



Winddichtingsstudie

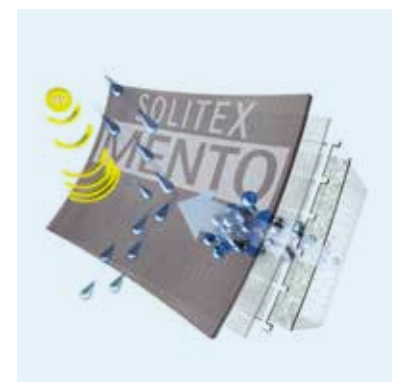
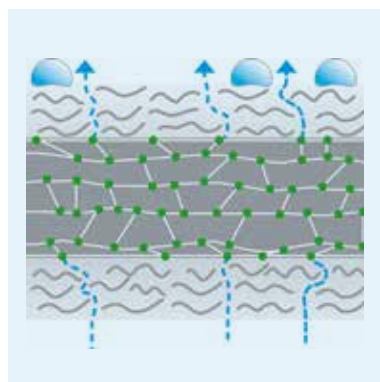
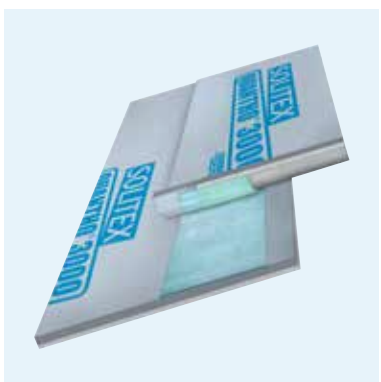
Dakfolies

Algemene functies en achtergrondinformatie

Eisen aan technische eigenschappen en duurzaamheid

Beschrijving en vergelijking van actuele folietechnologieën incl. toebehoren

Studie ter beoordeling van de langdurige geschiktheid van winddichte folies als onderdak in hellende daken.



Internationaal

Geraadpleegde literatuur

- [1] Bednar, Deseyve; Hygrothermal Performance of Windtight Roof Constructions. Development of durable and energy efficient roof constructions without wind induced increase of thermal losses. Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz, TU-Wien. Forschungsbericht FWF L233-N07, 2010
- [2] EN 13859-1
Flexible sheets for waterproofing – Definitions and characteristics of underlays – Part 1: Underlays for discontinuous roofing; 2014
- [3] EN 13859-2
Flexible sheets for waterproofing – Definitions and characteristics of underlays – Part 2: Underlays for walls; 2014
- [4] EN 1928
Flexible sheets for waterproofing – Bitumen, plastic and rubber sheets for roof waterproofing – Determination of watertightness; 2000
- [5] EN 13111
Flexible sheets for waterproofing – Underlays for discontinuous roofing and walls – Determination of resistance to water penetration; 2010
- [6] EN ISO 811
Textiles – Determination of resistance to water penetration – Hydrostatic pressure test; 2018
- [7] Prüfverfahren zum »Nachweis der Schlagregensicherheit von Unterdeck- und Unterspannbahnen«, Technische Universität Berlin, Institut für Bauingenieurwesen, Fachgebiet Bauphysik und Baukonstruktionen
- [8] EN ISO 12572
Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of water vapour transmission properties – Cup method; 2016
- [9] EN 1931
Flexible sheets for waterproofing – Bitumen, plastic and rubber sheets for roof waterproofing – Determination of water vapour transmission properties; 2000
- [10] VKF Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes
Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen VKF, Bern, 03/2018
- [11] Zeitwertermittlung und Lebensdauer von Bauteilen – Kriterien, Methoden, Verfahren, Lebensdauer katalog von Bauteilen; Arbeitsgruppe »Lebensdauer vom Bauteil«, Bund Technischer Experten e.V. 08/2019
- [12] Oswald, Sous, Zöller; Forschungsbericht »Dauerhaftigkeit von diffusionsoffenen Unterspann- und Unterdeckbahnen unter Eindeckungen«; Aachener Institut für Bauschadensforschung und angewandte Bauphysik, Fraunhofer IRB Verlag, 2014
- [13] DIN 4108-11
Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 11: Mindestanforderungen an die Dauerhaftigkeit von Klebeverbindungen mit Klebebändern und Klebmassen zur Herstellung von luftdichten Schichten; Beuth-Verlag, Berlin, 11/2018
- [14] Satas; Handbook of Pressure Sensitive Adhesive Technology; Springer, 01/1989

Inhoudsopgave

Inleiding	4
1. Functies van winddichting	5
1.1 Bescherming van de constructie tegen water van buitenaf tijdens de bouw (bescherming tegen weersinvloeden/tijdelijke afdekking)	5
1.2 Bescherming van de constructie tegen water van buitenaf tijdens gebruik (gedekte toestand)	6
1.3 Bescherming van de constructie tegen condenswater van binnenuit	7
1.4 Bescherming van de thermische isolatie tegen winddoorstroming	7
2. Technologieën	8
2.1 Vroegere technologieën	8
2.2 Actueel beschikbare technologieën	8
2.2.1 Microgeperforeerde folies	8
2.2.2 Spinvliesfolies	9
2.2.3 Microporeuze folies	9
2.2.4 Monolithische folies, 3-laags	9
2.2.5 Monolithische folies, 2-laags	10
2.2.6 Testmogelijkheid	10
2.3 Lasbare dakfolies	10
2.3.1 Dampdichte folies: bitumen, kunststof folies	10
2.3.2 Dampopen folies: homogeen lasbare TPU folies	11
3. Eisen aan winddichtefolies en vergelijking van verschillende systemen	12
3.1 Waterdichtheid – bescherming tegen waterdoorlating van buitenaf	12
3.1.1 Statische waterdichtheid	12
3.1.2 Slagregendichtheid	13
3.1.3 Invloed van verontreinigingen bij folies	13
3.2 Diffusiedrag – afvoer van waterdamp naar buiten	14
3.2.1 Passief vochttransport bij microporeuze folies	14
3.2.2 Actief vochttransport bij monolithische folies	14
3.2.3 Gevolgen en vergelijking van de systemen	14
3.3 Winddichtheid	14
3.4 Hagelweerstand	15
3.5 Duurzaamheid	15
3.5.1 Duurzaamheid algemeen	15
3.5.2 Buitenopstellingen	16
3.5.2.1 Beproeving bij volledige blootstelling aan weersinvloeden	16
3.5.2.2 Beproeving onder dakbedekking	16
3.5.3 Uv-bestendigheid	17
3.5.4 Thermische stabiliteit	17
3.5.5 Hydrolysebestendigheid	18
4. Toebehoren voor het regendicht maken van constructies	18
4.1 Algemeen	18
4.2 Verlijmingen	18
4.2.1 Verlijming met geïntegreerde tape	19
4.2.2 Geïntegreerde tape met aansluitstrook	19
4.3 Perforatiebestendigheid (nageldichting)	19
4.3.1 Nageldichtingsmassa's	19
4.3.2 Nageldichtingsbanden	19
4.3.3 Perforatiebestendige dakfolies ('zelfdichtend')	20
4.4 Gebruik van totaalssystemen	20
5. Samenvatting en conclusie	21

Inleiding

Winddichting moet kwetsbare lagen (bijv. isolatielagen of houten elementen) van een thermisch geïsoleerde constructie of een gebouwschil beschermen tegen invloeden van buitenaf. Het betreft met name weersinvloeden als regen, sneeuw, wind, oppervlaktewater en grondwater. Veel bouwmaterialen kunnen door een te hoge vochtopname schade oplopen, bijvoorbeeld door de vorming van schimmels die het materiaal verzwakken. Bij zeer vochtige isolatiematerialen neemt bovendien de thermische geleidbaarheid toe, waardoor ze hun isolerende werking deels verliezen. In deze studie staat de winddichting van houtbouwconstructies onder de dakbedekking van hellende daken (dakhelling $\geq 5^\circ$) centraal. In de omgangstaal wordt deze laag vaak 'twee-

de waterkerende laag' genoemd.

Ze kan worden gerealiseerd met geschikt plaatmateriaal (bijv. gehydrofobeerde houtvezelplaten met randafwerking) of met dakfolie.

Veel hoofdstukken, bijvoorbeeld die over de verschillende technologieën, functies en eisen, gelden ook voor gevelfolies. In deze studie ligt de nadruk echter op dakfolies onder gesloten dakbedekkingen. De informatie heeft daarom expliciet daarop betrekking. Andere gebouwafdichtingen, zoals afdichtingen beneden maaiveld of afdichtingen van platte daken vallen buiten het bestek van deze studie. Met name de technische ontwikkeling van winddichte folies is sinds de millenniumwisseling erg snel gegaan.

Toch worden er nog steeds verouderde technologieën toegepast. De nadelen daarvan zijn meestal niet bekend en vaak ook niet direct zichtbaar, omdat de constructielagen in kwestie zich doorgaans onder een gesloten dakbedekking bevinden. Deze studie heeft daarom tot doel de belangrijkste functies van winddichte folies te beschrijven, evenals de verschillende technologieën, hun eigenschappen en onderlinge verschillen, en de eisen die aan materiaal en verwerking worden gesteld. Dit biedt planners en uitvoerders ondersteuning en zekerheid bij de planning van de winddichting, de materiaalkeuze en de uitvoering.



Afb. 1: Moderne dakfolie als winddichting onder de latere dakbedekking

1. Functies van winddichting

Voordat we ingaan op de verschillende folietechnologieën met hun voor- en nadelen resp. effecten, is het relevant te weten wat de precieze functie van deze constructielaag is. Daarom komen hierna stuk voor stuk de primaire functies van de winddichting van constructies aan de orde. Maar eerst moet er een onderscheid worden gemaakt tussen twee toestanden waarin een gebouw of een constructie kan verkeren:

- De onvoltooide toestand tijdens de bouw, waarin de winddichting vaak ook als tijdelijke bescherming tegen weersinvloeden dient.
- De voltooide toestand, waarin de dakbedekking als primaire bescherming tegen weersinvloeden fungeert, terwijl de winddichting gedurende de gehele gebruiksduur de tweede waterkerende laag vormt.

1.1 Bescherming van de constructie tegen water van buitenaf tijdens de bouw (bescherming tegen weersinvloeden/tijdelijke afdekking)

Bij nieuwbouw moet een gebouw of draagconstructie (bijv. een houten dakstoel) doorgaans worden beschermd tegen weersinvloeden. Hetzelfde geldt bij het vernieuwen van de dakopbouw bij bestaande gebouwen of constructies. Voor het gebruik op hellende daken is de zgn. tijdelijke afdekking gedefinieerd. Een tijdelijke afdekking biedt tijdens de bouw voor een beperkte duur provisorisch bescherming.

Tijdelijke afdekkingen kunnen bijvoorbeeld voor de volgende maatregelen worden gebruikt:

- **Afdekken** – hierbij wordt het dakoppervlak extra afgedekt met speciaal bouwzeil. Het materiaal moet voldoende waterdicht en scheurvast zijn (zie afb. 2).
- **Overkappen** – hierbij wordt een dak tijdelijk geheel overkapt met een regendicht nooddak. Dit gebeurt vaak met steigers en zeilen (zie afb. 3).
- **Aanbrengen van dakfolie** – hierbij wordt de constructielaag die later onder de dakbedekking of de pan- en tengellatten zit ook tijdens de bouw als bescherming tegen weersinvloeden gebruikt. Deze constructielaag is de winddichting die onderwerp is van deze studie. Materialen hiervoor zijn dakfolies of plaatmateriaal, bijvoorbeeld houtvezelplaten (zie afb. 4).

In het algemeen geldt dat aansluitingen en doorvoeren regendicht moeten worden gemaakt en tijdelijke afdekkingen zo nodig met een deugdelijke wegwaaibeveiliging moeten worden vastgemaakt. Ook de gebruikte materialen moeten natuurlijk geschikt zijn. Volgens de voorschriften is dit bij folies en

platen voor onderdaken doorgaans het geval, mits ze geschikt zijn als tijdelijke afdekking en door de fabrikant hiervoor worden aanbevolen. De fabrikant vermeldt hoe lang het product maximaal bestand is tegen weersinvloeden. Controleer dit altijd goed! Sommige fabrikanten maken een onderscheid tussen de maximale duur van blootstelling van de folie aan uv-straling enerzijds en de maximale gebruiksduur als tijdelijke afdekking anderzijds. Om misverstanden te voorkomen, wordt bij winddichte folie van pro clima geen onderscheid gemaakt. De maximale duur van blootstelling aan weersinvloeden geldt ook voor het gebruik als tijdelijke afdekking. De door de fabrikant vermelde maximale blootstellingsduur dient in geen geval te worden overschreden om te waarborgen dat de folie langdurig haar functie behoudt.

Belangrijk bij het gebruik van folies als tijdelijke afdekking is dat de folienaden regendicht worden verlijmd en gaten van nagels, schroeven etc. goed worden afgedicht (zie afb. 5 en 6). Dakfolies die als tijdelijke afdekking dienen, moeten perforatiebestendig zijn of worden gemaakt (bijv. door het gebruik van nageldichtingsbanden), ongeacht de latere belasting als het dak gedekt is.

