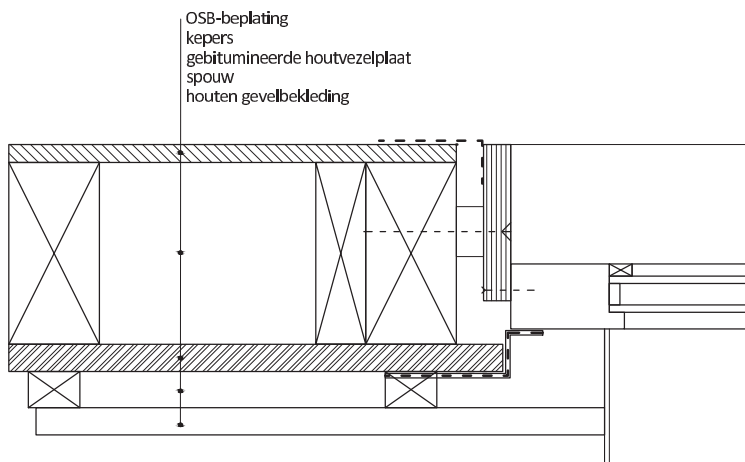


Snede 1/10

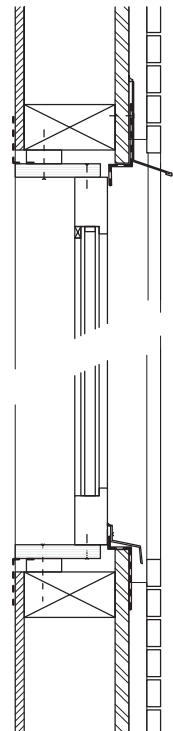


Testopstelling

Plan 1/5



Snede 1/10



1. Opstelling

In een laatste onderdeel van deze reeks testen wordt nagegaan of het gebruik van een multiplexkader, in plaats van raamankers, als bevestigingsmechanisme invloed heeft op de waterdichtheid van een raamaansluiting. Er wordt verwacht dat er door het gebruik van een multiplexkader geen grote veranderingen aan de waterdichtheid van de aansluiting plaat zal vinden. Wel wordt verwacht dat het gemakkelijker is een goede luchtdichtheid te halen dan wanneer raamankers gebruikt worden. (zie hoofdstuk luchtdichtheid).



Afbeelding 131: opstelling multiplexkader en luchtdichtingsfolie

De installatie gebeurt op dezelfde wijze als de installatie met raamankers, eerst wordt het multiplexkader aan het raamkader bevestigd. Hierna wordt het raam in de wand bevestigd. Dit gebeurt door in de voeg tussen het multiplexkader en de structuur van de wand houten stelblokjes te voorzien, waarin het raam vastgeschroefd kan worden.

Vervolgens wordt de luchtdichtingsfolie geplaatst. Ook hier wordt de folie in één stuk uitgevoerd en worden de hoeken geplooid. Voor de regendichting wordt de folie in vier stroken in overlap geplaatst, dit is volledig analoog aan de installatie met raamankers, waarbij de folie aan de voorzijde van het raamkader gekleefd wordt. Op deze manier kunnen de resultaten van beide testen makkelijk vergeleken worden.

2. Variaties

Deze opstellingen wordt twee maal getest, eenmaal met goede luchtdichting en eenmaal zonder luchtdichting.

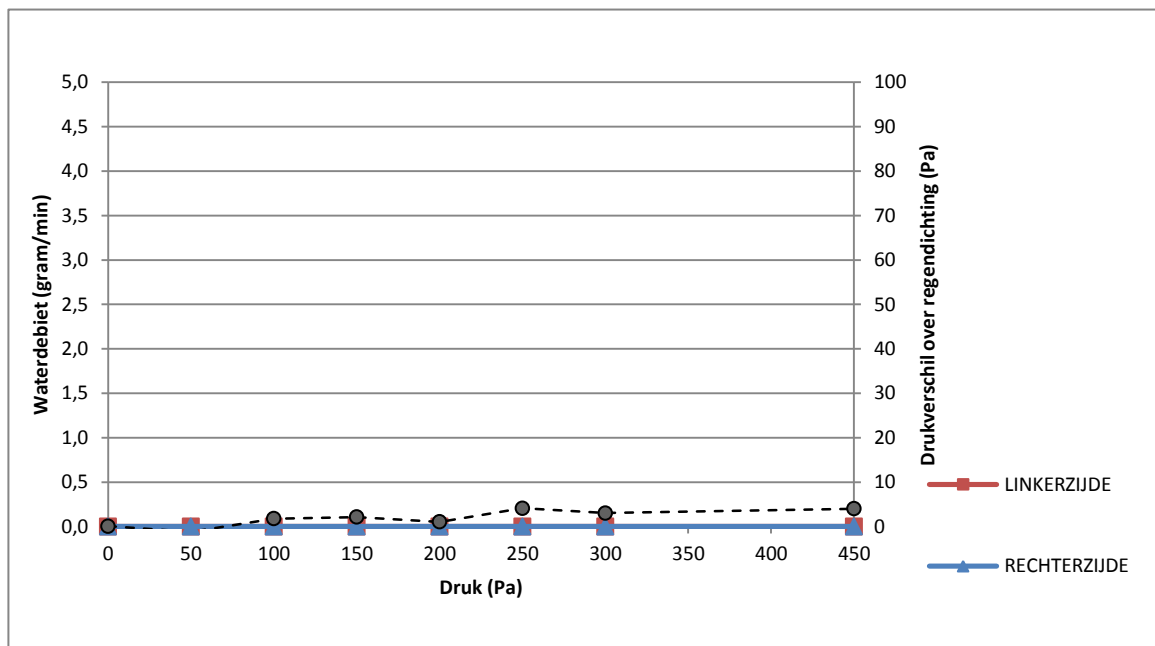
3. Meetresultaten

1. Folie in overlap – multiplexkader – goede luchtdichting

1.1. Luchtdichtheidsmeting

Bij de luchtdichtheidsmeting wordt een luchtverlies bij 50 Pa gemeten van 0,051 m³/hm.

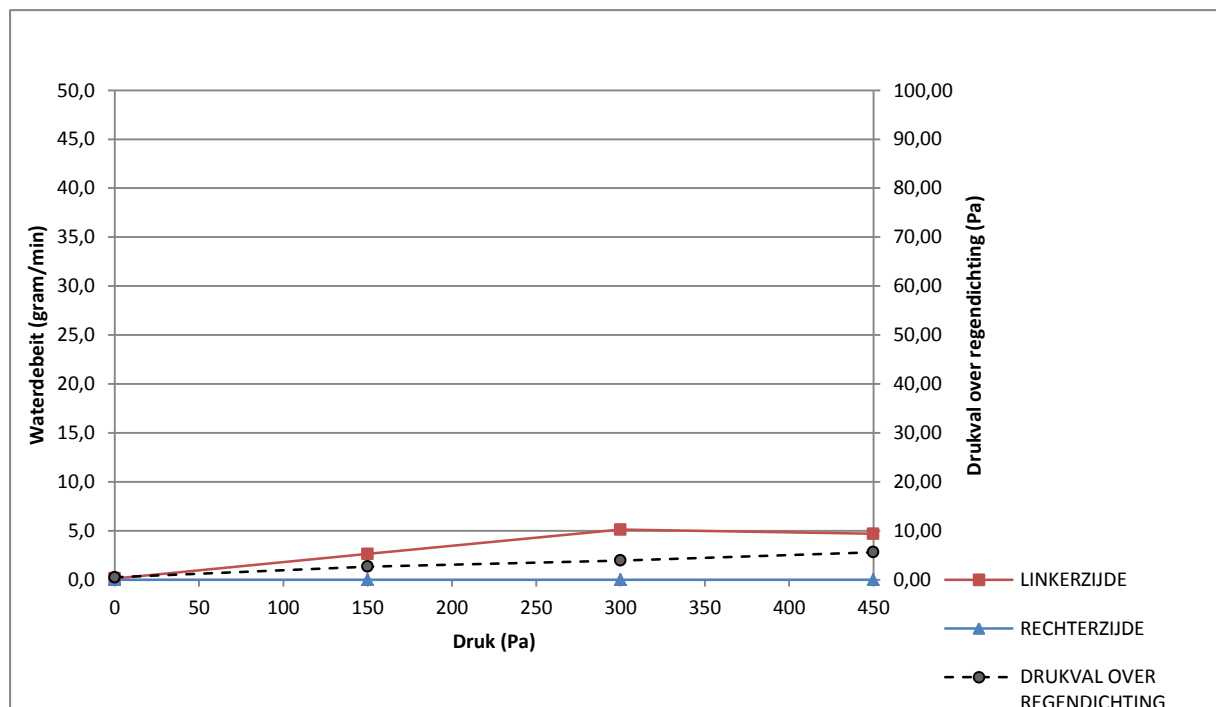
1.2. Statistische test



Grafiek 74: Statistische test, folie overlap multiplexkader goede luchtdichtheid

Bij de statische test wordt geen infiltratiewater opgevangen. De drukval over de regendichting is zeer laag, deze varieert tussen 0 en 4 Pa, hierdoor zal dit niet voldoende zijn om te fungeren als drijvende kracht voor waterinfiltratie.

1.3. Dynamische test



Grafiek 75: dynamische test, folie overlap goede luchtdichtheid

Hoewel de drukval over de regendichting bij de dynamische test opnieuw zeer klein is, is er aan de linkerzijde waterinfiltratie. Er is al waterinfiltratie bij 0 Pa, weliswaar zeer beperkte hoeveelheden, wat wijst op een lekkage door hydrostatische druk of zwaartekracht doorheen een opening. Dit komt echter niet overeen met de resultaten van de vorige proef. Op het eerst zicht is het dan ook moeilijk

hier een verklaring voor te vinden. Het zou kunnen dat er bij het opvoeren van de druk tussen de twee testen, om het eventuele achtergebleven water van de statische test uit de aansluiting te blazen, een gebrek ontstaan is. Een andere vaststelling is dat het waterdebiet toeneemt naarmate de druk stijgt. Dit terwijl het drukverschil over de regendichting slechts in zeer beperkte mate toeneemt. Indien er water binnenkomt door de hydrostatische druk verwachten we bijgevolg een vrij constant verloop. Dit is echter niet het geval. Het zou kunnen dat de opening in de folie uitgebreid is naarmate de test vorderde. Dit kan de stijgende debieten verklaren.

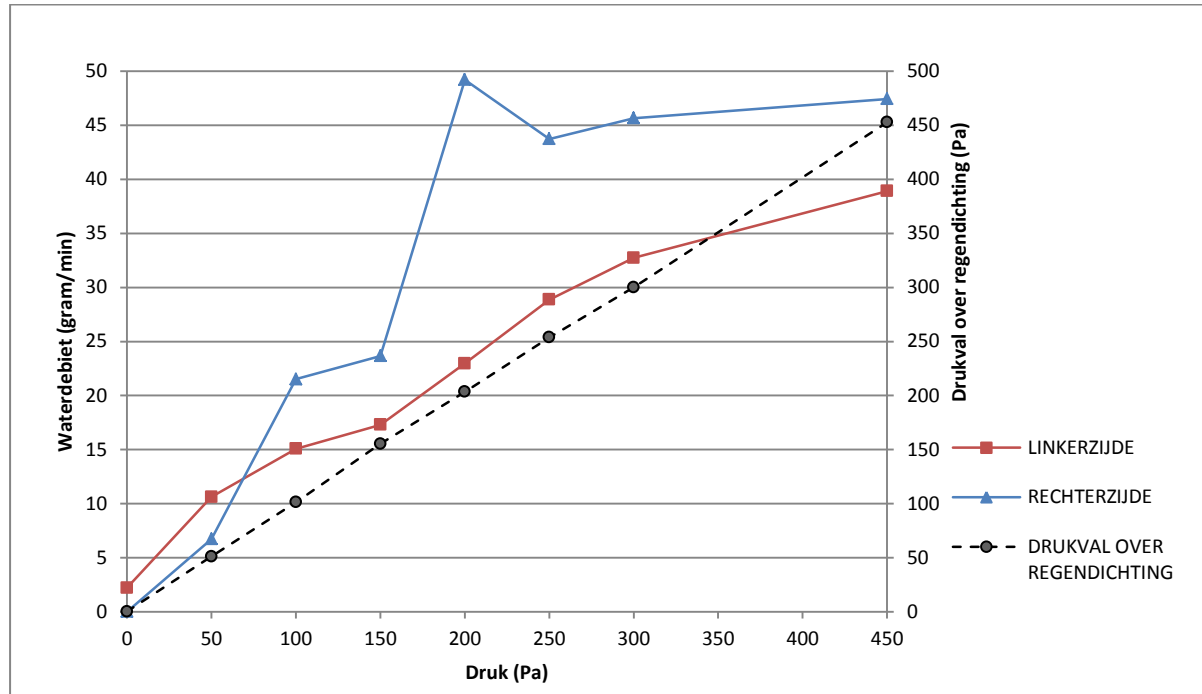
Het zou ook kunnen dat er in de linkeraansluiting een opening aanwezig is waarlangs luchtstromen een weg zoeken naar de binnen omgeving. Deze luchtstromen kunnen waterdruppels met zich meedragen. Doordat het drukverschil over de regendichting echter zeer laag is, zullen de luchtstromen beperkt zijn. Hierdoor is deze piste niet erg geloofwaardig.

2. Folie in overlap – multiplexkader – geen luchtdichting

2.1. Luchtdichtheidsmeting

De test werd zonder luchtdichtingsfolie uitgevoerd, hierdoor komen we automatisch in de klasse van slechte luchtdichting terecht.

2.2. Statische test



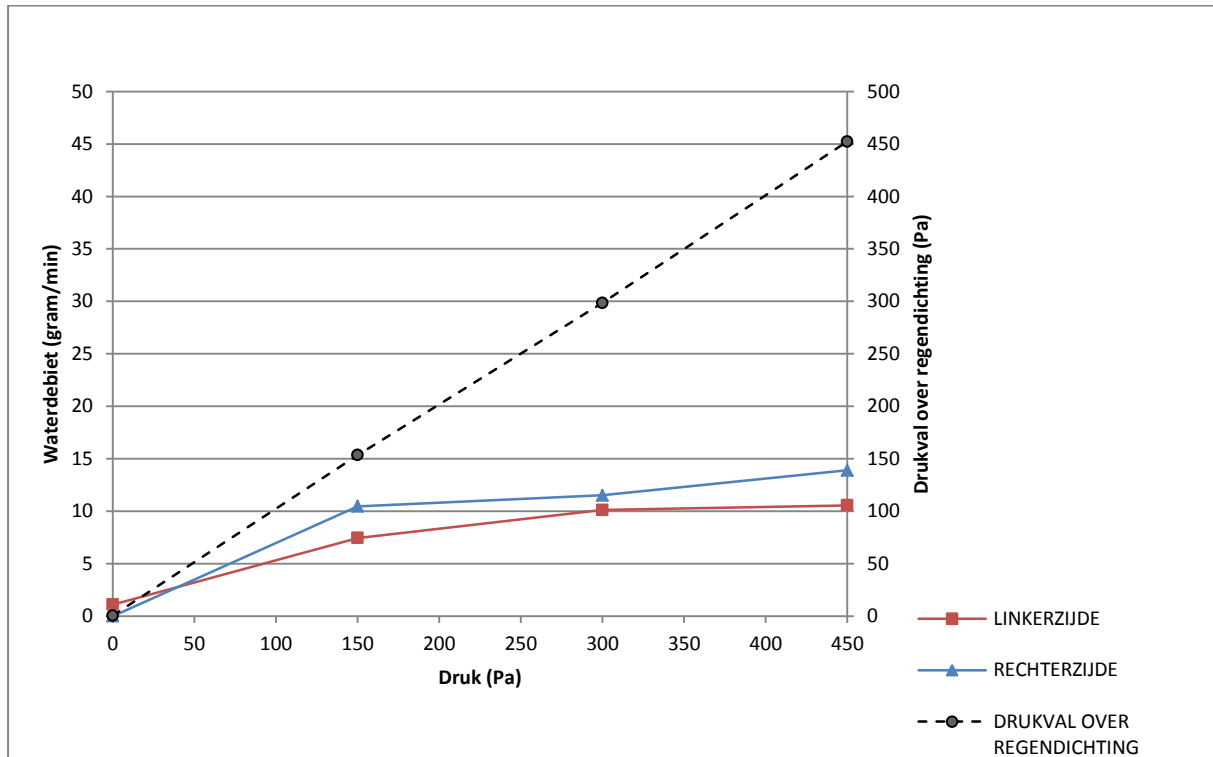
Grafiek 76: statische test, folie overlap multiplexkader geen luchtdichting

In tegenstelling tot de aansluiting met goede luchtdichtheid komt er bij de statische test zonder luchtdichting wel water binnen. Dit was verwacht, aangezien het drukverschil over de regendichting hier vrij groot is, is er ook een grote drijvende kracht, die het water naar binnen stuwt.

Het verloop van de debieten in de linker- en rechteraansluiting is vrij analoog. Bij de linkeraansluiting infiltreert er opnieuw water vanaf 0 Pa. Aan de rechterzijde komt er vanaf 50 Pa water binnen. Er wordt dus verondersteld dat de vermoedens uit de voorgaande proef correct zijn. Er is waarschijnlijk een gebrek ontstaan in de linker-aansluiting waarlangs water infiltreert onder inwerking van hydrostatische druk. De debieten door dit lek bij 0 Pa zijn weliswaar vrij beperkt. Door dit gebrek zijn de infiltratiedebieten van de linker-aansluiting in het begin van de test hoger dan deze van de rechteraansluiting. Bij 100 Pa is er echter een sterke stijging van het debiet, door het overwinnen van capillaire krachten en oppervlaktespanning of het ontstaan van een gebrek, hierdoor liggen de infiltratiedebieten aan de rechterzijde plots iets hoger.

Bij 200 Pa is er een piek in het infiltratiedebiet aan de rechteraansluiting, deze piek is in realiteit niet aanwezig maar wordt veroorzaakt doordat het afvoerpunt van het opvanggootje, bij 150 Pa, verstopt was, bij 200 Pa wordt dit opnieuw vrijgemaakt.

2.3. Dynamische test



Grafiek 77: statische test, folie overlap multiplexkader geen luchtdichting

Ook bij de dynamische test is duidelijk dat het infiltratiedebiet afhankelijk is van de druk aangelegd over de wand. Opnieuw komt er bij de linkeraansluiting water binnen bij 0 Pa. De debieten van de rechteraansluiting liggen hoger wanneer de druk over de wand verschilt van 0 Pa. Dit doet vermoeden dat er aan de rechterzijde meer openingen of iets grotere opening(en) zijn waarvan de meniscus verbroken wordt door het stijgende drukverschil over de regendichting, dan bij de linkerzijde.

4. Overzicht testverloop- vergelijking

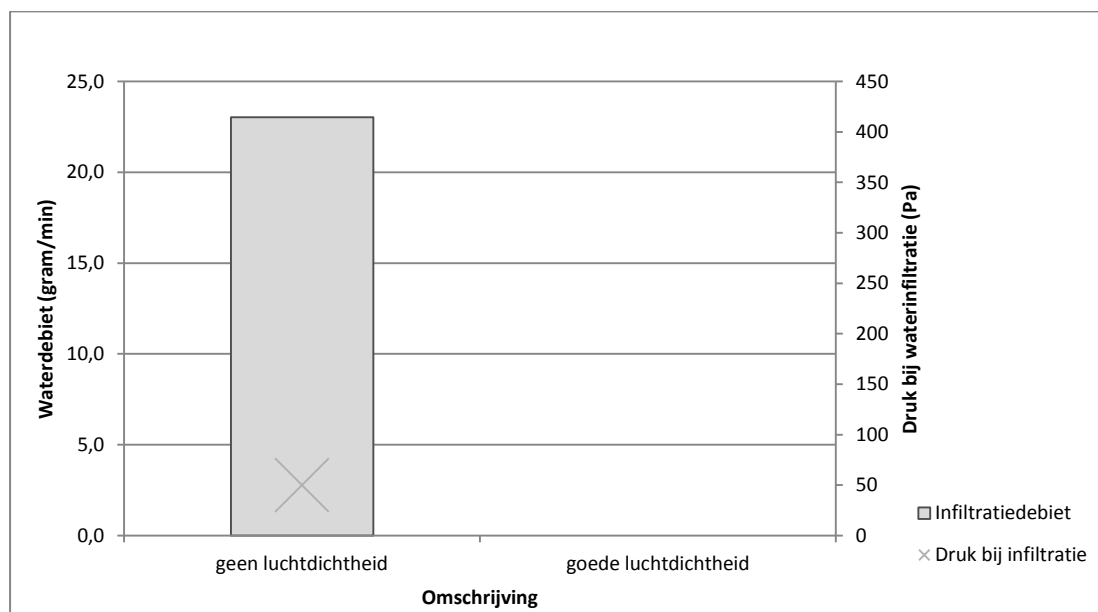
Doordat er verondersteld wordt dat er in de loop van de proef een gebrek ontstaan is aan de linkerzijde, en we hier de exacte oorzaak niet van kunnen achterhalen, zullen we ons in de conclusie beperken tot het bespreken van de resultaten van de rechteraansluiting.

1. Statisch

DATUM	OMSCHRIJVING	HOEEVEELHEID WATER	DRUK BIJ INFILTRATIE
	LUCHTDICHTHEID	(gram/min)	(Pa)
18/mei	geen luchtdichtheid	23,0	50
18/mei	goede luchtdichtheid	0,0	/

Tabel 53: overzicht statische test, folie overlap multiplexkader

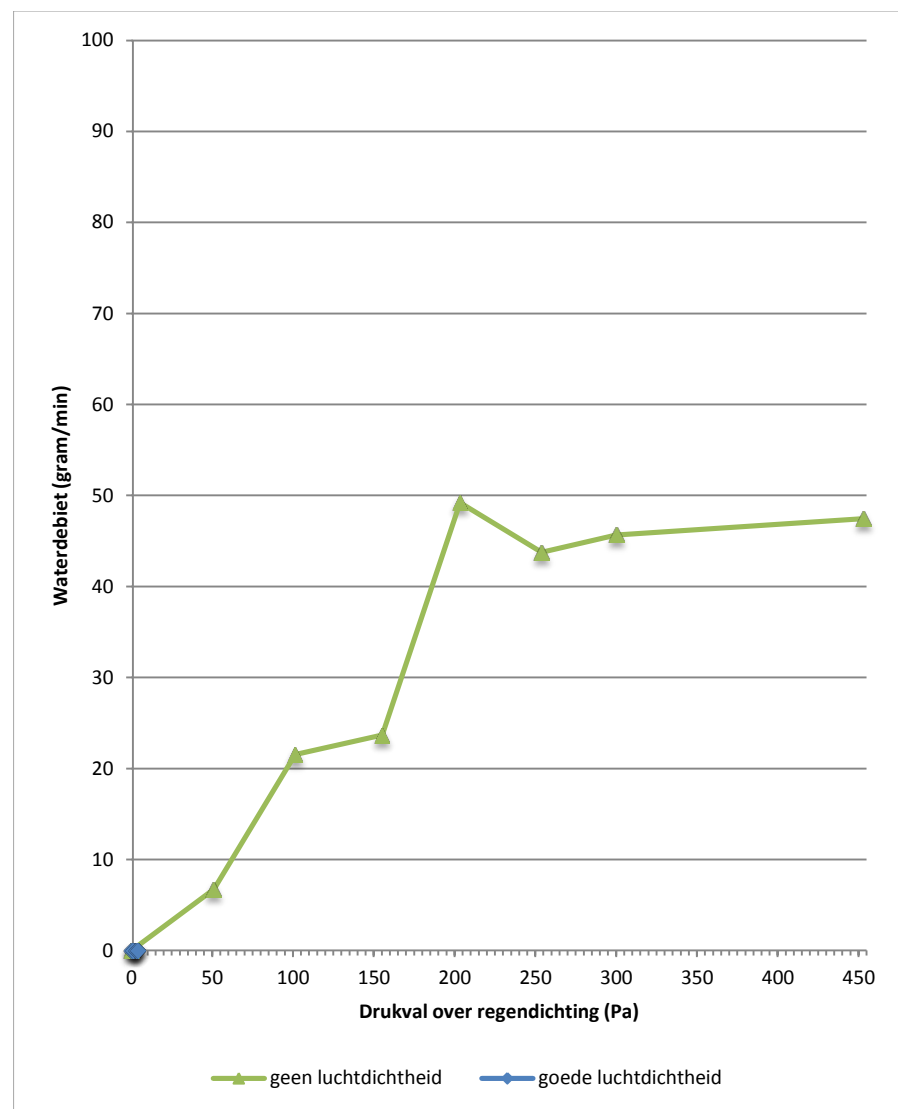
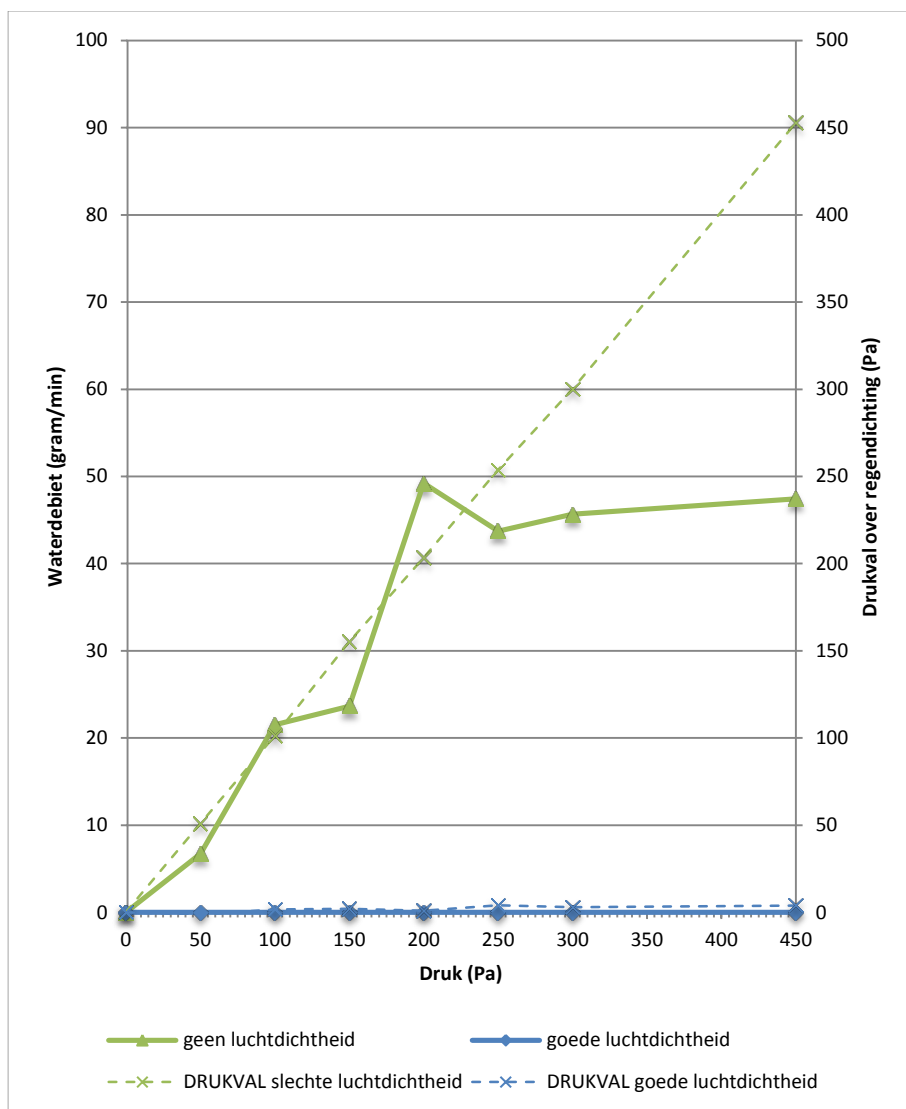
Bij een correcte installatie van de regenfolie is er een groot verschil in de prestaties bij de aansluiting zonder en met goede luchtdichting. Terwijl er bij de aansluiting met goede luchtdichtheid geen water infiltreert, komt er bij de aansluiting met slechte luchtdichtheid al water binnen bij 50 Pa.



Grafiek 78: overzicht statische test, folie overlap multiplexkader

Uit het verloop van de test blijkt duidelijk dat er bij de aansluiting zonder luchtdichtheid een groot drukverschil over de regendichting ontstaat. Dit drukverschil ligt aan de basis van de waterinfiltratie. Bij de aansluiting met goede luchtdichtheid is het drukverschil over de regendichting constant, hierdoor wordt er geen water naar binnen gestuwd.

De piek die zichtbaar is bij het verloop van het waterdebiet voor de aansluiting zonder luchtdichtheid wordt veroorzaakt door een verstopping van het afvoerpunt van het opvanggootje.



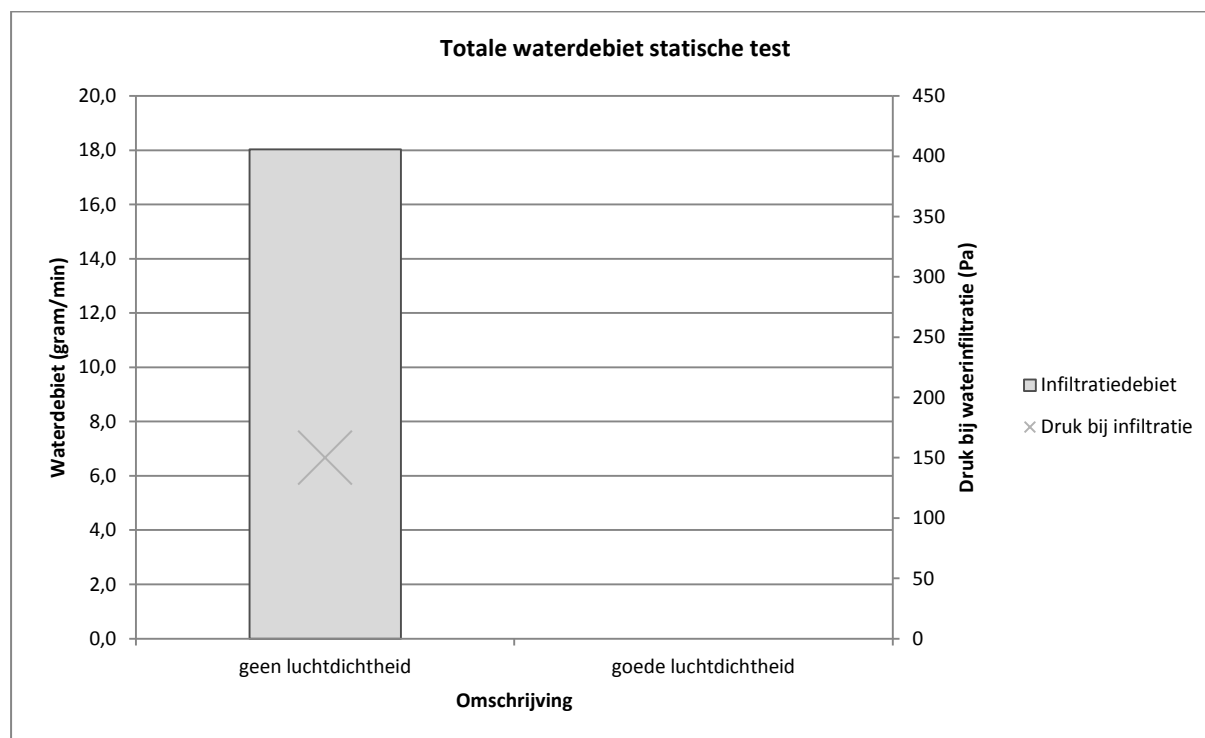
Grafiek 79 en 80: overzicht statische test, folie overlap multiplexkader

2. Dynamisch

2.1. Algemeen

DATUM	OMSCHRIJVING	HOEEVEELHEID WATER	DRUK BIJ INFILTRATIE
	LUCHTDICHTHEID	(gram/min)	(Pa)
18/mei	geen luchtdichtheid	18,0	150
18/mei	goede luchtdichtheid	0,0	

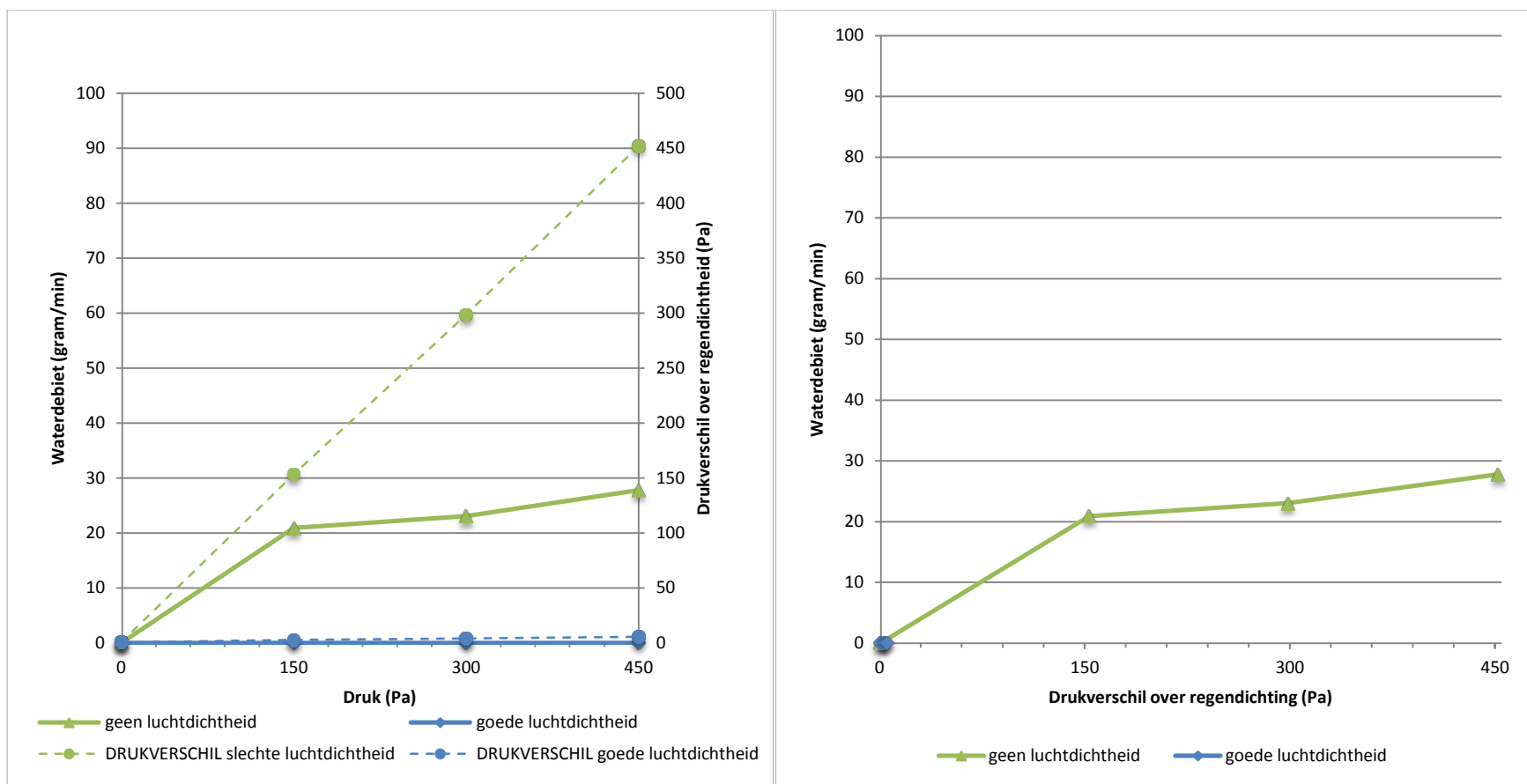
Tabel 54: overzicht dynamische test, folie overlap multiplexkader



Grafiek 81: overzicht dynamische test, folie overlap multiplexkader

Bij de dynamische test kan hetzelfde vastgesteld worden als bij de statische test. De aansluiting zonder luchtdichting presteert veel slechter dan deze waarbij een goed luchtdichting voorzien wordt.

