

5 Bouwkundige elementen woningschil

In dit hoofdstuk komt de woningschil aan bod. Centraal hierbij staan warmte-isolatie, luchtdichtheid en (zon)licht. Er zijn veel raakvlakken met passieve zonne-energie, zonwering, ventilatie, passieve koeling, thermische massa en daglicht. In veel gevallen zal voor die onderwerpen doorverwezen worden naar andere hoofdstukken.

De volgende elementen worden beschreven:

- De fundering, kruipruimte en begane-grondvloer (paragraaf 5.1.1);
- Het dak (paragraaf 5.1.2);
- De gesloten geveldelen (paragraaf 5.1.3);
- De woningscheidende wand en vloer (paragraaf 5.1.4);
- De kozijnen, ramen en deuren (paragraaf 5.1.5);
- De beglazing (paragraaf 5.2).

In paragraaf 5.1 wordt kort ingegaan op enkele algemene aspecten. Voor de diverse bouw fysische begrippen die in dit hoofdstuk voorkomen, wordt verwezen naar bijlage 1.

Deelchecklist Energiebewust ontwerpen: Woning-schil

Initiatief / haalbaarheid / projectdefinitie

- Maak een afweging tussen het wel of niet toepassen van een kruipruimte i.v.m. leidingen (bijv. voor warmte-/koudenet), luchtdichtheid begane grondvloer en de grondbalans bij het bouwrijpmaken (paragraaf 5.1.1);
- Overweeg om een (prefab) betonnen kelder in het ontwerp op te nemen als ruimte met een stabiel koel klimaat;
- Maak een afweging tussen de diverse bouwmethoden voor de draagconstructie in combinatie met de verschillende afbouwmethoden voor de bouwschil. Het Energievademecum beperkt zich, gezien de vele aspecten die hiermee samenhangen, tot enkele overwegingen met betrekking tot:
 - Het isoleren van warmte en geluid;
 - Luchtdichtheid (paragraaf 5.1);
 - Thermische massa (paragraaf 5.3);
 - Enkele specifieke zaken rond bepaalde installaties zoals vloer- en wandverwarming, betonkernactivering, luchtverwarming en mechanische ventilatie; het gaat o.a. om voldoende ruimte om de installaties in de constructie te kunnen opnemen.

Structuurontwerp / Voorontwerp

- Bouw compact om transmissie- en ventilatieverliezen te beperken; het realiseren van uitbouwen zoals erkers en dakkapellen, vergroot de kans op thermische bruggen, naden en onderbreking van dampremmende lagen; vermijd dergelijke uitbouwen of detailleer ze goed;
- Ontwerp de gevels zodanig dat er voldoende ruimte is voor een goede zonwering zoals overstekken en beweegbare zonwering (jaloezie-schermen, rolschermen, uitklapschermen) (paragraaf 5.2.2); soms is zonwerende beglazing te overwegen;
- Maak zomernachtcooling mogelijk: reserveer bijv. voldoende ruimte in gevels en dak (bijv. boven trappenhuis) (paragraaf 6.8); zie voor koeling via grondbuizen paragraaf 6.8 of vrije koeling via warmte-/koudeopslag hoofdstuk 8;
- Maak optimaal gebruik van daglicht. Denk aan onder andere de juiste vorm en plek van ramen, daklichten en (bijv. bij een atrium) daglichtreflectoren (paragraaf 4.3);
- Ga na of de gevel zodanig geluidbelast is dat er geluidwerende maatregelen genomen moeten worden; leg relatie met het ventilatiesysteem, zie bij Definitief Ontwerp; overweeg of een serre of extra glasgevel een oplossing is (paragraaf 4.2.3);
- Stem de dikte van constructies af op de gewenste isolatiewaarden;
- Denk bij woningscheidende wanden aan voldoende geluidisolatie; een ankerloze

spouwconstructie gevuld met zachte isolatie (paragraaf 5.1.4) levert èn een goede geluidisolatie èn een goede warmte-isolatie; let op de detaillering bij fundering en dak, zie bijv. de [SBR-referentiedetails](#) [96].