Veel planners en uitvoerders weten dit niet. Houd er rekening mee dat een tijdelijke afdekking over het algemeen niet dezelfde bescherming biedt tegen regen dan een gedekt dak in combinatie met een extra regendichte laag. Dit is echter ook niet de taak van een tijdelijke afdekking. Dat heeft er alleen al mee te maken dat een tijdelijke afdekking door verschillende bevestigingsmiddelen, zoals nagels en schroeven, wordt geperforeerd en aansluitingen slechts provisorisch worden gerealiseerd (bijv. bij dakramen, schoorstenen etc.). Tijdelijke afdekkingen worden bovendien veel sterker door regen belast dan de extra regendichte laag die later onder de dakbedekking zit. Het beoogde doel van een tijdelijke afdekking impliceert dat deze slechts geschikt is als tijdelijke, provisorische maatregel tijdens de bouw. Bij volledige blootstelling aan weersinvloeden kan een geringe vochtinwerking dan ook niet helemaal worden uitgesloten. Kleine hoeveelheden binnendringend water vormen onder bepaalde omstandigheden niet per se een gebrek en kunnen worden getolereerd. Dit kan echter alleen per geval ter plekke worden beoordeeld door een deskundige.

1.2 Bescherming van de constructie tegen water van buitenaf tijdens de gebruiksfase (gedekte toestand)

Een dak dat helemaal klaar is, wordt hoofdzakelijk door de eigenlijke dakbedekking

Mogelijkheden om constructies provisorisch te beschermen tegen weersinvloeden tijdens de bouw



Afb. 2: Afdekken van een dak



Afb. 3: Overkappen resp. nooddak



Afb. 4: Verlijmd dakfolie met nageldichting

Verplichte maatregelen bij het gebruik van dakfolie als tijdelijke afdekking



Afb. 5: Verlijming van naden en voegen met losse of geïntegreerde tape.



Afb. 6: Afdichting van gaten van tengellatnagels of -schroeven met nageldichtingsband of -massa, of door de aangetoond zelfdichtende werking van de folie zelf.



Afb. 7: Het voltooide dak wordt hoofdzakelijk door de dakbedekking beschermd tegen weersinvloeden. Toch kan er water binnendringen, bijvoorbeeld door slagregen.



Afb. 8: Technische installaties, de dakindeling etc. kunnen tot strengere eisen leiden.

beschermd tegen weersinvloeden. Toch kan er bij daken met een helling onder de aanbevolen dakhelling (toelichting: zie hieronder) onder omstandigheden water onder de dakbedekking dringen, bijvoorbeeld bij sterke regen, harde wind, stuifsnieuw, terugstuwing van smeltwater of bij een beschadigde dakbedekking. Voor dergelijke gevallen is een tweede waterkerende laag vereist. Voor deze aanvullende maatregel zijn verschillende oplossingen verkrijgbaar die zich onderscheiden qua materiaal en verwerkingsmethode.

Hoe sterk de tweede waterkerende laag onder de dakbedekking wordt belast en welk type winddichting vereist is, hangt af van de waarschijnlijkheid dat er water onder de dakbedekking dringt. Deze waarschijnlijkheid wordt bepaald door de dakhelling, de dakbedekking die wordt gekozen, de aanbevolen dakhelling van de gekozen bedekking en andere zgn. verhoogde eisen die aan het betreffende dak worden gesteld. De **aanbevolen dakhelling** is de kleinste helling waarbij een dakbedekking voldoende regendicht is. Bij hellingen onder de aanbevolen dakhelling zijn hoogwaardige aanvullende maatregelen vereist. Informatie over de aanbevolen dakhelling van de betreffende dakbedekking staat vermeld in nationale voorschriften of in de specificaties van de fabrikant. Let vooral bij specificaties van fabrikanten op het verschil tussen de aanbevolen dakhelling en de minimale dakhelling – de aanbevolen dakhelling is bepalend! Toch wordt vaak de minimale dakhelling (bijv. bij het realiseren van een waterdicht onderdak) aangegeven.

Let er ook op dat sommige fabrikanten van dakbedekkingen (bijv. dakpannen) een 'door de fabrikant aanbevolen dakhelling' vermelden die onder de aanbevolen dakhelling in technische normen kan liggen. Planners en uitvoerders moeten er bij deze producten rekening mee houden dat ze mogelijk van algemeen erkende technische regels afwijken. Deze afwijking moet uitvoerig met de opdrachtgever worden besproken en schriftelijk of in een speciale overeenkomst worden vastgelegd.

Strengere voorwaarden kunnen ook voortvloeien uit de constructie (zoals de indeling van het dakvlak), het gebruik van het gebouw, de klimatologische omstandigheden en de aanwezigheid van technische installaties (zie afb. 8). Dit kan betekenen dat de tweede waterkerende laag aan hogere eisen moet voldoen, waardoor een uitvoering met hogere prestaties noodzakelijk kan zijn.

1.3 Bescherming van de constructie tegen condenswater van binnenuit

Om houtbouwconstructies met name tijdens de wintermaanden te beschermen tegen condens (binnendringend vocht als gevolg van de

luchtvochtigheid binnenshuis), moet hun schadebestendigheid zo groot mogelijk zijn. Dit wordt bereikt door zo hoog mogelijke droogreserves – ook voor vocht dat onvoorzien binnendringt, bijvoorbeeld bij lekkages in de luchtdichte gebouwschil. Simpel gezegd moeten houten constructies minimaal aan één zijde (buiten en/of binnen) kunnen uildrogen. De buitenzijde van de constructie moet daarom zo dampopen mogelijk zijn, zodat de constructie al tijdens de wintermaanden (condensatieperiode) naar buiten toe kan uildrogen, wanneer waterdamp doorgaans van binnen naar buiten diffundeert.

Omdat de winddichting onder een geventileerde dakbedekking of achter een geventileerde gevelbekleding quasi in direct contact staat met de buitenlucht resp. hier vocht aan de ventilatielagen moet afgegeven, is de dampdiffusieweerstand van deze constructielaag van bijzonder belang. Kies daarom als winddichte materialen (folies of platen) die zo dampopen mogelijk zijn (zie afb. 9)

1.4 Bescherming van thermische isolatie tegen winddoorstroming

Het werkingsprincipe van isolatiematerialen, met name flexibele materialen, is gebaseerd op insluiting van stilstaande lucht. Zodra er wind door de stilstaande lucht stroomt, neemt de isolerende werking af, omdat er warmte door convectie wordt afgevoerd. Dit wordt ook wel 'wind washing' genoemd, omdat de doorstromende wind de warmte als het ware uit de isolatielaag 'spoelt'. Het isolatiemateriaal levert dan niet meer de vereiste of berekende isolatieprestaties. Het gevolg: hoge energieverliezen.

Om thermische isolatie te beschermen tegen doorstromende wind, is een winddichte laag vereist.

Deze voorkomt of vermindert niet alleen de instroom van koude buitenlucht, maar ook luchtcirculatie in de vakken. Zo blijft niet alleen de isolerende werking behouden, maar wordt ook de constructie zelf beschermd tegen schade, omdat condensatie als gevolg van afkoeling wordt voorkomen (zie afb. 10). Hoe groot de invloed van lekkages in de winddichte laag is, toont een uitvoerig onderzoek van Holzforschung Austria. Het Oostenrijkse onderzoeksinstituut heeft op basis van de onderzoeksresultaten een leidraad opgesteld, waarin de vereiste uitvoeringskwaliteit van de winddichte aansluiting op de dakvoet en de dakrand is gedefinieerd. Ook andere onderzoeksrapporten, zoals dat van Bednar en Desevye (2010) van het Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz aan de Technische Universiteit van Wenen [1], tonen zeer duidelijk de negatieve invloeden van wind op de thermische isolatie. Gebleken is dat de effectieve U-waarde van een dakconstructie nabij de dakvoet recht-

streeks samenhangt met de winddoorstroming. In sommige gevallen stijgt de U-waarde van een constructie tot het zesvoudige en gaat er dus zes keer zoveel warmte verloren.

2. Technologieën

Zoals reeds aangegeven, kunnen vooral dakbedekkingen en gevelbekledingen met voegen (bijv. schubvormig gelegde dakbedekkingen met pannen of planken betimmeringen voor gevels) geen volledige bescherming bieden tegen water en winddoorstroming van buitenaf. Het gevaar bestaat dat door stuifsnieuw, ingewaaide regen of slagregen water via de voegen onder de dakbedekking of achter de gevelbekleding dringt en zo schade veroorzaakt. Al geruime tijd worden er steeds strengere eisen gesteld aan de thermische isolatie van de gebouwschil. De kans dat de isolatie zijn werking verliest neemt echter toe, wat weer tot hogere energiekosten en minder gebruikscomfort leidt. Daarom werden er in het verleden al diverse maatregelen getroffen om kwetsbare plekken extra af te dichten.

2.1 Vroegere technologieën

Een veelgebruikt materiaal voor het afdichten van pannendaken waren dakspanen (dunne houten plankjes). Bij het dekken van daken met bijv. beverstaartpannen werden deze dakspanen achter de voegen tussen de pannen gelegd om binnendringend water naar de eerstvolgende lager gelegen pan te leiden. In Noord- Duitsland werden soms zgn. Pappdocken (rollen of stroken bitumen) gebruikt, waar de pannen bij het dakdeken werden ingeslagen. Door de warmte van de zon versmolten het bitumen en de pannen met elkaar en ontstond er een regendichte dakbedekking. Een andere methode was het van binnen aansmeren van de pannen of voegen met een mortel. Bij gevels werden bekledingen (planken betimmeringen of kleine platen) vaak zonder extra afdichtingsmaatregelen aangebracht. Door de verticale vlakken is de kans dat water door bijv. slagregen binnendringt geringer dan bij daken. Bovendien bevond zich achter de bekleding in de regel een gemetselde muur die minder gevoelig voor water is dan een houten dakstoel of flexibel isolatiemateriaal. Later kwamen de eerste technisch vrij eenvoudige folies op de markt, voor onder de dakbedekking om zolders of constructielagen tegen slagregen en stuifsnieuw te beschermen – eerst bitumen banen (op dakbeschoot of los gespannen), later ook kunststof folies van PE. Om de treksterkte te verhogen werden soms wapeningsnetten op

Voor de winddichte afscherming van thermische isolatie zijn enerzijds winddichte folies of platen vereist. Anderzijds moeten naden, overlappingsen en aansluitingen winddicht worden gemaakt (bijv. door verlijming).

de folie verlijmd of erin geïntegreerd. In de omgangstaal worden deze folies vaak 'roosterfolie' genoemd. Bitumen banen en roosterfolie zijn beide zeer sterk dampremmend, en afhankelijk van de definitie zelfs vrijwel dampdicht. Een niet-geventileerde, volledig geïsoleerde constructie was met deze producten niet mogelijk, omdat vocht dan niet kan uildrogen en condensatieschade kan veroorzaken. De vakken tussen de balken werden daarom maar gedeeltelijk geïsoleerd, zodat er boven de thermische isolatie een spleet voor ventilatie overbleef, een constructie die als 'koud dak' wordt aangeduid (zie afb. 11).

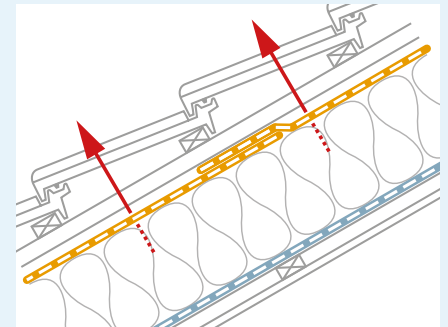
Deze constructieopbouw heeft echter een aantal nadelen. Zo is de thermische isolatie bijvoorbeeld niet beschermd tegen winddoorstroming, waardoor de isolerende werking afneemt. Daarnaast is zo'n constructie weinig efficiënt door de onvolledige isolatie. Bij 'roosterfolies' is bovendien gebleken dat deze zeer snel verouderen en bros worden. Het komt dan ook regelmatig voor dat van de roosterfolie alleen nog de wapeningsnetten over zijn of dat de folie bij aanraken uit elkaar valt (zie afb. 12).

2.2 Actueel beschikbare technologieën

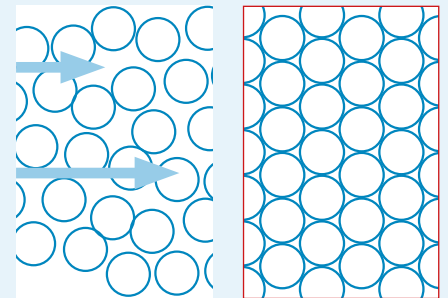
Bij daken zijn de bovengenoemde maatregelen voor 'voegenafdichting' (dakspanen, bitumen rollen of stroken, aangesmeerde pannen) op grond van de huidige algemeen erkende technische voorschriften meestal niet meer toegestaan. Behalve bij 'oudergeschikte gebouwen' moeten tegenwoordig op het hele dakvlak folies of speciale platen onder de dakbedekking worden aangebracht. Moderne dakfolies zijn dampopen, waardoor vocht (bijv. uit de verwarmde binnenruimte) in de wintermaanden naar buiten kan worden afgevoerd en de thermische isolatie en houten constructies droog blijven. Er zijn verschillende technologieën voor de vervaardiging van dampopen folies. Deze worden hieronder toegelicht.