Ook het verloop van het waterdebiet in functie van de druk aangelegd over de wand is vrij gelijkaardig aan deze van de statische test. Het is wel opmerkelijk dat de debieten van de statische test veel hoger liggen dan deze van de dynamische test, dit kan veroorzaakt worden door het lagere sproeidebiet en of een veranderend stromingspatroon van het run off water.



Grafiek 82 en 83: overzicht dynamische test links folie overlap multiplexkader

5. Conclusie

Algemeen

Bij een goede installatie van de regenfolie presteert de aansluiting met regenfolie en goede luchtdichtheid zeer goed. Zowel bij de statische als dynamische test komt er geen water binnen.

DATUM	OMSCHRIJVING	HOEEVEELHEID WATER		DRUK BIJ INFILTRATIE		CLASSIFICATIE
	LUCHTDICHTHEID	STATISCH (gram/min)	DYNAMISCH (gram/min)	STATISCH (Pa)	DYNAMISCH (Pa)	
18/mei	geen luchtdichtheid	23,0	18,0	50	150	2A
18/mei	goede luchtdichtheid	0,0	0,0	/	/	>8A

Tabel 55: overzicht folie overlap multiplexkader

Verskil uitvoering links - rechts

Er dient echter wel vermeld te worden dat er tijdens de test verschillen vastgesteld werden tussen de aansluiting links en rechts. Hoewel de aansluitingen op dezelfde wijze uitgevoerd werden. Hierdoor was het in eerste instantie niet eenvoudig het verschil te verklaren. Waarschijnlijk is er in het verloop van de testen een gebrek ontstaan in de linker-aansluiting.

Verskil door variëren luchtdichtheid

Uit de resultaten blijkt dat de aansluiting veel beter scoort op vlak van waterdichting wanneer er een goede luchtdichtheid is.

Verskil statische –dynamische test

De resultaten van de statische en dynamische test zijn vrij gelijklopend, bij de statische test ligt het gemiddeld infiltratiedebiet iets hoger, wat verklaard kan worden door de hogere waterdebieten. Ook op vlak van druk bij infiltratie zijn gelijkaardige resultaten merkbaar.

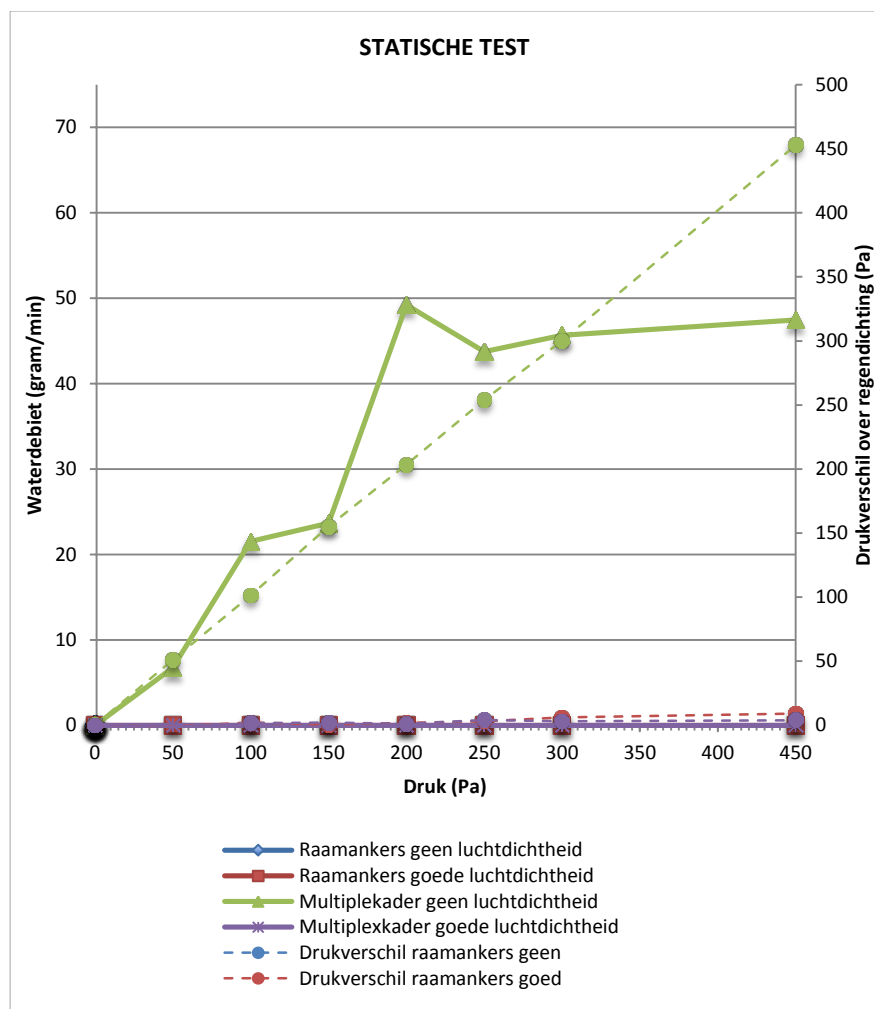
2.2.1.3 VERGELIJKING BEVESTIGING: MULTIPLEX - RAAMANKERS

De vergelijking van de verschillende bevestigingsmethodes wordt gemaakt aan de hand van de aansluiting waarbij het raam aan de binnenzijde van de regendichting geplaatst wordt. De waterdichtheid wordt verzekerd door een regendichtingsfolie.

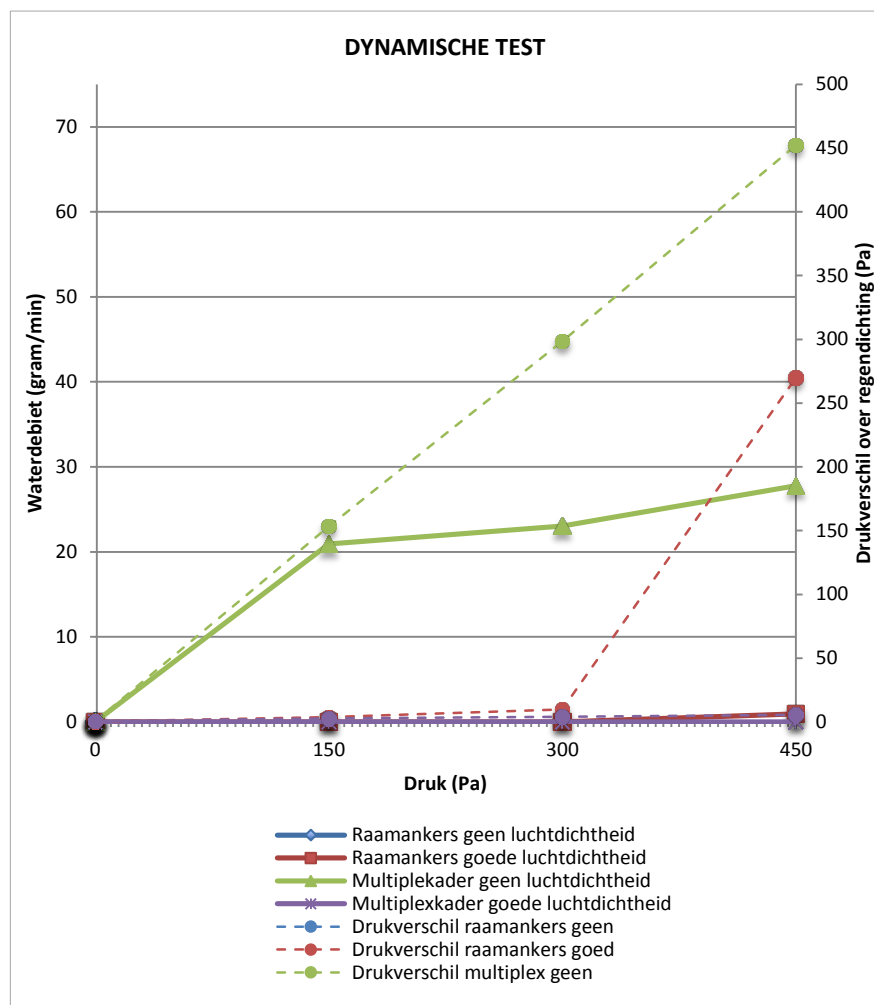
DATUM	OMSCHRIJVING		INFILTRATIE-DEBIET		DRUK BIJ INFILTRATIE	
	bevestigingswijze	luchtdichtheid	STATISCH (gram/min)	DYNAMISCH (gram/min)	STATISCH (Pa)	DYNAMISCH (Pa)
14/mei	Raamankers	geen	6,6	9,5	150	0
15/mei	Raamankers	goed	0,0	0,6		300
18/mei	Multiplexkader	geen	23,0	18,3	50	150
18/mei	Multiplexkader	goed	0,0	0,1		

Tabel 56: vergelijkende tabel, invloed bevestigingsmethode.

Uit de analyse van de verschillende resultaten blijkt dat de prestaties van het raam niet afhankelijk zijn van de bevestigingsmethode. Dit blijkt zeer duidelijk wanneer de resultaten bij goede luchtdichtheid vergeleken worden. Bij de vergelijking van de metingen waarbij geen luchtdichting toegepast werd is dit minder duidelijk. Doordat de regenbarrière echter voor de raamankers of multiplexkader wordt geplaatst kan er geen verschil in prestaties optreden. Het verschil in infiltratiedebieten bij slechte luchtdichtheid kan toegeschreven worden aan een aantal onzekerheden. Zo werd bij de installatie getracht de folie twee maal op dezelfde wijze te installeren, uit eerdere testen is echter al gebleken dat deze verkleaving een zwak punt is. Bijgevolg is het ook onmogelijk deze twee maal op exact dezelfde wijze uit te voeren. Verder zijn er ook onzekerheden op de testopstelling.



grafiek 84: vergelijking infiltratiedebieten verschillende bevestigingsmethodes, dynamische test.



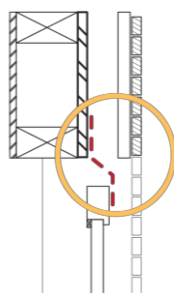
grafiek 85: vergelijking infiltratiedebieten verschillende bevestigingsmethodes, statische test.

2.2.2 RAAM UIT HET VLAK

2.2.3.1 REGENDICHTHEIDSFOLIE IN OVERLAP

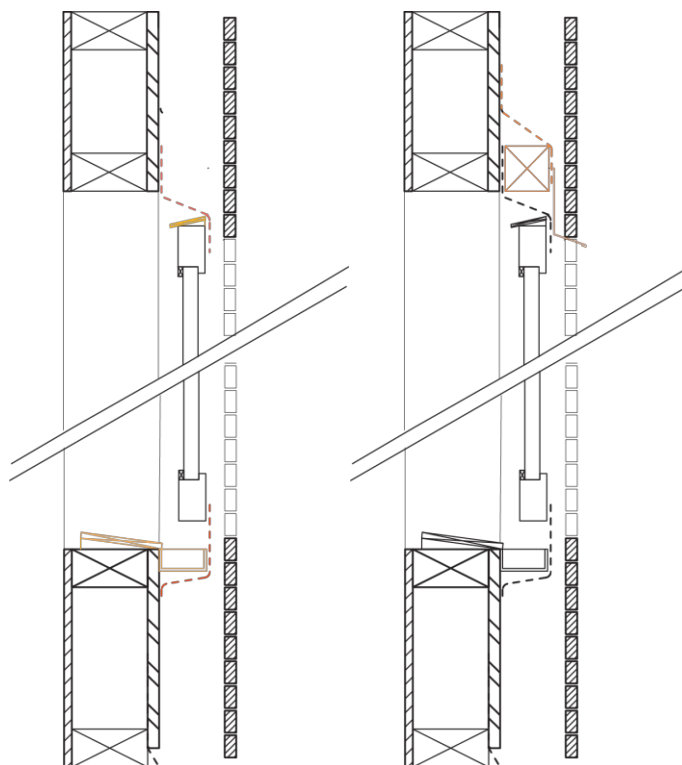
1. Opstelling

In deze reeks testen worden de prestaties van een raam dat uit het vlak geplaatst wordt bekeken. Er wordt verondersteld dat de onderhoeken niet langer de meest kritieke plaats voor waterlekage zullen zijn. In deze positie van het raam worden de boevenhoeken immers het zwaarst belast door de regen.



Afbeelding 132: positie naar buitenvlak, kritisch punt

Om de lekkages die optreden aan de bovenzijde van het raam te kunnen kwantificeren was het nodig de testopstelling aan te passen. In eerst instantie werd het opvanggootje onderaan het raam verplaatst naar de buitenzijde van de wand. De breedte van het gootje werd ook aangepast zodat het water dat van de aansluiting bovenaan naar beneden loopt zonder probleem opgevangen kon worden, dit gebeurde door een plankje in helling te voorzien. Bovenaan het raam werd ook een plankje in afschot voorzien waarlangs het water dat infiltreert afgevoerd kan worden naar het afvoergootje onderaan.



Afbeelding 133 en 134: aanpassing opstelling



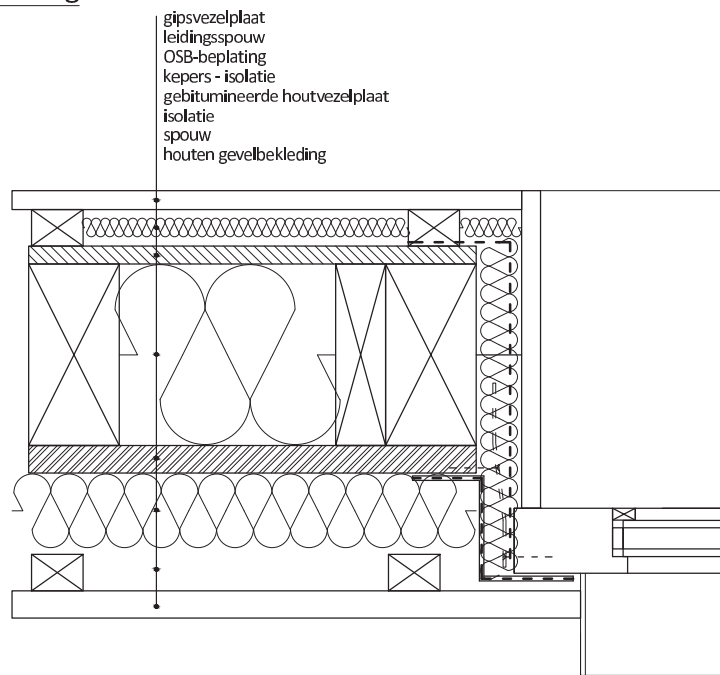
Afbeelding 135 en 136: aanpassing opstelling: gootje en opvang onderaan raamopening, druiplijst boven raam



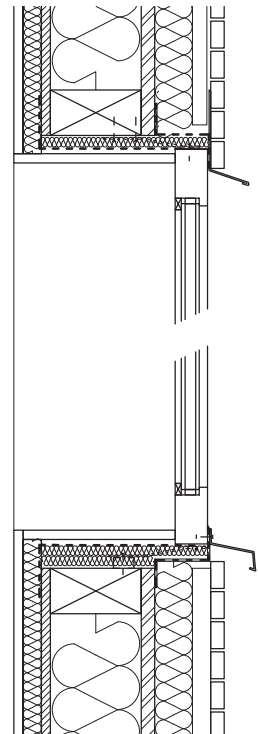
Afbeelding 137 en 138: afschot boven raam om infiltrerend water af te leiden

Detaillering

Plan 1/5

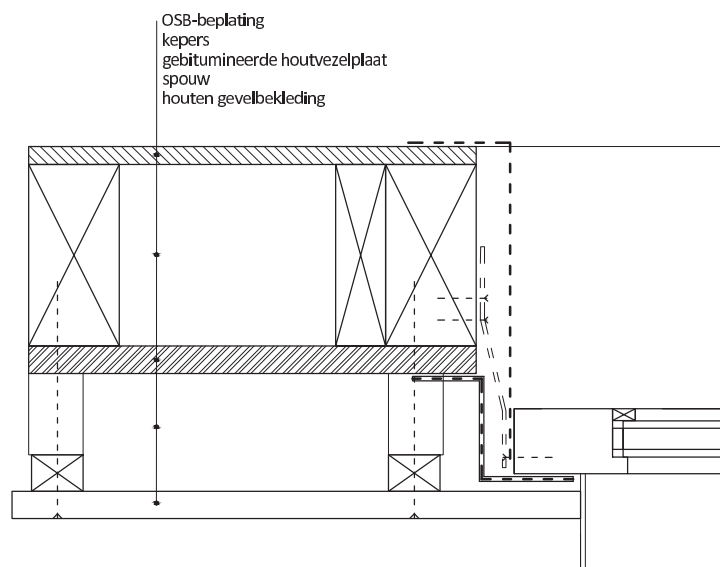


Snede 1/10

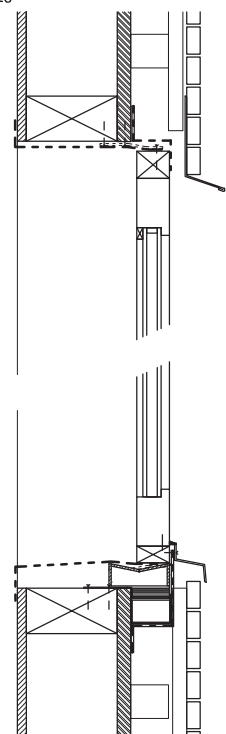


Testopstelling

Plan 1/5



Snede 1/10



2. Variaties

Op deze opstelling werden 2 variaties getest, de test werd eerst uitgevoerd zonder luchtdichting en hierna werd de test herhaald met een matige luchtdichting.



Afbeelding 139 en 140: opstelling zonder en met luchtdichting

3. Meetresultaten

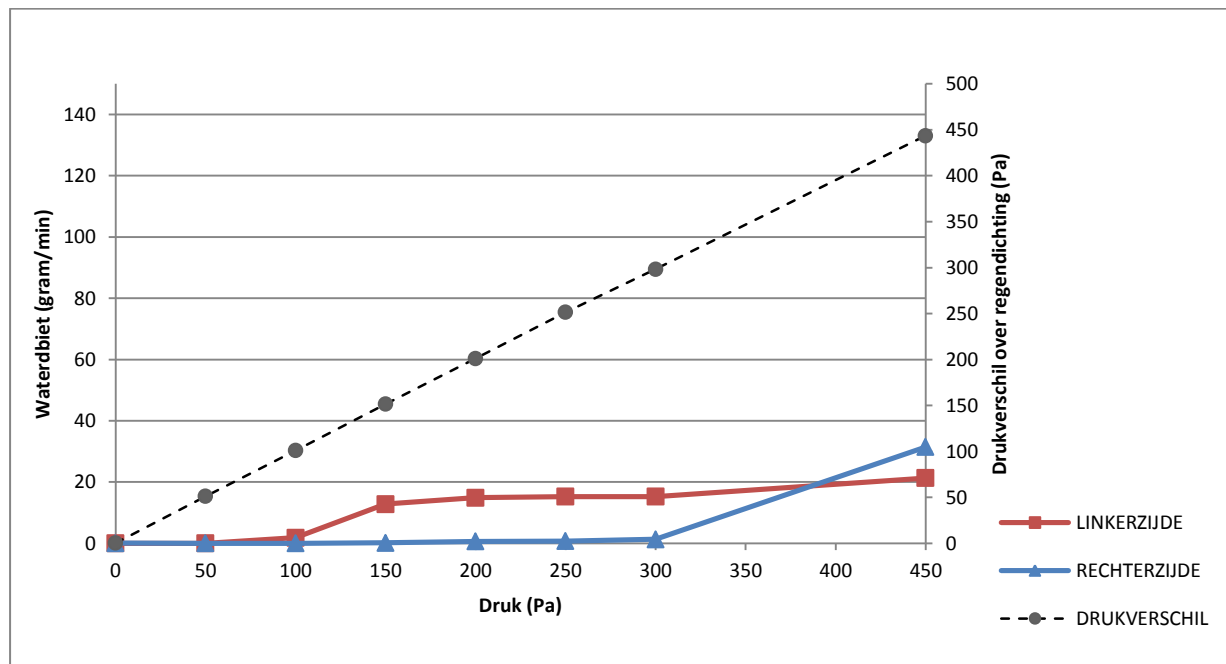
1. Geen luchtdichting

1.1. Luchtdichtheidstest

Netto-debiet bij 50 Pa	Overdruk		Onderdruk		Gemiddeld		Luchtdichtheids-klasse
Beschrijving	V ₅₀ (m³/h.m)	s	V ₅₀ (m³/h.m)	s	V ₅₀ (m³/h.m)	s	
zweiband	6,78	9,63	26,24	0,00	16,51	9,63	Slecht

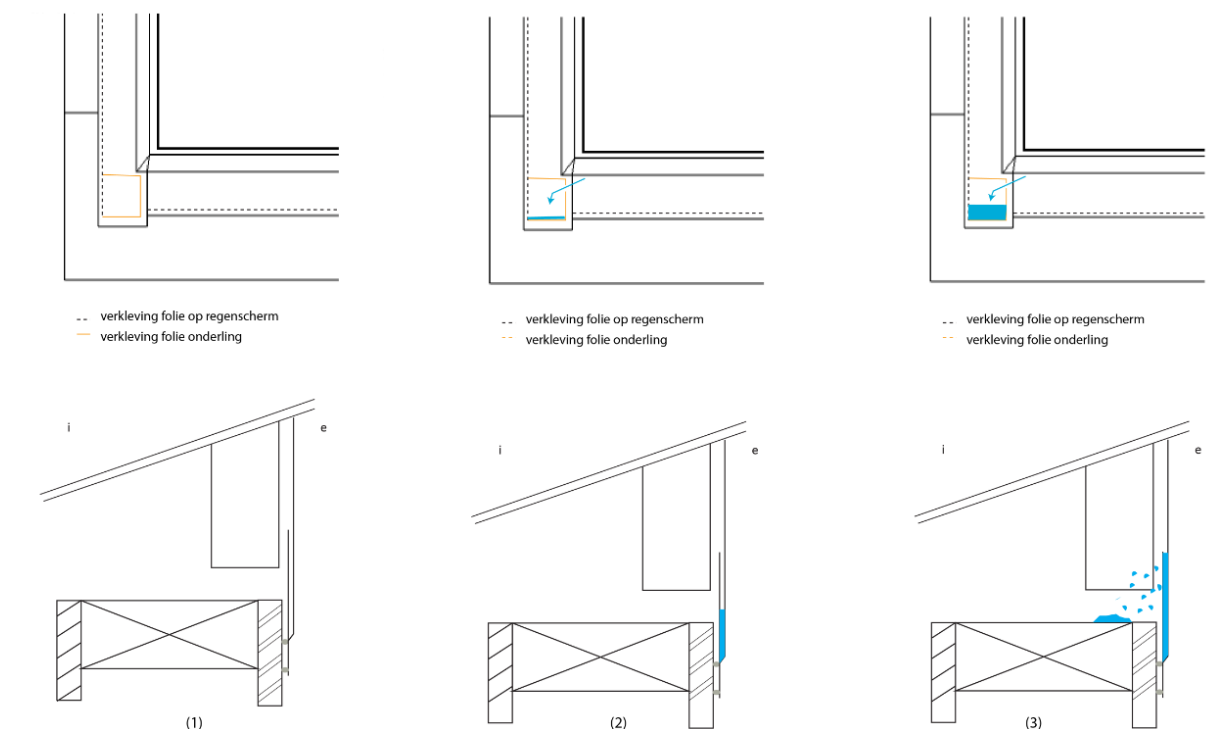
Tabel 57: Luchtdebiet folie overlap raam uit vlak geen luchtdichting

1.2. Statische test



Grafiek 86: statische test folie overlap raam uit vlak geen luchtdichting

Tijdens de statische test komt er aan de linkerzijde water binnen bij 100 Pa aan de rechterzijde is dit pas bij 300 Pa. Het water dat binnenkomt is in tegenstelling tot wat verwacht werd niet afkomstig van de aansluiting bovenaan. De grootste hoeveelheid van het infiltratiewater komt van de onderhoek op de plaats waar de regenfolie overlapt. Hier ontstaat een waterreservoir. Het water zit gevangen tussen de verticale en horizontale strook regenfolie. Doordat de verkleving van de folie onderling niet helemaal geslaagd is komt er water via deze aansluiting in het reservoir terecht, ook water dat afkomstig is van lekken aan de zijkant van het raam wordt hier opgevangen.



Afbeelding 141: water tussen overlap folie, falingsmechanisme

De verticale folie is aan de onderzijde met behulp van kozijnfolielijm verkleefd op de gebitumineerde houtvezelplaat hierdoor kan het water niet weg uit deze holte, het zit gevangen. Wanneer de hoeveelheid water echter te groot wordt, loopt het water over de horizontale folie in het gootje. Als er bovendien druk op de folie uitgeoefend wordt zal de holte samengedrukt worden en verkleinen. Hierdoor zal er meer water over de horizontale folie gestuwd worden en zal het infiltratiedebiet verhogen. Dit fenomeen kan mogelijk vermeden worden door de verticale folie aan de onderzijde slechts gedeeltelijk te verkleven, hierdoor kan het water dat tussen de folies terechtkomt makkelijk draineren.



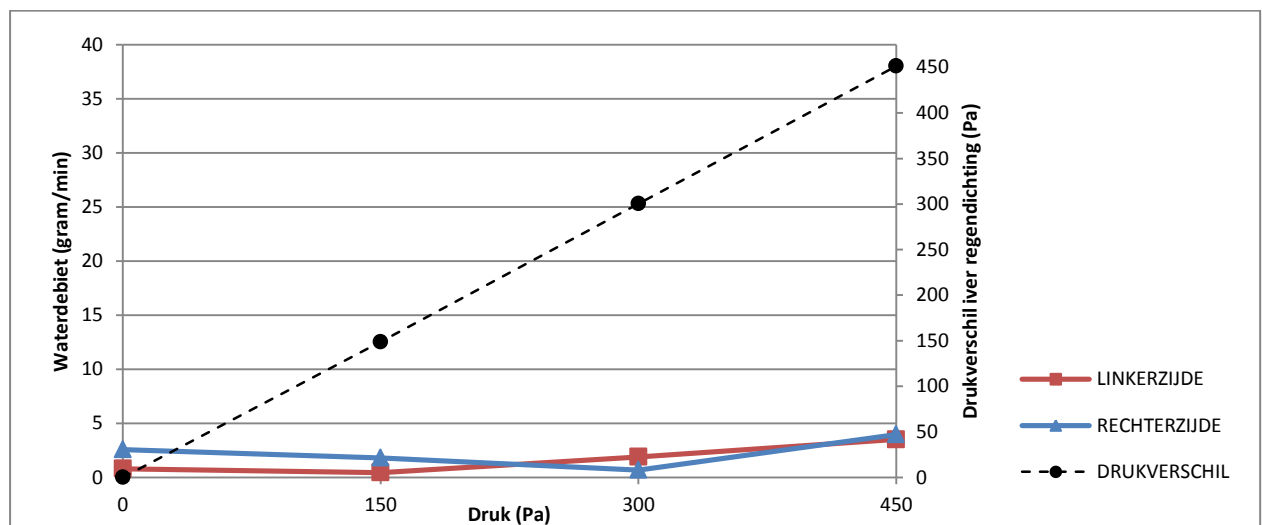
Afbeelding 142 en 143: ontstaan 'waterreservoir'



Afbeelding 144 en 145 : mogelijke oorzaken van waterinfiltratie tussen de overlap

1.3. Dynamische test

Bij de dynamische test komt er reeds water binnen bij 0 Pa dit kan verklaard worden doordat niet al het water uit de 'waterreservoir' verwijderd was.



Grafiek 87: dynamische test folie overlap raam uit vlak geen luchtdichting

2. Matige luchtdichting

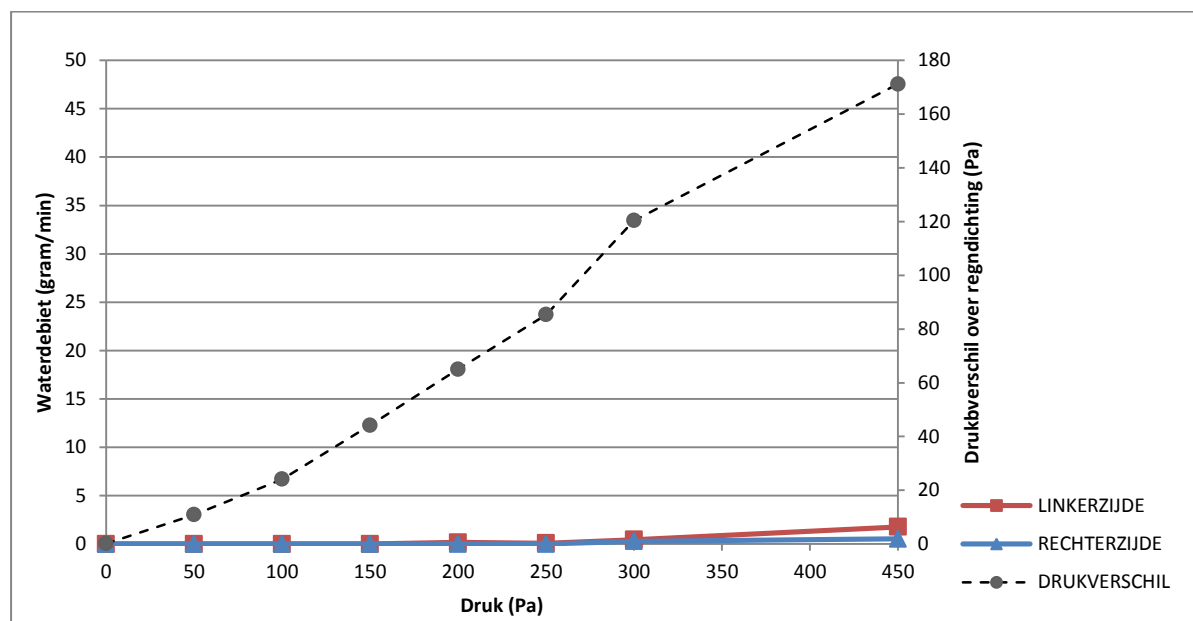
Luchtdichtheidstest

Netto-debiet bij 50 Pa	Overdruk		Onderdruk		Gemiddeld		Luchtdichtheids- klasse
Beschrijving	V ₅₀ (m³/h.m)	s	V ₅₀ (m³/h.m)	s	V ₅₀ (m³/h.m)	s	
zwelband	1,39	0,28	1,23	1,73	1,31	1,75	Matig

Tabel 58: Luchtdebiet folie overlap raam uit vlak matige luchtdichting

2.2. Statische test

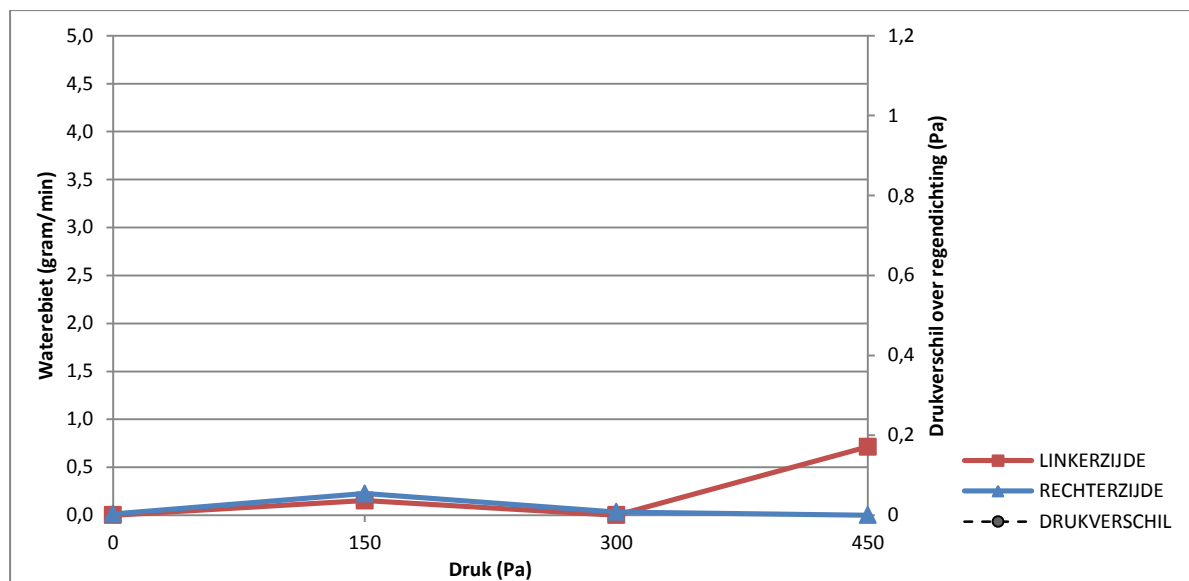
De infiltratiedebieten bij de statische test met matige luchtdichtheid zijn zeer klein. Doordat de fout op onze opstelling vrij groot is, is het moeilijk de debieten correct te interpreteren.



Grafiek 88: statische test folie overlap raam uit vlak matige luchtdichting

2.3. Dynamische test

Bij de dynamisch test is er iets fout gelopen bij het opnemen van het drukverloop over de wand, hierdoor kan het drukverschil over de regendichting niet bepaald worden. Bovendien zijn de infiltratiedebieten zeer klein, doordat de absolute fout groot is, moeten de waterdebiet zeer voorzichtig geïnterpreteerd worden.