Definitief Ontwerp / Technisch ontwerp

- Realiseer een hoge isolatiewaarde en detailleer zorgvuldig om thermische bruggen te voorkomen. Overweeg bijvoorbeeld:
 - De fundering geheel 'in te pakken' en/of het toepassen van een onderbreking van de thermische brug van bijv. cellulair glas (= drukvast) (paragraaf 5.1.1);
 - Hsb-gevelelementen: ze isoleren naar verhouding goed bij een beperkte constructiedikte; onderbreek de thermische brug bij de houten stijlen en regels (paragraaf 5.1.3);
 - (Houten) kozijnen met onderbreking van de thermische brug (paragraaf 5.1.5);
 - 'Beter' isolerende afstandhouders in isolerende beglazing (paragraaf 5.2.1).
- Pas een goede kier- en naaddichting toe en stem de luchtdichtheid af op het toe te passen ventilatiesysteem. Met name gebalanceerde ventilatie vraagt een zeer goede luchtdichtheid (paragraaf 5.1);
- Pas op de juiste plaats dampremmende lagen toe en maak de constructie naar buiten toe meer damp-open (paragraaf 5.1, paragraaf 5.1.2 en paragraaf 5.1.3);
- Pas o.a. geen stopcontacten of lichtschakelaars in (prefab) lichte (houten) gevel- of dakelementen toe, tenzij de dampremmende laag intact blijft (paragraaf 5.1);
- Gebruik bij vloer- en wandverwarming een aangepaste detaillering en maatvoering van de constructie. Let bij vloerverwarming op het verschil tussen een wel of niet-zwevende dekvloer (paragraaf 7.2.3). Let op het verschil in traagheid van opwarmen en afkoelen tussen beide dekvloersystemen;
- Ga na of de gevel zodanig geluidbelast is dat er geluidwerende voorzieningen nodig zijn; let op de relatie met het ventilatiesysteem: Zijn er bij natuurlijke toevoer bijv. suskasten nodig i.v.m. verkeerslawaaï, dan kunnen die, wanneer men kiest voor gebalanceerde ventilatie, achterwege blijven;
- Overweeg zomernachtkoeling (paragraaf 6.8) toe te passen. Reserveer daarvoor ruimte in gevel en dak; een alternatief is koeling via grondbuizen (paragraaf 6.8).

Uitvoering

- Let op een zorgvuldige opslag van producten zoals isolatiematerialen, (houten) kozijnen en beglazing; dit zorgt voor minder uitval tijdens de bouw en voor een langere levensduur. Zie ook de instructies van de fabrikant;
- Let op een zorgvuldige verwerking van producten. Bescherm bijvoorbeeld tijdens werkonderbrekingen (met name zachte) isolatieplaten tegen regen en wind; dek de spouw en het buitenspouwblad goed af. Zie ook de instructies van de fabrikant;
- Let op een zorgvuldige uitvoering van het isoleren: goede aansluitingen onderling en op constructiedelen zoals kozijnen en binnenspouwbladen (paragraaf 5.1 en paragraaf 5.1.3); controleer de warmte-isolatie voordat de binnen- en/of buitenafwerking is aangebracht;
- Let op een zorgvuldige uitvoering van dampremmende lagen en naadafdichtingen; controleer deze voordat de (binnen)afwerking is aangebracht (paragraaf 5.1, paragraaf 5.1.2 en paragraaf 5.1.3);
- Voorkom aanvoer van lucht vanuit een kruipruimte naar een spouw in de gevel en naar een ankerloze spouw in een woningscheidende wand; dit in verband met gevaar voor condensatie (paragraaf 5.1.1);
- Controleer het type beglazing en de juiste plaatsing (paragraaf 5.2.1);
- Overweeg een (steekproefsgewijze) controle achteraf d.m.v. infraroodfotografie en een opblaasproef; neem dat in het technisch ontwerp (het bestek) op (paragraaf 5.1).

Gebruik / Exploitatie

- Zorg voor een duidelijke voorlichting naar bewoners, zowel mondeling als schriftelijk.

In paragraaf 3.3 staat de checklist op hoofdlijnen.

5.1 Thermische isolatie, thermische bruggen en luchtdichtheid

Belangrijke aspecten voor de omvang van de warmteverliezen in de woningschil zijn:

- De thermische isolatie van de scheidingsconstructie;
- Het aantal thermische bruggen (ook wel 'koudebruggen');
- De mate van luchtdichtheid van kieren en naden in de constructie.

De brochure '[Bouwen aan een goede schil](#)' [121] geeft mede aan de hand van diverse foto's praktische aanwijzingen voor een toekomstgerichte wijze van isoleren.