2.2.1 Microgeperforeerde folies

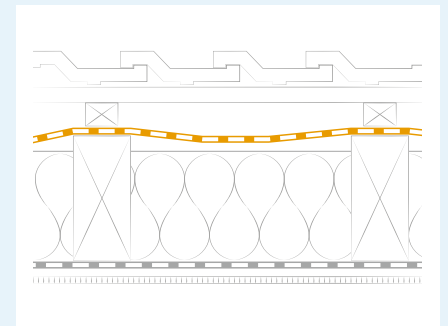
De productie van microgeperforeerde folie berust op een vrij oude technologie die al in de



Afb. 9: Moderne hellende daken zijn volledig geïsoleerd en in de dragende laag niet geventileerd. Daardoor moet er dakfolie met een zeer lage diffusieweerstand worden gebruikt, zodat er veel vocht naar buiten kan ontsnappen.



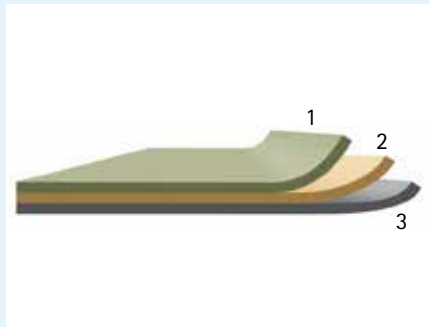
Afb. 10: Bij constructies die niet winddicht zijn (links) kan wind door de isolatie stromen en warmte afvoeren. Wanneer isolatiemateriaal door een winddichte laag is omsloten (rechts) heeft de stilstaande lucht in het materiaal een thermisch isolerende werking.



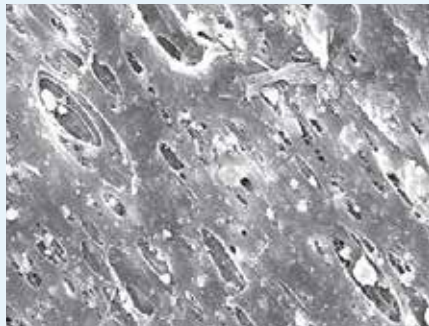
Afb. 11: Vroegere opbouw van een koud dak: vanwege dampremmende dakfolies was ventilatieruimte tussen folie en isolatie vereist.



Afb. 12: Oude kapotte dakfolie (zgn. 'roosterfolie') – het vrijkomen van vluchtige weekmakers heeft het materiaal zeer bros gemaakt.



Afb. 13: 3-laagse dakfolie – vliezen aan beide zijden beschermen de dunne functionele laag. Deze membraan kan op verschillende manieren functioneren (bijv. microporeus of monolithisch). 1: Afdekvlies 2: Membraan 3: Beschermvlies



Afb. 14: Microporeuze functionele laag – microscopische weergave met duizendvoudige vergroting. De microporiën zijn goed herkenbaar.



Afb. 15: Monolithische membraan – microscopische weergave met duizendvoudige vergroting. Gesloten/poriënloze functionele laag.

jaren tachtig van de vorige eeuw bij daken werd gebruikt en die tegenwoordig nog maar weinig verbreid is. De folies (in de regel van PE) worden tijdens de productie met naaldwalsen van gaatjes voorzien, geperforeerd dus. Wanneer de folie tegen het licht wordt gehouden, zijn de 'gaatjes' met het blote oog te zien. Water heeft door oppervlaktespanning de neiging om relatief grote druppels te vormen. De microporiën hebben daarom een dusdanige vorm en grootte dat de druppels er niet doorheen kunnen. Omdat de poriën met een naald in de folie worden geprikt, vormen ze een soort minitrechtertje. Aan de taps toelopende kant van de trechter zijn de perforaties te klein voor waterdruppels, maar groot genoeg om waterdampmoleculen door de folie te laten passeren. Dit maakt dat de folies voldoende dicht zijn voor vloeiend water en tegelijkertijd open genoeg voor dampdiffusie. Toch worden er met deze technologie in de regel geen echt lage diffusieweerstanden bereikt. Bij zulke folies zijn bijvoorbeeld μ -waarden van ca. 3 m gebruikelijk, wat eigenlijk al als dampremmend geldt. Een ander nadeel van deze technologie is het 'tenteffect' dat kan optreden. Wanneer er direct tegen de achterkant van deze folies een absorberend materiaal zit, bijvoorbeeld flexibele isolatie, wordt er water door de perforaties naar binnen gezogen. Dit effect kan worden vergeleken met het fenomeen dat optreedt als personen, kleren of iets dergelijks in een tent tegen het tentdoek aanliggen en daar waar het doek wordt aangeraakt nat worden.

2.2.2 Spinvliesfolies

Spinvliesfolie is een non-woven materiaal van aan elkaar gehechte lange vezels. Voor de productie wordt een polymeer (bijv. HDPE) door verhitting gesmolten en vervolgens door een spinkop geperst, waardoor lange vezels (filamenten) ontstaan. Deze filamenten worden daarna mechanische of met behulp van een luchtstroom uitgerekt om ze sterker te maken. Na het versterken worden ze in een vlies afgelegd en aan elkaar gehecht. Bij het smeltblaasprocedé (ook melt blowing genoemd) worden de vloeibare filamenten door snelstromende hete lucht 'uit elkaar getrokken'. Hierdoor ontstaan zeer dunne vezels die worden afgekoeld en daarna in een microvezelvlies worden afgelegd. De vezels van meltblownvlies zijn duidelijk kleiner dan die van spinvlies. Daardoor ontstaan dichtere vliezen die echter wel minder sterk zijn. Er zijn ook meerlaags non-woven materialen waarbij verschillende vliezen permanent met elkaar worden verbonden, bijv. SMS (spinvlies-meltblownvlies-spinvlies). SMS bestaat uit twee lagen spinvlies en een tussenlaag van smeltgeblazen vezels. De positieve eigenschappen van beide materialen worden op deze

manier gecombineerd: de hoge mechanische sterkte van spinvlies met de hoge dichtheid van de fijne meltblownmaterialen.

2.2.3 Microporeuze folies

Bij dit type dakfolie wordt hoofdzakelijk gebruik gemaakt van membranen van polypropyleen als gesloten folie. Polypropyleen als zodanig is dampdicht. Om PP folie dampopen te maken, moeten er tijdens de productie poriën worden gecreëerd. Dit gebeurt door het bijmengen van calciumcarbonaat en het gecontroleerd uitrekken van de folie (stretchen). Hierdoor ontstaan er per vierkantmeter vele miljoenen tot miljarden microporiën met een diameter van 0,02 tot 1 μ m. De bescherming tegen vloeibaar water berust op het principe dat waterdruppels door hun oppervlaktespanning niet door de poriën passen. Waterdruppels hebben een grootte van ca. 100 μ m of meer. De microporiën zijn daarom honderden tot vele duizenden malen kleiner. Waterdampmoleculen hebben daarentegen een grootte van circa 0,00004 μ m en kunnen door de capillaire werking de membraan resp. de microporiën passeren (zie afb. 14).

2.2.4 Monolithische folies, 3-laags

Meerlaagse folies die zijn opgebouwd uit twee vliezen met daar tussenin een functionele laag zijn zeer gangbaar in de bouw. De vliezen beschermen de functionele laag tot op zekere hoogte tegen mechanische belasting en uv-straling. De functionele laag zelf zorgt dat de folie dampopen, waterdicht en slagregen-dicht is (zie afb. 13).

Bij moderne dakfolies is deze functionele laag een monolithische membraan. Een belangrijk verschil met de gebruikelijke microporeuze folies is dat deze membranen geen poriën hebben. Dit maakt ze buitengewoon dicht voor vloeibaar water. Waterdamp kan zich daarentegen actief een weg door de moleculaire structuur van de functionele laag banen. Dit gebeurt in principe door diffusie die nog eens extra wordt versterkt door waterstofbruggen. Hierbij ontstaan krachten tussen polaire groepen in de polymeerketens van de functionele laag enerzijds en de polaire watermoleculen anderzijds. Vanwege deze 'wateraantrekking' worden zulke functionele lagen ook wel hydrofiele membranen genoemd. Bij dit type monolithische folies van pro clima worden uitsluitend membranen van TEEE (thermoplastisch elastomeer polyester-ether) gebruikt. Hierbij wordt een polyester aangevuld met polyethergroepen om de eerder genoemde hydrofiele eigenschappen te bereiken (zie afb. 15). De membraan wordt tijdens de productie vloeibaar tussen de vliezen (meestal van

polypropyleen) aangebracht en met walsen verdicht. Daardoor ontstaat een sterk mechanisch geheel. Er zijn ook 3-laags folies met in het midden een membraan van TPU (thermoplastisch polyurethaan). Deze wordt doorgaans echter als dunne folie op de vliezen verlijmd (bijv. met acrylaatlijm). Deze verlijmingen hebben weer het nadeel dat ze meestal niet bijzonder temperatuurbestendig zijn (zowel bij lage als bij hoge temperaturen). Dit maakt de folies onder temperatuurinvloed gevoeliger voor delaminatie. Omdat de TPU lagen uit kostenoverwegingen meestal vrij dun zijn, zijn de folies vaak minder bestendig dan bijvoorbeeld 2-laags TPU folies (zie volgende paragraaf).

2.2.5 Monolithische folies, 2-laags

Anders dan bij een 3-laags opbouw zit bij 2-laags folies de functionele laag, meestal thermoplastisch polyurethaan (TPU), op een dragervlies (bijv. van polyester) (zie afb. 16). Dit heeft het voordeel dat bij het realiseren van aansluitingen een directe verlijming met de membraan (TPU) plaatsvindt en niet met een erop liggend afdekvlies, zoals bij een 3-laags opbouw het geval is. Bij de productie wordt het TPU doorgaans vloeibaar op het dragervlies aangebracht met een coëxtruder. Het vloeibare materiaal dringt ook bij dit proces in het vlies en omsluit daarbij deels de vliesvezels. Daarnaast ontstaat er een chemische binding tussen TPU en polyester. Het procedé maakt dat beide lagen één sterk geheel vormen, waardoor het risico op delaminatie sterk wordt verminderd. TPU heeft verder als voordeel dat het van nature erg elastisch is (tot wel 700%) en zeer bestendig tegen mechanische belasting bij het betreden van de folie tijdens de bouw. Ook is TPU beter bestand tegen uv-straling dan andere materialen die voor dit soort dakfolies worden gebruikt. Het principe van vochttransport is hetzelfde als bij de 3-laags opbouw (zie 2.2.4).

2.2.6 Testmogelijkheid

Of een dakfolie poriën heeft (microgeperforeerd/microporeus) of monolithisch (gesloten) is, kan met eenvoudige tests worden vastgesteld. Zo kunnen er bijvoorbeeld monsters van de materialen in een testfles worden gespannen (zie afb. 17). Hierbij wordt een stuk folie dicht tussen twee kamers gespannen. In de ene kamer bevindt zich water, in de andere lucht. De testfles wordt nu zo gehouden dat de laag water boven op het stuk folie staat. Vervolgens wordt met perslucht (bijv. met een luchtpompje) onderdruk gecreëerd in de luchtkamer onder de folie. Bij microporeuze folies stijgen er luchtbelletjes op in het water – een eenduidig bewijs voor de aanwezigheid van gaatjes/poriën in de folie. Bij monolithische

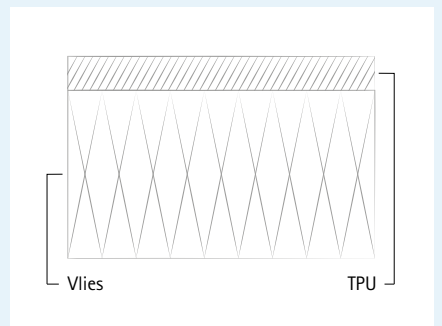
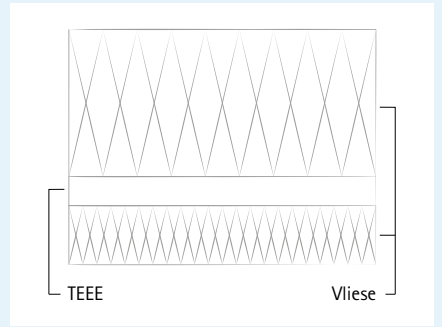
folies kan geen lucht door de folie dringen. Aan de pulserende beweging van de folie is te zien dat er druk op inwerkt. Er stijgen echter geen luchtbelletjes op.

2.3 Lasbare dakfolies

Lasbare dakfolies zijn noodzakelijk om relatief vlak hellende daken waterdicht te maken. Een dak waarvan de hoek (eventueel duidelijk) kleiner is dan die van de aanbevolen dakhelling van de dakbedekking wordt sterker belast door slagregen, stuifneeuw etc. Het onderdak moet dus meer bescherming bieden dan een normale dakfolie. Dit kan worden bereikt door het homogeen aan elkaar lassen van foliebanen. Hierdoor ontstaat een verbinding met een veel hogere regendichtheid dan door het verlijmen van normale dakfolies met extra lijm. In de buurt van de tengellatten zijn er twee mogelijkheden: de tengellatten kunnen worden geïntegreerd (inlassen) of de dakfolie loopt onder de tengellatten door en tussen tengellat en folie wordt als extra maatregel nageldichtingsmateriaal gebruikt. Voor beide varianten is echter deels hetzelfde foliemateriaal voorzien (zie afb. 18).