Grafiek 89: dynamische test folie overlap raam uit vlak matige luchtdichting

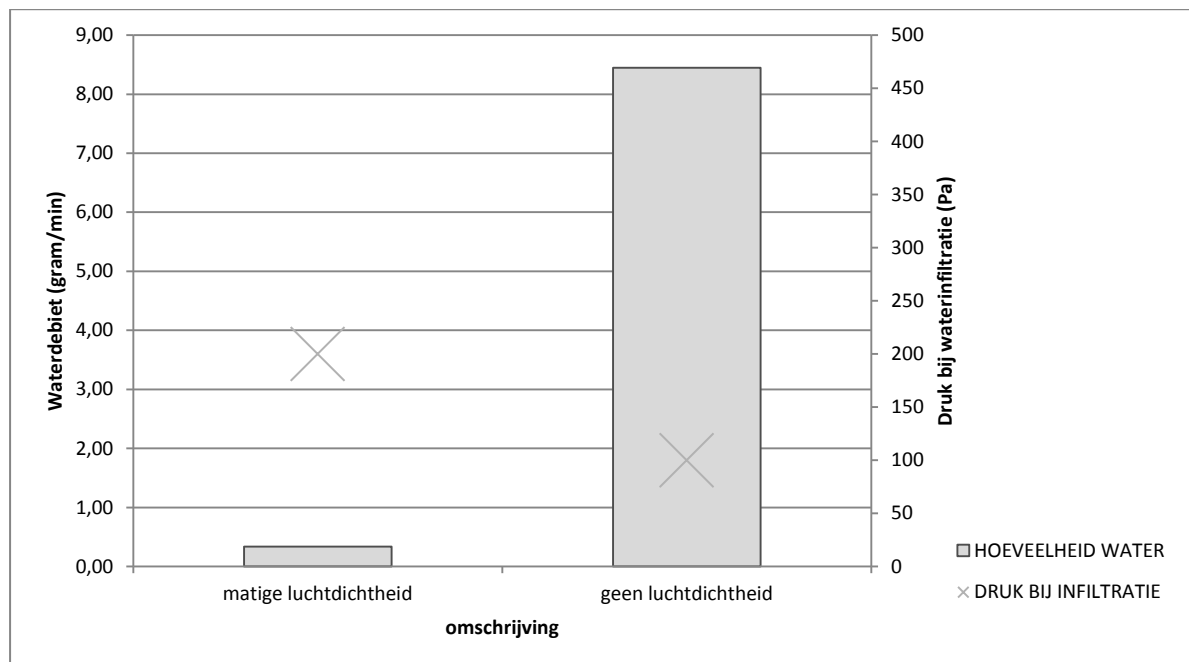
4. Overzicht testverloop - vergelijking

1. Statisch

1.1. Algemeen

DATUM	OMSCHRIJVING	HOEEVEELHEID WATER	DRUK BIJ INFILTRATIE
	LUCHTDICHTHEID	(gram/min)	(Pa)
30/apr	matige luchtdichtheid	0,34	200
30/apr	geen luchtdichtheid	8,45	100

Tabel 59: Overzicht statische test folie overlap, raam uit vlak



Grafiek 90: Overzicht statische test folie overlap, raam uit vlak

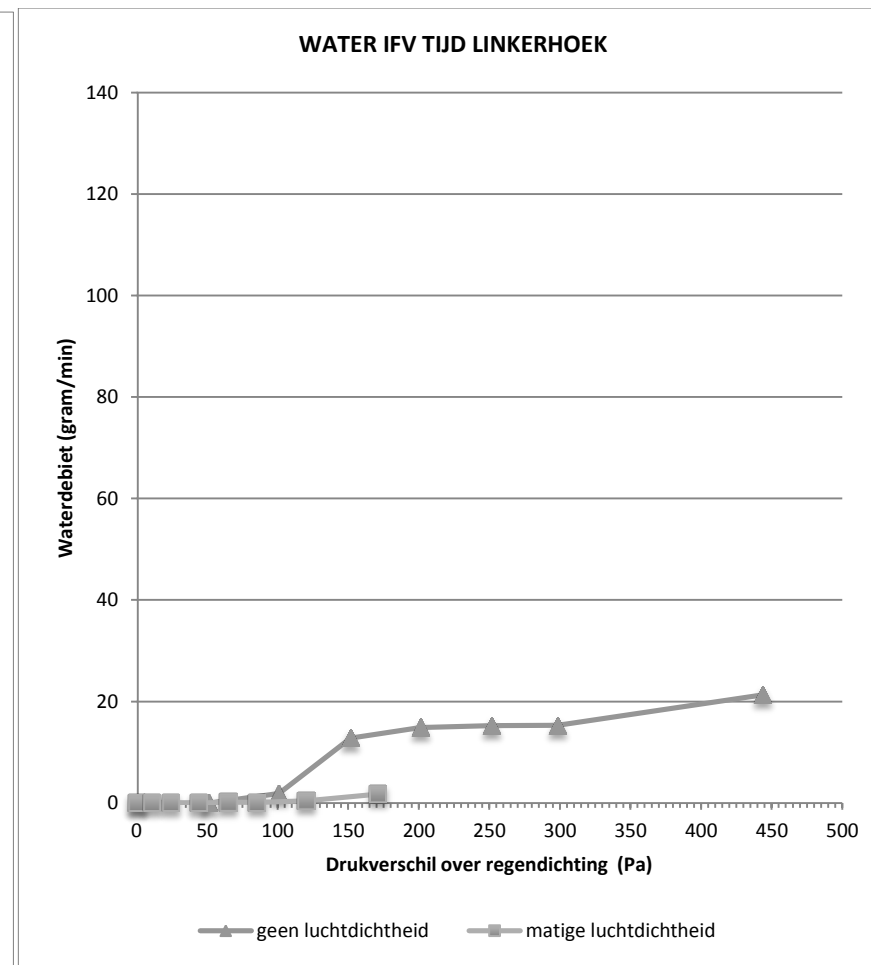
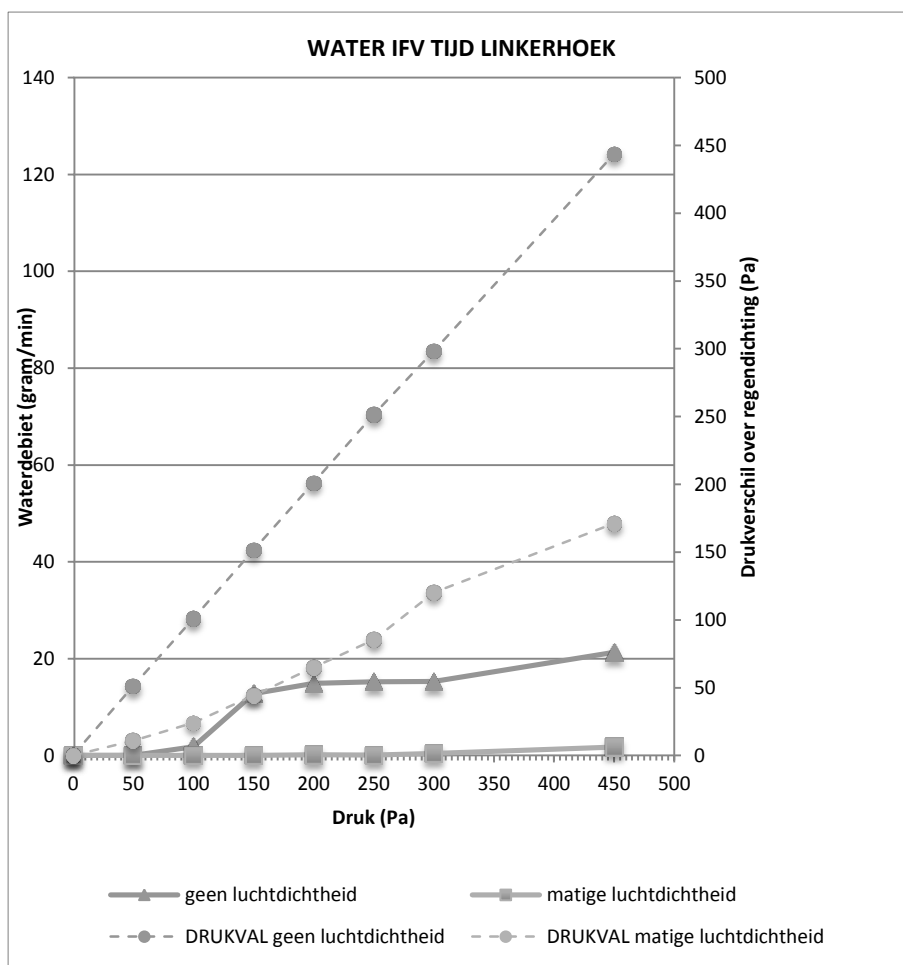
Op het eerst zicht liggen de resultaten volledig binnen de verwachtingen. De aansluiting waarbij een matige luchtdichtheid gehaald wordt scoort beter op vlak van waterdebiet en druk bij infiltratie.

1.2. Verloop waterdebiet

Het waterdebiet van de aansluiting zonder luchtdichtheid is ook hier sterk afhankelijk van de druk. Bij de aansluiting zonder luchtdichting ontstaat een eerste lek bij een druk over de regendichting, gelijk aan ongeveer 100 Pa. Ook bij de matige luchtdichtheid komt er bij dit drukverschil water binnen.

Verder is het moeilijk de debieten van deze test correct te interpreteren. Ondanks dit niet visueel waargenomen blijft het ook mogelijk dat het water in deze opstelling niet alleen van de hoeken onderaan afkomstig is, maar ook van een aansluiting bovenaan. Wanneer het infiltratiewater hier infiltreert zit er een vertraging tussen het moment dat er water binnenkomt en het moment dat water gemeten wordt. Dit leidt tot een vertekent beeld van het waterdebiet in functie van de druk. Bovendien vangen we bij de matige luchtdichtheid zeer kleine debieten op waardoor het moeilijk is de waarden correct te interpreteren. Bij lage debieten is de fout immers zeer groot.

Volgende redenering werd opgebouwd als mogelijke verklaring voor het verschil tussen beide testen. Bij slechte luchtdichtheid is er een grotere infiltratie, dit valt te verwachten, er is immers een groter drukverschil, die de drijvende kracht is voor waterinfiltratie. Hier speelt echter het fenomeen van de wateropvang ter hoogte van de overlap ook een mogelijke rol. Immers, in de overlap was er duidelijk een waterhoeveelheid aanwezig, vanaf 300 Pa wordt het stagnerend water in de overlap opgemerkt vanuit de binnenzijde. Hierbij wordt een 'overstromen' van dit waterreservoir niet opgemerkt, dus het water dat infiltreert is dus water die vanuit een andere locatie dan het overstromen van het reservoir afkomstig is.



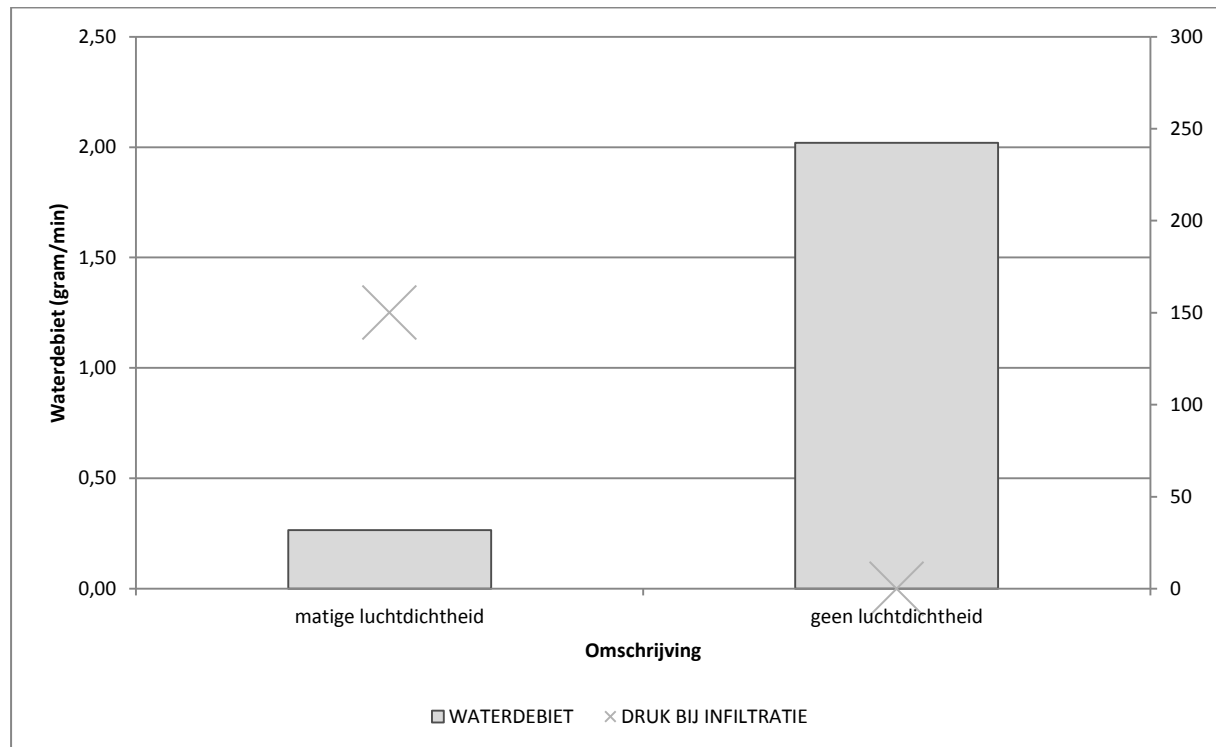
Grafiek 91 en 92: Overzicht statische test folie overlap, raam uit vlak

2. Dynamisch

2.1. Algemeen

DATUM	OMSCHRIJVING	WATERDEBIET	DRUK BIJ INFILTRATIE
	LUCHTDICHTHEID	(gram/min)	(Pa)
30/apr	matige luchtdichtheid	0,27	150
30/apr	geen luchtdichtheid	2,02	0

Tabel 60: overzicht dynamische test folie overlap, raam uit vlak

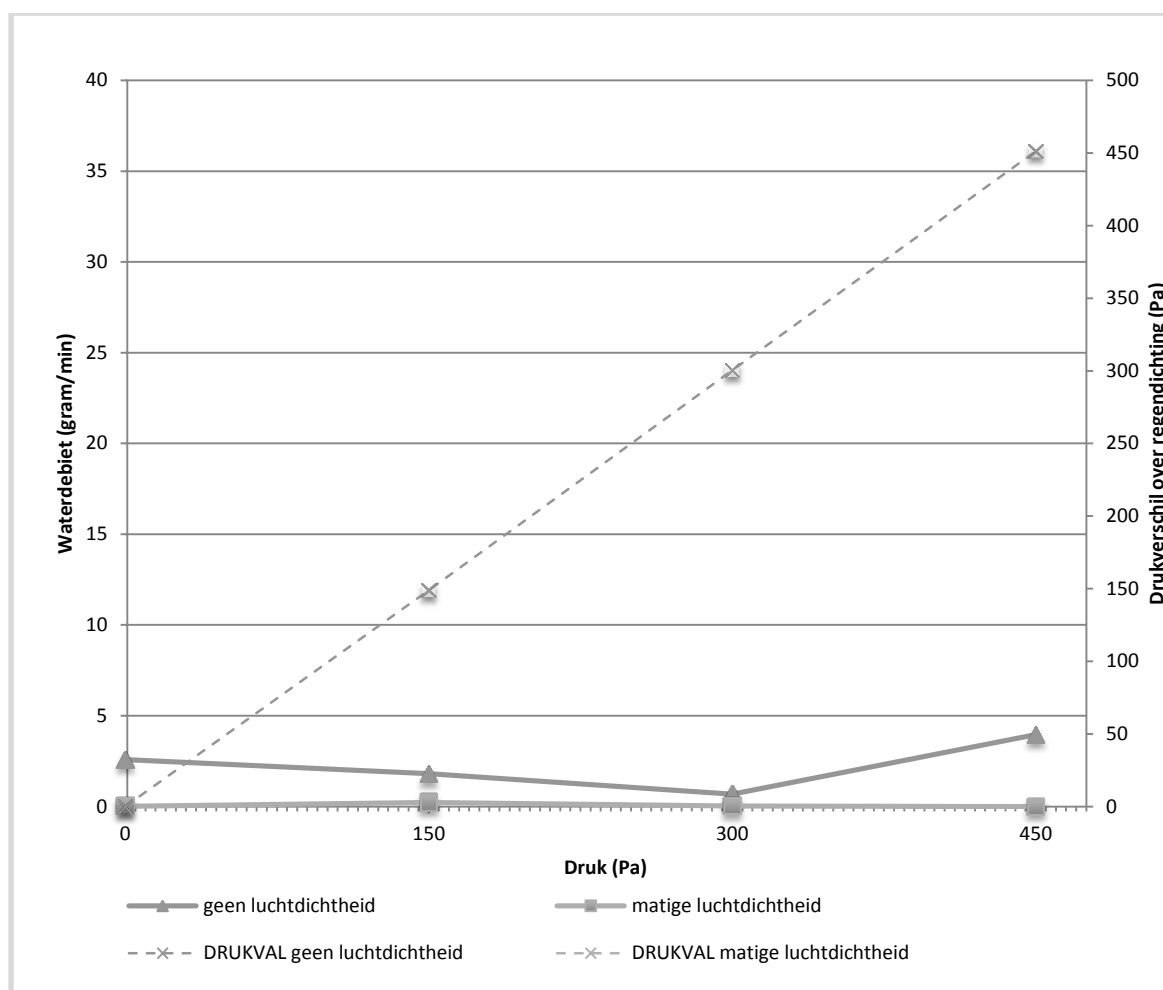


Grafiek 93: overzicht dynamische test folie overlap, raam uit vlak

2.2. Verloop van het waterdebiet

Ook hier zijn de conclusies vrij logisch. De aansluiting met matige luchtdichtheid scoort beter dan de aansluiting zonder luchtdichting. Opnieuw is het moeilijk de resultaten op een correcte manier te interpreteren gezien de grote foutenmarge.

Het vreemde verloop van de grafiek voor slechte luchtdichtheid kan mogelijks verklaard worden vanuit het stagnerende water dat zich ter hoogte van de overlap verzamelt. Bij de start van de proef is er reeds waterinfiltratie bij 0 Pa. Er zijn enkele verklaringen die hiervoor gegeven kunnen worden. Zo kan het zijn dat er nog water aanwezig was in deze verzamelplek bij de start van de proef en dat dit water via openingen infiltreren. Het is ook mogelijk dat er gedurende de vorige test ergens een opening is ontstaan of dat er infiltratie is door hydrostatische druk. Het verdere verloop van de test heeft geen vaste trend, het willekeurige verloop van deze grafiek kan verklaard worden vanuit het gedrag van het waterreservoir. Het water hierin zal immers onder invloed van de drukpulsen in beweging komen, waardoor een onregelmatige overstroming van dit reservoir kan gebeuren, dit naar de binnen-omgeving, wat resulteert in de registratie van onregelmatige debieten.



Grafiek 94: Overzicht dynamische test folie overlap, raam uit vlak

3. Conclusie

DATUM	OMSCHRIJVING	HOEEVEELHEID WATER		DRUK BIJ INFILTRATIE		CLASSIFICATIE
	LUCHTDICHTHEID	STATISCH (gram/min)	DYNAMISCH (gram/min)	STATISCH (PA)	DYNAMISCH (Pa)	
30/apr	matige luchtdichtheid	0,34	0,27	200	150	5A
30/apr	geen luchtdichtheid	8,45	2,02	100	0	3A

Tabel 61: Overzicht folie overlap, raam uit vlak

Algemeen

Eerst en vooral dient verteld te worden dat er tijdens de test vooral water infiltreert ter plaatse van de onderhoeken. Er komt nauwelijks of zelf geen water binnen aan de bovenzijde van het raam. Dit staat haaks op wat er verwacht werd. In wat volgt wordt geprobeerd hier een verklaring voor te geven. Uit eerdere testen blijkt dat vooral de aansluiting tussen het raamkader en de folie een kritiek punt in de aansluiting is. Doordat het raam naar buiten zit speelt de verkleaving van de regenfolie op de gebitumineerde houtvezelplaat een belangrijkere rol dan de verkleaving van de folie op het raamkader. Er wordt verondersteld dat deze verkleaving, bij een goede uitvoering, weinig problemen oplevert. Bovendien installeerden we onze druiplijst boven de verkleaving van de folie op de houtvezelplaat, dit levert een extra bescherming op.

Verskil door variëren luchtdichtheid

Het is opnieuw duidelijk dat een betere luchtdichtheid beter scoort op vlak van waterdichting.

2.2.3 RAAM IN VLAK

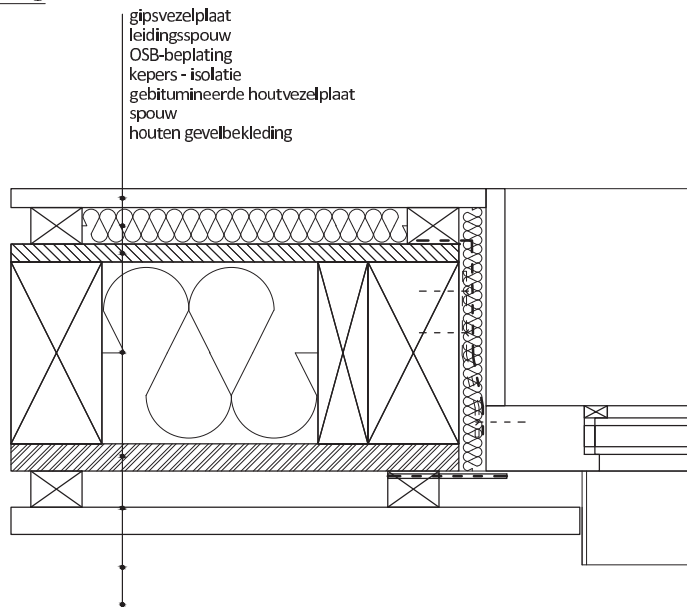
2.2.3.1. REGENDICHTINGSFOLIE IN OVERLAP

Opstelling

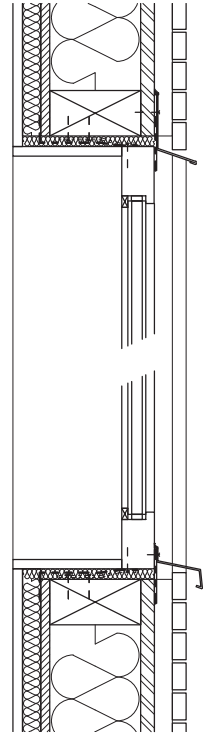
In deze reeks testen wordt het raam in het vlak van de gebitumineerde houtvezelplaat geplaatst. Deze positie van het raam zou in theorie het best scoren op vlak van waterdichtheid. De volgende reeks testen gaat deze veronderstelling na.

Detaillering

Plan 1/5

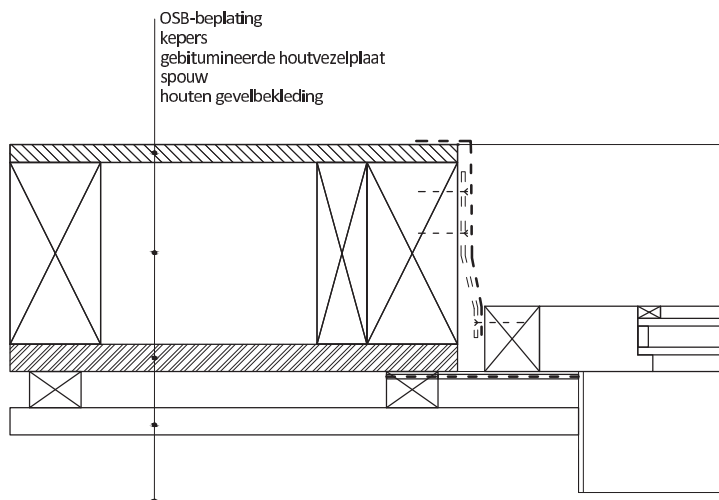


Snede 1/10

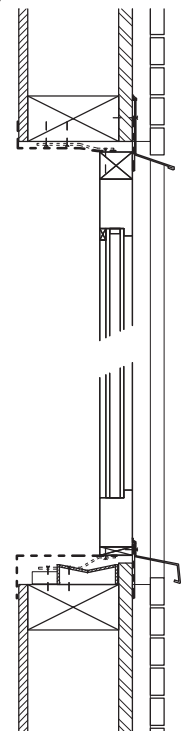


Testopstelling

Plan 1/5



Snede 1/10



2. Variaties

De test wordt tweemaal uitgevoerd, hierbij wordt telkens getest zonder luchtdichting. Het verschil tussen de aansluitingen zit in de wijze waarop de regenfolie op het raamkader wordt bevestigd. In eerdere testen is gebleken dat de verkleving van de folie op het raamkozijn met behulp van de zelfklevende strook niet volstond. Aangezien bij deze opstelling de aansluiting op het raam een gelijke regenbelasting krijgt over beide aansluitingszijden, wordt nagegaan in deze volgende reeks testen of het raam beter presteert op de waterdichtheidstesten wanneer de folie bijkomend verkleefd is op het raamkozijn met behulp van kozijnfolielijm.

De aansluiting links en rechts werden op dezelfde wijze uitgevoerd.

3. Meetresultaten

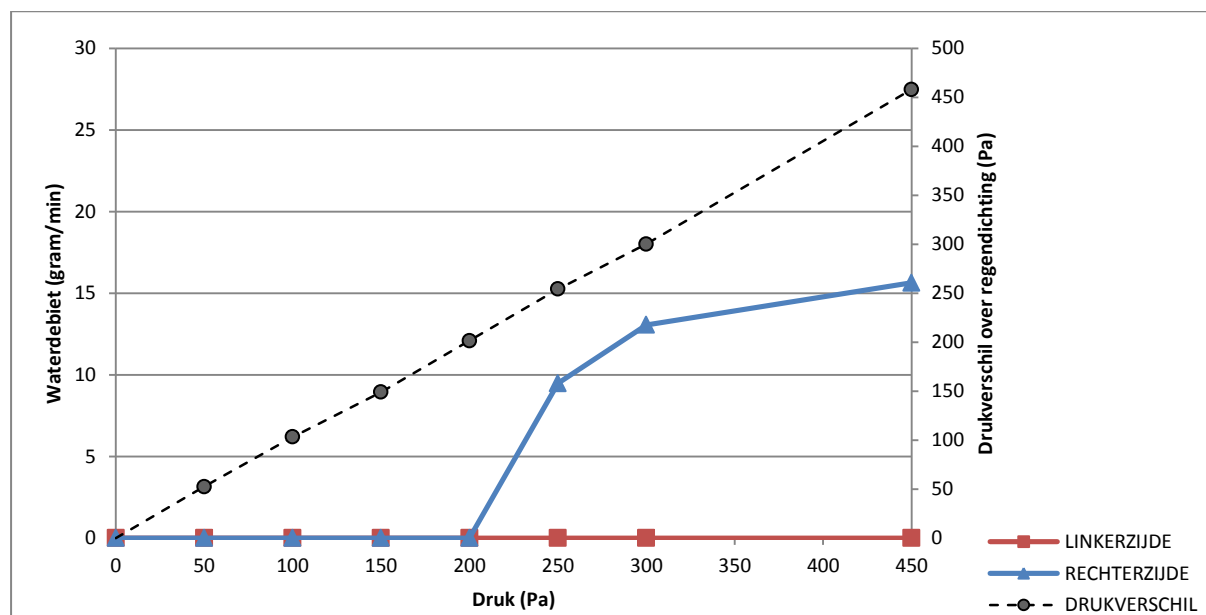
1. Folie in overlap – geen luchtdichting

1.1. Luchtdichtheidsmeting

Netto-debiet bij 50 Pa	Overdruk		Onderdruk		Gemiddeld		Luchtdichtheids-klasse
Beschrijving	V ₅₀ (m³/h.m)	s	V ₅₀ (m³/h.m)	s	V ₅₀ (m³/h.m)	s	
zwelband	6,18	6,98	9,29	0,15	7,73	6,98	Slecht

Tabel 62: Luchtdebiet folie overlap geen luchtdichting

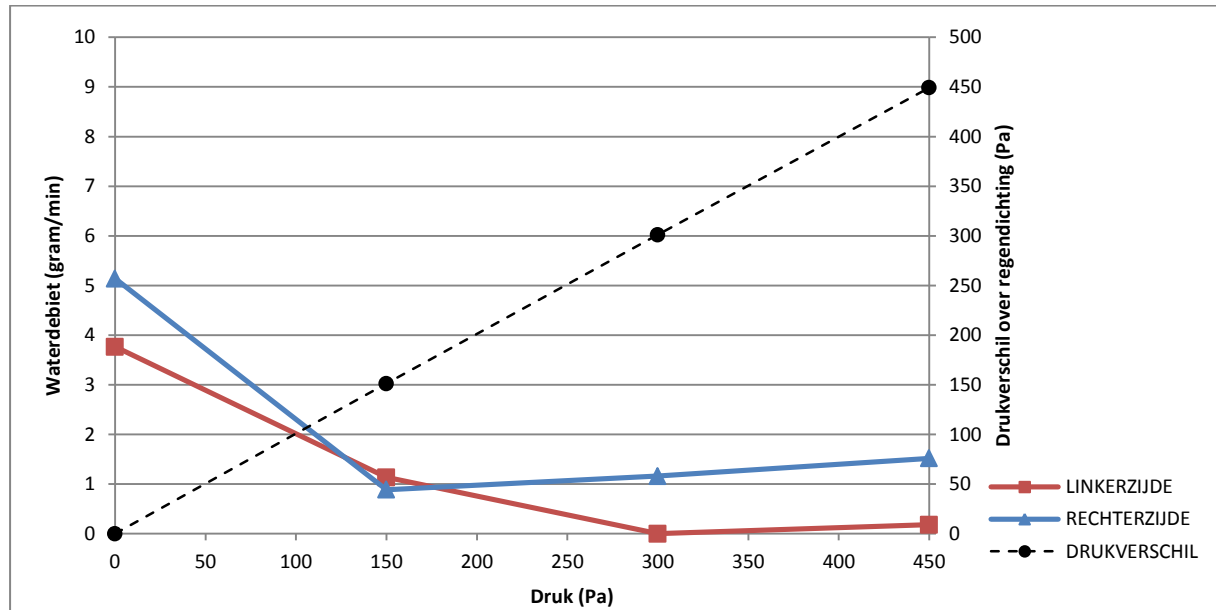
1.2. Statische test



Grafiek 95: Statische test folie overlap slechte luchtdichtheid

Bij de statische test komt er aan de linkerzijde geen water binnen aan de rechterzijde infiltreert er water bij 250 Pa. Het infiltratiedebiet stijgt naarmate de druk, en bijgevolg het drukverschil over de regendichting toeneemt. Hoewel beide aansluitingen op dezelfde wijze geïnstalleerd worden is er een verschil in de prestaties op vlak van regendichting. De oorzaak van dit verschil zal moeten blijken door de gevel te verwijderen. Om de opstelling niet te beïnvloeden wordt ervoor geopteerd eerst een dynamische test uit te voeren en na de dynamische test op zoek te gaan naar het verschil tussen de linkerzijde en rechterzijde.

1.3. Dynamische test

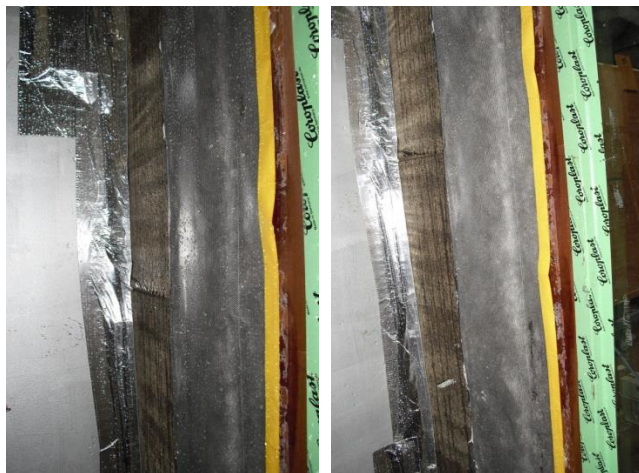


Grafiek 96: Statische test folie overlap slechte luchtdichtheid

Bij de dynamische test is er een bijzonder verloop van het waterdebiet merkbaar. Bij 0 Pa komt het meeste water binnen. Dit is zowel aan de linker als de rechterzijde merkbaar. De hoge debieten bij 0 Pa kunnen verschillende oorzaken hebben. In de statische test kan er een lek ontstaan zijn waarlangs water onder invloed van de hydrostatische druk infiltreert. Dit is een mogelijke verklaring voor de hoge debieten aan de rechterzijde, aan de linkerzijde lijkt dit niet mogelijk, aangezien er geen water binnenkwam gedurende de test. Een andere mogelijke verklaring is dat het stromingspatroon van het run-off water verandert tijdens het testverloop, hierdoor worden openingen minder belast en komt er minder water binnen. Op de vraag hoe en wanneer het lek aan de linkerkant ontstaan is, is het moeilijk een antwoord te geven.

1.3. Onderzoek verschil links – rechts

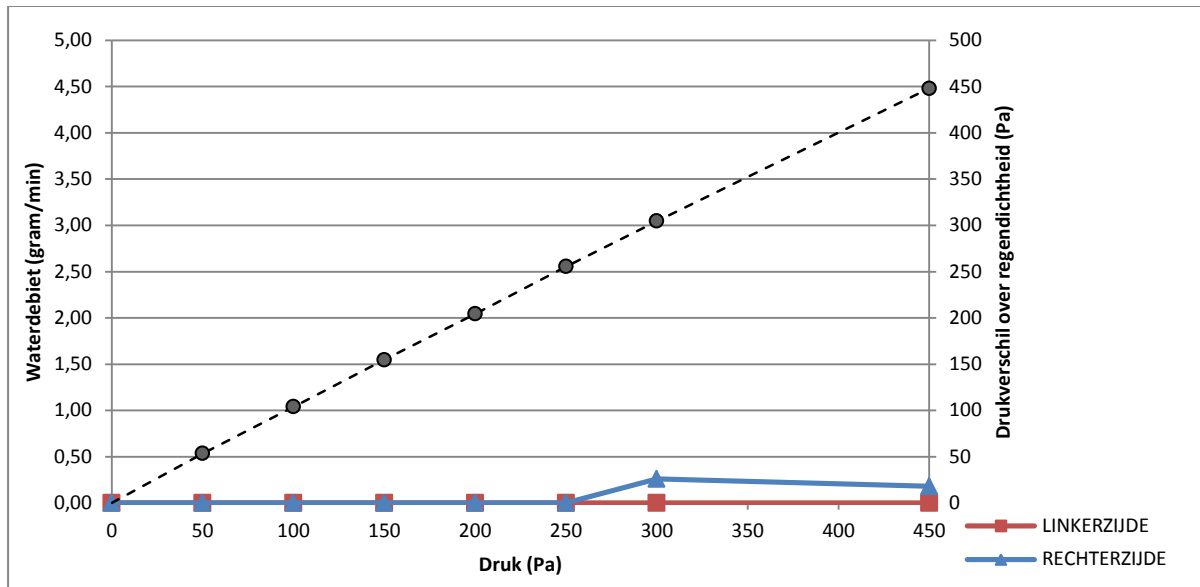
Om het verschil tussen de prestaties van de linker en rechteraansluiting te kunnen verklaren werd de gevel verwijderd. Al snel werd duidelijk dat de hechting van de folie op het raamkozijn aan de linkerzijde onvoldoende was. Hierdoor ontstaan er grote gaten in de aansluiting: raamfolie – raamkader.