Thermische isolatie

Voor de bouwschil (exclusief ramen en deuren) geeft de warmteweerstand (R_c -waarde in $m^2 \cdot K/W$) de isolatiewaarde van de constructie aan. Hoe hoger de warmteweerstand, dus hoe groter de R_c , hoe minder transmissieverliezen er optreden. Met ingang van 2021 stelt het Bouwbesluit de volgende nieuwbouw eisen aan grondgebonden woningen en woongebouwen:

- Voor gesloten geveldelen R_c minimaal $4,7 m^2 \cdot K/W$;
- Voor daken R_c minimaal $6,3 m^2 \cdot K/W$;
- Voor begane grondvloeren R_c minimaal $3,7 m^2 \cdot K/W$.

Bij zeer energiezuinige woningen wordt in de praktijk vaak zwaarder geïsoleerd. Dan liggen de R_c -waarden voor gesloten geveldelen en daken tussen de $6,0$ en $7,0 m^2 \cdot K/W$ en voor begane grondvloeren rond de $5,0 m^2 \cdot K/W$ [124].

Bij dergelijke waarden worden traditionele constructies erg dik. Vooral bij gevels heeft dat aanzienlijke consequenties voor o.a. het ruimtebeslag. Door de isolatie op te nemen in lichte, bijvoorbeeld houten, gevelelementen is veel ruimte te winnen. Door daarbij I-vormige stijlen te gebruiken wordt bovendien de thermische brug via het hout beperkt.

Bij constructies met een zeer goede thermische isolatie kan het energieverlies door thermische bruggen in de constructies wel 20 tot 30% van het totale transmissieverlies bedragen [97]. Het is dus belangrijk om thermische bruggen te voorkomen door een zorgvuldige detaillering en uitvoering. In de praktijk blijkt de kwaliteit daarvan nog vaak te laag te zijn. Zowel in het onderwijs, op het ontwerp bureau als op de bouwplaats vraagt dit meer aandacht. De publicatie [SBR-Referentiedetails voor op de bouwplaats](#) [120] kan daarbij handig zijn. In de volgende paragrafen worden concrete aanwijzingen gegeven om de isolatiekwaliteit te verbeteren.

Zie voor de begrippen rond warmte-isolatie zoals warmteweerstand (R_c -waarde) en warmte-doorgangscoefficiënt (U -waarde) bijlage 1. In bijlage 3 staan voor de meeste materialen de gemiddelde waarden voor de warmtegeleidingscoëfficiënt (λ -waarde). Met de [Rekentool Warmteweerstand](#) van SBRCURnet is de R_c -waarde van een groot aantal standaard constructies (vrij nauwkeurig zelf te berekenen. Gebruik bij het (exact) bepalen van de U - en R_c -waarden altijd gecertificeerde waarden van de fabrikant.

Enkele bijzondere isolatiematerialen

Naast de gebruikelijke isolatiematerialen (zie ook bijlage 3), zijn ook enkele minder bekende materialen verkrijgbaar:

- Aerogel: Aerogel is een materiaal op minerale basis met zeer fijne poriën, waardoor het zeer goed isoleert. Het wordt in diverse soorten isolatiematerialen toegepast zoals een plaat bestaand uit:
 - Een mengsel van steenwol en aerogel. De warmtegeleidingscoëfficiënt (λ -waarde) is $0,019 W/(m \cdot K)$, de plaat isoleert dus iets beter dan de best isolerende kunststofschuimen

die nu gangbaar zijn. Het materiaal wordt o.a. toegepast bij het aan de binnenzijde isoleren van gevels;