2.3.1 Dampdichte banen en folies: bitumen, kunststof folies

In het verleden werd massief houten dakbeschot meestal met bitumen dakbedekking ('dakleer') bekleed. Het nadeel van bitumen banen is (onder andere) dat deze een dampremmende werking hebben. Bouwelementen of thermisch geïsoleerde constructies moeten aan de buitenkant echter zo dampopen mogelijk zijn, zodat binnengedrongen vocht naar buiten kan ontsnappen. Omdat dit bij bitumen niet of nauwelijks mogelijk is, wordt er vaak een ventilatielaag gecreëerd. In deze laag die zich onder het sterk dampremmende bitumen bevindt, kan vocht dan via luchtstroming naar buiten worden getransporteerd. De extra ventilatielaag zorgt echter voor een dikkere constructie en meer werk bij de uitvoering. Bovendien kunnen ventilatielagen niet altijd op een betrouwbare en correcte manier worden uitgevoerd, bijvoorbeeld wanneer toe- en afvoeropeningen niet of maar moeilijk realiseerbaar zijn (bijv. in de buurt van kilkepers). Tegenwoordig worden er deels nog steeds bitumen banen of kunststof en elastomeer folies, bijv. op basis van PVC, EVA, FPO (van PE of PP), PIB of EPDM, gebruikt. Deze materialen zijn allemaal zeer dampremmend tot dampdicht wat tot de beschreven nadelen kan leiden.



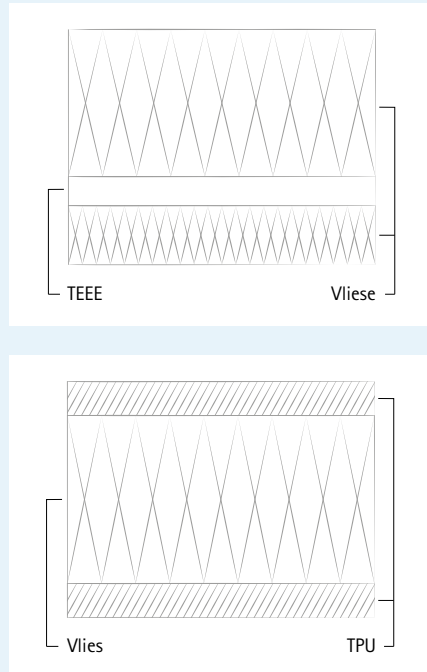
Afb. 16: Verschillende folieopbouw. Boven: 3-laags dakfolie met functionele laag tussen twee beschermvliezen. Onder: 2-laags dakfolie; de functionele laag ligt op het dragervlies.



Afb. 17: Testfles om snel microporiën te identificeren – met een luchtpompje wordt druk onder de folie opgebouwd. Bij microporiën dringt lucht door de folie en stijgen er luchtbelletjes op in het water.



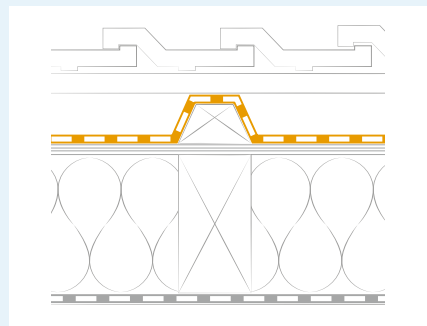
Afb. 18: Gelaste dakfolie met geïntegreerde tengellat – extra maatregel die een zeer goede bescherming biedt tegen regen, ook bij daken met een bijzonder kleine hellingshoek.



Afb. 19: Verschillende opbouw. Boven: dakfolie met functionele laag tussen twee beschermvliezen. Onder: homogeen lasbare dakfolie met functionele lagen aan beide zijden van een dragervlies.



Afb. 20: Lassen van dakfolies. De functionele lagen van overlappende folies worden homogeen gelast met een zwelasmiddel of een heteluchtpistool.



Afb. 21: Integratie van de tengellat: bij conventionele bitumen baan – afgeschuinde latten moeten met veel moeite worden omsloten.

2.3.2 Dampopen folies: homogeen lasbare TPU folies

Een modern, relatief nieuw alternatief voor de hierboven beschreven conventionele dakfolies zijn dampopen folies die tevens homogeen gelast kunnen worden. Hiervoor worden meerlaagse folies gebruikt, opgebouwd uit twee functionele lagen van thermoplastisch polyurethaan (TPU) met daar tussenin een dragervlies (bijvoorbeeld op basis van polyester). Deze opbouw is anders dan bij gebruikelijke dakfolies waarbij normaal gesproken één functionele laag tussen twee beschermvliezen zit (zie afb. 19). Het voordeel van twee lasbare membranen aan de buitenkant is dat de afdichtingslagen direct met elkaar worden verbonden, bijvoorbeeld in de buurt van overlappingsen. Het verbinden van conventionele dakfolies gebeurt daarentegen met gewone of geïntegreerde tape die op de afdek- of beschermvliezen wordt geplakt en niet op de eigenlijke functionele laag. Een ander verschil is dat de dakfolies niet worden verlijmd met extra lijm, maar homogeen aan elkaar worden gelast. Daarbij wordt de TPU membraan vloeibaar gemaakt – hetzij door verwarming met een heteluchtpistool, hetzij chemisch met behulp van een geschikt oplosmiddel (zie afb. 20). Door het homogeen aan elkaar lassen van de membranen ontstaat er een perfect aaneengesloten waterdicht geheel. Moderne TPU folies zijn in vergelijking met conventionele onderdaken (zoals bitumen) dampopen en bieden daardoor zowel bouwtechnisch als constructief grote voordelen, met

name wat betreft de bescherming tegen condens. Daarnaast zijn extra, soms ook problematische ventilatielagen niet meer nodig. De draagconstructie kan heel efficiënt en volledig voor isolatiedoeleinden worden gebruikt. Andere voordelen zijn er bij de verwerking. TPU folies zijn bijvoorbeeld veel flexibeler, waardoor ze sterker kunnen worden geknikt dan bitumen. Bij het meebekleden van tengellatten met bitumen moeten de randen van de latten worden afgeschuind, zodat deze niet te scherp zijn en bij het knikken van het bitumen scheuren veroorzaken (zie afb. 21). Bij TPU folie is dit niet relevant. Deze kan ook gemakkelijk in killen van 90° worden gelegd zonder dat het materiaal scheurt. Bovendien kan de tengellat worden geïntegreerd met een extra stuk folie dat pas later met de folie onder de tengellatten wordt verbonden (zie afb. 22). Dat maakt het leggen van de folie gemakkelijker. Bij bitumen onderlagen of dampremmende kunststof folies is dit niet mogelijk, omdat de houten elementen (tengellatten) dan volledig dampremmend omsloten zouden zijn. Dit is in strijd met de huidige stand van de techniek die voorschrijft dat vocht moet kunnen drogen. De technologie wordt al breed toegepast en er is ook enige langetermijnervaring, waardoor er van de huidige stand van de techniek kan worden uitgegaan. Toch is de relatief nieuwe technologie van homogeen lasbare dakfolies nog maar deels in nationale voorschriften opgenomen.

3. Eisen aan winddichte folies en vergelijking van verschillende systemen

Om de taken te vervullen die in hoofdstuk 1 zijn genoemd, moeten de verschillende platen, waarop hier niet verder wordt ingegaan, en folies specifieke eigenschappen hebben resp. aan bepaalde eisen voldoen. De definitie en de eigenschappen van dakfolies zijn geregeld in de norm EN 13589 Deel 1 [2] (voor daken) en Deel 2 [3] (voor achter gevelbekleding). Ook de beproevingsmethoden waarmee de verschillende eigenschappen worden getest, zijn daarin vastgelegd. Daarnaast definiëren deels nationale voorschriften voor dakfolies eisen aan bijv. mechanische sterkte-waarden of weerstand tegen waterdoorlating.

3.1 Waterdichtheid – bescherming tegen waterdoorlating van buitenaf

3.1.1 Statische waterdichtheid

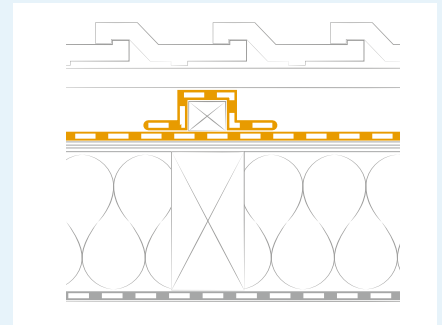
De belangrijkste taak van winddichte folies is het beschermen van constructies tegen vocht van buitenaf (zie hoofdstuk 1.1). Deze eigenschap wordt getest met verschillende methoden voor de beproeving van de 'weerstand tegen waterdoorlating' en de indeling in een klasse. EN 13859 onderscheidt de klassen W1, W2 en W3. De beproeving voor klasse W1 wordt uitgevoerd volgens de norm EN 1928 [4]. Hierbij

worden de beproevingsmonsters (3 stuks per beproeving) ruim twee uur onderworpen aan de druk van een waterkolom van 200 mm hoog. Tijdens de hele beproevingsperiode mag er geen waterdoorlating worden vastgesteld. In een tweede beproeving wordt hetzelfde procedé toegepast met een kunstmatig verouderd materiaalmonster. Beproevingen voor klasse W2 en W3 worden volgens een andere methode uitgevoerd welke is beschreven in de beproevingsnorm EN 13111 [5]. Hierbij wordt op een hellend vlak voorzichtig 2,25 l water op een materiaalmonster geschud. Door de doorsnede van de beproevingskamer van 300 x 150 mm ontstaat er een waterlaag van 50 mm hoog die gedurende 3 uur op het materiaal blijft staan. Zelfs als er water doordringt, is aan de eisen van klasse W2 voldaan, mits het niet meer dan 100 ml betreft. Wanneer folies ook deze beproeving niet doorstaan, worden ze in klasse W3 ingedeeld. De beproeving voor de hoogste klasse W1 is dus duidelijk zwaarder. Naast het aantonen van klasse W1 kan er ook een hydrostatische drukproef voor het vaststellen van een maximale waterkolom volgens EN ISO 811 [6] worden uitgevoerd (zie afb. 23 a/b). Hierbij wordt in de regel een hogere waterkolom bereikt dan bij de hierboven beschreven beproeving volgens EN 1928 (bijv. voor klasse W1). De volgens EN 1928 of EN ISO 811 gemeten waterkolommen kunnen echter niet met elkaar worden vergeleken, omdat het om verschillende beproevingsmethoden gaat die elk andere belastingen simuleren. De W1-test bepaalt de waterdichtheid (ook na veroudering) gedurende een langere inwerkingstijd (2 uur), bijv. door aanhoudende motregen. De hydrostatische drukproef daarentegen simuleert door de verhoging van de waterdruk met 10 cm of 60 cm waterkolom per minuut een vergelijkenderwijs korte zware regen met een hoge neerslagsnelheid. Daarnaast zijn de afbreukcriteria verschillend. Bij de waterkolomproef volgens EN ISO 811 wordt de druk gemeten nadat er op drie verschillende plekken drie druppels op het materiaal zijn gevallen. Zeer fijne druppeltjes of druppels die nogmaals op dezelfde plek het materiaal raken, worden daarbij zelfs buiten beschouwing gelaten. Bij de beproeving volgens EN 1928 mag er daarentegen helemaal geen water door het materiaal dringen. Dit wordt getest met filterpapier dat verkleurt als het nat wordt. pro clima onderwerpt zijn dakfolies vrijwillig ook aan de hydrostatische drukproef volgens EN ISO 811 – ook om vergelijkingsmogelijkheden te creëren. Folies met een monolithische (gesloten) membraan, zoals pro clima SOLITEX MENTO 3000, bieden met een waterkolom van 10.000 mm een zeer goede bescherming. Microporeuze folies of spinvliesfolies kunnen zulke hoge waterkolommen daarentegen puur technisch gezien niet bereiken. Deze hebben

dan vaak duidelijke lagere waarden of informatie hierover ontbreekt zelfs in de technische specificaties van de fabrikant. Folies die de waterkolomproef vanaf 2500 mm en hoger doorstaan, hebben al een goede waterdichtheid. De waterdichtheid van folies met waarden van rond de 10.000 mm is uitstekend.