Afbeelding 146: verkleving folie op raamkader

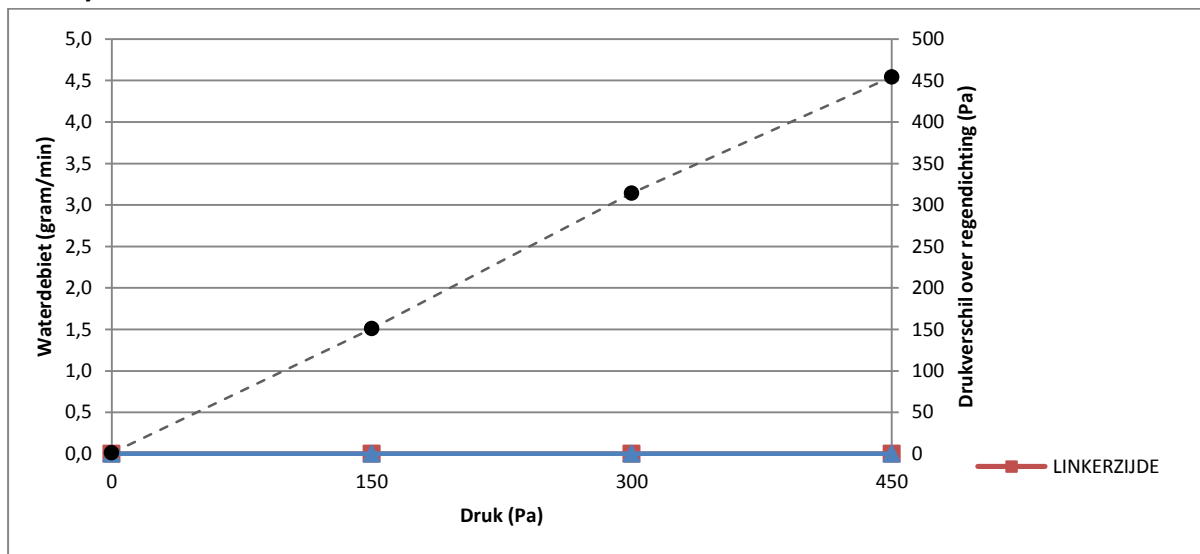
2. Folie in overlap – geen luchtdichting – extra verkleving regenfolie

2.2. Statistische test



Grafiek 97: statische test folie in overlap geen luchtdichting

2.3. Dynamische test



Grafiek 98: dynamische test folie in overlap geen luchtdichting

4. Overzicht testverloop - vergelijking

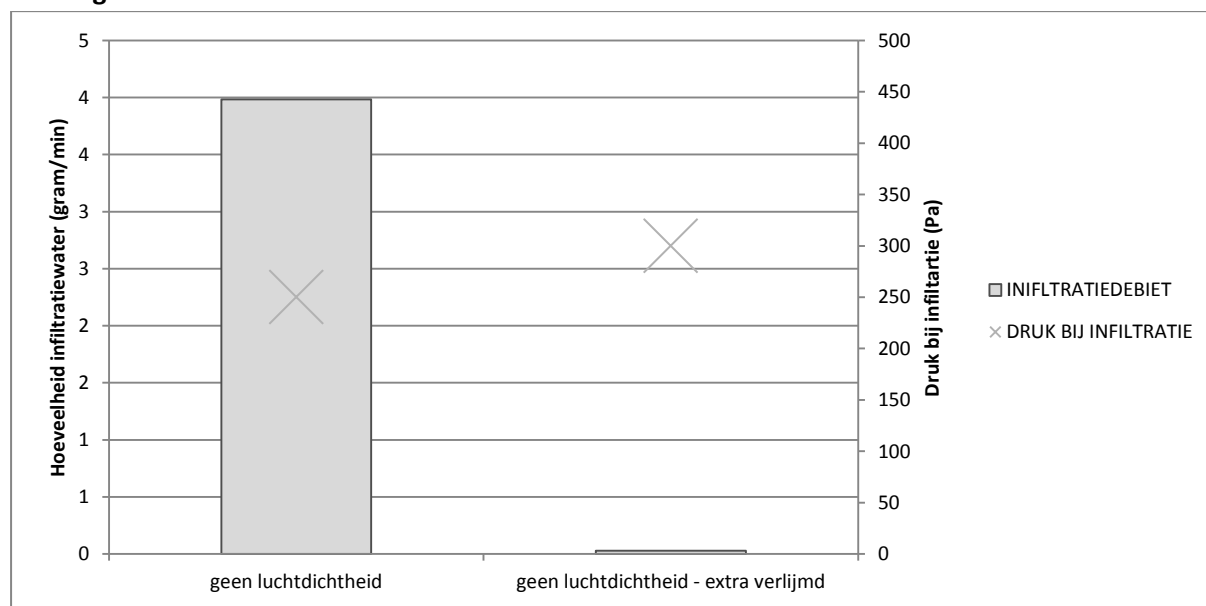
In de algemene vergelijking wordt ervoor geopteerd de rechteraansluitingen te vergelijken. Dit doordat er uit de inspectie van de aansluiting na de eerste test gebleken is dat er aan de rechterzijde een slechte verkleving van de raamfolie op het raamkader was. Hierdoor kan een inschatting van de verbetering van de prestaties gemaakt worden indien er een tweezijdige verkleving toegepast wordt. Er dient opgemerkt te worden dat er aan de linkerzijde geen waterinfiltratie opgemerkt is bij de statische test zonder extra verkleving.

1. Statisch

DATUM	OMSCHRIJVING	INIFLTRATIEDEBIET	DRUK BIJ INFILTRATIE
	LUCHTDICHTHEID	(gram/min)	(Pa)
2/mei	geen luchtdichtheid	3,98	250,00
3/mei	geen luchtdichtheid - extra verlijmd	0,03	300,00

Tabel 63: overzicht statische test folie raam in vlak

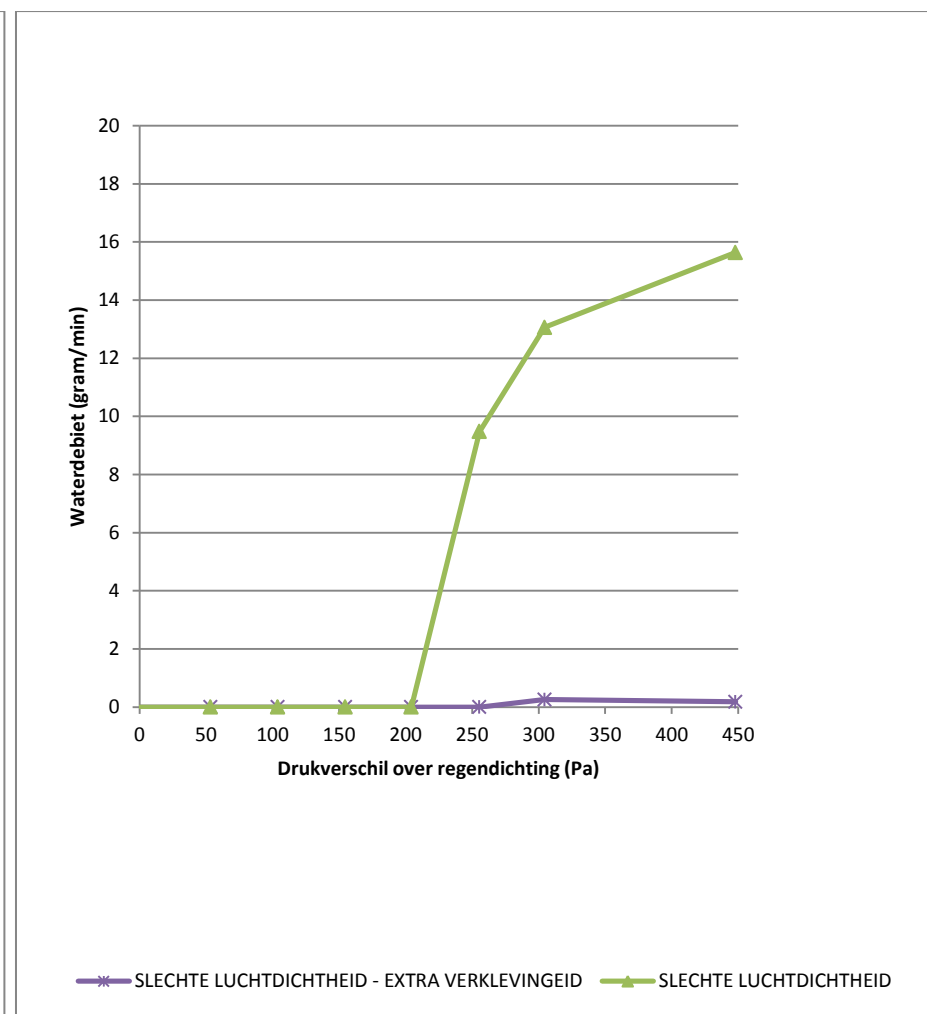
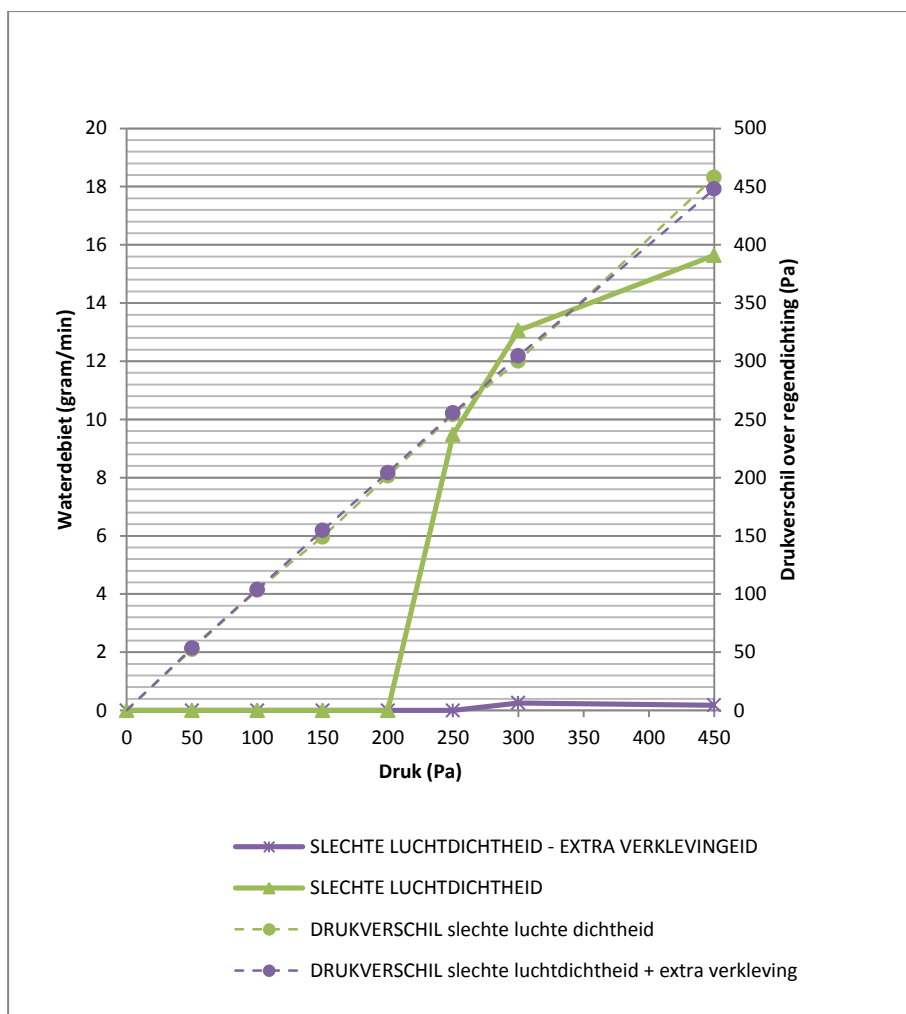
1.1. Algemeen



Grafiek 99: totale hoeveelheid water statische test folie in vlak raam

1.2. Waterdebiet in functie van druk

Er is duidelijk een verlaging van het infiltratiedebiet door het tweezijdig verkleven van de regenfolie. De debieten liggen veel lager bij de extra verkleefde regenfolie en de druk bij infiltratie ligt hoger. Er dient opgemerkt te worden dat de bijkomende verkleving niks verandert aan het drukverschil over de regendichting. De verbeterde prestaties zijn dus enkel het gevolg van het uitsluiten/ beperken van openingen in de aansluiting raamkader – regenfolie.



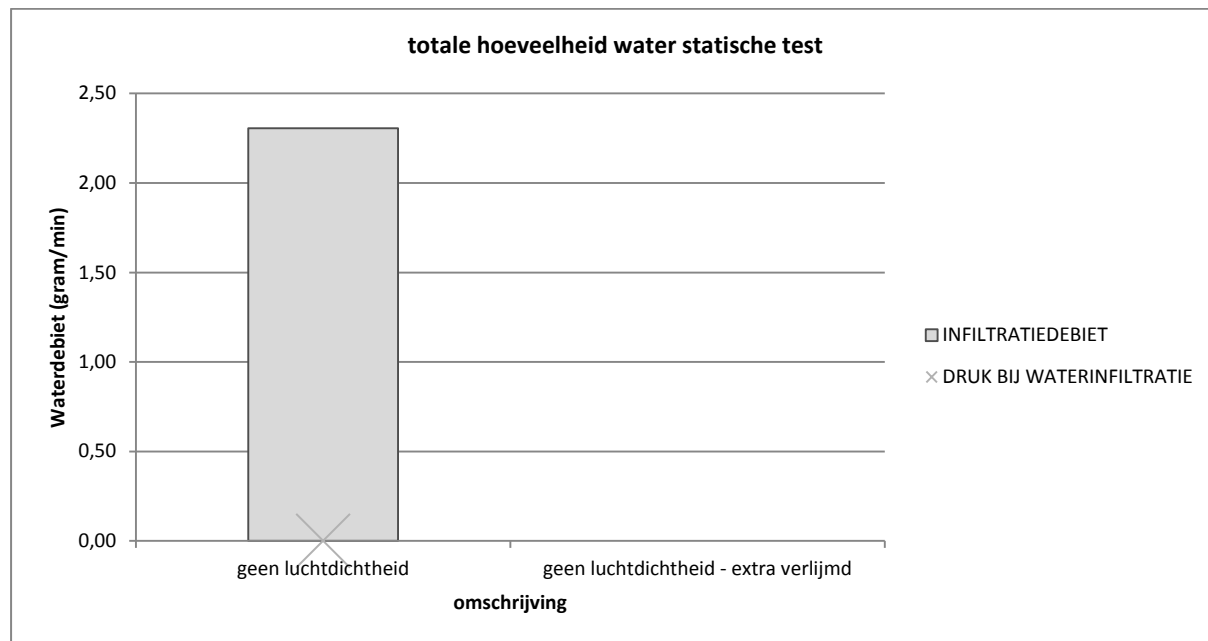
Grafiek 100 en 101: overzicht statische test folie raam in vlak

2. Dynamisch

2.1. Algemeen

DATUM	OMSCHRIJVING	INFILTRATIEDEBIET	DRUK BIJ WATERINFILTRATIE
	LUCHTDICHTHEID	(gram/min)	(Pa)
2/mei	geen luchtdichtheid	2,31	0,00
3/mei	geen luchtdichtheid - extra verlijmd	0,00	/

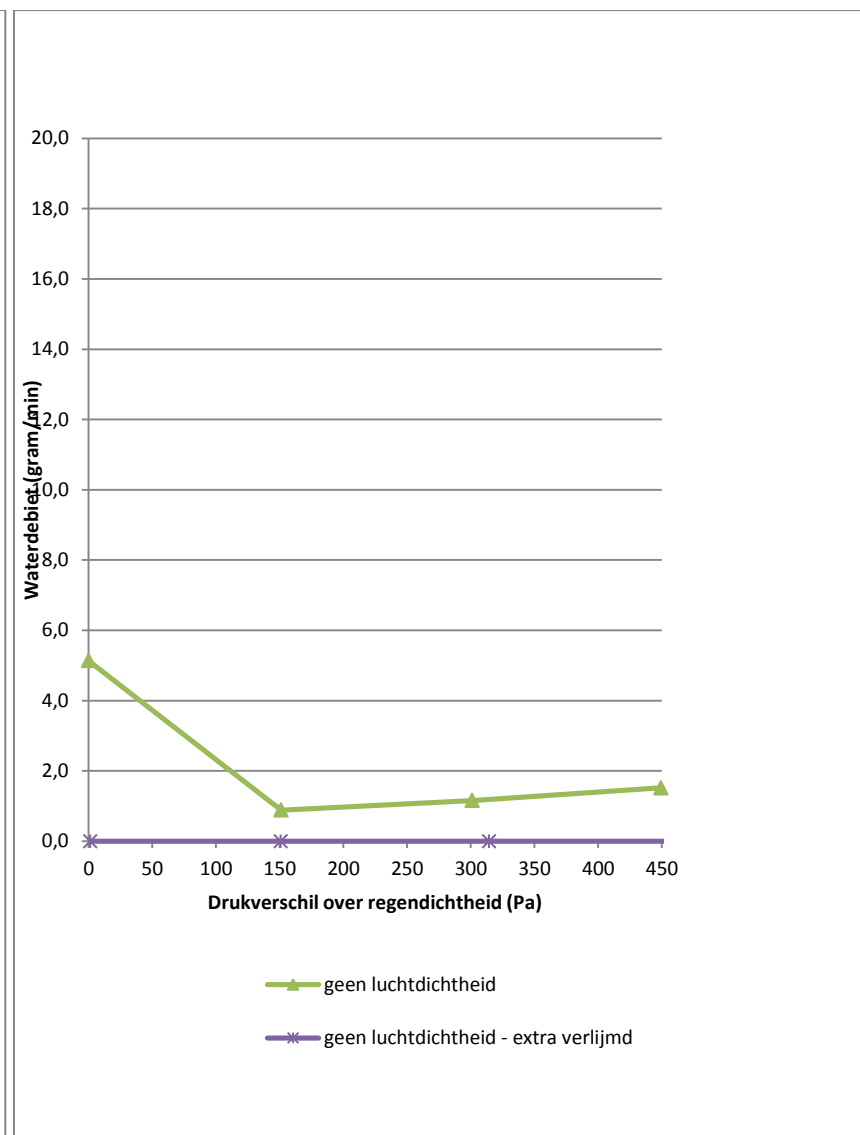
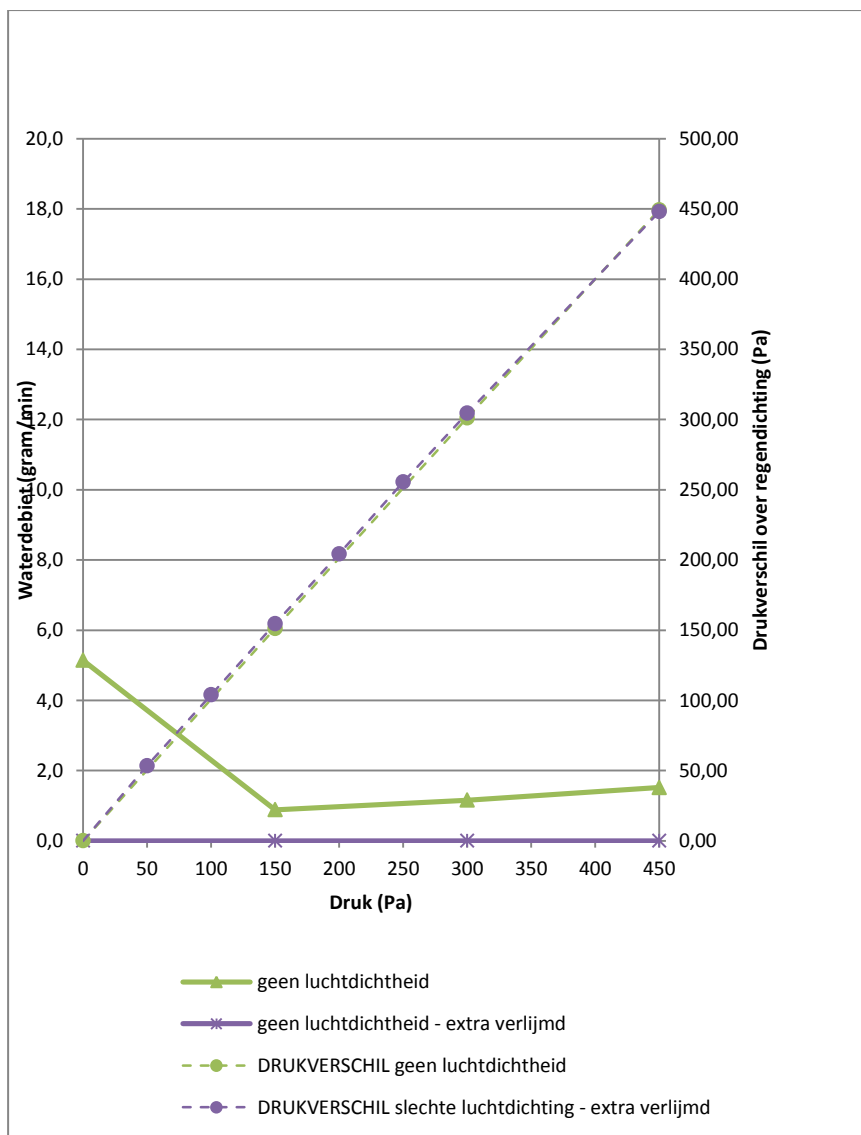
Tabel 64: overzicht dynamische test folie raam in vlak



Grafiek 102: overzicht dynamische test folie raam in vlak

2.2. Waterdebiet in functie van druk

Bij de dynamische test is de tweezijdige verkleaving opnieuw de beste oplossing. Er dient opgemerkt te worden dat de exacte oorzaak van het hoge waterdebiet bij 0 Pa bij de test zonder extra verkleaving niet achterhaald kon worden.



Grafiek 103 en 104: overzicht dynamische test folie raam in vlak

5. Conclusie

DATUM	OMSCHRIJVING	INIFLTRATIEDEBIET		DRUK BIJ INFILTRATIE	
	LUCHTDICHTHEID	STATISCH (gram/min)	DYNAMISCH (gram/min)	STATISCH (Pa)	DYNAMISCH (Pa)
2/mei	geen luchtdichtheid	3,98	2,31	250,00	0,00
3/mei	geen luchtdichtheid - extra verlijmd	0,03	0,00	300,00	/

Tabel 65: overzicht folie raam in vlak

Algemeen

Uit de resultaten van de testen blijkt dat de tweezijdig verkleefde regenfolie beter presteert op vlak van regendichting dan de enkelzijdig verkleefde folie. Er dient wel opgemerkt te worden dat dit niet in alle gevallen een verbetering van de prestaties oplevert, dit is afhankelijk van het faalmechanisme dat optreedt. Wanneer de zelfklevende strook voldoende hecht is de bijkomende verkleving overbodig.

De verhoogde waterdichtheid van de aansluiting is enkel te wijten aan het verhinderen van het ontstaan van openingen in de aansluiting tussen het raamkader en de regenfolie. De bijkomende verkleving brengt geen verandering teweeg in het drukverschil dat over de waterdichting heerst. Wanneer er zich een lek voordoet op een andere plaats dan de aansluiting tussen regenfolie en raamkader zal de extra verkleving geen verbetering opleveren ten opzicht van aansluiting zonder extra verkleving.

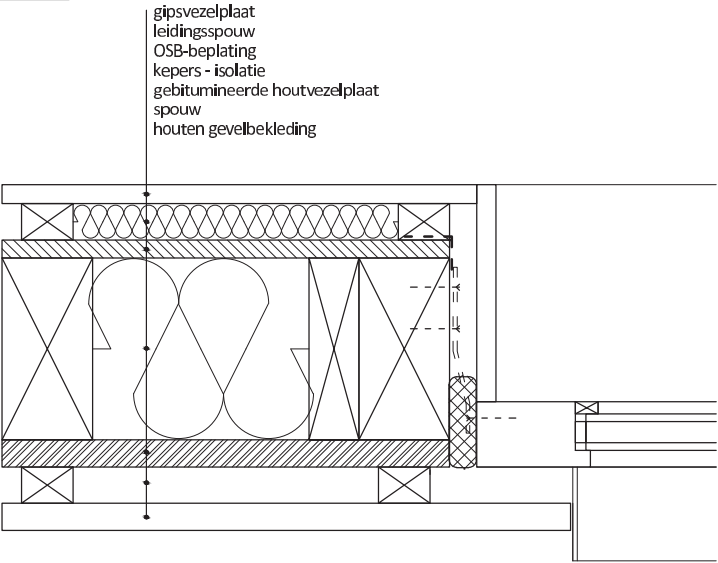
Vershil statische –dynamische test

Uit de resultaten blijkt niet meteen dat één van de testmethodes strenger is. Aan de hand van de debieten zou de statische testmethode een strengere methode zijn, maar de infiltratiedebieten liggen zo laag, dat de fout op de debieten vrij groot wordt hierdoor kunnen we geen uitspraken doen over het verschil van de debieten. Wanneer enkel de druk bij infiltratie bekeken wordt blijkt de dynamische test strenger voor de aansluiting zonder verkleving, maar de bij aansluiting met verkleving blijkt de statische testprocedure kritischer. Kortom beide testmethodes blijken noodzakelijk.

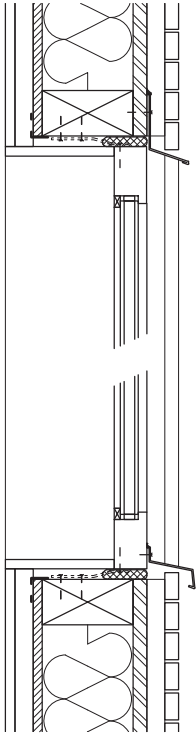
2.2.3.2 PUR

Detaillering

Plan 1/5

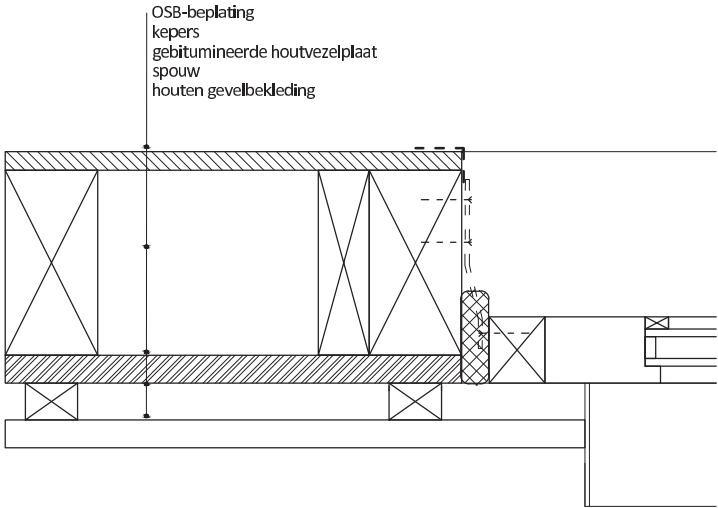


Snede 1/10

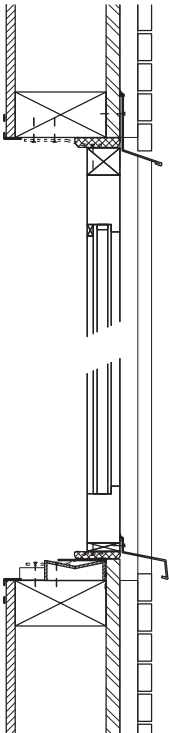


Testopstelling

Plan 1/5



Snede 1/10



1. Opstelling

In een volgende reeks, wordt een aansluiting getest waarbij enkel PUR-schuim als water-barrière ingezet wordt. Het schuim wordt toegepast over een beperkte diepte van 6 cm. Hierbij wordt bijzondere aandacht besteed aan het volledig opvullen van de voeg tot achter de raamankers. De stelblokjes onderaan waarop het raam wordt bevestigd blijven aanwezig.

De regendichting fungeert tevens als luchtdichting. De verbinding met het luchtscherp van de wand wordt gemaakt door een tape te voorzien om de aansluiting te maken tussen de OSB-beplating en de keper.

Het raam wordt eerst geïnstalleerd met raamankers, hierna wordt het PUR-schuim vanuit de binnenzijde in de voeg gespoten met behulp van een spuitpistool. Vanuit de buitenzijde wordt vervolgens een controle toegepast, en waar nodig schuim bijgespoten. Na 24 uur droogtijd wordt de PUR afgesneden mee met het vlak van de gebitumineerde houtvezelplaat.

2. Variaties

De opstelling werd in eerste instantie getest met de bedoeling een kwantificatie te maken van de hoeveelheid infiltratiewater. Hiervoor werd boven het gootje een extra lat voorzien die verhindert dat het gootje gevuld werd met PUR- schuim. Deze lat bleek echter een grote invloed te hebben op de waterdichtheid van de opstelling. Bij deze opstelling werd ook een variatie gemaakt in de locatie van de raamankers. Zo werden deze aan de ene zijde correct geplaatst, terwijl deze aan de andere zijde dieper, tegen de regen barrière, voorzien werden. In een tweede opstelling wordt de waterdichtheid nagegaan wanneer de PUR correct geplaatst wordt.

Aanpassingen aan de proefmethode.

Een eerste proef wordt uitgevoerd volgens de gaande proefmethode tot 450Pa. In een volgende opstelling wordt ervoor gekozen om de proef niet kwantitatief, maar visueel uit te voeren. Dit om beter aan te sluiten bij de opstelling zoals deze toegepast wordt in de praktijk. Bij de visuele proeven wordt opnieuw tot 600 Pa getest, dit omdat er slechts kleine hoeveelheden infiltratiewater verwacht werden.

4. Meetresultaten

1. Raamankers- PUR – Uitvoering met flexibele omlijsting

Bij deze opstelling wordt een variatie gemaakt in de locatie van de raamankers. De raamankers aan de rechterzijde worden dieper, tegen de regen barrière, geplaatst, zie afbeelding 147.



Afbeelding 147: plaatsing raamankers aan de rechterzijde

1.1. Luchtdichtheid

In deze proef wordt het PUR-schuim zowel ingezet als regen- als luchtscherm. Er is echter een groot verschil ten opzichte van de opstelling die uitgevoerd wordt en wat verwacht wordt de praktijk. Door het maken van een abstractie met de toepassing van het PUR-schuim tussen het raamkader en een fijne lat ontstond een slechtere hechting, vooral aan de linkerzijde is dit duidelijk waarneembaar. Dit komt ook tot uiting in de luchtdichtheidsresultaten, er is een slechtere luchtdichtheid dan te verwachten voor een PUR-schuim – zie onderdeel luchtdichtheid-. De proefopstelling valt onder een matige luchtdichtheidsklasse.



Afbeelding 148: luchtverliezen in linker onderhoek

Netto-debiet bij 50 Pa	Overdruk		Onderdruk		Gemiddeld		Luchtdichtheids- klasse
Beschrijving	V ₅₀ (m³/h.m)	s	V ₅₀ (m³/h.m)	s	V ₅₀ (m³/h.m)	s	
zweiband	0,61	0,04	0,66	0,05	0,63	0,06	Matig

Tabel 66: Luchtdebit PUR flexibele latmatige luchtdichtheidsklasse

1.2. Statische test

Tijdens de statische proef is er waterinfiltratie merkbaar aan de linkerzijde na 3 minuten, dit is bij een drukverschil van 50 Pa. Het pad waarlangs het water infiltreert is tevens het pad waarbij het luchtdebiet bij de luchtdichtheidstest het grootst was. Op het eerste zicht zou het infiltratiewater te wijten kunnen zijn aan waterdruppels die door kinetische energie meegenomen worden met de luchtstroom. Vooraleer dit kan optreden dienen de openingen in het PUR-schuim voldoende groot te zijn. Dit was in deze opstelling niet het geval. Hierdoor wordt verondersteld dat de waterinfiltratie voornamelijk plaatsvindt door het optreden van een drukverschil over het schuim. Hierdoor kan water langs plaatsen waar het PUR slecht hecht op de extra houten lat naar binnen gestuwd worden.



Afbeelding 149: waterinfiltratie langsheen voeg tussen PUR en raamkader

Vanaf een drukverschil van 150 Pa is er een bijkomende plek van waterinfiltratie, namelijk ter hoogte van het raamanker rechts boven. Dit infiltratiewater kan verklaard worden vanuit de positie van het raamanker. Dit is immers geplaatst tot tegen de buitenzijde van het PUR-schuim. Dit was het meest uitgesproken bij het raamanker bovenaan. Vanaf 250 Pa is er ook ter hoogte van het raamanker rechts in het midden infiltratie merkbaar.



Afbeelding 150: raamanker steekt uit voorbij PUR in regenscherm, waterinfiltratie aan binnenzijde

Vanaf 450 Pa is er een bijkomend lek onderaan rechts, tussen het raamkader en het PUR-schuim is er infiltratiewater. De proef is slechts uitgevoerd tot 450 Pa.

1.3. Dynamische test

Voor het dynamisch drukverloop is er opnieuw waterinfiltratie bij een drukverhoging, nu bij de eerste drukstap met pulsen van 150 Pa. Deze infiltratie doet zich opnieuw voor ter plekke van de hoek links. Bij het verder verloop van de test zijn geen bijkomende infiltratiepaden te zien, ook ter hoogte van de raamankers doet zich voor de dynamische test geen waterinfiltratie voor. De proef werd slechts tot 450 Pa uitgevoerd.

RAAMANKERS- PUR – CORRECTE UITVOERING

Uit een vorige proef die de hoeveelheid infiltratiewater bij het toepassen van PUR-schuim kwantificeerde is gebleken dat er slechts weinig water infiltreert indien correct uitgevoerd, hierdoor is beslist de kwantificatie achterwege te laten. Deze opstelling gaat de waterdichtheid na indien de PUR correct is uitgevoerd. De opstelling is dezelfde als besproken voor het onderdeel luchtdichtheid bij PUR-schuim voor raamankers.

2.1. Luchtdichtheid

In deze proef wordt het PUR-schuim zowel ingezet als regen- als luchtscherm. Deze waarden werden reeds uitvoerig besproken in het onderdeel luchtdichtheid.

Netto-debiet bij 50 Pa	Overdruk		Onderdruk		Gemiddeld		Luchtdichtheids- klasse
Beschrijving	V ₅₀ (m ³ /h.m)	s	V ₅₀ (m ³ /h.m)	s	V ₅₀ (m ³ /h.m)	s	
PUR	0,08	0,02	0,08	0,05	0,08	0,05	Goed

Tabel 67: Luchtdebiet PUR, goede luchtdichtheidsklasse

2.2 Statische test



Afbeelding 151: waterinfiltratie stelblokje rechts onder

Bij de statische proef infiltreert er water vanaf een druk van 150 Pa, dit via het stelblokje aan de rechterzijde onderaan. Rechts van dit blokje ontstaat er al snel een plas water. Doorheen de volledige duur van de test blijft dit infiltratiepunt aanwezig. De lekkage langs het blokje rechts kan te wijten zijn aan het feit dat het schuim hier in twee fasen gespoten werd. Ter plekke van dit blokje is er eerst van binnenuit gespoten, eerst rechts van het blokje, dan links van het blokje. De ruimte achter het blokje is pas in een volgende fase vanuit de buitenzijde gespoten. Bij het blokje aan de linkerzijde is er echter meteen ook achter het blokje gespoten, in 1 beweging. Wanneer de druk opgevoerd wordt naar 600 Pa, wordt een tweede infiltratiepad zichtbaar, na 4 minuten infiltreert er water in de aansluiting tussen het raamkader en het PUR-schuim. Dit kan te wijten zijn aan een minder goede hechting van het PUR-schuim op die plaats.



Afbeelding 152: waterinfiltratie voeg onderaan, tussen PUR-schuim en raamkader

2.3. Dynamische test

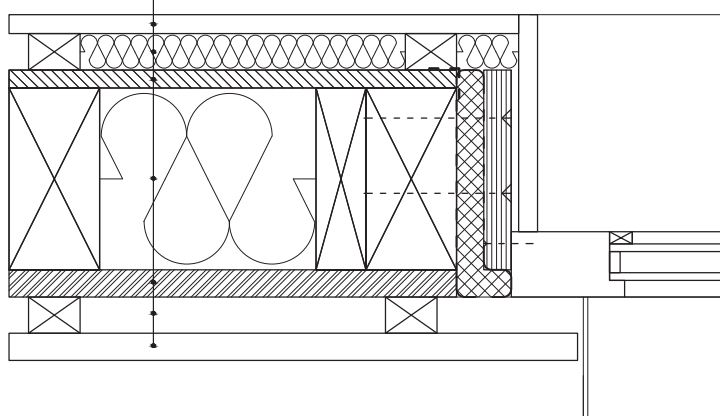
Bij de dynamische proef is pas waterinfiltratie merkbaar aan het stelblokje van de rechterzijde bij drukpulsen van 300 Pa. Vanuit een eerste inschatting is deze infiltratie echter veel kleiner dan opgemerkt bij de statische test. Bij 450 Pa is opnieuw infiltratiewater op te merken in de aansluiting tussen het raamkader en de PUR. Deze hoeveelheid vermeerdert echter niet merkbaar, na een poosje krijgen we de indruk dat de hoeveelheid verminderd is. De infiltratie zou te wijten kunnen zijn aan water dat nog in de voeg tussen het raamkader en de PUR aanwezig was en door de drukpulsen opnieuw 'in beweging' komt.