- Een mengsel van kunststofvezels en aerogel. De λ -waarde is 0,0135 W/(m·K), de plaat isoleert nog beter dan de hierboven genoemde plaat;
- Volledig aerogel. Deze plaat wordt gasdicht ingeseald (in metaal- of kunststoffolie, soms glas) en vacuüm getrokken. De binnenzijde wordt voorzien van een warmte-reflecterende afwerking. Daardoor resteert alleen de warmtegeleiding via de aerogel en langs de randen van het paneel. Bij juiste en zorgvuldige uitvoering van die randen is de totale isolatiewaarde (incl. randeffecten) een factor 5 beter dan de gebruikelijke isolatiematerialen. De panelen moeten exact op maat geprefabriceerd worden, want achteraf op maat maken is onmogelijk. Levensduur en het risico van beschadiging vormen aandachtspunten. Voor paneelvullingen en vliesgevels zijn deze panelen het overwegen waard. Een groot nadeel: het materiaal is erg duur.
- Dekens opgebouwd uit diverse warmte reflecterende folies met daartussen bijv. schuim of (kunst)vezellagen van maximaal 10 mm dik per laag (zie NEN 1068 tabel C.12 [107]); aan beide buitenzijden zit ook een reflecterende laag. Hiermee wordt de stralingscomponent van het warmtetransport uitgeschakeld en bij een goede verdeling ook de convectie. Wat blijft, is de geleiding door de ingesloten lucht. Volgens de norm mag gerekend worden met de equivalente λ -waarde van 0,03 W/(m·K) voor de hele opbouw exclusief de randen en bevestigingen. Nadeel: het bevestigen is bij veel toepassingen veel werk. Zie ook Infoblad 'Thermisch isolerende eigenschappen van reflecterende isolatiefolie' [24].
- Nanoporeuze materialen De isolerende werking van nanoporeuze materialen is gebaseerd op het verminderen van de gasgeleiding door een aanzienlijke verkleining van de poriën. De afmeting van de poriën wordt een factor 10 tot 100 kleiner dan de vrije weglengte van de aanwezige gasmoleculen. De kans op botsingen tussen de gasmoleculen wordt zo aanzienlijk verkleind, waardoor de gasgeleiding afneemt. De λ -waarde (bij kamertemperatuur en atmosferische druk) is 0,014 W/(m·K). Het materiaal is verkrijgbaar in de vorm van deken. Let op dat thermische bruggen bij bevestiging en randen een extra groot effect hebben. Een groot nadeel: het materiaal is erg duur.

(lineaire) Thermische bruggen

Een thermische brug is een relatief klein deel van een constructie in de buitenschil, waarbij dit deel relatief slecht geïsoleerd is ten opzichte van de aangrenzende vlakken. NTA 8800 [30] maakt onderscheid tussen puntvormige en lineaire thermische bruggen. Puntvormige thermische bruggen komen in allerlei constructies voor, een voorbeeld van zo'n thermische brug is een spouwanker in een spouwmuur. Het warmteverlies via deze regelmatig voorkomende thermische brug wordt via de R_c -waarde van de betreffende constructie verdisconteerd. Een incidentele puntvormige thermische brug mag worden verwaarloosd bij de berekening van het warmteverlies (NTA 8800 paragraaf 8.2.1).

Lineaire thermische bruggen komen veel voor bij lijnvormige overgangen tussen verschillende bouwdelen (gevel-vloer, gevel-dak, kozijn-gevel e.d.) (Bijlage 1). Ook in constructies kunnen lineaire thermische bruggen voorkomen. Voorbeelden hiervan zijn stalen constructiedelen in gevels, houten stijlen en regels in gevelelementen en sporen in dakelementen.

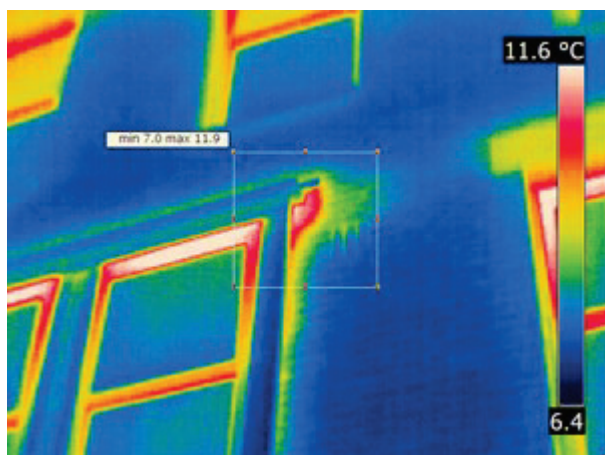
Lineaire thermische bruggen kunnen op twee wijzen in de energieprestatie-berekening worden ingevoerd:

- Forfaitaire methode (zie NEN 1068 [107]);
- Uitgebreide methode: per thermische brug; ingevoerd moeten worden de lengte van de thermische brug en de z.g. lineaire warmtedoorgangscoefficiënt (ψ -waarde); de waarden hiervoor zijn te vinden via o.a. de energieprestatie-rekenprogramma's met verwijzing naar de SBR-Referentiedetails Woningbouw, zie ook [96]. In [63] staan voorbeelden van details voor zeer goed geïsoleerde woningen zoals passiefhuizen.