3.1.2 Slagregendichtheid

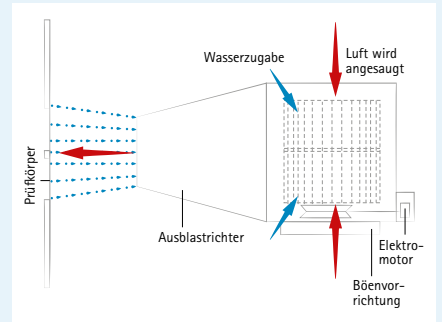
In de bouw is zware regen geen zeldzaamheid. De belasting waaraan een onderdak bij zulke buien is blootgesteld kan door statische waterdichtheidsbeproevingen niet realistisch worden gesimuleerd. Regen valt dan met een snelheid van max. 30 km/h op de folie. Waterdruppels kunnen daarbij een diameter van tot maar liefst ca. 5 mm hebben. Bij zware onweersbuien kan er zomaar in korte tijd 30 tot 40 liter water per vierkantenmeter naar beneden komen. Dit betekent dat de dakfolie niet alleen wordt belast door de neervallende druppels, maar ook door de waterafvoer met terugstuwingen. Omdat de belasting bij zulke weersomstandigheden zeer hoog kan zijn en deze verschilt van een statische waterbelasting, worden dakfolies ook onderworpen aan een slagregentest [7]. Hierbij worden in een proefopstelling op een proefvlak van ca. 2,5 m² (vier vlakken: twee met los gespannen folies, één op thermische isolatie als zachte ondergrond en één op ruw gezaagde dakbeschotplanken als harde ondergrond) hoge windsnelheden gegenereerd met een ventilator. Tegelijkertijd wordt er water op de ventilatorbladen gesproeid. Deze verdelen de waterstraal in druppels die op hun beurt weer via de luchtstroom door een uitblaastrechter op het testvlak terechtkomen (zie afb. 24). De druppels komen wat betreft hun grootte, verdeling en vochtgehalte zeer sterk overeen met natuurlijke druppels bij slagregen. Vergelijkende beproevingsmonsters drie uur lang belast met tussen de 50 en 60 mm neerslag met een stapsgewijs toenemende windsnelheid van max. 72 km/h (windkracht 8 op de schaal van Beaufort). Voor het analyseren van de beproevingsresultaten in los gespannen toestand worden grootte, aantal en verdeling van de druppels bij het doordringen van het materiaal vastgelegd en met behulp van een puntenschaal (0 tot 10) beoordeeld. 0 staat voor een doordringing van geen of slechts enkele en kleine druppels en is de hoogste score. In Duitsland is aan de eisen voldaan als een score van < 6 wordt behaald. Op het proefvlak waar de foliemonsters op een ondergrond (hard en zacht) liggen, is een observatie van de druppels niet mogelijk. Hier wordt de procentuele waterdoorlating bepaald



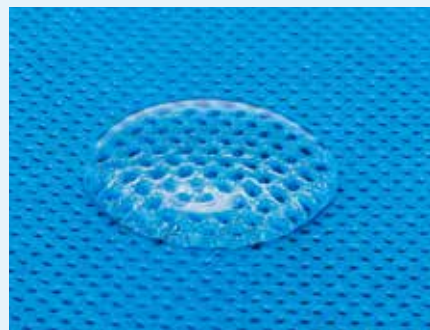
Afb. 22: Integratie van de tengellat bij dampopen dakfolie – er wordt eerst een baan vlak aangebracht, later wordt de tengellat eenvoudig met een extra strook folie geïntegreerd.



Afb. 23 a/b: Hydrostatische drukproef in het laboratorium – middels overdruk door perslucht wordt een kunstmatige waterkolom gesimuleerd. Goede dakfolies bereiken waarden van meer dan 2500 mm.



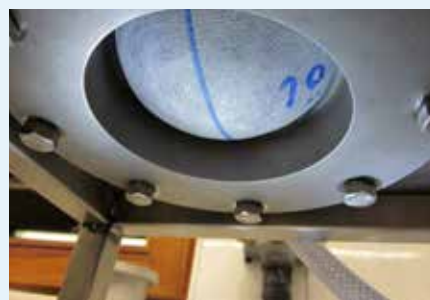
Afb. 24: Slagregentest – een realistisch testprocedé om de dynamische belasting van een zware regenbui na te bootsen.



Afb. 25 a: Oppervlaktespanning van water normaal: water vormt een bijna bolvormige druppel.



Afb. 25 b: Oppervlaktespanning van water gereduceerd door chemische stof: geen duidelijke druppelvorming, geringe samenhang van het water, water kan eerder door poriën dringen.



Afb. 26: Hydrostatisch drukverschil bij gereduceerde oppervlaktespanning – de rechterhelft van elk foliemonster werd met kettingzaagolie besmeerd, aansluitend drukproef met ca. 3 m waterkolom. Boven: Microporeuze folie – duidelijke waterdoor-dringing op de met olie besmeerde helft. Onder: Monolithische folie – geen waterdoordringing.

en vergeleken met gedefinieerde grenswaarden. Alle dakfolies van pro clima hebben deze slagregentest succesvol doorstaan. Bij alle folies uit de SOLITEX MENTO-serie werd bijvoorbeeld geen waterdoorlating in los gespannen toestand vastgesteld, waardoor ze de beste score van 0 hebben behaald. De hoge slagregendichtheid wordt bereikt, omdat het monolithische membraan geen poriën heeft. Hoge neerslagsnelheden of waterdruppels met een verminderde oppervlaktespanning vormen dan geen enkel probleem. Winddichte folies met een microporeuze membraan zijn daarentegen vanwege de poriën minder slagregendicht en kunnen onder de eerder genoemde omstandigheden relatief snel doorlatend worden.

3.1.3 Invloed van verontreinigingen bij folies

Zoals al eerder uitgelegd, baseert de waterdichtheid van poreuze folies enerzijds op de oppervlaktespanning van het water resp. van waterdruppels en anderzijds op poriën die duidelijk 'kleiner' zijn. De oppervlaktespanning van het water kan echter onder invloed van chemische stoffen afnemen. Op de bouw kan dit bijv. gebeuren door schoonmaakmiddelen, stoffen die van nature in hout aanwezig zijn (harsen of terpenen), houtverduurzamingsmiddelen (zouten en bevochtigingsmiddelen), oplosmiddelen of kettingzaagolie. Dit komt doordat hydrofiele ('waterminnende') componenten van de stoffen zich aan de watermoleculen hechten en tussen de moleculen dringen. Hierdoor wordt de samenhang van de watermoleculen gereduceerd en neemt de oppervlaktespanning af (zie afb. 25 a/b). Dit maakt poreuze folies duidelijk minder waterdicht – zowel statisch als dynamisch bij een slagregentest. Daardoor kan er een behoorlijke hoeveelheid vocht in de thermische isolatie dringen en constructieschade en schimmelvorming veroorzaken.

De invloed kon ook bij metingen in het laboratorium duidelijk worden aangetoond. Hierbij werden monsters van monolithische én microporeuze folies bijvoorbeeld met kettingzaagolie besmeerd en vervolgens onderworpen aan een hydrostatische drukproef volgens EN ISO 811. Bij de hier genoemde proef werd elk monster voor de helft met olie besmeerd. Na belasting met eenzelfde druk als die van een ca. 3 m hoge waterkolom traden er duidelijke verschillen op. Bij de monolithische folie kon ook op de besmeerde helft geen waterdoorlating worden vastgesteld. Bij de microporeuze folie ontstonden daarentegen op de besmeerde helft duidelijke waterdruppels vergeleken met de onbehandelde helft (zie afb. 26). Dit maakt duidelijk dat de waterdichtheid van microporeuze folies afneemt bij een lagere oppervlaktespanning. Monolithische folies (net zoals alle dakfolies van pro clima) blijven ook onder deze invloed gegarandeerd waterdicht.

3.2 Diffusiegedrag – afvoer van waterdamp naar buiten

Zoals in hoofdstuk 1.3 beschreven, moeten constructies met vochtgevoelige materialen (bijv. hout, houten plaatmateriaal of flexibele isolatiematerialen) in het Midden-Europees klimaat aan de buitenzijde zo dampopen mogelijk zijn. Winddichte folies vormen meestal de buitenste laag en daarom is hun dampdiffusieweerstand van essentieel belang. Deze wordt uitgedrukt in de equivalente-luchtlaagdikte (μ -waarde) die voor dakfolies met μ -waarden $< 0,2 \text{ m}$ wordt bepaald volgens EN ISO 12572 [8], voor dakfolies met μ -waarden $\geq 0,2 \text{ m}$ volgens EN 1931 [9]. Om zoveel mogelijk vocht naar buiten te kunnen transporteren, dienen dakfolies een zo laag mogelijke μ -waarde te hebben.

3.2.1 Passief vochttransport bij microporeuze folies

Microporeuze folies transporteren vocht passief naar buiten (zie afb. 27). Een actieve afvoer vindt alleen plaats als er een relatief hoog dampdeeldrukverschil bestaat. In moderne, sterk geïsoleerde constructies is dit echter niet altijd het geval. Het vochttransport blijft hierbij afhankelijk van de luchtbeweging (convectie). Als er geen convectie plaatsvindt (bijv. bij een te klein temperatuurverschil tussen de binnen- en buitenzijde van een folie die op een dikke thermische isolatielaag ligt) wordt het vochttransport sterk gereduceerd. Dit kan ook gebeuren als de poriën van de folie zijn geblokkeerd, bijv. door verontreiniging, een hoge dampontwikkeling of door condensvorming aan de binnenzijde. Dan kan er eveneens geen luchtbeweging plaatsvinden. Hierdoor kan zich te veel vocht verzamelen en de constructie beschadigd raken.

3.2.2 Actief vochttransport bij monolithische folies

Folies zonder poriën en met een monolithisch membraan (bijv. van TEEE) bevorderen een actief vochttransport door het foliemateriaal heen (zie afb. 28). Voor het transport is slechts een minimaal dampdeeldrukverschil vereist. Wanneer er condens in druppelvorm op de binnenzijde staat, wordt deze actief langs de molecuulketens van de membraan verplaatst in de richting waarin de waterdampdruk afneemt, meestal van binnen naar buiten. Bij toenemend vocht neemt de verplaatsing van waterdamp zelfs nog toe vanwege het actieve karakter van de folie. De dampdiffusieweerstand neemt af. Daardoor wordt de folie nog dampdoorlatender.

3.2.3 Gevolgen en vergelijking van de systemen

Bij microporeuze folies is de kans duidelijk groter dat er door diffusie een laagje water op de achterzijde wordt gevormd dan bij monolithische folies (zie afb. 29). Door het waterlaagje maar ook al door een sterk verhoogde luchtvochtigheid zonder condensaat bestaat het risico dat zich onder de folie schimmel vormt op de thermische isolatie of het dakbeschoot (zie afb. 30). In de winter kan het waterlaagje tot een gesloten ijslaag bevriezen. Ijs is in feite dampdicht. Zo verandert een buitenlaag die eigenlijk dampopen is in een dampscherm. Daardoor kan er nog meer condensaat op de ijslaag komen te staan of eraan vastvriezen. In het ergste geval ontstaat er vochtschade die soms pas zichtbaar wordt als de temperaturen weer stijgen en het ijs smelt. Bij monolithische membranen is door het actieve vochttransport de vorming van een waterlaagje en het risico op bevriezing tot een laag ijs nagenoeg uitgesloten. Dit is ook op echte bouwplaatsen gebleken in vergelijking met microporeuze folies onder dezelfde omstandigheden (zie afb. 31).

3.3 Winddichtheid

Zoals eerder aangegeven, zijn in de technische voorschriften momenteel nog geen eisen gedefinieerd voor de uitvoering en kwaliteit van winddichte constructies. Daardoor zijn er ook geen eisen vastgelegd aan materialen of producten die constructies winddicht moeten maken. Algemeen kan echter worden gesteld dat poreuze membranen van nature minder weerstand bieden tegen lucht- of winddoorstrooming dan poriënvrije membranen (zie ook hoofdstuk 2.2.2). Ook conventionele vliesfolies zonder membraan zijn tot op zekere hoogte winddoorlatend. Dakfolies met een monolithische membraan bieden dus ook op het gebied van winddichtheid de beste bescherming. Voor de winddichtheid van constructies is niet alleen een goede afdichting van vlakken essentieel, maar ook van verbindingen en aansluitingen op aangrenzende materialen. De laatste worden in de regel door verlijmingen gerealiseerd. Dit betekent dat ook de kwaliteit – en belangrijker nog – de duurzaamheid van de verlijming van invloed zijn op de winddichtheid. De lijm moet dus een hoge sterkte na uitharding en een langdurige werking hebben (zie hoofdstuk 4.2).