2.2.3.2 PUR - multipex

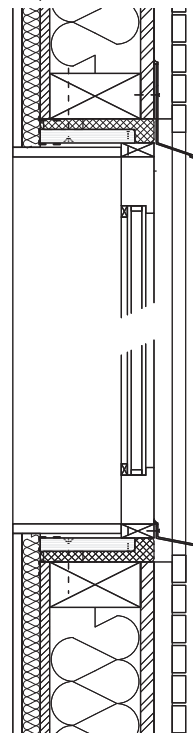
Detaillering

Plan 1/5

gipsvezelplaat
leidingsspouw
OSB-beplating
kepers - isolatie
gebitumineerde houtvezelplaat
spouw
houten gevelbekleding



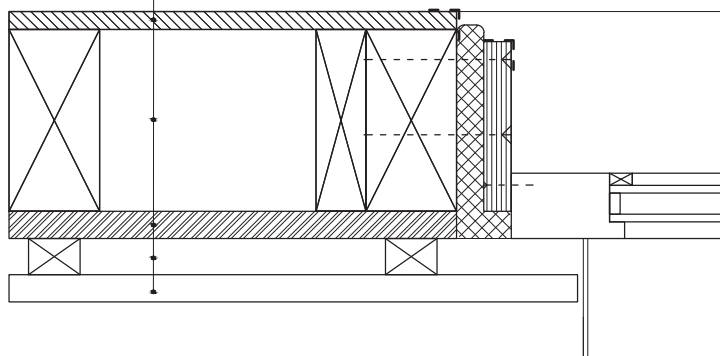
Snede 1/10



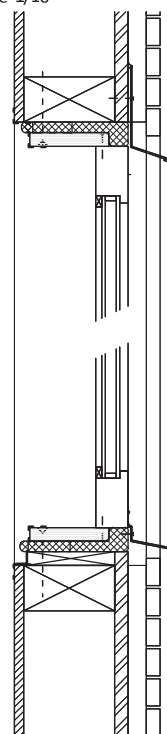
Testopstelling

Plan 1/5

OSB-beplating
kepers
gebitumineerde houtvezelplaat
spouw
houten gevelbekleding



Snede 1/10

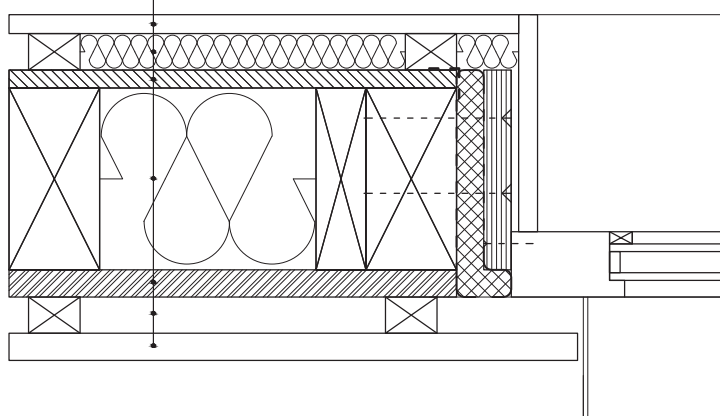


2.2.3.2 PUR - multipex

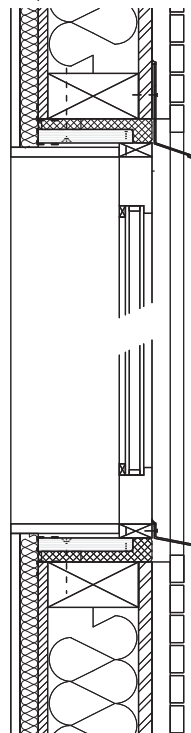
Detaillering

Plan 1/5

gipsvezelplaat
leidingsspouw
OSB-beplating
kepers - isolatie
gebitumineerde houtvezelplaat
spouw
houten gevelbekleding



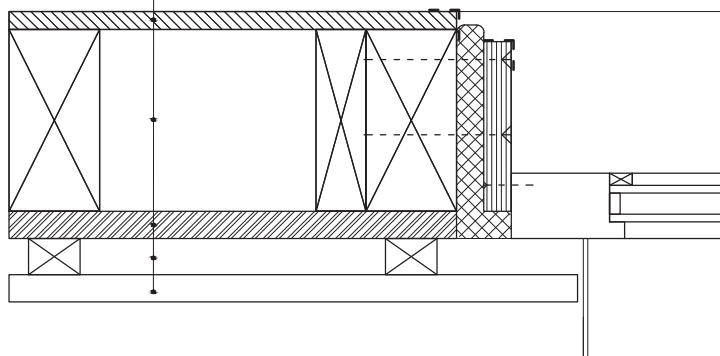
Snede 1/10



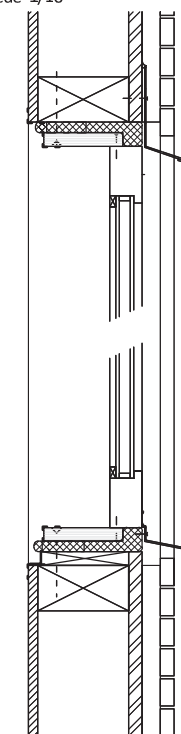
Testopstelling

Plan 1/5

OSB-beplating
kepers
gebitumineerde houtvezelplaat
spouw
houten gevelbekleding



Snede 1/10



1. Opstelling

In een volgende reeks, wordt een aansluiting getest waarbij PUR-schuim als water-barrière ingezet wordt. Het schuim wordt toegepast over de volledige breedte van het multiplexkader. Hierbij wordt bijzondere aandacht besteed aan het volledig opvullen van de voeg tot achter de stelblokjes.

Deze regendichting wordt tevens toegepast als luchtdichting. De verbinding met het luchtscherp wordt gemaakt door een extra tape te voorzien tussen de OSB-beplating en de keper. Verder is een bijkomende tape voorzien aan de kopse zijde van het multiplexkader, aangezien daar grote lekken merkbaar waren bij de luchtdichtheidstest.

Het raam wordt eerst geïnstalleerd met het multiplexkader, hierna wordt het PUR-schuim vanuit de binnenzijde in de voeg gespoten met behulp van een spuitpistool. Vanuit de buitenzijde wordt vervolgens een controle toegepast, en waar nodig schuim bijgespoten. Na 24 uur droogtijd wordt de PUR afgesneden mee met het vlak van de gebitumineerde houtvezelplaat. Deze toepassing is gelijklopend aan deze met raamankers.

2. Variaties

Bij deze opstelling werden de uitvoering links en rechts anders geconcipeerd. De PUR wordt toegepast over verschillende dieptes links en rechts, respectievelijk 13,5 en 12 cm.

3. Aanpassingen aan de proefmethode.

Uit een vorige proef met raamankers is gebleken dat er slechts zeer weinig water infiltreert indien de PUR in een correct uitgevoerde voeg wordt geplaatst, hierdoor is beslist om de kwantificatie achterwege te laten. Deze opstelling is dezelfde als besproken voor het onderdeel luchtdichtheid bij PUR-schuim voor raamankers.

4. Meetresultaten

1.1. Luchtdichtheid

In deze proef wordt het PUR-schuim zowel ingezet als regen- als luchtscherp. Deze waarden werden reeds uitvoerig besproken in het onderdeel luchtdichtheid.

Netto-debiet bij 50 Pa	Overdruk		Onderdruk		Gemiddeld		Luchtdichtheids-klasse
Beschrijving	V ₅₀ (m ³ /h .m)	s	V ₅₀ (m ³ /h.m)	s	V ₅₀ (m ³ /h.m)	s	
PUR met tape op kopse zijde multiplexkader en ter verbinding OSB-keper	0,13	0,02	0,18	0,09	0,15	0,09	Goed

Tabel 68: luchtdebiet PUR met tape kopse zijde multiplexkader + tape

1.2 Statische test

Bij de statische proef infiltreert er opnieuw water ter hoogte van de stelblokjes, dit aan de onderzijde rechts vanaf 100 Pa. Het gaat echter om een kleine hoeveelheid die op het eerste zicht vermeerdert. Verder is er ook infiltratie in de aansluiting van het raamkozijn met het multiplexkader, dit infiltratiewater vermeerdert duidelijk naarmate de druk stijgt. Opmerkelijk, want er zit 4 cm PUR-schuim voor deze aansluiting. Het betreft waarschijnlijk water die langsheen het raam langs het PUR-schuim loopt. Bij 450 Pa is er wat meer water op het blokje rechts, maar de hoeveelheid is nog steeds zeer klein. Bij 600 Pa is er een nieuw infiltratiepunt ter hoogte van het midden aan de linkerzijde zichtbaar. Hier infiltreert het water op het eerste zicht 'doorheen' de PUR. Op het PUR-schuim komen er systematisch 'druppels' tevoorschijn, steeds op dezelfde plaatsen. Deze lopen naar beneden langsheen het PUR-schuim. We stellen vast dat er ter hoogte van de plaats van water infiltratie grote poriën in het schuim zichtbaar zijn.

Verder is er ter plekke van de infiltratie een slechte hechting van het schuim aan het raamkader, zie afbeeldingen 153 en 154.



Afbeelding 153 en 154: Blokje onderaan rechts en doorheen multiplexkaderbevestiging + achterliggende oorzaak.

1.3 Dynamische test

Bij het toepassen van drukpulsen met een drukverschil van 150 Pa is net zoals bij de statische proef infiltratie merkbaar ter plaatse van het stelblokje onderaan rechts, de hoeveelheid vermeerdert sneller dan bij het statische drukverloop. Bij 300 Pa zijn er opnieuw druppels op te merken bij de PUR

aan de linkerzijde. Hierbij wordt vastgesteld dat de PUR aan de linkerzijde 'gevuld' is met water tot aan de binnenzijde. De veronderstelling is dan ook dat de pulsen van 300 Pa een druk geven op de PUR, die ervoor zorgt dat het water uit de PUR geperst wordt. De hoeveelheden infiltratiewater zijn kleiner dan deze voor de statische proef. Bovendien kan niet nagegaan worden of het gaat om nieuw infiltrerend water, of om water die nog in de poriën zat van bij de statische proef. Bij 450 Pa treedt waarschijnlijk een nieuw lek op schijnbaar 'doorheen' het PUR-schuim aan de kant van het raam, dit ook aan de linkerzijde, maar iets lager gelegen.

5. Conclusie

De algemene indruk is dat PUR zeer weinig water toelaat tot aan de binnenzijde van de aansluiting. Een gevoelig punt bij de uitvoering blijkt een onvoldoende hechting van het PUR-schuim. Zo is waterinfiltratie merkbaar indien een 'beweegbare voeg' gebruikt wordt aan de onderzijde, ondanks er in de opstelling gebruikt maakt van 'flexibel' PUR –schuim.

Doorvoeringen zoals raamankers die tot tegen het in de buitenzijde van het schuim geplaatst worden blijken ook een rol te spelen in de waterdichtheid. Zo wordt waterinfiltratie opgemerkt wanneer de raamankers geplaatst worden tot tegen de buitenzijde van het schuim. Door deze op dergelijke wijze te plaatsen ontstaat een pad waarlangs waterinfiltratie mogelijk wordt. Een opmerking die verder nog gemaakt kan worden is dat de locatie van luchtlekken hier minder invloed heeft dan verwacht. In de luchtdichtheidstest waren immers steeds de doorvoeringen zoals stelblokjes en raamankers een gevoelig punt. Bij de waterdichtheidstesten is er echter slechts waterinfiltratie wanneer deze doorvoeringen de hele voeg doorboren.

Verder is er ook een indicatie dat de porositeit een rol speelt in de waterdichtheid, al is het niet volledig duidelijk hoe de infiltratie dan geschiedt.

2.2.4 CONCLUSIE WATERDICHTHEID

1. Bespreking parameters

In de analyse van de resultaten proberen we een antwoord te formuleren op de 'onderzoeksvragen' die aan het begin van het experimenteel onderzoek gesteld werden. Aan de hand van deze vragen werden een aantal parameters opgesteld die in de loop der testen varieerden. De resultaten van de proeven worden op basis van deze parameters vergeleken.

De vergelijking op basis van de waterproef kan aan de hand van twee criteria gebeuren. Enerzijds is er het gemiddeld infiltratiedebiet en anderzijds is er de druk bij infiltratie. Wanneer een vergelijking op basis van infiltratiedebiet gemaakt wordt, moet dit met enige voorzichtigheid gebeuren. Er is immers vaak geen eenduidige oorzaak te vinden voor een verandering in infiltratiedebiet. Verder speelt ook het stromingspatroon van het run-off water een rol bij deze onzekerheid.

1.1. Installatiemethode

Drie verschillende regendichtingsoplossingen werden onderzocht: zwelband, regendichtingsfolie en PUR-schuim.

1.1.1. Vergelijking van de resultaten

Enkel voor de waterdichtheidsoplossing met regendichtingsfolie en zwelband konden de waterdebieten gekwantificeerd worden. De vergelijking op basis van infiltratiedebieten wordt bijgevolg enkel voor deze regendichtingsmethodes gemaakt. De vergelijking met PUR als regendichtingsmethode gebeurt op basis van de druk bij infiltratie. Onderstaande tabel biedt een overzicht van de verschillende resultaten.

DATUM	OMSCHRIJVING		INFILTRATIE-DEBIET		DRUK BIJ INFILTRATIE	
	REGENDICHTING	LUCHTDICHTHEID	STATISCH (gram/min)	DYNAMISCH (gram/min)	STATISCH (Pa)	DYNAMISCH (Pa)
15/apr	zwelband	goed*	0,2	0,0	0	600
17/apr	zwelband	matig*	12,7	9,1	0	0
15/mei	folie	goed**	0,0	0,6	/	450
16/mei	folie	matig	0,0	0,0	/	/
17/mei	PUR	goed			150	300

*Er werd getest tot 600 Pa, maar hier worden resultaten van 450 Pa gebruikt

** Bij de dynamisch test is de luchtdichtheidsfolie losgekomen bij pulsen tot 450 Pa, hierdoor is er water geïnfiltreerd.

Tabel 69: vergelijkende tabel voor zwelband, folie en PUR als regendichtingsoplossing

In de tabel worden enkel de resultaten van de testen met raamankers opgenomen. De regendichtingsfolie blijkt zowel op vlak van de druk bij infiltratie als het gemiddeld infiltratiedebiet het best te scoren. Hierbij moet opgemerkt worden dat de luchtdichtingsfolie, bij de dynamische test met regenfolie en goede luchtdichtheid, losgekomen is bij de pulsen tussen 0 en 450 Pa. Hierdoor is er waterinfiltratie opgetreden. Indien de luchtdichtingsfolie echter stand houdt wordt geen waterinfiltratie verwacht.

De resultaten van zwelband en PUR zijn moeilijker te interpreteren. Er wordt verondersteld dat de aansluiting met PUR beter scoort dan deze met zwelband indien de PUR correct is aangebracht.

Uit de reeks proeven met zwelband is immers gebleken dat de zwelband telkens anders krimpt en uitzet, hierdoor konden geen reproduceerbare tests uitgevoerd worden. Er wordt verwacht dat het telkens anders uitzetten en krimpen van de zwelband ook in de realiteit zal optreden waardoor dit geen betrouwbare regendichtingsmethode blijkt te zijn.

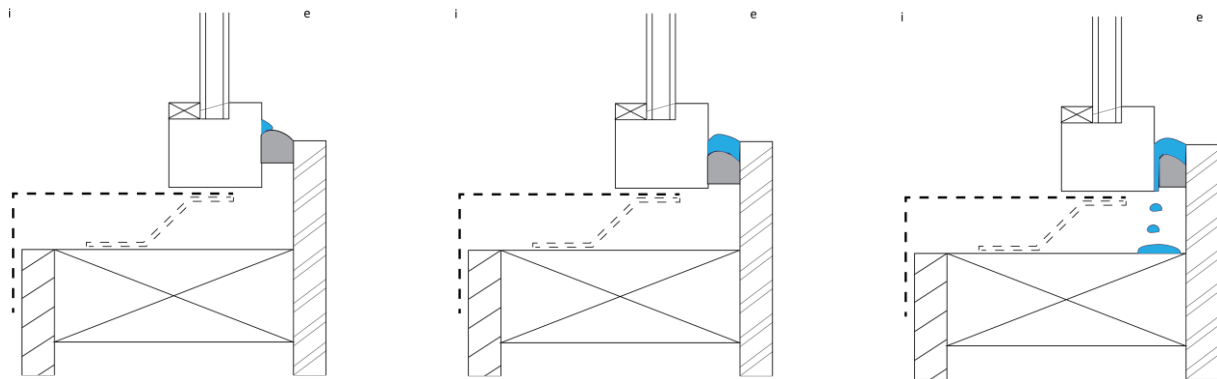
De drie onderzochte regendichtingsmethodes zijn echter gevoelig aan installatiefouten. Het lijkt dan ook aangewezen een kort overzicht te geven van de verschillende faalmechanismen.

1.1.2. Faalmechanismes

Uit de proeven is gebleken dat ieder type regendichtingsbarrière een aantal faalmechanismes kent die eigen zijn aan het type regendichtingsoplossing. Hieronder worden de regendichtingsmethodes met bijhorende faalmechanismes besproken.

1. Zwelband

Bij de proeven met zwelband kon afgeleid worden dat deze onder combinatie van eigengewicht en het gewicht van het water, naar beneden kan zakken. Wanneer de zwelband nat wordt, absorbeert deze water en neemt het gewicht toe. De compressie alsook de zelfklevende strook kunnen echter niet genoeg weerstand bieden aan dit gewicht, waardoor de zwelband naar beneden zakt. Dit kan reeds voor openingen zorgen en hierdoor ontstaat er een plek waar water mogelijks kan stagneren. Wanneer er een klein lek in de zwelband aanwezig is zal er onder invloed van hydrostatische druk waterinfiltratie optreden.



Afbeelding 155: falingsmechanisme zwelband

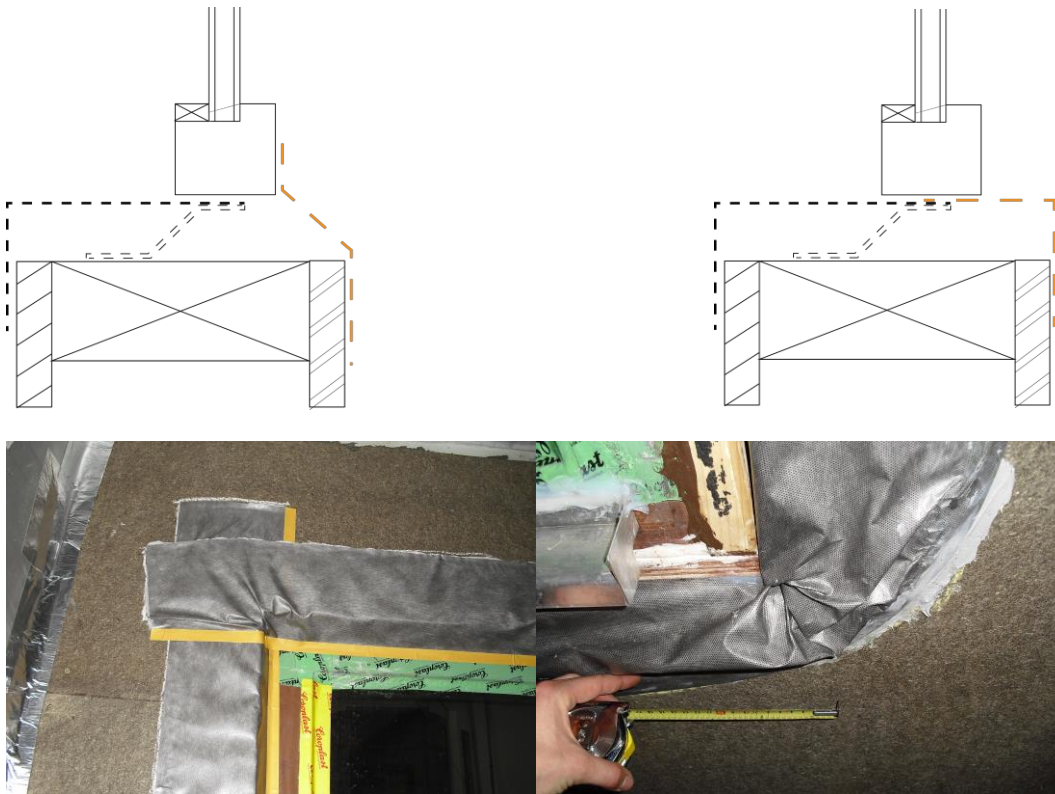
Verder blijkt ook dat de zwelband uitzet en krimpt telkens deze nat en droog wordt. Deze uitzetting/inkrimping verloopt iedere keer anders. Doordat de fabrikant voorschrijft de zwelband in aparte stroken te plaatsen en de hoeken gestuikt uit te voeren, kan er in de hoek, waar 2 stukken zwelband samenkomen een opening ontstaan. Waarschijnlijk is dit fenomeen de oorzaak van de slechte reproduceerbaarheid van de reeks testen met zwelband.

II. Folie

Uit de proeven is gebleken dat de verkleaving van de folie op het raamkader een zeer belangrijke rol speelt in het al dan niet waterdicht zijn van de aansluiting. Volgens de voorschriften van de fabrikant volstaat het de folie met de zelfklevende strook op het raamkader te bevestigen. Uit een aantal testen is echter gebleken dat een bijkomende verkleaving bepalend kan zijn voor het al dan niet optreden van waterinfiltratie.

Plaats van verkleaving

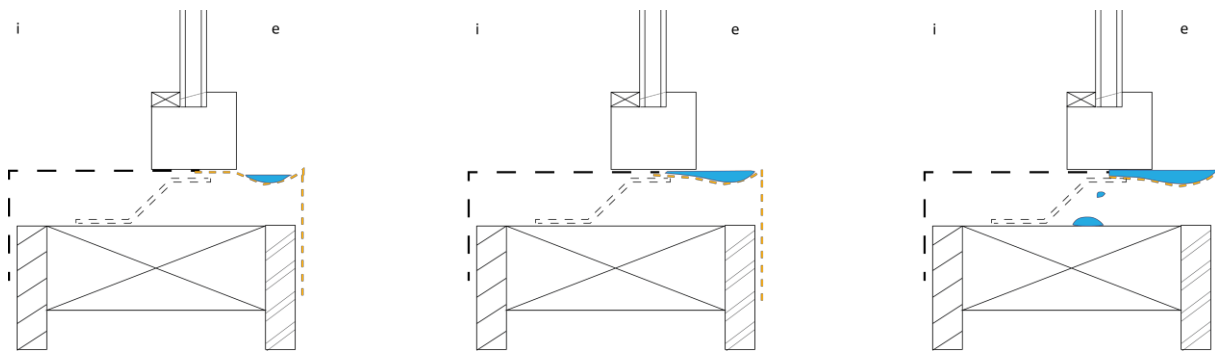
De plaats waar de folie op het raamkader verkleefd wordt heeft ook een aandeel in de prestaties op vlak van regendichting. De folie kan aan de onderzijde of voorzijde van het raamkader gekleefd worden. De plaats van verkleaving, heeft implicaties op de wijze waarop de hoeken uitgevoerd worden. Wanneer de folie aan de zijkant verkleefd wordt kan ervoor geopteerd worden de folie in één stuk te plaatsen. Hierdoor zijn er minder voegen en bijgevolg minder plaatsen waar water kan infiltreren. Wanneer de folie op de voorzijde van het raam verkleefd wordt, wordt deze in verschillende stroken geïnstalleerd.



Afbeelding 156 en 157: uitvoering folie, aan voorzijde raam in overlap of aan onderzijde raam continu geplaatst

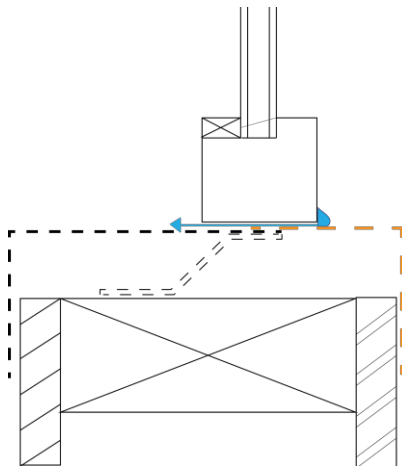
Uit de proeven is gebleken dat de verkleaving aan de voorzijde, met folie in overlap, betere prestaties oplevert dan wanneer de folie aan de zijkant, folie uit één stuk, verkleefd wordt. Er dient wel opgemerkt te worden dat het moeilijk is hier uit spraken over te doen doordat er maar één test werd uitgevoerd.

Afhankelijk van hoe de folie op het raamkader verkleefd is zal de verkleaving op een andere wijze falen.

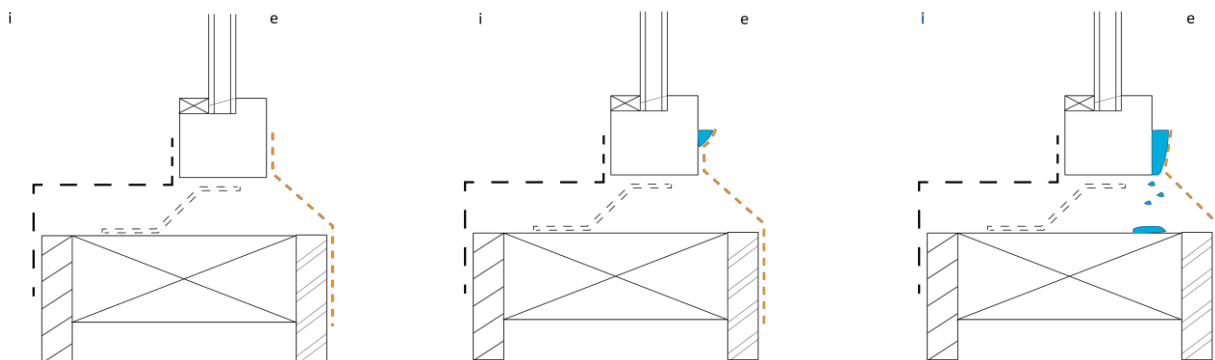


Afbeelding 158: falingsmechanisme voor folie aan onderzijde raam verkleefd, waterstagnatie kan voor infiltratie zorgen

Wanneer de folie op de zijkant van het raam verkleefd wordt, kan er water op de folie blijven staan. Door het gewicht van het water wordt de verkleefing van de folie geleidelijk aan losgemaakt. Wanneer de folie los is kunnen grote hoeveelheden water naar binnen gestuwd worden. Wanneer de folie aan de zijkant van het raamkader verkleefd wordt moet er ook op de uitvoeringsvolgorde van de verschillende folies gelet worden. Indien de regenfolie eerst gekleefd wordt zal het infiltratiewater bovenop de luchtdichtingsfolie terecht komen.



Afbeelding 159: plaats waterinfiltratie bij folie aan zijkant



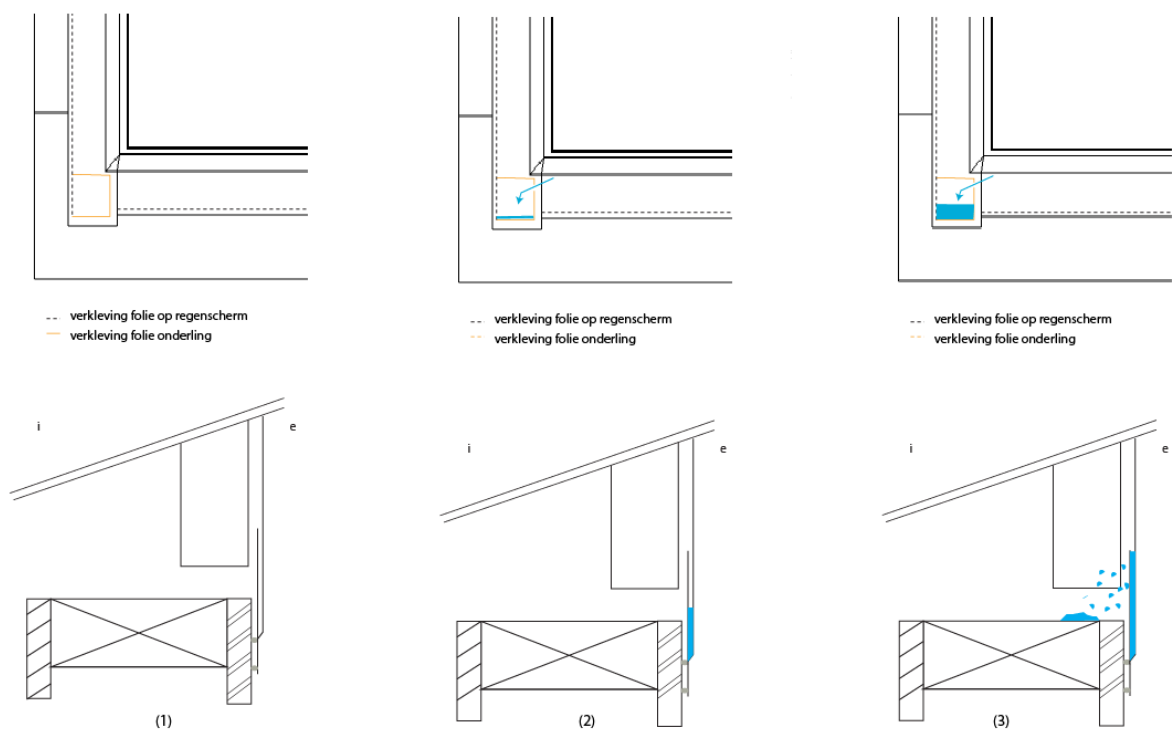
Afbeelding 160: falingsmechanisme voor folie overlap, waterstagnatie kan leiden tot waterinfiltratie

Wanneer de folie aan de voorkant van het raam verkleefd wordt, wordt verwacht dat het water over de aansluiting van de folie op het raam zal lopen. Door kleine gebreken, vb. een kleine oneffenheid

op het raam, kan de folie een kleine opening bevatten in het bovenste deel van de kleefstrook. Hierdoor kan er een klein gaatje in de aansluiting ontstaan. Wanneer er water in deze opening komt, zal dit de verkleaving een beetje meer losmaken. Hierdoor kan er meer water in de holte komen. Onder inwerking van hydrostatische druk en het gewicht van het water zal de folie geleidelijk aan losgetrokken worden.

Ontstaan van een waterreservoir

Bij de aansluiting met folie waarbij het raam uit het vlak geplaatst werd, werd er onderaan de aansluiting, waar de folie overlapt een ophoping van water zichtbaar. Het water zit gevangen tussen de verticale en horizontale strook regenfolie. Doordat de verkleaving van de folie onderling niet helemaal geslaagd is komt er water via deze aansluiting in het reservoir terecht, ook water dat afkomstig is van lekken aan de zijkant van het raam wordt hier opgevangen.



De verticale folie is aan de onderzijde verkleefd op de gebitumineerde houtvezelplaat met behulp van kozijnfolielijm hierdoor kan water niet weg uit deze holte, het zit gevangen. Wanneer de hoeveelheid water echter te groot wordt, loopt het water over de horizontale folie in het gootje. Als er bovendien druk op de folie uitgeoefend wordt zal de holte samengedrukt worden en verkleinen. Hierdoor zal er meer water over de horizontale folie gestuwd worden en zal het infiltratiedebiet verhogen. Dit fenomeen kan mogelijks vermeden worden door de verticale folie aan de onderzijde slechts gedeeltelijk te verkleven, hierdoor kan het water dat tussen de folies terechtkomt makkelijk draineren.

III. PUR

Uit de vergelijking van resultaten blijkt PUR een goede oplossing is om een raamaansluiting water- en luchtdicht te maken. Er dient echter voldoende aandacht besteed te worden aan de uitvoering. Zo blijkt uit de proeven dat er water infiltreert langs raamankers en stelblokjes. Waarschijnlijk kan de PUR de geometrie van de raamankers of stelblokjes moeilijk volgen, waardoor infiltratiepaden kunnen ontstaan.

1.2. Invloed luchtdichtheid

Uit alle proeven blijkt de luchtdichtheid een grote rol te spelen in de waterdichtheid van de aansluiting. Wanneer er geen luchtdichting voorzien werd was het drukverschil over de regendichting zeer groot. Dit drukverschil is een drijvende kracht voor het water. Openingen in het regenscherp zullen zich, door capillaire krachten en oppervlaktespanning, vullen. Wanneer het drukverschil over de regendichting groter is dan deze krachten wordt het water door de opening gestuwd.

Uit de resultaten blijkt vooral het verschil in infiltratiedebiet tussen de aansluiting met matige en zonder luchtdichtheid groot. De infiltratiedebieten tussen de matige en goede luchtdichtheid liggen dicht bij elkaar. Bij de matige en goede luchtdichtheid is het drukverschil over de regendichting veel kleiner, waardoor er minder water naar binnen gestuwd wordt in vergelijking met de aansluiting zonder luchtdichtheid.

In de proef van 15 mei 2013, waarbij de raamaansluiting met regenfolie en goede luchtdichtheid, getest werd, werd de invloed van de luchtdichting op de waterdichtheid duidelijk. Tijdens de dynamische test kwam er gedurende de hele proef geen water binnen, tot er plots een gebrek in de luchtdichtingsfolie ontstond. Op het moment dat de folie loskwam, kwam er water binnen in de aansluiting.

1.3. Positie van het raam

In de loop van het onderzoek varieerde de positie van het raam ten opzichte van het regenscherp. De eerste testen werden uitgevoerd met het raam geïnstalleerd aan de binnenzijde van het regenscherp, hierna werd het raam verplaatst naar de buitenzijde en tenslotte werd het raam in het vlak van het regenscherp geïnstalleerd. De verwachting was dat de positie van het raam een grote invloed zou hebben op de waterinfiltratie. Naarmate het raam anders in de wand gepositioneerd werd, is de belasting op de hoeken immers groter of kleiner.

DATUM	OMSCHRIJVING		INFILTRATIE-DEBIET		DRUK BIJ INFILTRATIE	
	POSITIE RAAM	LUCHTDICHTHEID	STATISCH (gram/min)	DYNAMISCH (gram/min)	STATISCH (Pa)	DYNAMISCH (Pa)
14/mei	binnenzijde	geen	6,6	9,5	150	0
30/apr	buitenzijde	geen	8,5	2,5	100	0
2/mei	in het vlak	geen	4,0	2,3	250	0

Tabel 70: Overzicht invloed positie raam

Wanneer het raam in het binnenvlak gepositioneerd is worden de hoeken aan de onderzijde het zwaarst belast. Doordat er in deze positie een ruimte ontstaat tussen het regenscherm van de wand en het raamkader, is er kans op waterstagnatie ter plaatse van deze ruimte. Wanneer er vervolgens een kleine opening in de regen barrière aanwezig is komt er al snel water binnen. Vaak hoeft er zelfs geen drukverschil over de regendichting aanwezig te zijn, de hydrostatische druk kan volstaan. Een factor die hierbij wel een rol speelt is de locatie van de dorpel. In de gebruikte opstelling is deze niet even breed als de raamopening. Hierdoor kan er makkelijk water op de hoeken van de regendichting terechtkomen. Dit leidt vaak tot infiltratie, ook wanneer er geen drukverschillen over de wand opgelegd wordt.

Wanneer het raam zich situeert aan de buitenzijde van de gebitumineerde houtvezelplaat, wordt er waterinfiltratie verwacht in de bovenhoeken (zie afbeelding 161). Het water van hoger gelegen gebouwdelen zal immers op de bovenzijde van het raam terechtkomen, waar het kan stagneren. In eerste instantie wordt dit verhinderd door het plaatsen van een druiplijst. Wanneer de druiplijst echter niet de volledige breedte van het raam overspant kunnen er problemen ontstaan. Uit de test blijkt echter dat er zo goed als geen water binnenkomt in de hoeken aan de bovenzijde. Dit kan verklaard worden vanuit de plaatsingsvolgorde van de folie. De volgorde zorgt er voor dat er ter hoogte van de voeg waar de folie overlapt geen water kan stagneren.