3.4 Hagelweerstand

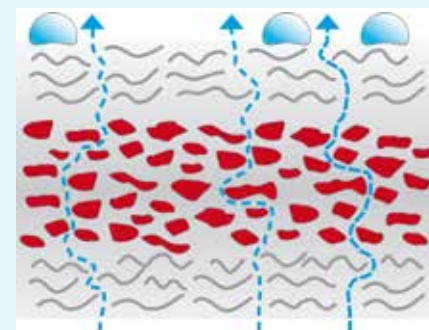
Tijdens de bouw is een folie die als tijdelijke afdekking wordt gebruikt soms ook blootgesteld aan buitengewone weersomstandigheden. Denk bijvoorbeeld aan extreme fenomenen als

een wolkbreuk of hagel. Ook later in gedekte toestand kan een zware hagelbui de dakbedekking flink beschadigen en de onderliggende folie belasten. Daardoor is het zinvol de folies op hagelweerstand te testen. Om te waarborgen dat de dakfolies van pro clima de vereiste bescherming bieden, hebben onafhankelijke testinstituten hageltests uitgevoerd volgens de testnormen van de Zwitserse Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen (VKF; Vereniging van Kantonale Brandverzekeringen) [10]. Bij de beproeving werden met een hagelkanon grote hagelstenen (diameter 50 mm) met een snelheid van 110 km/h op de hieronder genoemde, op zachtboard aangebrachte folies geschoten (zie afb. 32 en 33). Vervolgens werden de folies op de plek waar de hagelstenen de folie raakten visueel op scheuren onderzocht en met een hydrostatische waterkolom op waterdichtheid gecontroleerd. Om de beproeving te doorstaan, moeten de folies na de beschieting nog steeds waterdicht zijn. Veel conventionele dakpannen bereiken slechts weerstandsklasse HW 4. Dankzij hun hoge hagelweerstandsklasse van HW 5 bieden de genoemde dakfolies van pro clima, aangebracht op zachtboard, extra bescherming voor het dak. Ook als er pannen door de hagel kapotgaan, houden de folies het dak droog.

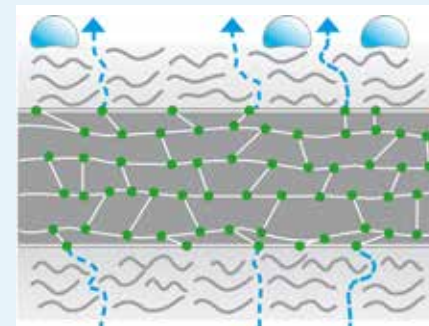
3.5 Duurzaamheid

3.5.1 Duurzaamheid algemeen

Heel belangrijk is dat winddichte folies niet alleen over de hiervoor genoemde eigenschappen beschikken op het moment van montage of een aantal jaren daarna. Ze maken immers langdurig onderdeel uit van de constructie en kunnen meestal niet meer worden gecontroleerd, omdat ze door andere constructielagen worden bedekt. Planners, uitvoerders en opdrachtgevers moeten dus als het ware 'blind' op de gebruikte materialen kunnen vertrouwen! Bij dakbedekkingen wordt uitgegaan van een levensduur van een pannendak van ca. 50 tot 60 jaar [11]. Daarna wordt de dakbedekking in de regel vervangen. Ook de extra regendichte laag eronder (bijv. dakfolie) moet dus een lange levensduur hebben, omdat deze alleen bij een nieuwe dakbedekking kan worden vervangen. De realiteit is helaas ontzettend! Uit onderzoeken, zoals bijv. dat van het Aachener Institut für Bauschadensforschung und angewandte Bauphysik (AIBau) naar de 'duurzaamheid van dampopen dakfolies onder dakbedekkingen' [12], is gebleken dat een groot deel van de gebruikte folies niet eens aan de minimale eisen voldoet. Veel onderzochte folies vertoonden tekenen van sterke verwerking ver voor het einde van de gebruiksduur van de dakbedekking. Sommige folies hingen alleen nog als losse flarden tussen de



Afb. 27: Visuele weergave van de werking van een microporeuze membraan – waterdruppels kunnen vanwege hun grootte de folie niet passeren; waterdampmoleculen, die duidelijk kleiner zijn, dringen door capillaire werking door de microporiën.



Afb. 28: Visuele weergave van de werking van een monolithische membraan – waterdampmoleculen banen zich actief een weg door de moleculaire structuur.



Afb. 29: Vorming van een waterlaagje bij microporeuze dakfolie.



Afb. 30: Schimmelvorming onder microporeuze dakfolie – vanwege zwak, passief vochttransport is de houtvezelplaat onder de folie vochtig geworden, waardoor schimmelvorming werd bevorderd.



Afb. 31: Hier werden bij hetzelfde project monolithische SOLITEX-folies (dakschild in het midden van de foto) en microporeuze folies (hoofddakvlakken) aangebracht; bij identieke omstandigheden: microporeus = waterlaagje, monolithisch = droog.



Afb. 32: Beproeving van de hagelweerstand. Met een hagelkanon kunnen hagelstenen met snelheden van max. 110 km/h op folies worden geschoten.



Afb. 33: SOLITEX-dakfolies op zachtboard blijven ook bij meerdere beschietingen met hagelstenen met een diameter van 50 mm onbeschadigd.



Afb. 34: Buitenopstelling voor het onderzoeken van de verouderingsbestendigheid bij rechtstreekse blootstelling aan weersinvloeden.

sporen. De auteurs komen onder andere tot de conclusie dat naast de inbouwsituatie (bijv. met betrekking tot uv- en warmtebelasting) blijkaar ook een aantal materiaaleigenschappen een duidelijke invloed op de duurzaamheid van de folies hebben. Zo stelden zij vast dat materialen die onder ongunstige omstandigheden waren verwerkt deels bestendiger bleken te zijn dan andere die onder gunstige factoren waren aangebracht. Er bestaan dus blijkaar grote verschillen in materiaalkwaliteit tussen de onderzochte folies. De auteurs constateren verder dat de kwaliteit resp. de duurzaamheid van de folies over het algemeen correleert met de materiaalsprijs. Eenvoudig uitgedrukt: goedkope folies zijn in de regel minder duurzaam, duurere materialen meestal bestendiger!

Het verschil tussen negatief opgevallen, zeer goedkope folies en positief beoordeelde, duurzame folies werd daarbij geraamd op ca. 2 tot 4 €/m². Dit resulteert voor het hele dakvlak van een doorsnee eengezinswoning in meerkosten tussen de €500 en €1000. De meerwaarde van deze investering in de vorm van constructieve betrouwbaarheid en duurzaamheid is enorm en staat in geen verhouding tot de hoge extra kosten die bij eventuele bouwschade door vroegtijdige materiaalverzwakking kunnen ontstaan. Hoe kunnen planners en uitvoerders nu beoordelen welke dakfolies langdurig bestendig en waterdicht blijven? Op grond van de toepasselijke productnormen (EN 13859-1 en 2) hoeft alleen een waterdichtheid van klasse W1 na 14 dagen sterke uv-bestraling en 90 dagen permanente opslag bij 70 °C worden aangetoond. pro clima onderwerpt al haar weerbestendige folies en aanvullende producten ook nog aan strengere beprouvingen door erkende testlaboratoria. Bij de dakfolies SOLITEX MENTO 3000 en SOLITEX MENTO 5000 werd de kunstmatige veroudering bijvoorbeeld niet zoals vereist in EN 13859 bij 70 °C, maar bij 120 °C uitgevoerd om de belasting van de afdichtingslagen door de veroudering onder verzwaarde omstandigheden te simuleren. De beprouvingsvoorwaarden moeten in relatie tot de werkelijke toepassing worden beschouwd.

3.5.2 Buitenopstellingen

Naast laboratoriumbeprouvingen (intern en extern) worden de folies in het kader van langetermijnonderzoeken ook nog getest onder dakbedekkingen en bij langdurige blootstelling aan weersinvloeden. Zo wordt het gedrag van de producten onder reële mechanische belastingen door uv-straling, wind, vocht- en temperatuurschommelingen zichtbaar. Om de invloed van het weer te beoordelen, werden de foliemonsters zonder bedekking en dus onbeschermd aan de weersomstandigheden blootgesteld. Om het gedrag op de lange termijn in de gebruikstoestand te beoordelen, werd bij het tweede dak een normale opbouw met tengelwerk, panlatten en dakpannen op de folies aangebracht. In beide gevallen werden dakfolies van pro clima en een selectie van folies van andere fabrikanten verwerkt. In regelmatige afstanden werden monsters genomen en onderzocht. Daarbij werd eerst visueel onderzocht of er beschadigingen herkenbaar waren. Daarna werden met laboratoriumtechnieken belangrijke technische eigenschappen zoals de weerstand tegen waterdoorlating (hydrostatische drukhoogte) gemeten.

Bij deze continue evaluatie werden er zwaarwegende verschillen in de verouderingsbestendigheid van verschillende folies zichtbaar – zowel na blootstelling aan weersinvloeden als tijdens de langetermijnbeprouving onder dakbedekking.

3.5.2.1 Beprouving bij volledige blootstelling aan weersinvloeden

Bij deze proef werden naast dakfolies van pro clima ook zes producten van andere fabrikanten ter vergelijking in een buitenopstelling getest (zie afb. 34). De meting van de hydrostatische drukhoogte met onverwerkt en dus niet verouderd materiaal bevestigde voor alle folies een hoge dichtheid bij meerdere meters waterkolom. Verdere metingen na 4 en 8 weken toonden nog geen duidelijke verandering. Na 13 weken blootstelling waren er echter al significante verschillen te zien. Deels bedroegen de gemeten waterkolommen minder

pro clima folie	Hagelweerstandsklasse	Waterkolom (gemeten na hageltest)	Blootstelling aan het weer
SOLITEX WELDANO 3000	HW 5	500 cm	Maximaal 6 maanden
SOLITEX QUANTO 3000	HW 5	450 cm	Maximaal 4 maanden
SOLITEX MENTO 5000	HW 5	500 cm	Maximaal 6 maanden
SOLITEX MENTO 3000	HW 5	330 cm	Maximaal 4 maanden
SOLITEX MENTO PLUS	HW 5	500 cm	Maximaal 4 maanden

dan een vijfde van de beginwaarde. Een microscopische vergroting toonde deels tekenen van sterke verwerking bij deze folies. Hier waren scheuren of afbrokkeling duidelijk zichtbaar (zie afb. 36 a/b).

Na 24 weken kon nog maar bij één van de zes geteste folies van andere fabrikanten een waterdruk gelijk aan een waterkolom worden uitgeoefend. De andere 5 folies vertoonden geen enkele dichtheid meer, terwijl alle geteste SOLITEX-folies van pro clima ook na de lange blootstellingstijd nog betrouwbaar dicht waren en hoge waarden bereikten (zie afb. 36).

3.5.2.2 Beprouving onder dakbedekking

Om het verouderingsgedrag in werkelijke tijd tijdens gebruik te beoordelen en te vergelijken, werden naast dakfolies van pro clima (o.a. SOLITEX MENTO 3000) ook 5 conventionele dakfolies van andere fabrikanten onder realistische omstandigheden in het beprouvingsdak verwerkt (zie afb. 37 a/b). De folies werden van tevoren niet blootgesteld aan weersinvloeden om alleen de veroudering in gedekte toestand te onderzoeken. Op verschillende tijdstippen werd de hydrostatische waterkolom gemeten, evenals een aantal mechanische sterkte waarden.

Na twee jaar veroudering werden er voor het eerst monsters genomen en onderzocht. Al op dit vroege tijdstip bleek dat één van de folies nog maar een gemiddelde waterdichtheid van 57 cm waterkolom had. Een aanzienlijke verslechtering in vergelijking met de beginwaarde van ruim 300 cm. Alle andere folies vertoonden een hooguit geringe verandering. De dakfolie SOLITEX MENTO 3000 behaalde waarden > 300 cm. Na een beprouvingsperiode van ruim 11 jaar hebben twee van de onderzochte dakfolies nog slechts een waterdichtheid van 20 cm waterkolom, eentje van 56 cm waterkolom. De dakfolie SOLITEX MENTO 3000 bereikt na deze relatief lange periode nog steeds een zeer goede waarde van 230 cm (zie afb. 38 a/b).

3.5.3 Uv-bestendigheid

Uv-stralen kunnen materiaal beschadigen of zelfs afbreken. Zo versnelt uv-straling het proces van veroudering bij kunststof folies die als onderdak worden gebruikt. Enerzijds verandert de straling de polymeerketens. Deze worden minder elastisch, omdat de straling organische verbindingen kan verbreken. Anderzijds kunnen ook vluchtige weekmakers ontsnappen. Beide verschijnselen maken het materiaal bros en kunnen tot scheurvorming leiden. De belasting is vooral sterk in onbeschermd toestand tijdens de bouw. De uv-straling raakt dan ongehinderd rechtstreeks de oppervlakken. Deze periode moet dus zo kort mogelijk worden gehouden. De fabrikanten vermelden daarom in de bijbehorende technische

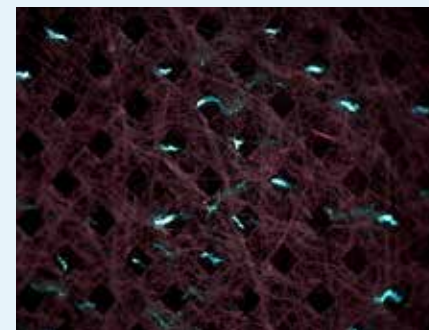
documentatie informatie over de maximale blootstellingsduur. Deze mag niet worden overschreden. Niet omdat de folies dan onmiddellijk uiteenvallen, maar eerder omdat de geplande en ook vereiste totale levensduur dan niet meer gegarandeerd kan worden. Ook in gedekte toestand worden de dakfolies belast – bij aansluitingen (bijv. op ventilatieopeningen etc.), maar ook op het dakvlak (bijv. bij schubvormig gelegde dakbedekkingen als pannen, leistenen etc.). Afhankelijk van de dakbedekking kan hierbij worden uitgegaan van een stralingsbelasting van het onderdak van 2 tot 10% van de totale straling die buiten op het dak inwerkt. Een bijzonder hoge belasting bestaat in niet afgewerkte zolders, wanneer zonlicht door vensters en luiken kan binnendringen en op een aan de onderkant onbeschermd folie schijnt – ook op plekken met indirecte, diffuse straling.

Een hoge uv-bestendigheid is dus bepalend voor een lange levensduur van dakfolies. Dit wordt door meerdere eigenschappen bereikt:

- Toevoeging van moderne, duurzame uv-stabilisatoren in plaats van vluchtige weekmakers. Hierdoor wordt voorkomen dat folies bros worden door het ontsnappen van de weekmakers.
- Gebruik van dikke afdekvliezen bij meerlaagse folies. Daardoor wordt de eigenlijke, dunne membraan van de dakfolie beschermd tegen uv-belasting. Vereenvoudigd kan worden gesteld dat de uv-bestendigheid toeneemt naarmate ook de dikte of het oppervlaktegewicht van het afdekvlies toeneemt.

3.5.4 Thermische stabiliteit

Onder dakbedekkingen als pannen, leistenen en metalen dakbekleding, maar ook onder in het dak geïntegreerde zonne-installaties ontstaan zeer hoge temperaturen. Metingen, zoals in [12] hebben temperaturen van maar liefst 70 °C onder dakpannen vastgesteld. Onder andere materialen kunnen de temperaturen onder omstandigheden nog hoger liggen. Dakfolies bestaan meestal uit polymeren, lange met elkaar verbonden molecuulketens. Wanneer deze permanent door warmte worden belast, splitsen de lange polymeerketens. De kortere ketens maken de materialen bros (net als onder invloed van uv-straling). Bij deze voortijdige veroudering verliest de kunststof folie haar mechanische sterkte. Hoogwaardige, duurzame materialen beschikken over een thermisch stabiele functionele laag. Monolithische membranen van TEEE (thermoplastisch elastomeer polyester-ether) hebben een smeltpunt van meer dan 200 °C, microporeuze membranen van polypropyleen van ca. 160 °C. Naast een hoger smeltpunt hebben TEEE membranen ook een hogere thermische stabiliteit op lange termijn dan microporeuze folies.



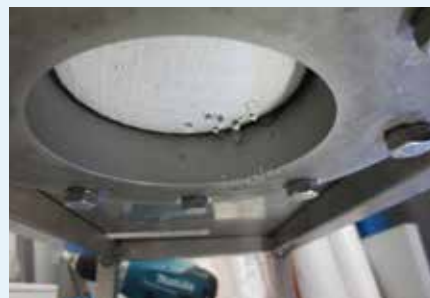
Afb. 35 a/b: Microscopie-opname van dakfolies na 13 weken blootstelling tonen tekenen van scheurvorming en verwerking.



Afb. 36: Microscopie-opname van een SOLITEX MENTO 3000-dakfolie na 24 weken blootstelling – geen schade herkenbaar.



Afb. 37 a/b: Beprouvingsdak voor het testen van de verouderingsbestendigheid van dakfolies in gedekte toestand.



Afb. 38 a/b: Hydrostatische drukproef na 2 jaar natuurlijke veroudering onder dakbedekking; boven: microporeuze folie ondicht bij waterkolom <0,6cm; onder: SOLITEX MENTO 3000 bereikt waarden >3 m.

Met TEEE in het algemeen is er jarenlange praktijkervaring opgedaan in veeleisende toepassingsgebieden, deels onder extreme omstandigheden. Zo wordt TEEE bijvoorbeeld gebruikt in airbags. Het materiaal moet bij deze toepassing zowel bij zeer lage temperaturen als bij zeer hoge temperaturen (bijv. -40 °C in Siberië en +85 °C in een geparkeerde zwarte auto in de woestijn van Arizona) betrouwbaar functioneren gedurende de totale levensduur van een auto.

De thermische stabiliteit van SOLITEX MENTO-folies werd ook aangetoond in het laboratorium in het kader van beproevingen uitgevoerd door onafhankelijke testinstituten. Hiervoor werd de duurzaamheid na kunstmatige veroudering bepaald volgens de norm EN 13859-1. Daarnaast werden na veroudering door uv-straling en warmte nog de treksterkte en de waterdichtheid gemeten. Hiervoor is in EN 13859-1 standaard een temperatuurveroudering bij 70 °C gedurende een periode van 90 dagen voorzien. De dakfolies van de SOLITEX MENTO-serie werden zelfs blootgesteld aan nog veel hogere belastingen en doorstonden deze beproeving ook bij 100 °C of 120 °C. De SOLITEX-dakfolies hebben dus een duidelijk hogere thermische stabiliteit dan conventionele folies en zijn daardoor ook bestand tegen extreme temperatuurbelastingen.

3.5.5 Hydrolysebestendigheid

Hydrolyse is de splitsing van een chemische binding onder opname van een molecuul water. Dit verschijnsel kan ook optreden bij bepaalde organische verbindingen, dus kunststoffen die uit koolstofketens zijn opgebouwd. Algemeen geldt dat veel stoffen materialen door chemische reactie onomkeerbaar kunnen veranderen. Het bekendst zijn reacties onder invloed van zuren of basen, maar ook het ogenschijnlijk 'neutrale' water kan aanzienlijke schade toebrengen aan bouwproducten. Bij hydrolyse gaat het om een chemische wisselwerking tussen water en verschillende kunststoffen met hydrolyseerbare groepen, zoals ester-, amide- of nitrilgroepen. Bijzonder gevoelig reageren polygecondenseerde kunststoffen. Bij de vorming van de langketenige polymeren wordt (vereenvoudigd gezegd) water afgesplitst, waardoor de ketens langer worden. Wanneer de kunststof nu bij later gebruik in contact komt met water en een beetje warmte-energie, wordt het proces omgekeerd en de keten opengebroken. De werking is hetzelfde als bij uv-belasting. Hierdoor verliest het kunststof belangrijke eigenschappen zoals de mechanische sterkten. In de praktijk kunnen door het hydrolyseverschijnsel problemen ontstaan, wanneer kunststoffen langdurig permanent zijn blootgesteld aan vloeibaar water. Zo kan er bijvoorbeeld condens van de dakbedekking

afdruppelen of condensvorming onder de folie optreden als gevolg van een hoge luchtvochtigheid. Minderwaardige materialen vertonen in eerste instantie plaatselijk tekenen van verwerking (gaatjes) en vallen uiteindelijk volledig uit elkaar. Om deze invloeden af te weren, moet bij de productie van dakfolies het juiste materiaal en de juiste materiaalcombinatie worden gekozen. Daarom zijn zowel de afdekvliezen van de SOLITEX MENTO-folies als de TEEE membraan zo ontworpen dat ze langdurig een verhoogde bescherming tegen hydrolyse bieden.

4. Toebehoren voor het regendicht maken van constructies

4.1 Algemeen

Om een constructie voldoende regendicht te maken, moeten dakfolies waterafvoerend worden afgedicht. In principe zijn hiervoor (afhankelijk van de vereisten) de volgende drie aansluitingen nodig:

- Verlijming van folieoverlappen en -voegen
- Aansluitingen op randen (bijv. dakvoet en dakrand) evenals op verticale bouwelementen resp. bouwelementen die de constructie doordringen (bijv. schoorsteen, dakvenster etc.)
- Afdichting van nagelgaten bij tengellatten

4.2 Verlijmingen

Winddichtingen aan de buitenzijde moeten duurzaam worden verlijmd. Dat geldt zowel bij het verbinden van foliebanen onderling als bij het aansluiten van foliebanen op doorvoeren en aangrenzende bouwelementen. Over het algemeen is bij lijmverbindingen in de bouw, bijvoorbeeld bij winddichting, een hoge eindsterkte doorslaggevend. Te zacht geformuleerde lijmen bieden een zeer goede aanvangshechting, omdat de dunvloeibare lijm snel in de ondergrond dringt, maar hebben in vergelijking met speciaal ontwikkelde lijmformules maar een geringe eindsterkte. Deze lijmverbindingen kunnen door langdurige geringe belastingen (bijv. door wind of bewegingen in de constructie) breken. Optimaal zijn lijmen die een toereikende aanvangssterkte hebben, zodat ze bij de verwerking goed op de ondergrond hechten en later een zeer hoge eindsterkte om onvoorziene belastingen op te kunnen nemen. Helaas zijn er voor de sterkte en duurzaamheid van lijmverbindingen bij winddichting momenteel nog geen eisen vastgelegd. Als richtlijn kunnen echter onderzoeken naar de duurzaamheid van tapes en vloeibare lijmen voor luchtdichting worden gebruikt. Idealiter kunnen de kleefmiddelen al universeel binnen (bij luchtdichting) en buiten (voor het verlijmen van winddichting) worden gebruikt. Dit is bij technische tapes van pro clima, bijv. TESCON VANA, en de kitten van de ORCON-serie het geval. In het kader van een onderzoeksproject over de 'kwaliteitsborging van verbindingstechniek op basis van lijm voor luchtdichtheidslagen' aan de Universiteit van Kassel werd een procedé voor versnelde veroudering voor lijmverbindingen ontwikkeld dat intussen is opgenomen in de Duitse norm DIN 4108-11 [13]. Deze vereist dat lijmverbindingen die 120 dagen (= ca. 17 jaar werkelijke tijd volgens Satas [14]) bij een verhoogde

luchttemperatuur en luchtvochtigheid (65 °C en 80% relatieve luchtvochtigheid) zijn opgeslagen, aan bepaalde minimumsterkten moeten voldoen. De verbinding kan dan al als duurzaam worden beschouwd. Voor de beproeving van de duurzaamheid werden ook bovengenoemde kleefmiddelen van pro clima onderworpen aan een onafhankelijke versnelde verouderingstest onder de genoemde omstandigheden. De beproevingsperiode werd nog eens van 120 dagen tot 700 dagen verlengd. 700 dagen versnelde veroudering komen volgens Satas overeen met 100 jaar in de realiteit. De beproefde kleefmiddelen van pro clima hebben ook deze verlengde versnelde verouderingstest probleemloos doorstaan (zie afb. 39).

Een andere belangrijke factor bij kleefmiddelen voor winddichting is hun waterbestendigheid. In de bouw zijn regenbuien of condens op dakfolies geen zeldzaamheid. Ook in gedekte toestand kunnen lijmverbindingen worden belast door vloeibaar water (bijv. ontstaan door wegstromend condenswater, ingewaaide regen of sneeuw). Daarom moeten de gebruikte kleefmiddelen over een waterbestendige lijm (bijv. SOLID-acrylaatlijm) beschikken. Kleefmiddelen van in water oplosbare acrylaatemulsies kunnen daarentegen onder invloed van water weer vloeibaar worden en in het ergste geval falen (zie afb. 40).

4.2.1 Verlijming met geïntegreerde tape

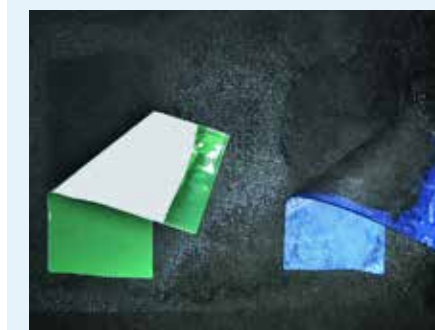
Bij het verlijmen van folieoverlappen buiten (bijv. dakfolies) is de toepassing van geïntegreerde tape effectief gebleken. Het voordeel ten opzichte van het afplakken van een voeg met technische tape is dat geïntegreerde tape zich onder de overlapping bevindt en daardoor beschermd is tegen wegstromend water. Bij het afplakken van voegen daarentegen loopt het wegstromende water voortdurend direct over of tegen de lijmverbinding, waardoor deze aanzienlijk sterker wordt belast en het risico op falen toeneemt. In het optimale geval worden de geïntegreerde tapes als tegenover elkaar liggende hechtlagen uitgevoerd. Bij de montage op de bouwplaats worden de foliebanen dan volgens het principe 'hechtlaag-tegen-hechtlaag' met elkaar verbonden. Dit werkt ook goed in ongunstige omstandigheden (bijv. kou, vocht etc.) (zie afb. 41).

4.2.2 Geïntegreerde tape met aansluitstrook

Een doorontwikkeling van de geïntegreerde tape is de variant met aansluitstrook. Deze wordt bijvoorbeeld gebruikt bij 2-laags dakfolie



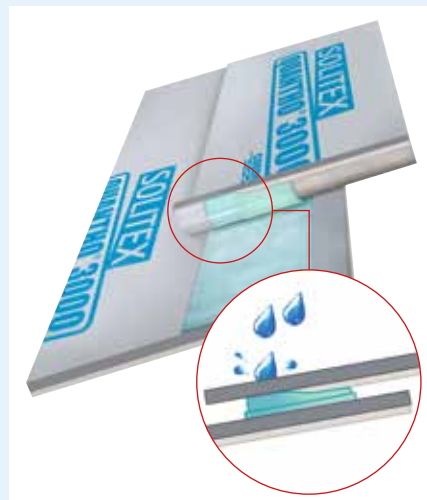
Afb. 39: De verouderingsbestendigheid van verlijmingsmiddelen voor luchtdichtheid kan met de Duitse norm DIN 4108-11 worden getest. Een kunstmatige veroudering van 120 dagen komt ongeveer overeen met 17 jaar. Voor verlijmingsproducten van pro clima werd de veroudering verlengd tot 700 dagen (komt overeen met 100 jaar).