Afbeelding 161: aansluiting folie overlap, raam uit vlak regendichting

De aansluiting waarbij het raam geïnstalleerd is in het vlak van de gebitumineerde houtvezelplaat kent de grootste regenbelasting. Doordat het raam echter in het vlak van houtvezelplaat ligt kan er een eenvoudige verbinding van de regen barrière tussen het raamkader en de houtvezelplaat gemaakt worden. Hierbij moeten er geen ingewikkelde hoeken gemaakt worden, waardoor er ook minder kans op waterstagnatie is. Dit doet de kans op infiltratie dalen. Uit de testen blijkt echter dat de aansluiting in het vlak geen lagere infiltratiedebieten heeft dan de aansluiting aan de binnenzijde van de houtvezelplaat. Hierbij dient opnieuw opgemerkt te worden dat er bij de installatie van het raam installatiefouten opgetreden kunnen zijn. Deze kunnen al snel een vertekend beeld van de debieten opleveren.

Een andere verklaring voor de gelijke prestaties kan ook gevonden worden in het optreden van dezelfde faalmechanismes bij een raam aan de buitenzijde van het regenscherm en het raam in het vlak van het regenscherm. (zie deel faalmechanisme)

1.4. Bevestigingsmethode

Een andere parameter is de bevestigingsmethode. Wanneer er gebruik gemaakt wordt van een regenfolie wordt verwacht dat de bevestigingsmethode weinig invloed heeft. De regenfolie wordt immers voor het bevestigingsmechanisme geplaatst. Resultaten uit de proeven bevestigen dit vermoeden. Er zijn geen opmerkelijke verschillen tussen de infiltratiedebieten en faalmechanismen bij de proeven met regenfolie - raamankers en die met regenfolie - multiplexkader.

Wanneer de regendichting door PUR gerealiseerd wordt, zal de bevestigingsmethode wel een invloed hebben. In de testen infiltreert er water zowel langs de raamankers als de stelblokjes van het multiplexkader. Dit doet vermoeden dat een bevestiging van het multiplexkader door middel van afstandsschroeven een verbetering zou opleveren. Dit blijkt echter een techniek te zijn die weinig toegepast wordt.

2. Algemeen overzicht resultaten watertest

2.1.Vergelijkende tabel

DATUM	OMSCHRIJVING		HOEEVEELHEID WATER		DRUK BIJ INFILTRATIE		KLASSE
	REGEN-DICHTHEID	LUCHTDICHTHEID	STATISCH (gram/min)	DYNAMISCH (gram/min)	STATISCH (Pa)	DYNAMISCH (Pa)	STATISCH
RAAMANKERS							
Raam aan binnenzijde							
16/apr	zwelband	slechte luchtdichtheid			250	0	6A
17/apr	zwelband	matige luchtdichtheid	13,33	9,90	0	0	0
18/apr	zwelband	matige luchtdichtheid + afwerkingslat	0,00	9,42	50	0	1A
15/apr	zwelband	goede luchtdichtheid	0,48	0,15	0	450,00	0
15/mei	folie voorzijde	goede luchtdichtheid	0,0	0,6	/	450	>9A
16/mei	folie voorzijde	matige luchtdichtheid	0,0	0,0	/	/	>9A
14/mei	folie voorzijde	geen luchtdichtheid	6,6	9,5	150	0	4A
16/mei	folie voorzijde	matige luchtdichtheid + afwerkingslat	0,0	0,0	/	/	>9A
27/apr	folie zijkant	goede luchtdichtheid*			50	0	2A
27/apr	folie zijkant	geen luchtdichtheid	34,2	35,2	50	150	2A
27/apr	folie zijkant	geen luchtdichtheid+ silicone hoek	7,596	3,3	0	0	1A
29/apr	folie zijkant	geen luchtdichtheid + silicone voeg	0,338	0,0	200	300	5A
Raam aan buitenzijde							
30/apr	folie	matige luchtdichtheid	0,34	0,27	200	150	5A
30/apr	folie	geen luchtdichtheid	8,45	2,02	100	0	3A
Raam in vlak celit							
2/mei	folie	geen luchtdichtheid	3,98	2,31	250,00	0,00	6A
3/mei	folie	geen luchtdichtheid - extra verlijmd	0,03	0,00	300,00	/	7A
17/mei	PUR	goede luchtdichtheid			150,00	300,00	4A
MULTIPLEXKADER							
Raam aan binnenzijde							
18/mei	folie	geen luchtdichtheid	0,0	0,0	50	0	2A
18/mei	folie	goede luchtdichtheid	0,0	0,0	/	/	>9A
19/mei	PUR	goede luchtdichtheid			100	150	3A

Tabel 71: algemeen overzicht resultaten watertest

2.2. Interpretatie prestatieklassen

In de literatuurstudie werd vermeld dat er op basis van de waterdichtheidsklasse en luchtdichtheidsklasse, bepaald wordt in welke omstandigheden buitenschrijnwerk toegepast mag worden. We veronderstellen dat de raamaansluiting aan dezelfde voorwaarden moet voldoen bijgevolg kan bepaald worden welke raamaansluiting in welke omstandigheden toegepast mag worden.

De norm stelt dat raamaansluitingen waarbij de waterdichtheidsklasse lager ligt dan 4A niet toegepast mogen worden. Ook mag het buitenschrijnwerk, en bijgevolg ook de raamaansluiting, nooit zonder luchtdichtdichtingsscherm toegepast worden. Uit onze resultaten, zie tabel 71 blijkt dat slechts 6 van de 20 aansluitingen aan deze voorwaarden voldoen. Hierbij dient wel vermeld te worden dat 9 van de aansluitingen getest werden zonder luchtdichtheid, deze worden dus enkel op basis van een gebrek aan luchtdichting uitgesloten. Van de 11 aansluitingen die wel over een luchtdichtdichtheid beschikken liggen er slechts 6 boven de klasse 4A.

De regendichtingsmethode met zwelband voldoet nooit aan de minimumeisen. De aansluiting met regenfolie in overlap behoort tot de klasse 9A, indien er een goede of matige luchtdichtheid gehaald wordt. Deze aansluiting mag in stedelijke omgeving tot hoogtes groter dan 50 m toegepast worden, in bosrijk gebied tot 50 m, op het platteland tot 25 m en aan de kust tot 18 m. De aansluiting met PUR en raamankers, bevindt zich in klasse 4A, deze mag in stedelijke omgeving tot hoogtes van 18 m toegepast worden en in bosrijk gebied tot 10 m.

3. Bespreking testmethode

Wanneer de vergelijking tussen de statische en dynamische test gemaakt wordt kan dit aan de hand van 2 criteria gebeuren. Enerzijds kan het gemiddeld infiltratiedebiet gehanteerd worden, anderzijds kan de druk bij infiltratie gebruikt worden. Wanneer we het gemiddeld infiltratiedebiet voor beide testmethodes bekijken kan er geen eenduidige relatie gevonden worden tussen de prestaties en de testmethode. Afhankelijk van het falingsmechanisme kan de ene testmethode strenger zijn dan de andere. Bovendien is de fout op de metingen van het debiet vrij hoog, er zijn immers grote onzekerheden waardoor een correcte vergelijking moeilijk is.

Uit de vergelijking van de druk bij infiltratie tussen de statische en dynamische test, voor de 20 correct uitgevoerde aansluitingen, blijkt dat er bij 9 aansluitingen eerder water binnenkomt bij de dynamische dan bij de statische test. Voor 5 aansluitingen is er geen verschil tussen beide testmethodes, bij deze aansluiting komt er ofwel water binnen bij 0 Pa ofwel komt er helemaal geen water binnen. In 6 gevallen komt er eerder water binnen bij de statische test, hier moet echter opgemerkt worden dat dit niet geheel correct is. Doordat de druk bij de dynamische test in groter stappen toeneemt, krijgen we een vertekend beeld. Zo kan er bij de statische test water infiltreren bij 50 Pa terwijl dit bij de dynamische test direct bij de drukpulsen tot 150 Pa is. Wanneer dit voorvalt zijn de prestaties bij beide testmethodes gelijk. Op basis van deze redenering komt er voor 10 aansluitingen, in plaats van de eerder vermelde 5, op hetzelfde ogenblik water binnen bij de dynamische als statische test. Slechts in één geval treedt er eerder infiltratie op bij de statische test.

De cijfers tonen aan dat er bij de dynamische test, bij lagere drukken water infiltreert. Deze testmethode is dan ook de strengste. De statische methode laat wel een eenvoudige classificatie toe, waardoor de prestaties makkelijk vergeleken kunnen worden.

Bij de watertesten bleek de fout op de testopstelling vrij hoog. Hierdoor is het moeilijk correcte uitspraken te doen over de prestaties van een raam, op basis van de gemeten infiltratiedebieten. Zeker wanneer een kleine hoeveelheid water infiltreert, is de relatieve fout groot. In verder onderzoek zou men een testmethode kunnen opstellen waarbij de fout op de gemeten infiltratie lager ligt. Aan de hand van de gemeten infiltratiedebieten kunnen Heat-Air-Moisture-simulaties uitgevoerd worden waarin nagegaan wordt of de infiltratiedebieten tot schade leiden.

Verder moet opgemerkt worden dat de breedteverhouding van de dorpel ten op zichte van het raam een grote rol speelt bij de waterinfiltratie. Er zouden dan ook testen uitgevoerd kunnen worden waarbij de dorpel de volledige breedte van het raam overspant, op deze manier kunnen de hoeken beter afgeschermd worden en wordt een betere prestatie van de aansluiting verwacht.

BESLUIT

In het experimenteel onderzoek wordt de lucht- en waterdichtheid van verschillende raamaansluitingen, die toegepast worden in België nagegaan.

Uit het onderzoek blijkt dat de klasse van goede luchtdichtheid op een relatief eenvoudige wijze bereikt kan worden. Hierbij dienen een aantal aandachtspunten in acht genomen te worden. Bij het plaatsen van een luchtdichtingsfolie moet er voldoende aandacht aan de verkleving van de hoeken besteed worden, hier kunnen immers grote luchtlekken ontstaan. De bevestigingsmethode blijkt minder invloed te hebben. Er werden gelijklopende resultaten gevonden voor de bevestiging met raamankers en het multiplexkader. Het is wel opmerkelijk dat er door de kopse kant van het multiplexkader grote luchtstromen opgemerkt konden worden. Tenslotte bleek dat gebreken in de folie of een onzorgvuldige installatie al snel een grote invloed op de luchtdichtheid van de aansluiting kunnen hebben. In de proeven werd de invloed van schroeven, sneden en een gebrekkige verkleving op het raamkader nagegaan. Bij de toepassing van PUR-schuim als luchtdichting zijn vooral het aantal onderbrekingen in de schuim, vb. raamankers en stelblokjes, bepalend voor de luchtdichtheid van de aansluiting.

Bij de waterdichtheid werd de invloed van een aantal parameters bekeken. Hieruit blijkt dat luchtdichtheid een grote invloed heeft op de waterdichtheid van de aansluiting. Wanneer geen luchtdichtheid toegepast wordt, zijn de infiltratiedebieten opvallend hoger dan wanneer een goede of matige luchtdichtheid gehanteerd wordt. De bevestigingsmethode blijkt vooral bij PUR-schuim een grote invloed te hebben. Hier kan door doorbrekingen van het schuim (raamankers en stelblokjes) water infiltreren. Verder werd de positie van het raam ten opzichte van de regendichting onderzocht. Dit werd bekeken voor de aansluiting waarbij een regenfolie als regenbarrière gebruikt werd. Hieruit blijkt dat de hoeken onderaan, ongeacht de positie van het raam, de meest kritieke punten voor waterinfiltratie zijn. Dit is onder andere te wijten aan het gebruik van een dorpel die niet de volledige breedte van het raam overspant, maar ook de verkleving van de folie blijkt een belangrijke rol te spelen.

Uit de watertesten werden een aantal falingsmechanismen eigen aan de waterdichtheidsoplossing afgeleid. Zwelband blijkt door het uitzetten en krimpen bij drogen en bevochtigen telkens anders te vervormen. Hierdoor kunnen er in de hoeken openingen ontstaan waarlangs water kan infiltreren. Bij folie blijkt vooral de wijze van verkleven een grote rol te spelen. Verder kan er, wanneer het raam uit het vlak geplaatst wordt, ter hoogte van de overlap van de verticale en horizontale strook folie 'een waterreservoir' ontstaan. Dit kan leiden tot waterinfiltratie. De toepassing van PUR-schuim voor lucht- en waterdichtheid blijkt vooral gevoelig voor onderbrekingen.

Verder wordt in deze scriptie geen uitspraak gedaan over de veroudering van de materialen onder invloed van weersomstandigheden en is de geteste opstelling slechts een steekproef. Of de steekproef representatief is voor de bouwpraktijk kan niet gekwantificeerd worden. Ook de variatie van de populatie blijft ongekend.

BIBLIOGRAFIE

1. **VAN DESSEL, J., et al.** *Onderzoek naar de duurzaamheid van houtbouwsystemen en de groeiverwachting van deze markt.* Brussel : Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Administratie Economie, Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, 2004.
2. **WTCB.** *Onderzoek naar mogelijke nieuwe bouwconcepten en het effect ervan op het gebruik van oppervlaktedelfstoffen.* 2010.
3. **VAN DEN ABEELE, L.** *Kijk en Bouw.* [interv.] Lynn Devos en Silke Maertens. 16 11 2012.
4. **VAN DE WALLE, A.** *L4F.* [interv.] L. Devos en S. Maertens. 5 12 2012.
5. *Speciale uitgave: luchtdichtheid.* **WTCB.** 2012, WTCB Contact - NR1.
6. **QUIROUETTE, R., MARSHALL, S en ROUSSEAU, J.** "Design Considerations for an Air Barrier System. *QBS 00c20a1-7.* 2000, pp. P8-11.
7. **VAN DEN BOSSCHE, N.** *Luchtdichtheid : experimenteel onderzoek naar schattingsmethodes bij woningen - ongepubliceerd eindwerk.* Gent : Ugent, 2005.
8. **RELANDER, T.O.** *Airtightness of wood-frame houses, doctoraatsthesis.* Noorwegen : Norwegian University of Science and Technology: Department of Civil and Transport Engineering, 2011.
9. **SHERMAN, M.H. en CHAN, R.** *Building Airtightness: Research and Practice.* Berkeley : Lawrence Berkeley National Laboratory, 2004.
10. NBN EN 13829 Thermische eigenschappen van gebouwen - Bepaling van de luchtdoorlatendheid van gebouwen – Overdrukmethode. België : sn, 2001.
11. **HUYGHE, W.** *Experimenteel onderzoek naar de luchtdichtheid van raamaansluitingen - ongepubliceerd eindwerk.* UGent : sn, 2009-2010.
12. *(2010) Airtightness assessment of newly build single family houses in Belgium, .* **LAVERGE, J., VANDEVELDE, S., DEBRAUWERE, T., DELGHULST, M. en JANSSENS, A.** Copenhagen : sn, 2010. Buildair 2010. p. 8.
13. **VAN DEN BOSSCHE, N.** *Phd: Watertightness of building components.* Gent : Ugent, 2013.
14. **BOSSAER, A.: BOSSICARD, R., et al.** *SENVIVV-studie van energieaspecten van nieuwwoningen in Vlaanderen: isolatie, ventilatie, verwarming.* België : BBRI, 1998.
15. **VAN DEN BOSSCHE, N.** *phd: Watertightness of building components .* Gent : Ugent, 2013.
16. **VAN DEN BOSSCHE, N., LACASSE, M. en JANSSENS, A.** *Boundary Conditions for Water Tightness Testing Based on Pareto- Front Analysis.* sl : Ongepubliceerd?
17. *The Prevention of Rain Penetration through External Walls and Joints by Means of Pressure Equalization.* **KILLIP, I.R., CHEETHAM, D.W.** 1984, Building and environment, vol 19, No. 2, pp. 81-91.

18. **GARDEN, G.K.** *Rain penetration and its control*. . National Research Council Canada : CBD-publication 40, 1963.
19. **STRAUBE, J.** *Pressure Moderation and Rain Penetration Control*. sl : OBEC PER Seminar, 2010.
20. *Pressure equalization of rainscreen walls: a critical review*. **SURESH KUMAR, K.** 2000, Building Environment,nr. 35, pp. 165-175.
21. **DE BONTE, D.** *Experimenteel onderzoek naar waterdichte aansluitingen'*. Gent : Universiteit Gent : architectuur en stedenbouw, 2010.
22. *Air pressure equalisation in rainscreened joints by geometric alteration*. **BURGESS, J.C.** 1995, Building and environment, Vol. 30, pp. p 13-18.
23. *Rainwater Intrusion in Light-Frame Building Walls ; Charles Carll; Proceedings of the 2nd Annual Conference on Durability and Disaster Mitigation in Wood-Frame Housing*. **CARLL, C.** Madison, Wisconsin : Forest Products Society, 2000. Proceedings of the 2nd Annual Conference on Durability and Disaster Mitigation in Wood-Frame Housing. pp. 33-40.
24. *Development of HAM tool for building envelope analysis*. **LI, Q, RAO, J. en FAZIO, P.** 2009, Building and Energy, pp. 1065–1073.
25. *Hygrothermal risks of using exterior air barrier systems for highly insulated light weight walls: A laboratory investigation*. **LANGMANS, J., KLEIN, R. en ROELS, S.** 2012, Building and Environment 56, pp. p 192-202.
26. **WOODFORUM.** Houtverduurzaming. *woodforum*. [Online] 2013. [Citaat van: 2 05 2013.] www.woodforum.be.
27. **WILLIAMS Building Diagnostics en NAHB RESEARCH CENTER.** *Laboratory and field evaluation of pan flashing/sill protection and water resistive barriers*. Washington : PATH, 2006.
28. **WANZ.** *WANZ WIZ (window installation system)*. Wellington : Window association of NZ, 2002.
29. **LOUIS, M.J. en NELSON, P.E.** *Extraneous air leakage from window perimeters*. Philadelphia : ASTM, 1995.
30. **WTCB.** *TV 188: Plaatsen van buitenschrijnwerk* . Brussel : WTCB, 1993.
31. *Proposed method for calculating water penetration test parameters of wall assemblies as applied to Istanbul, Turkey* . **SAHAL, N en LACASSE, M A.** 43, 2008, Building and Environment, pp. 1250–1260.
32. *Measurements of air flows through cracks between building components*. **MCGRATH, P. T. en HOWARTH, A. T.** 1984, Building Services Engineering Research & Technology.
33. *Potential of wind barriers to assure airtightness of wood-frame low energy constructions*. **LANGMANS, J., et al.** 2010, Energy and Buildings 42, pp. p2376-2385.

34. **HÖGLUND, I. en JANSSON, B.** *Joint sealing between window (door) frames and walls.* Gothenburg : International Council for Building Research, 1984.
35. **PROSKIW, G.** *Air Leakage Characteristics of Various Rough-Opening Sealing Methods for Windows and Doors.* Ottawa : sn, 1994.
36. **RELANDER, T.O., HEISKES, B. en TYSSDAL, J.S.** *The influence of different sealing methods of windows and door joints on the total air leakage of wood-frame buildings.* Noorwegen : Building Physics 2008 - 8th Nordic Symposium, 2008.
37. *Airtightness of the window-wall interface in cavity brick walls.* **VAN DEN BOSSCHE, N., et al.** 2011, Energy and buildings, pp. 32-42.
38. **VANDERWEERD, R. en PENNE, A.** *Luchtdichtheid van raamaansluitingen in houtskeletbouw.* KAHG Gent : Ongepubliceerd eindwerk, 2011.
39. *NBN EN 12114: thermische eigenschappen van gebouwen-luchtdoorlatendheid van bouwcomponenten en bouwelementen-laboratoriumbeproevingmethode.* 2000.
40. **PROSKIW, G.** *Air Leakage Characteristics of Various Rough-Opening Sealing Methods for Windows and Doors.* Ottawa : sn, 1994.
41. *Airtightness of the window-wall interface in cavity brick walls.* **VAN DEN BOSSCHE, N., et al.** 2011, Energy and buildings, pp. 32-42.
42. *Airtightness performance of different sealing methods for windows in wood-frame buildings.* **RELANDER, T.O., THUE, J.V. en GUSTAVSEN, A.** 2008, Nordic symposium on building physics, Copenhagen, Denmark.
43. NBN EN 1027: Ramen en deuren - waterdichtheid - beproevingsmethode.
44. NBN EN 12865: Thermisch gedrag en vochtwering van gebouwen en bouwelementen - Bepaling van de weerstand van buitengevelsystemen tegen slagregen onder pulserende luchtdruk. 2001.
45. *Water penetration resistance of residential window installation options for hurricane-prone areas.* **SALZANO, C.T., MASTERS, F.J. en KATSAROS, J.D.** 2010, Building and Environment , pp. 1-16.
46. *Boundary Conditions for Water Tightness Testing Based on Pareto- Front Analysis.* **VAN DEN BOSSCHE, N., LACASSE, M.A. en JANSSENS, A.** 2012, uilding Enclosure Science & Technology, Proceedings., pp. 1-19.
47. **VERHOIJSEN, A.** *Waterdichtheid van raamaansluitingen.* Universiteit Gent : niet gepubliceerd eindwerk, 2010-2011.
48. **CNRC.** *Evaluating the Effectiveness of Wall-Window Interface Details to Manage Rainwater Phase 1 – Watertightness, Air Leakage and Rainwater Management of CMHC Specified Assemblies.* Canada : sn, 2008. p. 218.

49. NBN EN 12208: Ramen en deuren- Waterdichtheid - Classificatie. 2000.
50. NBN B25-002-1: Buitenschrijnwerk. 2007.
51. *Rain penetration of the window-wall joint*. **FINN, D.W.** 1995, Building Envelope Performance and Durability, p. 12.
52. **WANZ**. *WANZ WIS (Window Installation System)*. Wellington : sn, 2002.
53. **BASSETT, M.R., BURGESS, J.C. en CAMILLERI, M.J.** *THE WEATHERTIGHTNESS OF WINDOW-TO-WALL JOINTS – DEPENDENCY ON INSTALLATION DETAILS*. BRANZ. New Zealand : sn.
54. *Laboratory tests of window-wall interface details to evaluate the risk of condensation on windows*. **MAREF, W., et al.** 2011, Journal of Testing and evaluation, pp. 562 - 575.
55. **PHP en PRESTIS**. *PHP Technologiewijzer 2008-4*. België : sn, 2008.
56. **PHP, VIBE en GENT, STAD**. *Technische details passieve houtskeletbouw tertiair*. België : sn, 2010.
57. **CLAES, K.** *Detailering van passiefhuizen in traditionele houtskeletbouw*. Leuven : ongepubliceerd eindwerk, KU Leuven, 2008.
58. **BOUWBEDRIJVEN, NV DEWAELE**. *Raam-aansluiting detailering - contact via mail*. [interv.] L. DEVOS en S. MAERTENS. 20 02 2013.
59. **PRIMABOUW**. *Raam-aansluiting detailering - contact via mail*. [interv.] L. DEVOS en S. MAERTENS. 19 02 2013.
60. *Duurzaamheid van houten gevels en houten constructies (houtskeletbouw)*. **VANDEBUSSCHE, E.** Gent : Ugent, 2011.
61. *Houtskeletbouw en luchtdichtheid*. **WTCB**. 2012, WTCB-Contact nr. 33, pp. 10-11.
62. **NEUTENS, K.** *Experimenteel onderzoek naar waterdichte aansluitingen*. Gent : Ongepubliceerd eindwerk, Ugent, 2010.
63. NBN EN 12865: Thermisch gedrag en vochtwering van gebouwen en bouwelementen - Bepaling van de weerstand van buitengevelsystemen tegen slagregen onder pulserende luchtdruk. 2001.
64. **Bossche, Nathan Van Den**. *Gesprek*. 7 05 2013.
65. **ZUIDERVELD, DOE HET ZELF**. *Kozijnen in bouw pakket. Doe het zelf zuiderveld*. [Online] [Citaat van: 1 04 2013.] <http://www.doehetzelfzuiderveld.nl/kozijnen-in-elkaar-zetten>.
66. **VANDEWEERD, R. en PENNE, A.** *Luchtdichtheid van raamaansluitingen in houtskeletbouw*. KAHOG Gent : Ongepubliceerd eindwerk, 2011.

67. **JANSSENS, A.** *Reliable control of interstitial condensation in lightweight roof systems : calculation and assessment methods* . Leuven : Katholieke Universiteit Leuven, 1998.
68. *Woodframe envelopes in the coastal climate of British Columbia*. Canada : sn, 2001.
69. **DE GRAAF, P. en BANGA, J.** *Handboek houtskeletbouw: ontwerp, techniek, uitvoering*. Rotterdam : SBR, 2012.
70. *Proposed method for calculating water penetration test parameters of wall assemblies as applied to Istanbul*. **SAHAL, N. en LACASSE, M.A.** 2008, Building and Environment vol 430, pp. p. 1253-1254.
71. **VAN DEN BOSSCHE, N.** Error analysis for airtightness measurements. *Niet gepubliceerd artikel*. Gent : sn.
72. **KNMI**. Windsnelheid en winddruk. *Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut*. [Online] [Citaat van: 1 04 2013.] <http://www.knmi.nl/>.
73. *The influence of different ealing methods of window and door joints on the tota air leakage of wood-frame buildings*. **RELANDER, T.-O, THUE, J.V en GUSTAVSEN, A.** Noorwegen : sn, 2008. Builing Physics 2008 - 8th Nordic Symposium. pp. 497-504.
74. *'The infiltration component of ventilation in New Zealand houses*. **BASSET, M.** Nederland : sn, 1985. 6de AIVC Conferentie.
75. *Analysing a database of residential air leakage in the United states*. **CHAN, W.R., et al.** 2005, Atmospheric Environment, pp. 3445-3455.
76. *Air leakage in Catalan dwellings: Developing an airtightness model and leakage airflow predictions*. **MONTOYA, M.I., et al.** 2010, Building and Environment, pp. 1458-1469.
77. **ORME, M. en M.W. LIDDAMENT. WILSON, A.** *Numerical data for air infiltration and natural ventilation calculations*. Great Britain : Air Infiltration and Ventilation Centre, 1998.
78. *Component leakage area's in residential buildings*. **REINHOLD, C. en SONDEREGGER, R.** Zwitserland : Elm, 1983. 4de AIC conferentie.
79. **MAREF, W., et al.** *Laboratory Tests of Window-Wall Interface Details to Evaluate the Risk of Condensation on Windows*. San Antonio : sn, 2010.
80. **BUTGB**. Technische goedkeuringen. <http://www.butgb.be/>. [Online] [Citaat van: 20 2 2013.]
81. **Proskiw, G.** *Air Leakage Characteristics of Various Rough-Opening Sealing Methods for Windows and Doors*. Ottawa : sn, 1994.

BIJLAGE A

TECHNISCHE FICHES

1. SWS Tape Inside–Soudal
2. FLEXIFOAM – Soudal
3. Soudaband Pro BG1 - Soudal
4. ME 500 Duo folie – Tremco Illbruck

SWS TAPE INSIDE

Datum: 31/05/10

Page 1 van 2

Technische gegevens:

Materiaal	Dampdichte folie op basis van polyester, ingeweven met gestructureerd gesponnen vilten vlies
Kleur	Roze
Dampdiffusieweerstand	$\mu = +60000$
Waterdampdoorlatendheid (EN1931)	$S_d > 50 \text{ m}$
Breukrek (ISO 527-1)	40% (langs) 130% (dwars)
Foliedikte	1.2mm
Temperatuursbestendigheid	-40°C tot +100°C
Verwerkingstemperatuur	+5°C tot +40°C
Weerstand tegen water (EN1928)	200mm resistent
Kleefkracht van de zelfklevende kleefstrook (EN 1939-c)	12N/25mm
Kleefkracht van de butyltape (EN 1939-c)	12N/25mm
Trekkracht (ISO 527-1)	>5Mpa

Product:

Soudal SWS INSIDE TAPE is een lucht –en dampdicht membraan, samengesteld uit een gelamineerd Polyestervlies aan beide zijden bedekt met een vilten cachering.

SWS INSIDE TAPE maakt deel uit van het SOUDAL WINDOW SYSTEM.

Toepassingsgebied

Soudal SWS INSIDE TAPE is een onderdeel van het Soudal Window System. De tape wordt gebruikt voor het luchtdicht en dampdicht afsluiten van raamaansluitingen.

Door z'n hoge dampdichtheid biedt Soudal SWS INSIDE TAPE een perfecte bescherming tegen vochtdiffusie en condensatieschade.

Materiaal

- Flexibel, dampimpermeabel membraan dat bestaat uit een gelamineerd Polyestervlies aan beide zijden bedekt met een vilten cachering.
- De randen zijn enerzijds voorzien van een dubbelzijdige pressure sensitive kleefstrook voor de hechting op schrijnwerk en aan de andere zijde een butylkleefstrook voor een uitstekende hechting op de binnenmuur.

Eigenschappen:

- Grote flexibiliteit
- Zowel het membraan als de kleefstroken zijn UV-bestendig.

- Gemakkelijke installatie , gemakkelijk plooibaar in de hoeken.
- Zeer hoge dampdichtheid, dus ook water –en lucht dicht.
- Volledig overpleisterbaar en inpleisterbaar tussen 2 nieuwe lagen pleisterwerk
- Om de tape aanvullend luchtdicht en dampdicht te verlijmen op bijvoorbeeld oneffen oppervlakken. kan een acrylaatlijm met hoge μ waarde worden toegepast :Soudafoil 330D.

Leveringsvorm:

Afmetingen (mm)	Lengte/rol (m)	Rollen/karton
70	25	1
100	25	1
150	25	1

Opslag:

12 maanden vanaf de datum van productie in de onbeschadigde originele verpakking bij een temperatuur van + 10 ° C tot + 25 ° C.

Opmerking: Deze fiche vervangt alle voorgaande. De richtlijnen in deze documentatie zijn het resultaat van onze proeven en ervaring en worden te goeder trouw gegeven. Daar wij geen controle hebben over de toepassingsmodaliteiten kunnen wij niet verantwoordelijk gesteld worden voor de bekomen resultaten en voor eventuele schade voortvloeiend uit een verkeerd of niet-aangepast gebruik. Daar het ontwerp, de hoedanigheid van de ondergrond en de verwerkingsomstandigheden buiten onze beoordeling vallen, kan geen aansprakelijkheid op grond van deze publicatie worden aanvaard. Het is dan ook aangeraden om altijd voorafgaand een test uit te voeren eigen aan de specifieke plaatselijke omstandigheden. Soudal behoudt zich het recht voor de producten aan te passen zonder voorafgaandelijke berichtgeving.

SWS TAPE INSIDE

Datum: 31/05/10

Page 1 van 2

Technische gegevens:

Materiaal	Dampdichte folie op basis van polyester, ingeweven met gestructureerd gesponnen vilten vlies
Kleur	Roze
Dampdiffusieweerstand	$\mu = +60000$
Waterdampdoorlatendheid (EN1931)	$S_d > 50 \text{ m}$
Breukrek (ISO 527-1)	40% (langs) 130% (dwars)
Foliedikte	1.2mm
Temperatuursbestendigheid	-40°C tot +100°C
Verwerkingstemperatuur	+5°C tot +40°C
Weerstand tegen water (EN1928)	200mm resistent
Kleefkracht van de zelfklevende kleefstrook (EN 1939-c)	12N/25mm
Kleefkracht van de butyltape (EN 1939-c)	12N/25mm
Trekkracht (ISO 527-1)	>5Mpa

Product:

Soudal SWS INSIDE TAPE is een lucht –en dampdicht membraan, samengesteld uit een gelamineerd Polyestervlies aan beide zijden bedekt met een vilten cachering.

SWS INSIDE TAPE maakt deel uit van het SOUDAL WINDOW SYSTEM.

Toepassingsgebied

Soudal SWS INSIDE TAPE is een onderdeel van het Soudal Window System. De tape wordt gebruikt voor het luchtdicht en dampdicht afsluiten van raamaansluitingen.

Door z'n hoge dampdichtheid biedt Soudal SWS INSIDE TAPE een perfecte bescherming tegen vochtdiffusie en condensatieschade.

Materiaal

- Flexibel, dampimpermeabel membraan dat bestaat uit een gelamineerd Polyestervlies aan beide zijden bedekt met een vilten cachering.
- De randen zijn enerzijds voorzien van een dubbelzijdige pressure sensitive kleefstrook voor de hechting op schrijnwerk en aan de andere zijde een butylkleefstrook voor een uitstekende hechting op de binnenmuur.

Eigenschappen:

- Grote flexibiliteit
- Zowel het membraan als de kleefstroken zijn UV-bestendig.

- Gemakkelijke installatie , gemakkelijk plooibaar in de hoeken.
- Zeer hoge dampdichtheid, dus ook water –en lucht dicht.
- Volledig overpleisterbaar en inpleisterbaar tussen 2 nieuwe lagen pleisterwerk
- Om de tape aanvullend luchtdicht en dampdicht te verlijmen op bijvoorbeeld oneffen oppervlakken. kan een acrylaatlijm met hoge μ waarde worden toegepast :Soudafoil 330D.

Leveringsvorm:

Afmetingen (mm)	Lengte/rol (m)	Rollen/karton
70	25	1
100	25	1
150	25	1

Opslag:

12 maanden vanaf de datum van productie in de onbeschadigde originele verpakking bij een temperatuur van + 10 ° C tot + 25 ° C.

Opmerking: Deze fiche vervangt alle voorgaande. De richtlijnen in deze documentatie zijn het resultaat van onze proeven en ervaring en worden te goeder trouw gegeven. Daar wij geen controle hebben over de toepassingsmodaliteiten kunnen wij niet verantwoordelijk gesteld worden voor de bekomen resultaten en voor eventuele schade voortvloeiend uit een verkeerd of niet-aangepast gebruik. Daar het ontwerp, de hoedanigheid van de ondergrond en de verwerkingsomstandigheden buiten onze beoordeling vallen, kan geen aansprakelijkheid op grond van deze publicatie worden aanvaard. Het is dan ook aangeraden om altijd voorafgaand een test uit te voeren eigen aan de specifieke plaatselijke omstandigheden. Soudal behoudt zich het recht voor de producten aan te passen zonder voorafgaandelijke berichtgeving.

FLEXIFOAM

Revisie datum: 03/05/2010

Pagina 1 van 2

Technische gegevens:

Basis	Polyurethaan
Consistentie	Stabiel schuim, thixotroop
Uithardingssysteem	Polymerisatie door vocht
Huidvorming (20°C en 60% R.V.)	6 min
Droogtijd (20°C en 60% R.V.)	Stofvrij na 20-25 min.
Uithardingstijd (20°C en 60% R.V.)	1 uur voor stren g van 30mm
Schuimopbrengst	1000ml geeft 35l schuim vrij opgeschuimd
Celstructuur	fijncellig
Dichtheid	Ca. 25 kg/m ³
Temperatuursbestendigheid	-40°C tot +90°C (uitgehard) 120°C (max 1uur)
kleur	blauw
Brandklasse (DIN4102 Teil 1)	B2
Luchtdoorlaatbaarheid (DIN 18542)	$a < 0,1 \text{ m}^3/[\text{h.m.}(\text{daPa})^{2/3}]$
Waterdampdoorlaatbaarheid (DIN EN ISO 12572)	Wasserdampdiffusionswiderstandszahl $\mu = 20$
Waterabsorptie	1% volume
Geluidsisolatie (EN ISO 717-1)	$R_{ST,w}(c;c_{tr}) = 60 (-1;-4) \text{ dB}$
Blijvende vervorming bij druk (ISO 1856) 50% compressie 22u na 1 dag recuperatie	Ca. 6%
Isolatiefactor (DIN 52612)	34.5 mW/m.K
Druksterkte (DIN 53421)	Ca. 0.5 N/cm ²
Rek bij breuk (DIN 53571)	30%
treksterkte (DIN 53423)	Ca. 7 N/cm ²
Schuifsterkte (DIN 53571)	Ca. 3.0N/cm ²
Volumeverandering (DIN EN ISO 10563)	<5%

Product:

Flexifoam is een ééncomponent, zelfexpanderend, gebruiksklaar polyurethaanschuim, waarbij de bus voorzien is van een schroefdraad zodat deze kan gebruikt worden op een pistool. Het schuim is

bovendien afgevuld met drijfgassen, die totaal onschadelijk zijn voor de ozonlaag. Het schuim is extreem elastisch en volgt optimaal de beweging van de materialen waarop het aangebracht is.