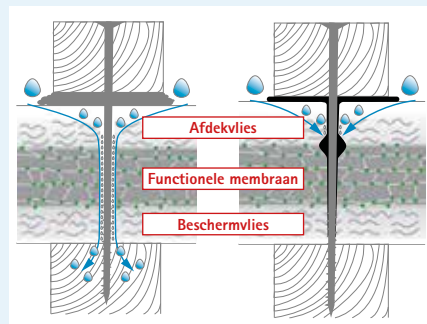
Afb. 40: Waterbestendigheid van tapes. Links: tape met een in water oplosbare acrylaatemulsie 'verzeep't' en wordt vloeibaar onder invloed van water. Rechts: tape met waterbestendige SOLID-lijm kan niet zonder schade worden verwijderd.



Afb. 41: Folieoverlappen met geïntegreerde tape – de lijmverbinding zit onder de overlapping en is tegen wegstromend water beschermd. De verlijming door hechtlaag-tegen-hechtlaag is ook onder ongunstige omstandigheden betrouwbaar.



Afb. 42: Geïntegreerde tape met aansluitstrook – TPU laag en lijm steken uit over het dragervlies, waardoor beide membranen rechtstreeks met elkaar worden verbonden.



Afb. 43: Links: nageldichtingen op schuimbasis dichtten alleen af op het vlies – water in het bovenste waterafvoerende vlies kan via de perforatie in de membraan binnendringen. Rechts: nageldichting op basis van butyl dicht af in de membraan en voorkomt dat water binnendringt.



Afb. 44: Vloeibaar butyl trekt langs de nagelschacht in de ondergrond en dicht daar meteen af.

met een TPU membraan. Hierbij steekt de TPU laag uit over het eronder liggende dragervlies. De hechtlagen bevinden zich nu deels ook op het gedeelte zonder vlies. Zo wordt er een 'barrière' gecreëerd die enerzijds verhindert dat de onderkant van het vlies water opzuigt en het anderzijds mogelijk maakt dat de membranen (TPU) van de overlappende foliebanen rechtstreeks met elkaar worden verlijmd. Dit voorkomt dat water via het dragervlies onder de lijmverbinding door kan kruipen. Het resultaat is een voegverlijming met een beduidend hogere dichtheid (zie afb. 42).

4.3 Perforatiebestendigheid (nageldichting)

Penvormige bevestigingsmiddelen (bijv. nagels) voor de bevestiging van tengellatten en soms ook panlatten, doordringen aanvullende regendichte lagen (bijv. dakfolie) en perforeren deze. Om het binnendringen van water via deze perforaties te voorkomen of tot een minimum te beperken, moet afhankelijk van de eisen (klasse van de extra laag; bij gebruik als tijdelijke afdekking verplicht) de ruimte tussen de tengellatten en de dakfolie extra worden afgedicht. Dit kan met dichtingsbanden of dichtingsmassa's. Ook kunnen foliebanen worden gebruikt die aantoonbaar zelfdichtend zijn (zie 4.3.3).

4.3.1 Nageldichtingsmassa's

Dichtingsmassa's zijn zelf opschuimende eencomponentenmassa's van polyurethaan die onder invloed van lucht en vocht eerst van volume veranderen en daarna uitharden. Daarom worden eerst deze massa's opgesmeerd en daarna pas de tengellatten geplaatst en bevestigd. De dichtingsmassa verdringt hierbij de lucht in de spleet tussen tengellat en dakfolie en dringt daarnaast diep in de vlies- en vezelstructuur van de dakfolie en in de tengellat. Dit voorkomt enerzijds dat water door capillaire werking in het afdekvlies van de folie wordt 'gezogen'. Anderzijds wordt hierdoor de holle ruimte tussen tengellat en dakfolie verzegeld, waardoor water niet eens in de buurt van de penvormige bevestigingsmiddelen kan komen. Een nadeel van dit systeem is echter dat er geen uv-stabilisatoren worden gebruikt en het gevormde schuim daardoor vaak langzaam wordt afgebroken. Op vliesvrije oppervlakken, bijv. 2-laags TPU dakfolie, blijft het schuim bovendien alleen aan het oppervlak liggen. Een duurzame afdichting ontstaat dan alleen wanneer er ook een chemische binding met het oppervlak plaatsvindt, wat echter afhankelijk van het materiaal of product niet altijd het geval is.

4.3.2 Nageldichtingsbanden

Conventionele (nagel-)dichtingsbanden bestaan vaak uit schuimstof. Het is belangrijk te weten dat deze dichtingsbanden niet de eigenlijke perforatie in de folie afdichten, maar de voeg tussen tengellat en folie door sterk comprimeren. Wanneer er op de betreffende plek onvoldoende aandrukkraft is, kan er regenwater onder het compriband dringen. Bij veel samengestelde folies met vliesmateriaal bovenop de eigenlijke functionele laag kan bovendien water in het afdekvlies dringen, omdat dit zelf niet waterdicht is, maar alleen de eronder liggende membraan moet beschermen. Nageldichtingsbanden van zeer elastische butylrubber waarbij de dichtingsmassa met de schacht van de nagel of schroef in het betreffende gat loopt, dichtten de perforatie in de membraan direct af. Daardoor wordt een zeer effectieve afdichting bereikt – en dit onafhankelijk van de aandrukkraft (zie afb. 43 en 44).

4.3.3 Perforatiebestendige dakfolie ('zelfdichtend')

Vrij nieuw, maar toch al veel toegepast zijn perforatiebestendige folies. Deze dichtten op grond van hun materiaaleigenschappen zelf penvormige bevestigingsmiddelen af, waardoor geen extra nageldichtingsmateriaal nodig is. De meeste beproefde producten bestaan uit twee lagen, waarbij de bovenste functionele laag vaak is gebaseerd op TPU. Om de vereiste nageldichtheid te bereiken, wordt enerzijds gebruik gemaakt van het afdichtingseffect tussen tengellat en dakfolie door comprimeren. Anderzijds omsluit de 'rubberachtige' TPU membraan de doordringende nagel en dicht deze zo direct af. Dit vereenvoudigt en versnelt de verwerking. Omdat het hele oppervlak perforatiebestendig is, is het systeem bovendien minder gevoelig voor (verwerkings-) fouten. Om de werking en toepasbaarheid van de betreffende materialen aan te tonen, is er een Europese Technische Beoordeling (ETA) ontwikkeld. In tegenstelling tot het procedé waarbij extra nageldichtingen worden gebruikt, wordt met de betreffende ETA de afdichtende werking van de folie beproefd en aangetoond.

4.4 Gebruik van totaalsystemen

In de bouw duikt telkens weer de vraag op of componenten van regendichtingssystemen van verschillende fabrikanten met elkaar kunnen worden gecombineerd. Vooral bij nageldichtingsbanden wordt vaak voor goedkope producten gekozen – bijv. eenvoudige compriband. In de regel levert de foliefabrikant ook de toebehoren. Dan is gewaarborgd dat de componenten geschikt en compatibel zijn. Natuurlijk kunnen er ook toebehoren van

andere fabrikanten worden gebruikt. Dan moet de fabrikant van de toebehoren wel aantonen en bevestigen dat deze geschikt zijn voor de betreffende dakfolie en dat de materialen met elkaar kunnen worden gecombineerd. Of dit in de praktijk ook gebeurt is soms maar de vraag resp. voor de uitvoerder vaak niet duidelijk vast

te stellen. Bovendien leidt het combineren van verschillende systemen binnen de bouw regelmatig tot discussies, bijvoorbeeld met deskundigen. Voor planners, uitvoerders en opdrachtgevers biedt het gebruik van totaalsystemen van één fabrikant de meeste zekerheid (zie afb. 45).

5. Samenvatting en conclusie

Dakfolies moeten meerdere belangrijke taken vervullen. Zo moeten ze de onderliggende constructie deels al tijdens de bouw beschermen tegen soms hevige weersinvloeden. Maar ook als het dak klaar is, kunnen er behoorlijke hoeveelheden water (slagregen, stuifneeuw etc.) door de dakbedekking dringen. Een goed functionerende dakfolie beschermt gedurende de totale gebruiksduur van de dakbedekking (die gemakkelijk tot wel 50 jaar kan bedragen) de thermische isolatie en de draagconstructie tegen vochtschade van buitenaf. Aan de ene kant moet van buiten komend vloeibaar water worden tegengehouden, aan de andere kant moet waterdamp uit de constructie zo snel mogelijk resp. in grote hoeveelheden naar buiten ontsnappen. Daarom moeten de folies idealiter bijzonder dampopen zijn. Dit is vooral mogelijk in combinatie met monolithische membranen. Deze hebben geen poriën en bieden door hun gesloten structuur uitstekende bescherming tegen vloeibaar water van buitenaf. Tegelijkertijd voeren ze vocht actief uit de constructie af. De hoge weerstand tegen waterdoorlating blijkt eveneens uit laboratoriumproeven voor waterdichtheid (zoals hydrostatische waterkolom- of slagregentests zonder vastgestelde waterdoorlating), zelfs onder ongunstige omstandigheden, bijvoorbeeld bij verontreiniging door stoffen die de oppervlaktespanning van water verminderen. In vergelijking daarmee neemt de dichtheid van conventionele microporeuze folies in deze situatie sterk af. Door het actieve vochttransport van monolithische folies is bovendien de kans op condens- of zelfs ijsvorming aan de onderkant van de dakfolie veel geringer. Microporeuze folies zijn door hun passieve vochttransport gevoeliger voor de vorming van laagjes water, wat kan leiden tot schimmelvorming of vochtschade in de constructie. Een andere factor die, ook gezien de klimaatverandering en de daarmee verbonden toename van extreme weersomstandigheden, steeds belangrijker wordt, is de hagelweerstand van daken. Grote hagelstenen kunnen een pannendak volledig verwoesten. Het is dan belangrijk dat de dakfolie eronder standhoudt. Een duurzame oplossing is een constructie met

dakfolie met een aantoonbaar hoge hagelweerstand (HW5) op zachtboard. Het zachtboard vormt enerzijds een stabiele ondergrond, maar absorbeert door zijn relatief zachte structuur ook inslagenergie. Voor onderdaken werden in het verleden hoofdzakelijk dampdichte bitumen en kunststof banen gebruikt die uitdroging van vocht naar buiten niet toelaten. Tegenwoordig wint het gebruik van dampopen TPU folies die homogeen kunnen worden gelast echter steeds meer terrein. Ze zijn even betrouwbaar, maar laten vocht middels diffusie uit de isolatieconstructie ontsnappen. Bovendien zijn deze folies in de regel eenvoudiger te verwerken. Om ervoor te zorgen dat dakfolies ook langdurig aan de gestelde eisen voldoen, is een hoge materiaalbestendigheid vereist. Vooral uv-straling en warmte laat de kunststoffen verouderen. De SOLITEX-dakfolies zijn daarom uitgerust met duurzame, niet-vluchtige stabilisatoren zonder weekmakers. De membraan, die de wezenlijke functies van een folie vervult, moet zo temperatuurbestendig mogelijk zijn. Het gebruik van TEE heeft zich in de praktijk bewezen vanwege het hoge smeltpunt en de hoge thermische langetermijnstabiliteit. De verouderingsbestendigheid van dakfolies wordt weliswaar door een gestandaardiseerde beproevingsmethode getest. De daarmee verbonden kunstmatige veroudering is echter maar beperkt toepasbaar op de werkelijke omstandigheden. Zo is bij buitenopstellingen gebleken dat veel folies die volgens de geldende productnorm (EN 13859-1) kunstmatig zijn verouderd en daarna positief werden beoordeeld, onder reële omstandigheden toch voortijdig verouderen – zowel in ongedekte toestand tijdens de bouw als in gedekte gebruikstoestand. Sommige folies waren al na enkele jaren niet meer waterdicht. De eveneens geteste SOLITEX-dakfolies hadden daarentegen aan het einde van de testperiode na meer dan 11 jaar nog steeds een zeer hoge waterdichtheid én een zeer hoge treksterkte en beschermen de eronder liggende constructies dus langdurig.



Afb. 45: Dakfolie en toebehoren – voor het realiseren van aansluitingen, het verlijmen van overlappingsen en het afdichten van nagelperforaties zijn deels toebehoren nodig. Hiervoor kunnen het best systeemcomponenten van de foliefabrikant worden gebruikt.

Raadpleeg de planningsdocumenten van pro clima voor meer informatie over de verwerking en over constructiedetails. U bereikt de technische hotline van pro clima via:

Technische hotline:
E-mail: support@proclima.com
Telefoon: +49 6202 278245

MOLL bauökologische Produkte GmbH
Rheintalstraße 35 – 43 · 68723 Schwetzingen, Duitsland
Tel.: +49 6202 2782.0 · eMail: info@proclima.com · proclima.nl



Uw pro clima partner