Eigenschappen:

- 3 keer flexibeler dan een traditioneel PU-schuim

Opmerking: Deze fiche vervangt alle voorgaande. De richtlijnen in deze documentatie zijn het resultaat van onze proeven en ervaring en worden te goeder trouw gegeven. Daar wij geen controle hebben over de toepassingsmodaliteiten kunnen wij niet verantwoordelijk gesteld worden voor de bekomen resultaten en voor eventuele schade voortvloeiend uit een verkeerd of niet-aangepast gebruik. Daar het ontwerp, de hoedanigheid van de ondergrond en de verwerkingsomstandigheden buiten onze beoordeling vallen, kan geen aansprakelijkheid op grond van deze publicatie worden aanvaard. Het is dan ook aangeraden om altijd voorafgaand een test uit te voeren eigen aan de specifieke plaatselijke omstandigheden. Soudal behoudt zich het recht voor de producten aan te passen zonder voorafgaandelijke berichtgeving.

FLEXIFOAM

Revisie datum: 03/05/2010**Pagina 2 van 2**

- Freonvrij (onschadelijk voor ozonlaag en broeikasteffect)
- Snelle doorharding
- Hoge vormstabiliteit (geen krimp of postexpansie)
- Groot vullend vermogen, maar zwelt minder fel uit
- Uitstekende hechting op alle materialen (geen PE, PP en PTFE)
- Hoge isolatiewaarde, thermisch en akoestisch
- Uitstekende montage-eigenschappen
- Zeer nauwkeurig doseerbaar

Toepassingen:

- Alle schuimtoepassingen in statische en niet statische voegen
- Montage van ramen en deuren
- Opvullen van holle ruimten
- Afdichten van alle openingen in dakconstructies
- Aanbrengen van een akoestisch scherm
- Aanbrengen van een geluidsdempende laag
- Optimaliseren van isolatie in koeltechniek

Leveringsvorm:

Verpakking: aerosolbus van 750mL (netto)
Kleur : blauw

Houdbaarheid:

12 maanden in ongeopende verpakking op een droge en koele plaats.
Altijd rechtop stockeren

Verwerking:

Schudt de bus krachtig gedurende 20 seconden. Schroef de bus op het pistool. Bevochtig de vet- en stofvrije ondergrond. Voor niet klassieke ondergronden wordt het aangeraden op de ondergrond eerst een hechtingstest uit te voeren.

Vul de voeg of holte voor 65 % daar het schuim nog verder uitzet tijdens het doorharden.

Schud regelmatig gedurende het gebruik. Indien er in verschillende lagen wordt gewerkt dient tussen de lagen licht bevochtigd te worden.

Niet uitgehard schuim kan verwijderd worden met cleaner of aceton. Uitgehard schuim is enkel mechanisch te verwijderen.

Veiligheidsaanbevelingen:

De gebruikelijke arbeidshygiëne in acht nemen
Draag handschoenen en veiligheidsbril
Uitgehard schuim mechanisch verwijderen, nooit wegbranden;
Raadpleeg de verpakking voor meer informatie.

Opmerkingen:

Het gebruiken van een pistool biedt de mogelijkheid om schuimstrengen zeer juist te doseren.

Het licht bevochtigen van de ondergrond in holle ruimten optimaliseert de goede hechting en de opbrengst

Normen en certificaten:

- Baustoffklasse B2 (DIN 4102-1)
Prüfzeugnis P-SAC 02/III-164 (MFP)
- Wärmeleitfähigkeit (DIN 52612) PB
070598.1 Hu (MPA Bau Hannover)
- Fugen schalldämmung (EN ISO 717-1)
PB 16733428 (IFT Rosenheim)
- Wasserdampfdurchlässigkeit (DIN EN ISO 12572) PB 50933428 (IFT)
- Luftdurchlässigkeit (DIN 18452) PB
10533428 (IFT Rosenheim)

Opmerking: Deze fiche vervangt alle voorgaande. De richtlijnen in deze documentatie zijn het resultaat van onze proeven en ervaring en worden te goeder trouw gegeven. Daar wij geen controle hebben over de toepassingsmodaliteiten kunnen wij niet verantwoordelijk gesteld worden voor de bekomen resultaten en voor eventuele schade voortvloeiend uit een verkeerd of niet-aangepast gebruik. Daar het ontwerp, de hoedanigheid van de ondergrond en de verwerkingsomstandigheden buiten onze beoordeling vallen, kan geen aansprakelijkheid op grond van deze publicatie worden aanvaard. Het is dan ook aangeraden om altijd voorafgaand een test uit te voeren eigen aan de specifieke plaatselijke omstandigheden. Soudal behoudt zich het recht voor de producten aan te passen zonder voorafgaandelijke berichtgeving.

SOUDABAND PRO BG1

Stand: 30.04.2010 Vorherige Versionen verlieren ihre Gültigkeit. – Die aktuellste Version finden Sie unter www.soudal.com

Seite 1 von 2

Technische Eigenschaften :

Material	Mit flammhemmende Polymerdispersion imprägnierter PUR-Weichschaumstoff
Einstufung (DIN 18542 / 2009)	BG1
Fugendurchlaßkoeffizient (DIN EN 12114)	$a \leq 1,0 \text{ m}^3/[\text{h} \cdot \text{m} \cdot (\text{daPa})^n]$
Schlagregendichtheit von Fugen (DIN EN 1027)	$\geq 600 \text{ Pa}$
Schlagregendichtheit von Fugenkreuzungen (DIN EN 1027)	$\geq 600 \text{ Pa}$
Temperaturwechselbeständigkeit (DIN 18542 / 2009)	von $-30 \text{ }^\circ\text{C}$ bis $+90 \text{ }^\circ\text{C}$
Beständigkeit gegen Licht- und Witterung (DIN 18542/2009)	Anforderungen erfüllt
Verträglichkeit mit angrenzenden Baustoffen (DIN 18542 / 2009)	Anforderungen erfüllt
Maßtoleranz (DIN 7715 T5 P3)	Anforderungen erfüllt
Baustoffklasse (DIN 4102)	B1 (schwerentflammbar)
Wasserdampf-Diffusionwiderstandzahl μ (DIN EN ISO 12572)	$\mu \leq 100$
sd-Wert (DIN EN ISO 12572)	$\leq 0,5 \text{ m}$ bei 50 mm Breite (dampfdiffusionsoffen)
Wärmeleitfähigkeit (DIN EN 12667)	$\lambda = 0,052 \text{ W/m} \cdot \text{K}$
Langzeitbeständigkeit	10 Jahre Funktionsgarantie (°)

(°) zu den Bedingungen des Herstellers, die auf Anforderungen übersandt werden.

Anerkannte Institute haben SOUDABAND PRO BG1 getestet. Sie erhalten die Prüfberichte auf Anfrage. Die gleichbleibend hohe Qualität wird durch permanente Eigen- und Fremdüberwachung nachhaltig gesichert.

Produktbeschreibung:

SOUDABAND PRO BG1 ist ein vorkomprimiertes Fugendichtband aus PUR-Weichschaumstoff mit Acryldispersion-Imprägnierung.

Produkteigenschaften:

- Beanspruchungsgruppe BG1 nach DIN 18542 / 2009
- Praktische- und schnelle Verarbeitung
- Schlagregendicht 600 Pa
- Dampfdiffusionsoffen
- Sehr emissionsarm – EC1 ^{PLUS} lizenziert
- Baustoffklasse B1 DIN 4102
- Frei von Chlorverbindungen
- Licht- und witterungsbeständig
- Luft- und winddicht
- Dauerelastisch und selbstklebend
- Wärmedämmend und schallreduzierend
- Überstreichbar mit üblichen Dispersionsfarben

Anwendung:

Hervorragend geeignet zur diffusionsoffenen, schlagregendichten, dauerelastischen Abdichtung von stark beanspruchten Bauanschlussfugen im Außen-bereich, nach EnEV DIN 4108 und RAL. Für z.B. Anschluss- und Dehnfugen zwischen Mauerwerk und Fenster bis 100 m Gebäudehöhe. Dehn- und Anschlussfugen, z.B. zwischen Fenster und Fassade, Fugen im Hoch-, Holzhaus- und Fertighausbau, sowie Anwendungen im WDVS, Metall- und Trockenbau. SOUDABAND PRO BG1 ist Teil des SOUDAL WINDOW SYSTEM (SWS).

Lieferform:

Farbe: schwarz, grau

Verpackung: Siehe Lieferprogramm. Sonderfarben und – Abmessungen sind auf Anfrage und projektbezogen lieferbar.

Konfektionierung: Vorkomprimierte Rollenware, einseitig selbstklebend. Jede Rolle einzeln eingeschweißt.

HINWEIS: Die vorstehenden Informationen und unsere anwendungstechnische Beratung in Wort, Schrift und durch Versuche erfolgen nach bestem Wissen, gelten jedoch nur als unverbindliche Hinweise, auch in Bezug auf etwaige Schutzrechte Dritter. Die Beratung befreit Sie nicht von einer eigenen Prüfung unserer Beratungshinweise und unserer Produkte im Hinblick auf ihre Eignung für die beabsichtigten Verfahren und Zwecke. Neben unseren Angaben sind auch die entsprechenden Regelwerke und Vorschriften von Organisationen und Fachverbänden sowie die jeweiligen DIN-Normen für die zu erbringende Leistung zu beachten. Anwendung, Verwendung und Verarbeitung unserer Produkte und der auf Grund unserer anwendungstechnischen Beratung von Ihnen hergestellten Produkte erfolgen außerhalb unserer Kontrollmöglichkeiten und liegen daher ausschließlich in Ihrem Verantwortungsbereich. Der Verkauf unserer Produkte erfolgt nach Maßgabe unserer Allgemeinen Verkaufs- und Lieferbedingungen.

SOUDABAND PRO BG1

Stand: 30.04.2010 Vorherige Versionen verlieren Ihre Gültigkeit. – Die aktuellste Version finden Sie unter www.soudal.com

Seite 2 von 2

Haltbarkeit:

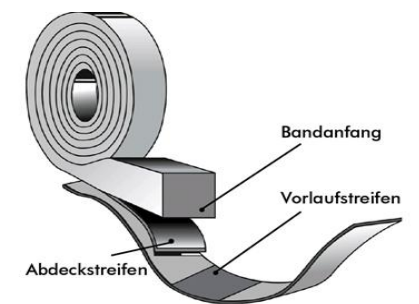
12 Monate ab Produktionsdatum in ungeöffneter Verpackung bei kühler (+1°C bis +20°C) und trockener Lagerung. Anbruchgebilde gut verschließen und kurzfristig verbrauchen.

Untergründe :

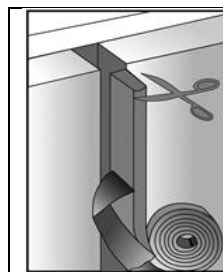
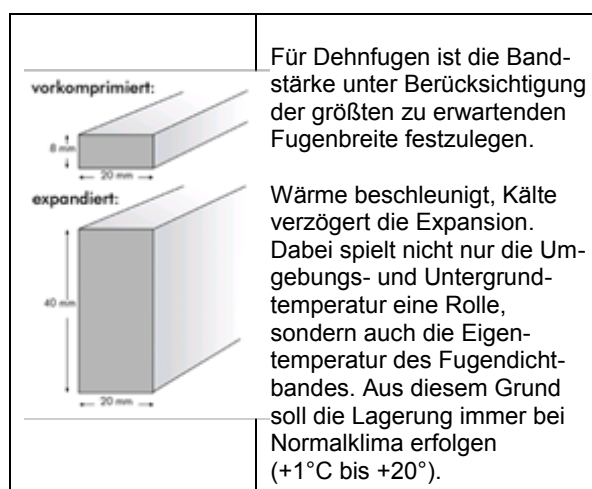
Alle Untergründe, ausgenommen PE, PTFE, PP und Silicone. Haftflächen müssen grob von Bauschmutz und Mörtelresten gereinigt werden. SOUDABAND PRO BG1 kann mit Keilen auch auf feuchten Fugenflanken fixiert werden. Poröse Untergründe ggf. mit SOUDAL PRIMER 100 vorbehandeln.

Verarbeitung:

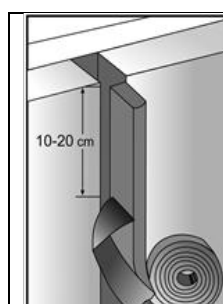
Siehe auch Verlegeanleitung im Karton.



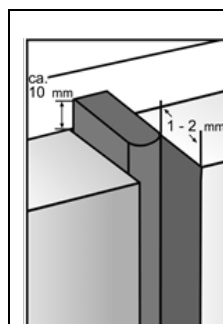
Ermittlung der Fugenbreite und Wahl der Banddimension entsprechend den vorgegebenen Toleranzen auf den Etiketten am Karton bzw. Verschlussfolie auf der Rolle beachten.



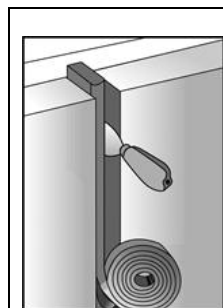
Nach dem Auspacken zunächst den Vorlaufstreifen von der Rolle abziehen, den Bandanfang am besten mit einer Schere gerade abschneiden und unmittelbar danach verarbeiten.



Dazu den Abdeckstreifen ca. 10-20 cm von der Selbstklebeseite des Bandes abziehen. Selbstklebeseite mit der Hand oder einem Spachtel gegen die Fugenflanke oder das Bauelement / Montageteil drücken, fixieren und dabei auf keinen Fall das Band in die Länge ziehen. Den Abdeckstreifen dann weiter von der Selbstklebeseite entsprechend dem Arbeitsfortschritt abziehen.



Beim Zuschneiden der Bänder sollte je lfm. etwa 1 cm zugegeben werden um Dehnungen auszugleichen. Bei breiteren Fugen ist das Band 1-2 mm von der Fugenkante zurückzusetzen.



Nach der Expansion legt sich das Band fest an die Fugenflanken an. Unebenheiten werden durch die Elastizität des Fugendichtbandes ausgeglichen.

HINWEIS: Die vorstehenden Informationen und unsere anwendungstechnische Beratung in Wort, Schrift und durch Versuche erfolgen nach bestem Wissen, gelten jedoch nur als unverbindliche Hinweise, auch in Bezug auf etwaige Schutzrechte Dritter. Die Beratung befreit Sie nicht von einer eigenen Prüfung unserer Beratungshinweise und unserer Produkte im Hinblick auf ihre Eignung für die beabsichtigten Verfahren und Zwecke. Neben unseren Angaben sind auch die entsprechenden Regelwerke und Vorschriften von Organisationen und Fachverbänden sowie die jeweiligen DIN-Normen für die zu erbringende Leistung zu beachten. Anwendung, Verwendung und Verarbeitung unserer Produkte und der auf Grund unserer anwendungstechnischen Beratung von Ihnen hergestellten Produkte erfolgen außerhalb unserer Kontrollmöglichkeiten und liegen daher ausschließlich in Ihrem Verantwortungsbereich. Der Verkauf unserer Produkte erfolgt nach Maßgabe unserer Allgemeinen Verkaufs- und Lieferbedingungen.

SOUDABAND PRO BG1

Stand: 30.04.2010 Vorherige Versionen verlieren Ihre Gültigkeit. – Die aktuellste Version finden Sie unter www.soudal.com

Seite 3 von 2

Sicherheitsempfehlungen:

Die übliche Arbeitshygiene beachten.

Weitere Informationen zur Produktsicherheit und Handhabung entnehmen Sie bitte den Hinweisen auf dem Verkaufsgebilde.

Normen und Zulassungen:

- DIN 18542, Beanspruchungsgruppe BG1 (Prüfzeugnis 10543167/2 R1 U – ift, Rosenheim)
- Entspricht DIN 4102-B1 (Prüfzeugnis P-26143155-ift, ift, Rosenheim)
- EMICODE EC 1^{Plus} – Lizenz 3957 (GEV, Düsseldorf)

HINWEIS: Die vorstehenden Informationen und unsere anwendungstechnische Beratung in Wort, Schrift und durch Versuche erfolgen nach bestem Wissen, gelten jedoch nur als unverbindliche Hinweise, auch in Bezug auf etwaige Schutzrechte Dritter. Die Beratung befreit Sie nicht von einer eigenen Prüfung unserer Beratungshinweise und unserer Produkte im Hinblick auf ihre Eignung für die beabsichtigten Verfahren und Zwecke. Neben unseren Angaben sind auch die entsprechenden Regelwerke und Vorschriften von Organisationen und Fachverbänden sowie die jeweiligen DIN-Normen für die zu erbringende Leistung zu beachten. Anwendung, Verwendung und Verarbeitung unserer Produkte und der auf Grund unserer anwendungstechnischen Beratung von Ihnen hergestellten Produkte erfolgen außerhalb unserer Kontrollmöglichkeiten und liegen daher ausschließlich in Ihrem Verantwortungsbereich. Der Verkauf unserer Produkte erfolgt nach Maßgabe unserer Allgemeinen Verkaufs- und Lieferbedingungen.

ME500 Duo Folie

Productomschrijving

ME500 Duo Folie is een lucht- en slagregendicht membraan. Dankzij zijn coëfficiënt voor waterdampdoordringbaarheid, die varieert naargelang de omgevingsvochtigheid, vermijdt dit membraan elke vorm van condensatie in de voeg. Dit membraan wordt door zijn bijzonder geringe luchtdoorlaatbaarheid vaak gebruikt voor constructies met laag energieverbruik of positieve energie.

Verschillende uitvoeringen

Duo Folie EW

Luchtdichte folie voorzien van aan de ene kant een dubbelzijdig kleefband voor bevestiging op gladde oppervlakken (kozijnen in pvc, aluminium, hout, geschilderd hout) en aan de andere kant wordt de folie bevestigd m.b.v. SP025 Folielijm Eco.

Duo Folie EW + stucgaas

Luchtdichte folie voorzien van aan de ene kant een dubbelzijdig kleefband voor bevestiging op gladde oppervlakken (kozijnen in pvc, aluminium, hout, geschilderd hout) en aan de andere kant een stucgaas voor bevestiging met behulp van pleister.

Duo Folie met EPDM rubberprofielen

Deze profielen zijn bedoeld om te bevestigen in aluminium en kunststof kozijnprofileringen en houten kozijnen - indien er een gleuf is gefreesd. Deze montage is reeds luchtdicht, en aan de andere kant wordt de folie bevestigd d.m.v. SP025 Folielijm Eco.

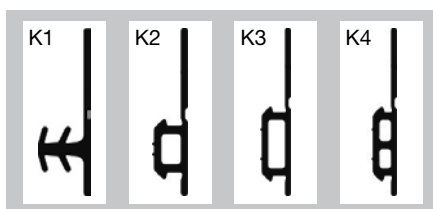
Materiaal

Copolymeer polythyleenfilm met vezelvlies.

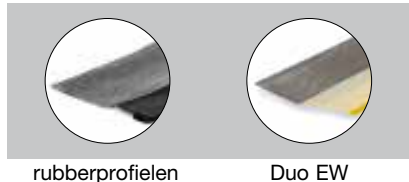
Producteigenschappen

- luchtdicht (600 Pa)
- waterdampdoordringbaarheid varieert naargelang van de omstandigheden
- wordt in Duitsland gebruikt voor constructies met het "Passiv Haus"-label
- geschikt voor zowel nieuwbouw als renovatie

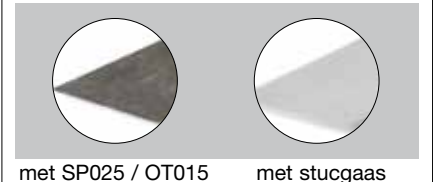
Rubberprofiel



Varianten



Bevestigingswijze



Technische gegevens

Eigenschappen	Normen	Waarden
Slagregendichtheid	DIN EN 1027 Klasse 9 A	600 Pa PV MPA BAU Hannover Nr. 072330.1 Sz
Luchtdoorlaatbaarheid	DIN EN 1026	$a \leq 0,1 \text{ m}^3/(\text{h.m.}(\text{dPa})\text{n})$
Waterdampdoordringbaarheid	DIN 4108-3	So varieert naargelang van de omgevingsvochtigheid: tussen 0,21 en 15 m
Kleefkracht van de butylstrip en kleefkracht van de dubbelzijdige kleefband		12N/25 mm
Compatibiliteit met de gebruikelijke bouwmaterialen	DIN 52 452	Voldoet
Temperatuurbestendigheid		- 40°C tot + 100°C
Verwerkingstemperatuur		+ 5°C tot + 45°C
UV-weerstand		ca. 3 maanden
Brandweerstandsklasse	DIN 4102	B2
Opslagduur		1 jaar

Rubber profiel	min. groefdiepte in mm	groefbreedte in mm	Leverancier kozijnen
K1	± 6,5	± 3 - 5	Schüco, Rehau (PVC) en timmerindustrie (hout)
K2	± 4,0	± 5 - 7	VEKA (PVC)
K3	± 4,0	± 8 - 10	Schüco (alu)
K4	± 3,8	± 14 - 15	Euronut profiel: SAPA, Reynaers, Aluplast (alu)

ME500 Duo Folie

Leveringsvorm

Artikelnr.	type	Inhoud verpakking (m)
56639110	EW 070 mm	5 rol 50m = 250m/ds
56639111	EW 100 mm	3 rol 50m = 150m/ds
56639112	EW 140 mm	2 rol 50m = 100m/ds
56639120	EW 200 mm	2 rol 50m = 100m/ds
56639121	EW 250 mm	1 rol 50m = 50m/ds
56639124	EW 300 mm	1 rol 50m = 50m/ds
56639115	EW 060 mm + gaas	3 rol 50m = 150m/ds
56639116	EW 090 mm + gaas	2 rol 50m = 100m/ds
56639151	EW 140 mm + gaas	2 rol 50m = 100m/ds
390603	K1 100 mm	3 rol 25m = 75m/ds
390604	K1 200 mm	1 rol 25m = 25m/ds
390605	K1 300 mm	1 rol 25m = 25m/ds
390606	K2 100 mm	3 rol 25m = 75m/ds
390607	K2 200 mm	1 rol 25m = 25m/ds
390608	K2 300 mm	1 rol 25m = 25m/ds
390609	K3 100 mm	3 rol 25m = 75m/ds
390715	K3 200 mm	1 rol 25m = 25m/ds
390610	K3 300 mm	1 rol 25m = 25m/ds
390611	K4 100 mm	3 rol 25m = 75m/ds
390612	K4 200 mm	1 rol 25m = 25m/ds
390613	K4 300 mm	1 rol 25m = 25m/ds

Andere bandbreedtes op aanvraag.
Lengtetoleranties volgens DIN 7715 P3, breedtetoleranties ca. 2,5 mm. Het kleefband wordt aangebracht op een afstand van 1 tot 6 mm van de rand van het membraan.

Bevestiging op het kozijn

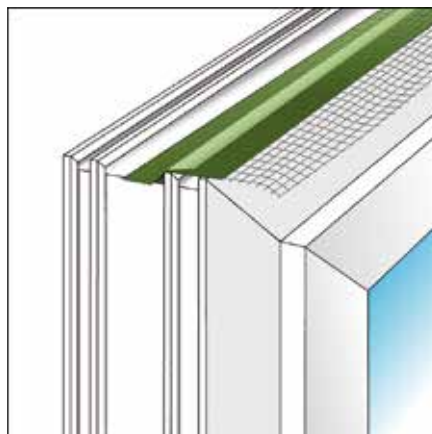


Fig. 1: kleef het membraan op het kozijn

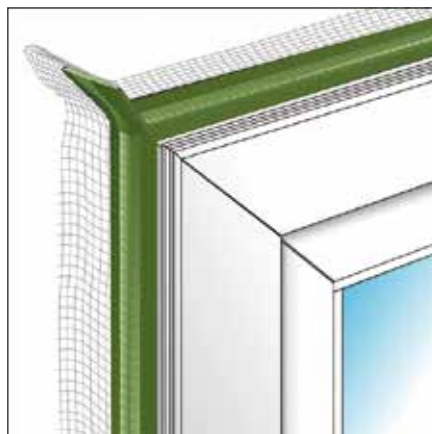


Fig. 2: maak een plooi van ongeveer 2 cm in elke hoek

Bevestiging aan de muur met SP025 Folielijm Eco

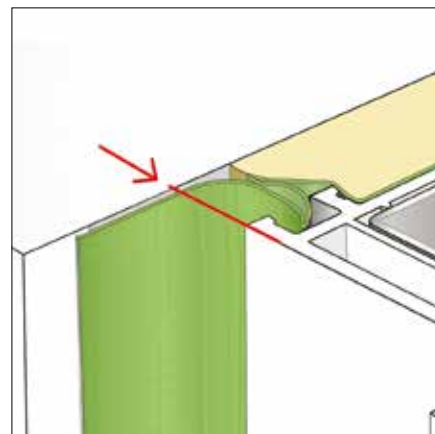


Fig. 3: aanbrengen van de folie met SP025



Fig. 4: bevestig het membraan op de muur

Toepassing

Bevestiging op het kozijn

- Kleef het membraan met behulp van het kleefband op het kozijnprofielgedeelte aan de buitenkant (fig. 1), en dit voor de hele omtrek van het kozijn.
- Maak plooien van ongeveer 2 tot 5 cm in elke hoek (fig. 2).
- Breng de thermische isolatielaag aan (bv. illbruck FM330 Elastic Gun Foam) in het middengedeelte van het kozijnprofielizer, voor de hele omtrek van het kozijn.
- Het Membraan stevig aandrukken/rollen (fig. 4) m.b.v. SP025 Folielijm Eco.
- De vezelvlieskant van het membraan kan gecoat worden met behulp van de gebruikelijke soorten mortel en geschilderd met dispersieverf (fig. 5).

Vorbereiding van de hechttoppervlakken

De hechttoppervlakken moeten droog zijn en vrij van vet, stof en kleefresten. Ook de kleefkracht van pleisterkalk voor het membraan moet getest worden. Bij enig probleem zal men de voorkeur geven aan de oplossing met het stucgaas.



Fig. 5: aan de vezelvlieskant van het membraan bevindt zich het bovenstaande pictogram. Dit geeft aan dat deze kant ingesmeerd kan worden met mortel.

Bevestiging aan de muur met het stucgaas

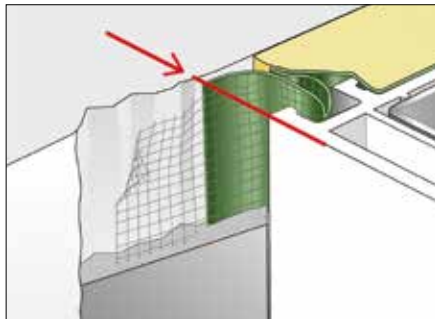


Fig. 6

- Breng in eerste instantie een fijne laag pleisterkalk aan op de muur.
- Leg het stucgaas in de vochtige pleisterkalk. Het gesloten membraan moet de voeg tussen het kozijn en de muur bedekken.



Fig. 7

- Plaats het verbindingsstuk loodrecht op de rode streep, zoals weergegeven in figuur 6.
- Werk de aangebrachte pleisterkalk af door het glad te strijken (fig. 7).

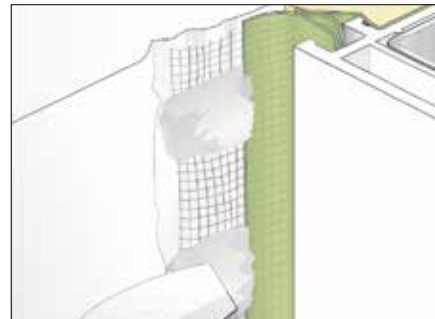


Fig. 8

- Of breng het membraan aan en bevestig het op enkele punten met behulp van mortel of dispersiëljm (fig. 8).

ME500 Duo Folie met Rubberprofiel monteren op het kozijn

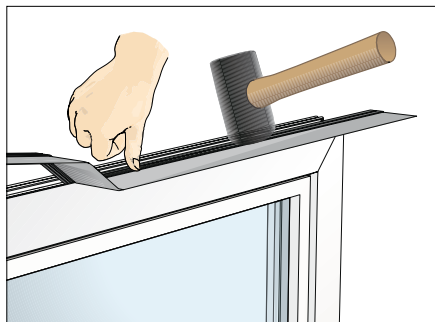


Fig. 9

- De folie met het geschikte rubberprofiel zorgvuldig in de buitenste kozijnprofiel met behulp van een rubberhamer aanbrengen (afb. 9).

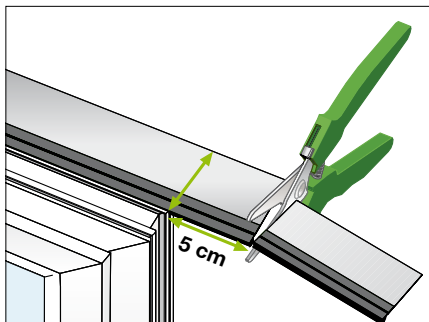


Fig. 10

- Folie rondom het gehele kozijn aanbrengen. Bij de hoeken van de kozijnen de folie met overlengte afknippen. Houdt hierbij 5 cm over (afb. 10).
- Dit bij alle zijden van het kozijn op gelijke wijze herhalen, totdat alle af te dichten zijden van ME500 Duo Folie voorzien zijn.

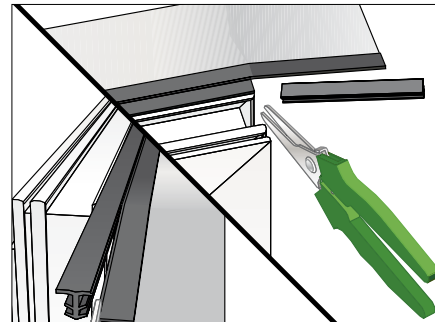


Fig. 11

- De overlengte van de folie langs het rubberprofiel insnijden en recht afknippen bij het kozijn (afb 11).
- Het kozijn monteren en rondom FM330 Elastic Gun Foam aanbrengen voor een goede isolering van het kozijn.

Duo Folie aanbrengen op de ondergrond

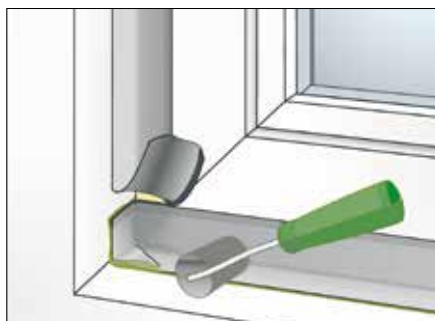


Fig. 12

- De folie gelijkmatig van het kozijn naar de wand laten lopen en deze met OT015 EPDM Folieljm verlijmen op de ondergronden. Zorgvuldig met een aandrukker aandrukken. (afb 12).

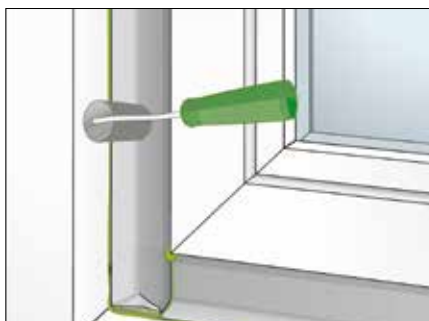


Fig. 13

- De hoeken worden overlapt en volledig verlijmd op de ondergrond, incl. rubberprofiel.

Algemene informatie:

Bovenstaande gegevens zijn naar ons beste weten verstrekt. Wij behouden ons het recht voor wijzigingen in de receptuur aan te brengen. De koper dient zich op de hoogte te stellen van de laatste ontwikkelingen van bovengenoemd product. De toepassingswijze, alsmede de omstandigheden bij applicatie, vallen buiten onze beoordeling en zijn derhalve voor uw eigen verantwoordelijkheid. Aansprakelijkheid op grond van dit productblad kan niet worden aanvaard. Leveringen uitsluitend volgens onze Algemene leverings- en betalingsvoorwaarden.

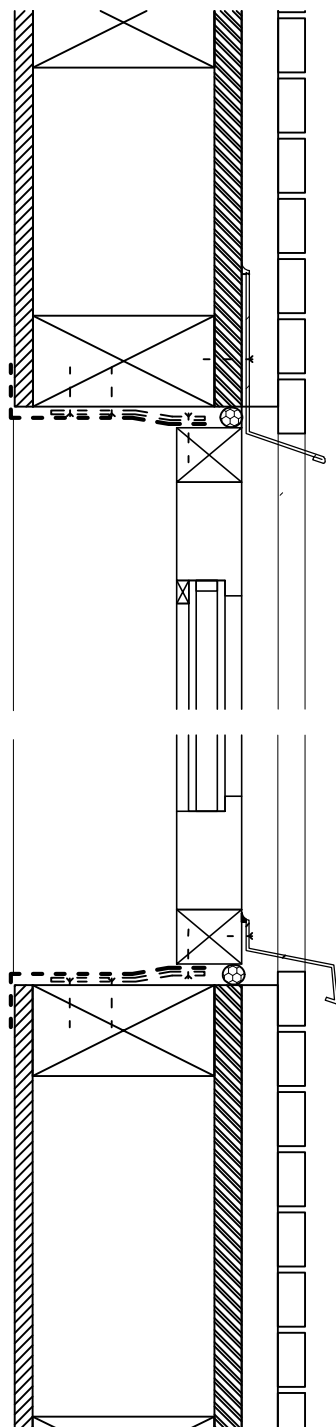
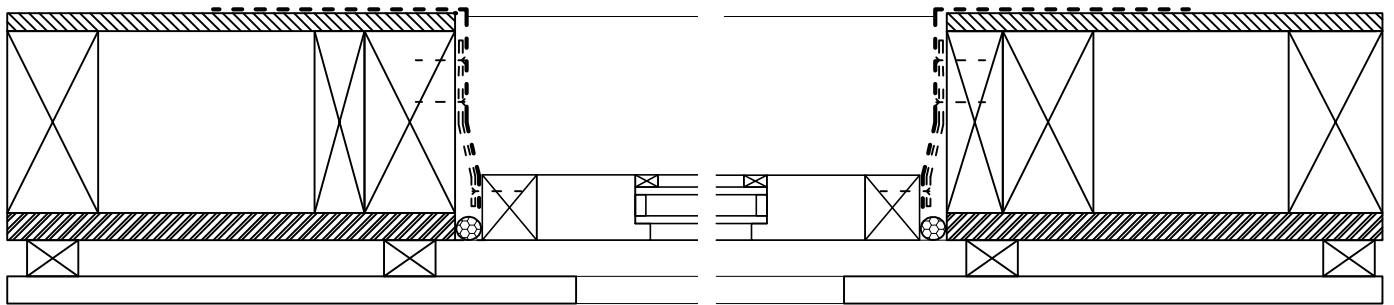
BIJLAGE B

VERSLAG KWALITATIEVE WATERTEST

VERSLAG EERSTE REGENTEST

GETESTE OPSTELLING

detail



foto's



START

Werkelijke druk: -2Pa

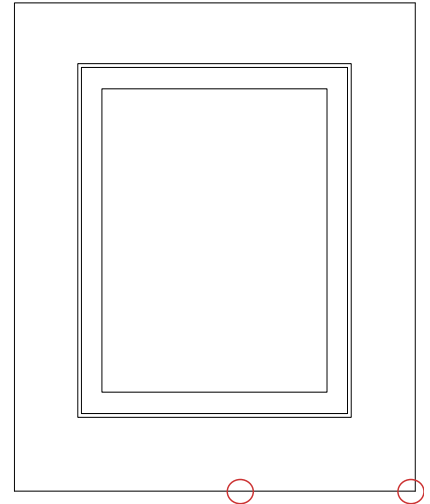
Werkelijk waterdebiet 522 l/h

Duur: 15min

na 1 min:

ZICHT: waterlekkage kast, gesitueerd onderaan, zowel in het midden als in de rechterhoek.

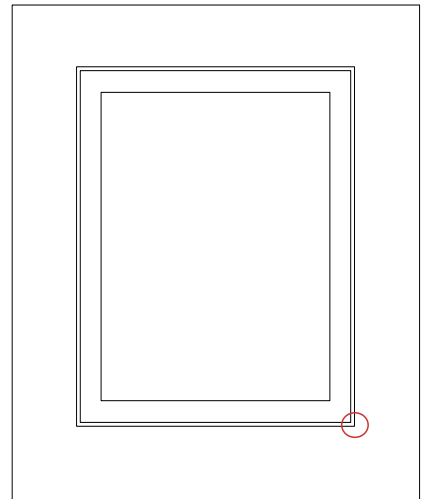
VERMOEDELIJK OORZAAK: de verkleving van de waterkering op de asfalt geïmpregneerde houtvezelplaat is onvoldoende waterdicht.



na 10 min:

ZICHT: water infiltreert door de luchtdichtheidsfolie in de rechter onderhoek

VERMOEDELIJKE OORZAAK: een slechte aansluiting van de zwelband in de hoek.



START OPBOUW DRUK

Werkelijke druk: 50 Pa

Werkelijk waterdebiet: 524 l/h

Duur: 5min

ZICHT: geen verandering, water blijft infiltreren via de rechterbinnenhoek onderaan.

OPMERKING: we merken een sterke schommeling in debiet: 513-530l/h.

VRAAG: hoe kun je dan een foutenrekening introduceren? Er zit een sterke fout op de meting, bovendien zal bij het opvangen van het water bovendien een nog sterkere fout zitten omdat er water zal blijven hangen.

Werkelijke druk: 98 Pa

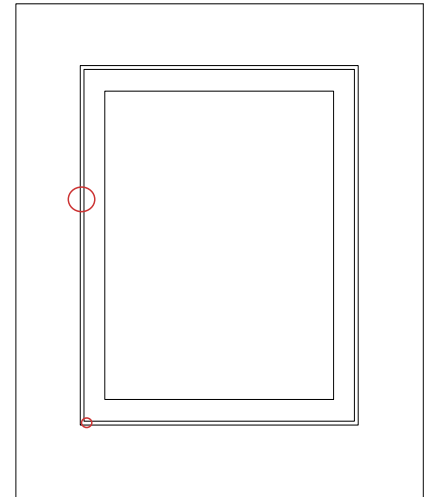
Werkelijk waterdebiet: 522 l/h

Duur: 5min

Na 1min:

ZICHT: 2 druppels zichtbaar in linker onderhoek + water aan zijkant erboven, ongeveer midden.

VERMOEDELIJKE OORZAAK: De druiplijst komt niet helemaal over de linkerbovenhoek. Hierdoor krijgen we waterinfiltratie in de linkerbovenhoek, deze druipt naar beneden.

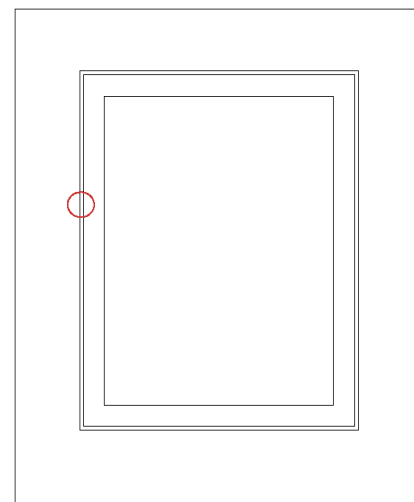


Werkelijke druk: 150 Pa
Werkelijk waterdebiet: 522 l/h
Duur: 5 min

Na 4min10:

ZICHT: de lekkage aan de zijkant links wordt duidelijker, het water loopt naar beneden.

VERMOEDELIJKE OORZAAK: De druiplijst zit niet over deze hoek van het raam, hierdoor krijgt de verticale aansluiting al het runoffwater op zich. Het zichtbaar worden kan te wijten zijn aan het naar achter drukken van de luchtfolie om de oorzaak van de druppels in vorige test te onderzoeken.



Werkelijke druk: 200 Pa
Werkelijk waterdebiet: 519 l/h
Duur: 5 min

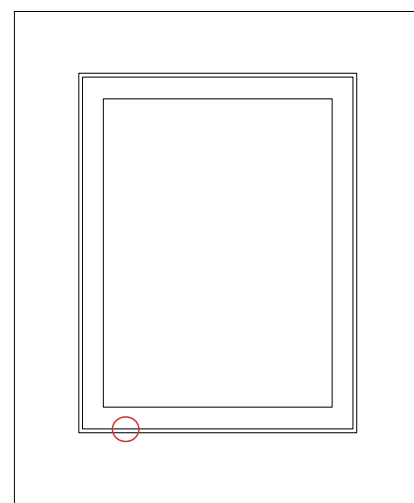
ZICHT: geen nieuwe waterinfiltratieplekken.

Werkelijke druk: 250 Pa
Werkelijk waterdebiet: 516-522 l/h
Duur: 5 min

Na 1,5 min:

ZICHT: aan de linker onderzijde van het raamkader wordt waterinfiltratie duidelijk, dit is niet ter plaatse van een raamanker

VERMOEDELIJKE OORZAAK: Waarschijnlijk is de zwelband hier niet zo goed aangesloten, verder merken we iets verder een luchtlek op. De combinatie van deze 2 kan een lek veroorzaken.



Werkelijke druk: 300 Pa
Werkelijk waterdebiet: 522 l/h
Duur: 5 min

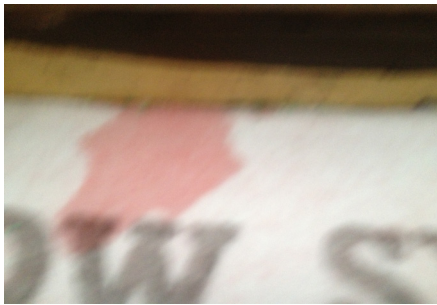
ZICHT: geen nieuwe waterinfiltratieplekken, enkel wateruitbreiding.

Werkelijke druk: 453 Pa
Werkelijk waterdebiet: 516 - 519 l/h
Duur: 5 min

meteen

ZICHT: snelle vermeerdering van lek linksonder.

VERMOEDELIJKE OORZAAK: de kracht van de luchtdruk stuwt het water naar binnen.



na 1min:

ZICHT: links onder bereidt het wateroppervlak zich snel uit. Het water komt doorheen de folie en druppelt tot op de grond.

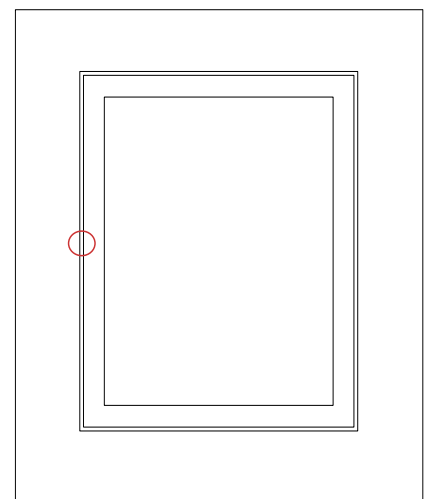
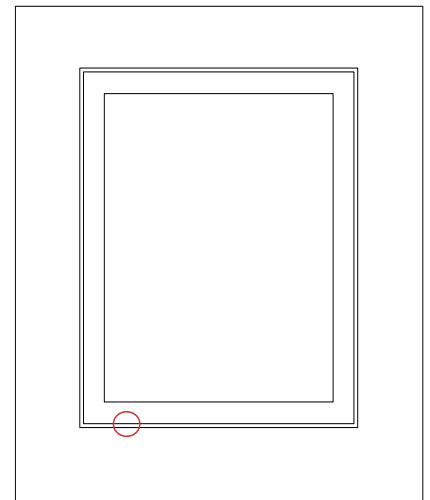
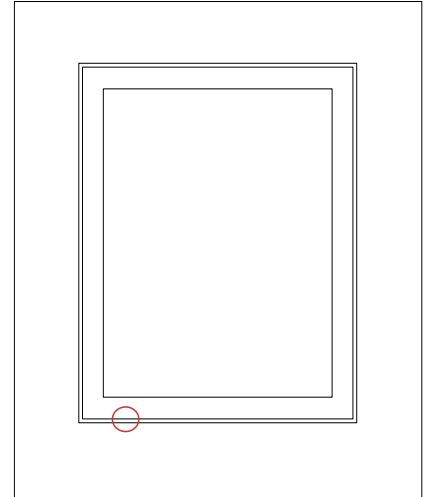
VERMOEDELIJKE OORZAAK: een luchtlek iets verder naar het midden wordt opgemerkt, dit kan de stuwende kracht verklaren.



Na 2min30:

ZICHT: bijkomende waterinfiltratie linkerszijde.

VERMOEDELIJKE OORZAAK: ontbrekende druiplijst in de hoek.

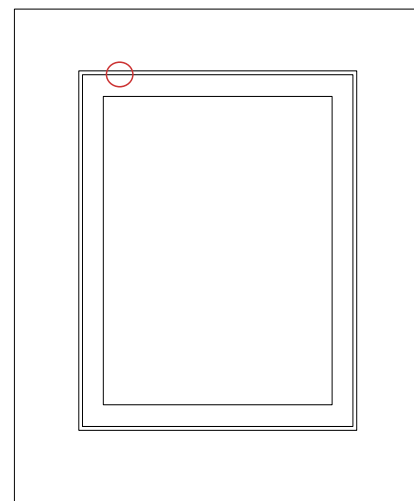


Werkelijke druk: 600 Pa
Werkelijk waterdebiet: 522 l/h
Duur: 5 min

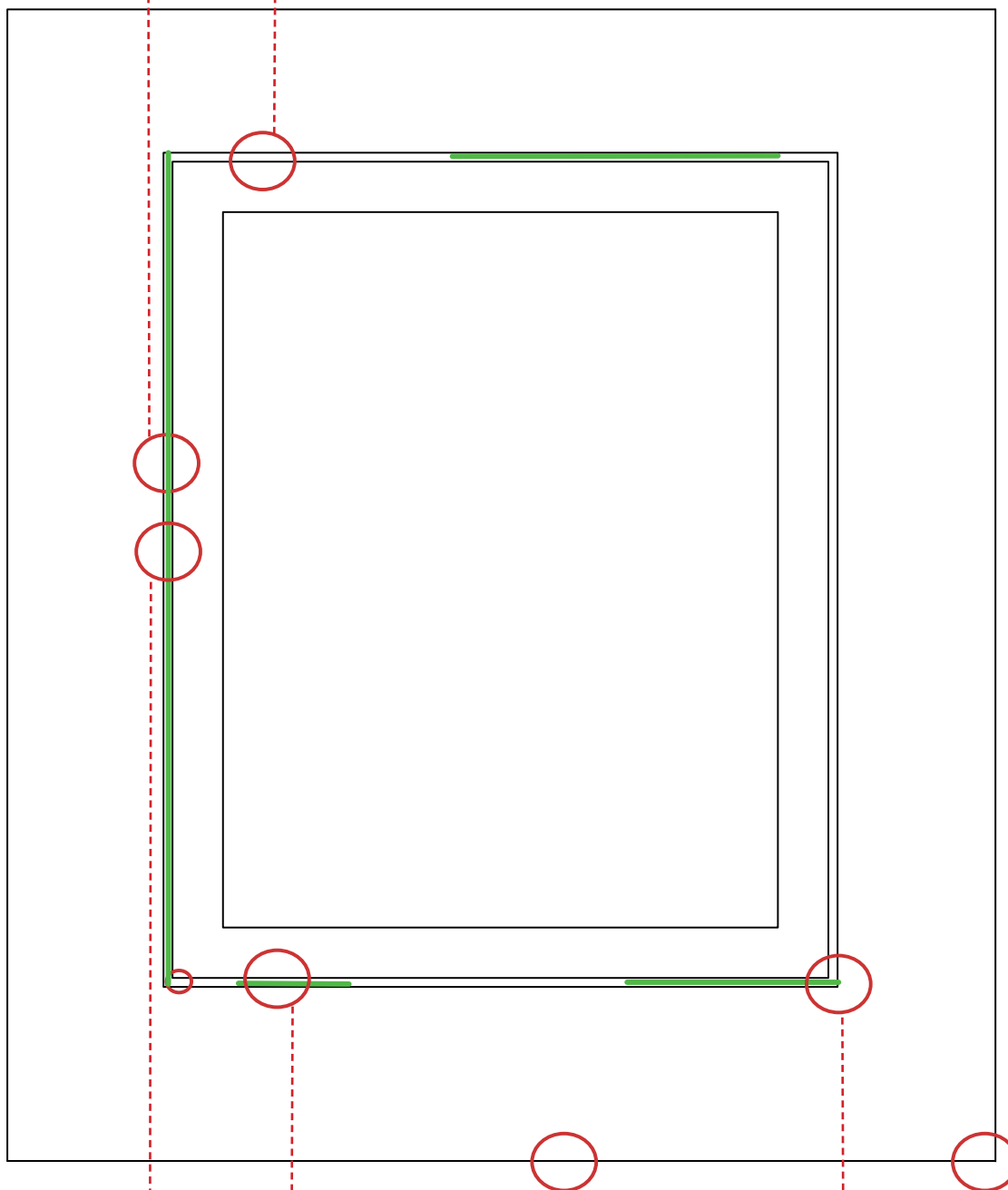
Na 3 min:

ZICHT: waterinfiltratie links boven

VERMOEDELIJKE OORZAAK: ontbrekende druiplijst



VERWIJDEREN LUCHTDICHTIGSFOLIE



VERWIJDERENZWELBAND, RAAM EN GEVEL



bovenaanraam:
onder druiplijst



linkeronderhoek



rechteronderhoek



aanzicht
buitenomgeving
na verwijderen
gevel

HOEEVEELHEID WATER INSCHATTEN

We hebben de hoeveelheid water die door de folie kwam opgemeten, dit is niet gelijk aan de hoeveelheid water die doorheen het regenscherm gaat. Aan de hand van deze hoeveelheid konden we een eerste inschatting maken.

We veronderstellen dat het water dat aan de rechterzijkant het regenscherm binnendrong, niet in de rechter-onderhoek is blijven staan doordat hier een grote spleet te vinden is.

Rechtsonder : $25,5 \text{ g} - 10,4 \text{ g} = 14,8 \text{ g} = 1,48 \text{ Cl}$

Linksonderhoek: $137,8 \text{ g} - 84,8 \text{ g} = 53 \text{ g} = 5,3 \text{ Cl}$



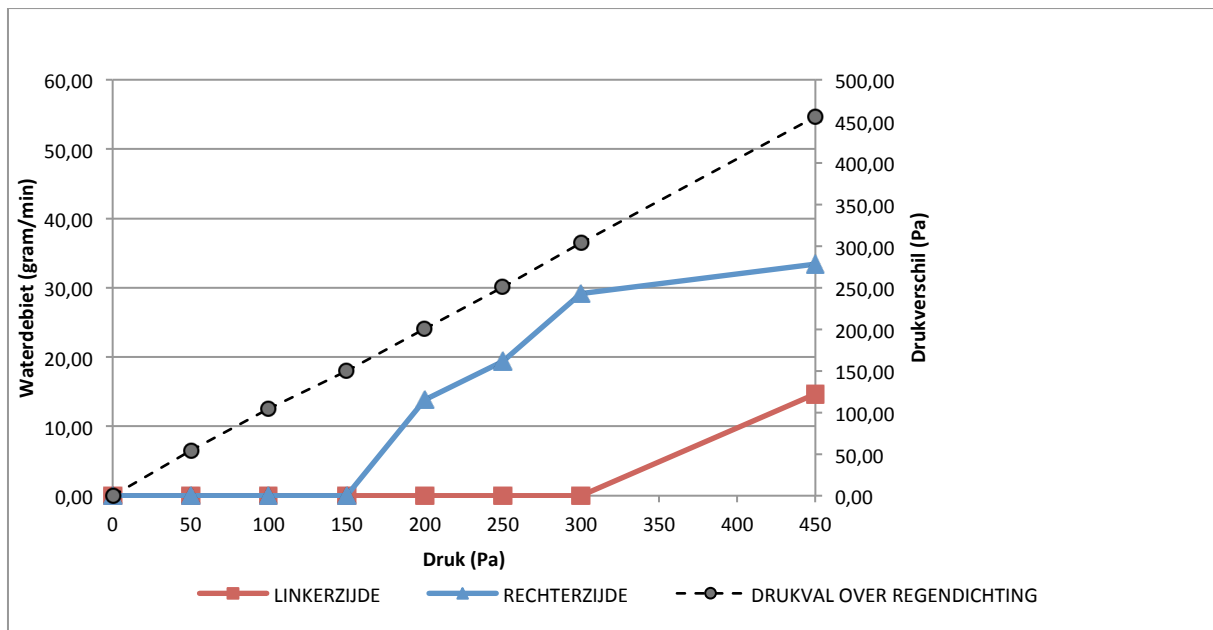
BIJLAGE C

TESTRESULTATEN FOLIE – INSTALLATIEFOUT

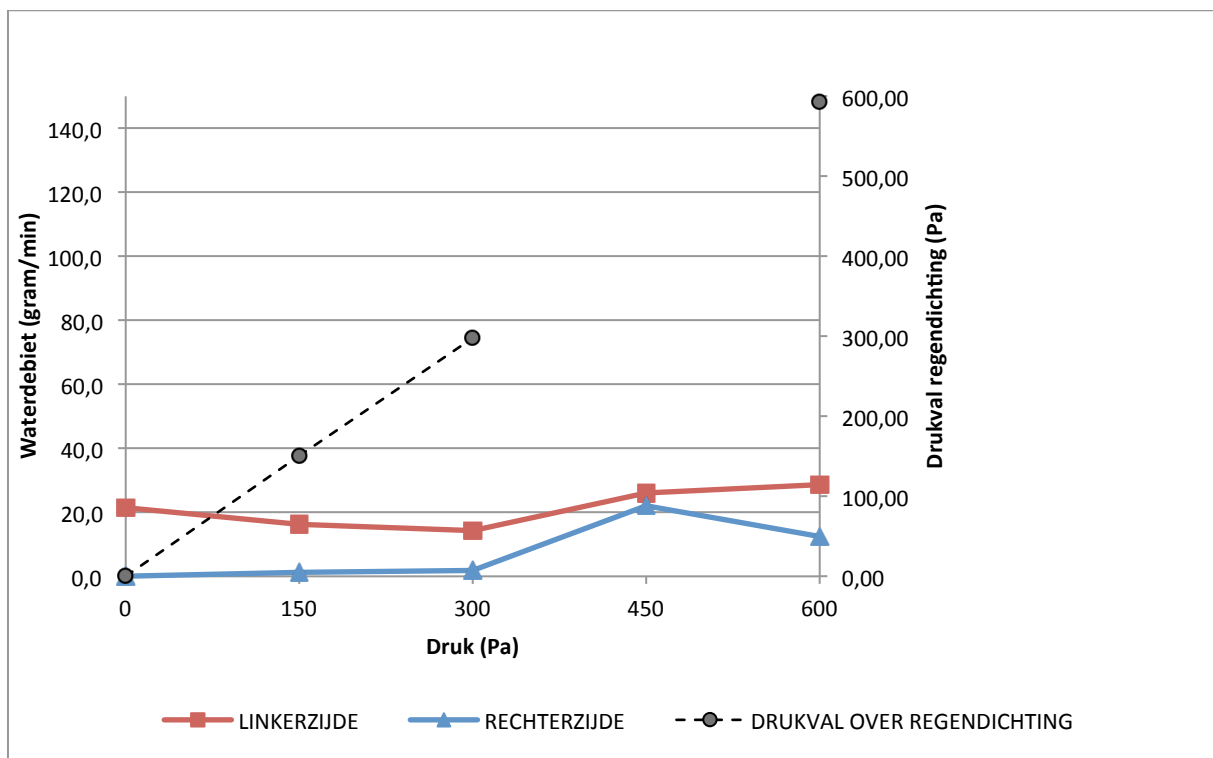
MEETRESULTATEN INSTALLATIEFOUT: REGENFOLIE OVERLAP

1. GEEN LUCHTDICHTHEID ZONDER AFWERKING

1.1. Statisch

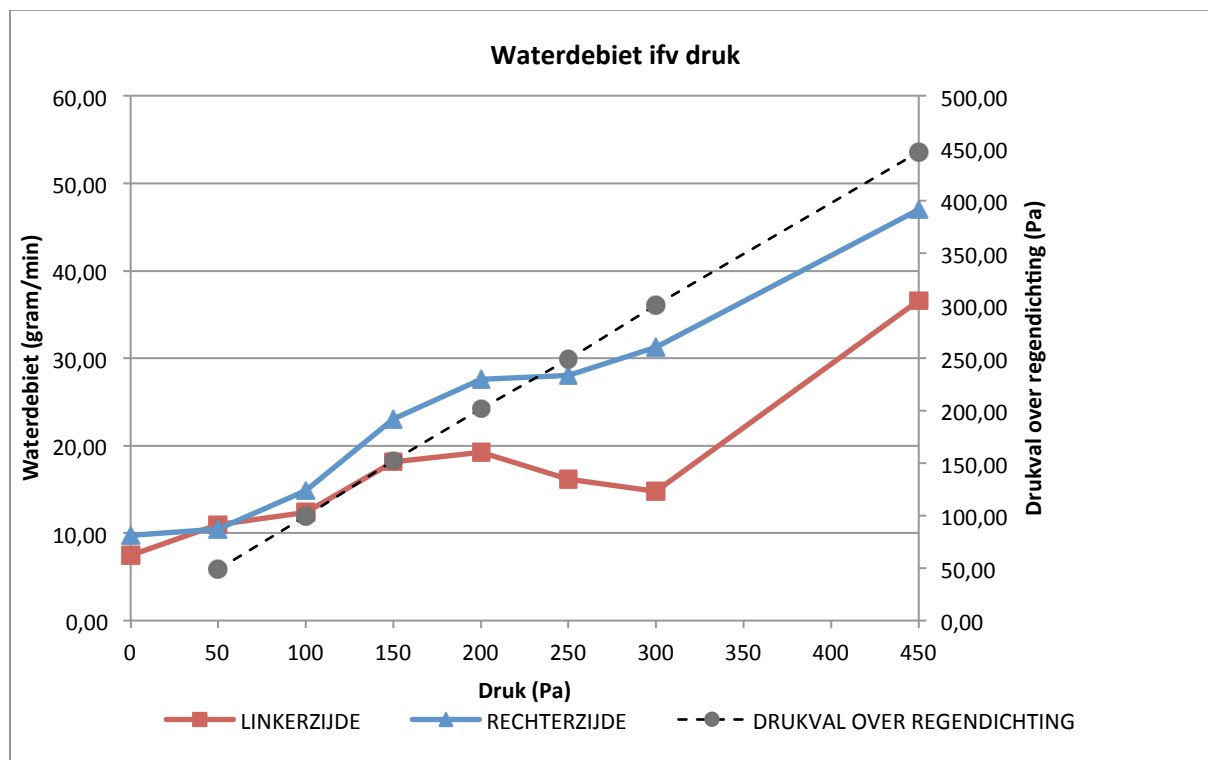


1.2. Dynamisch

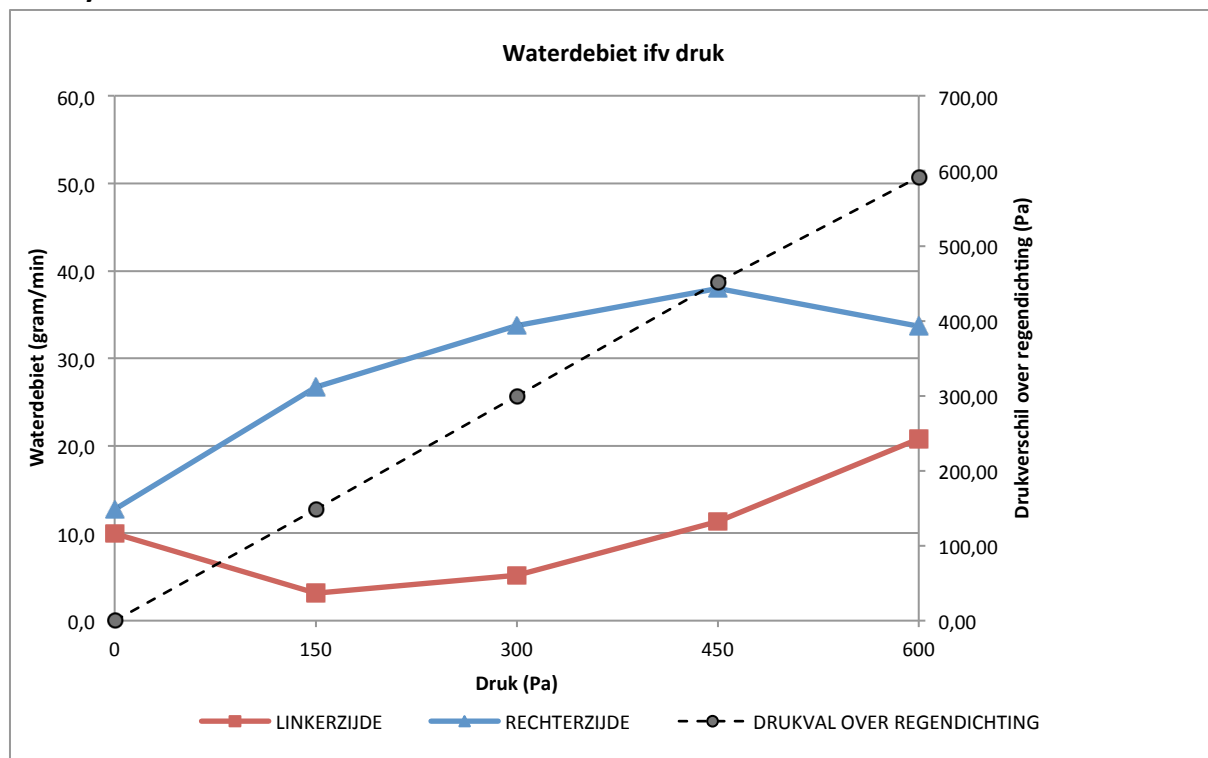


2. GEEN LUCHTDICHTHEID MET AFWERKINGSLAT

2.1. Statisch

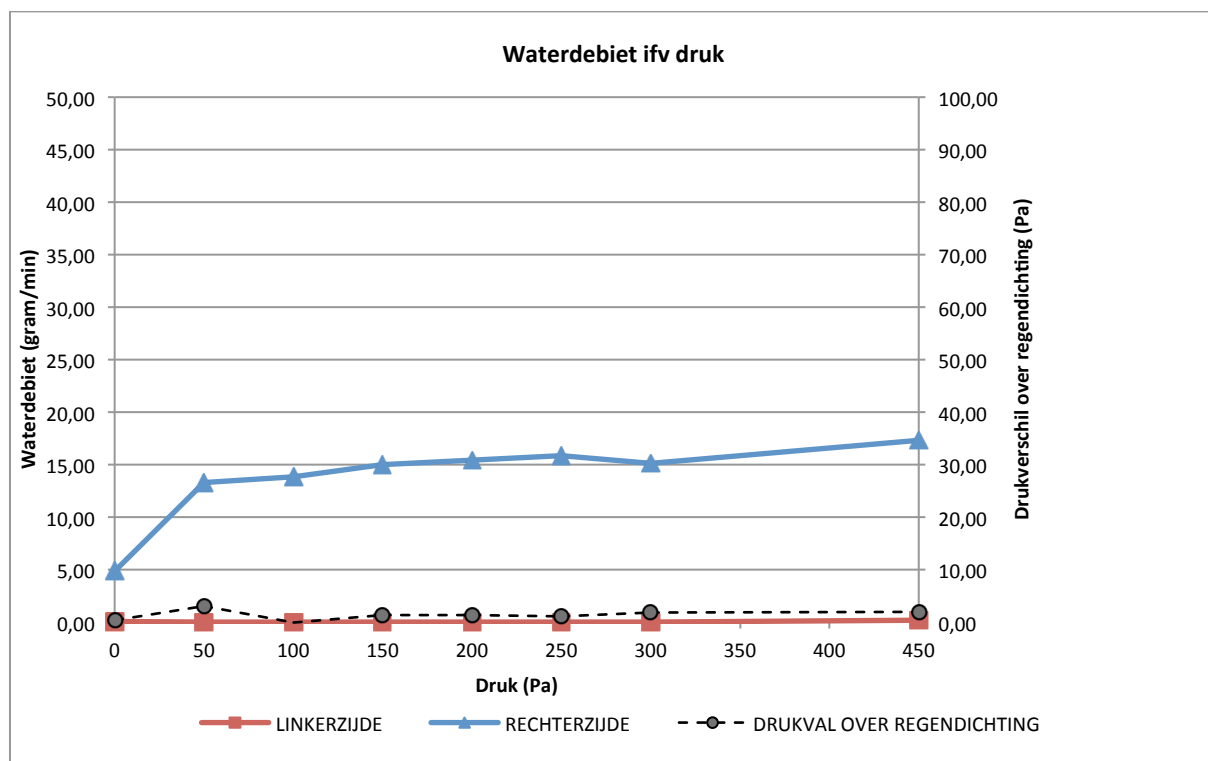


2.2. Dynamisch

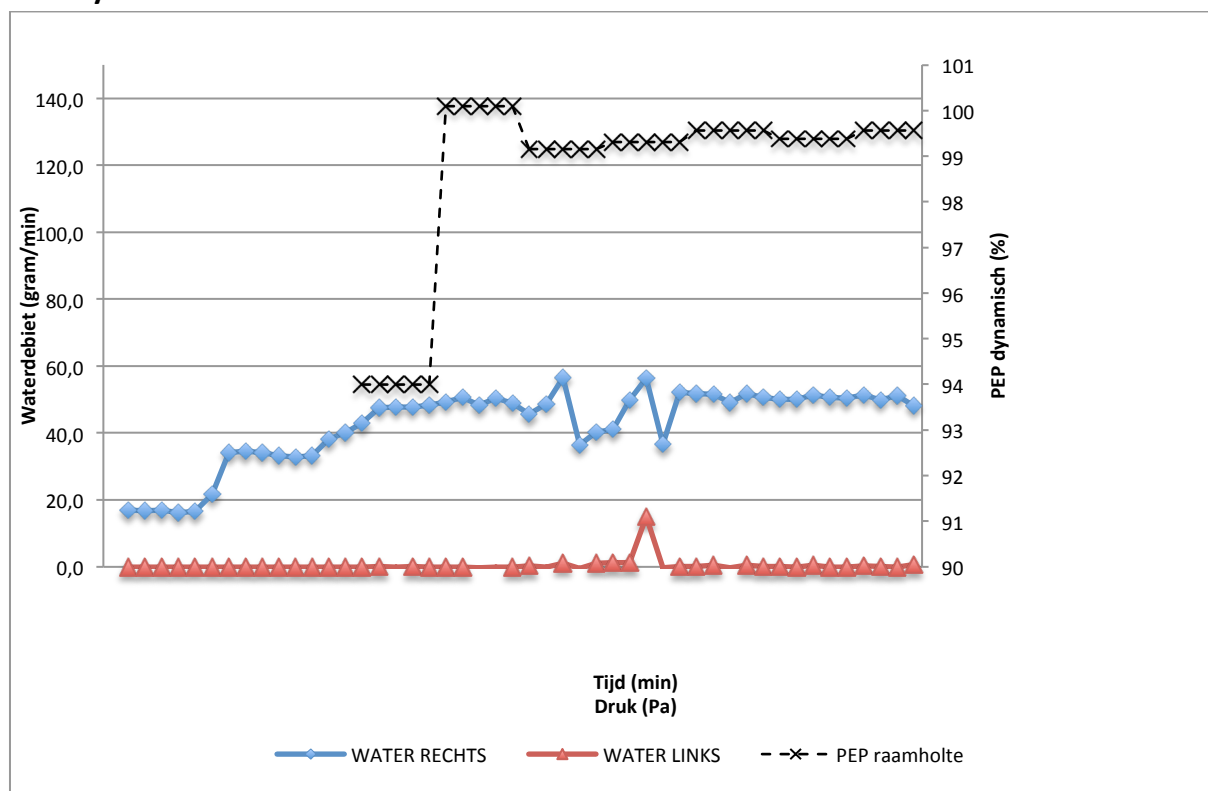


3. MATIGE LUCHTDICHTHEID MET AFWERKINGSLAT

3.1. Statisch

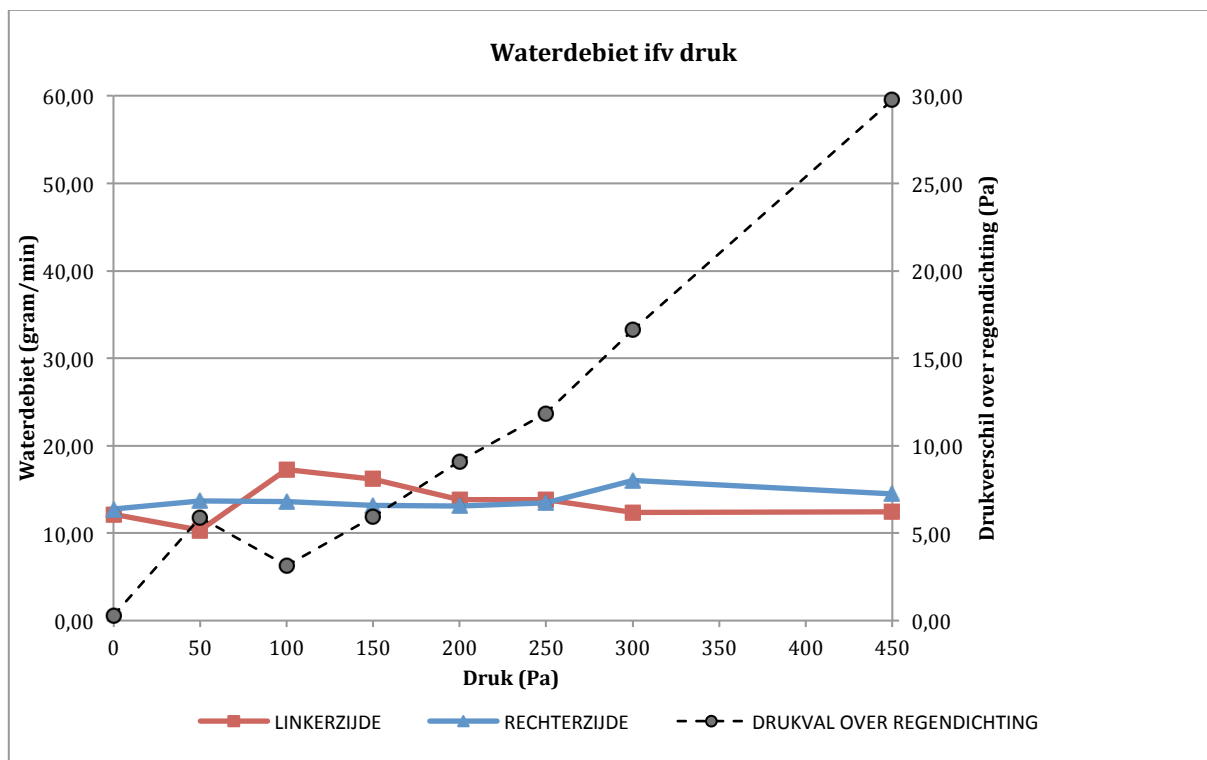


3.2. Dynamisch



4. GOEDE LUCHTDICHTHEID MET AFWERKINGSLAT

4.1. Statisch



4.2. Dynamisch