Controle

Het is aan te bevelen de thermische kwaliteit van de gebouwschil te controleren door middel van thermo(foto)grafie (A5.1) met behulp van een infraroodcamera. Het opnemen van zo'n kwalitatieve controle als onderdeel van het bestek zal een preventieve werking hebben. Bij een groter project kan de

controle steekproefsgewijze plaatvinden. Controleer dan zodra één woning voldoende gereed is. Eventuele gebreken kunnen dan in de andere woningen mogelijk nog betrekkelijk eenvoudig verbeterd worden.



Afb. 5.1 Voorbeeld van een onderzoek door middel van thermografie. Duidelijk zichtbaar zijn de warmtelekken (als rode vlekken). (Bron: Nieman Raadgevende Ingenieurs)

Luchtdichtheid: Kieren en naden

De luchtdichtheid (ook wel luchtdoorlatendheid genoemd) van een woning wordt bepaald door de naden en kieren in de woningschil. Als die niet goed luchtdicht zijn uitgevoerd, vindt extra infiltratie plaats met ongewenste energieverliezen tot gevolg. Kieren worden gevormd bij de aansluiting tussen een bewegend en een vast deel (zie bij paragraaf 5.1.5). Naden worden gevormd bij de aansluiting tussen vaste delen.

Afbeelding 5.3 toont een aantal veel in de praktijk voorkomende luchtlekken (Bijlage 1). Een goede naaddichting kan worden bereikt door een goed ontwerp en een zorgvuldige uitvoering:

- Beperk de lengte van de aansluitingen door een eenvoudig ontwerp (niet te veel aanbouwen, dakkapellen, hoeken, verspringingen ed.);
- Houd rekening met de noodzakelijke maattoleranties en optredende vormverandering na verloop van tijd;
- Plaats het dichtingsmateriaal (folies, tape, te comprimeren stroken enz.) zorgvuldig, zo veel mogelijk aan de 'warme zijde' van de constructie;
- Voorkom doorbrekingen in folies door bijvoorbeeld:
 - Geen leidingen in lichte gevel- of dakelementen op te nemen; maak bijv. geen stopcontacten of lichtschakelaars in dergelijke elementen;
 - Aan de binnenzijde (nog binnen de dampremmende laag) een kleine spouw op te nemen waarin leidingen kunnen worden opgenomen;
 - Opdekdozen en opbouwleidingen te gebruiken, mits de damprem intact blijft. Is een doorbreking niet te voorkomen, plak deze dan zorgvuldig af.

Bij gebalanceerde ventilatie (zie paragraaf 6.6) moet de woning in ieder geval een goede luchtdichtheid (klasse 2 uit NEN 2687 [101]) bezitten. De publicatie [Luchtdicht bouwen](#) [99] geeft tal van praktische ontwerp- en uitvoeringsaanbevelingen, zowel voor kier- als voor naaddichting. Hierin worden per bouwdeel tips gegeven voor de luchtdichtheidsklasse 1, 2 en 3 (is toegevoegd t.o.v. norm). Voor de gebruikelijke dichtingsmaterialen zoals ter plaatse gespoten PUR-schuim en gesloten of open cellenband worden de toepassingsmogelijkheden beschreven. In een passiefhuis, en veel andere energiezuinige woningconcepten, wordt meestal uitgegaan van gebalanceerde ventilatie. Deze woningconcepten vragen (mede daarom) om een zeer goede luchtdichtheid: in [63] wordt daar uitgebreid op ingegaan.

Bijlage 1.3 geeft een toelichting op de begrippen rond luchtdichtheid zoals $q_{v10spec}$, en de luchtdichtheidsklasse 1, 2 en 3. Bij klasse 1 is te zien dat er ook eisen gesteld worden aan het minimum van de q_{v10} -waarde, met andere woorden: zo'n woning moet niet al te luchtdicht zijn! Dit is vooral bedoeld

om een zekere (minimale) luchtverversing mogelijk te maken, ook als bewoners alle toevoer-openingen hebben afgesloten.

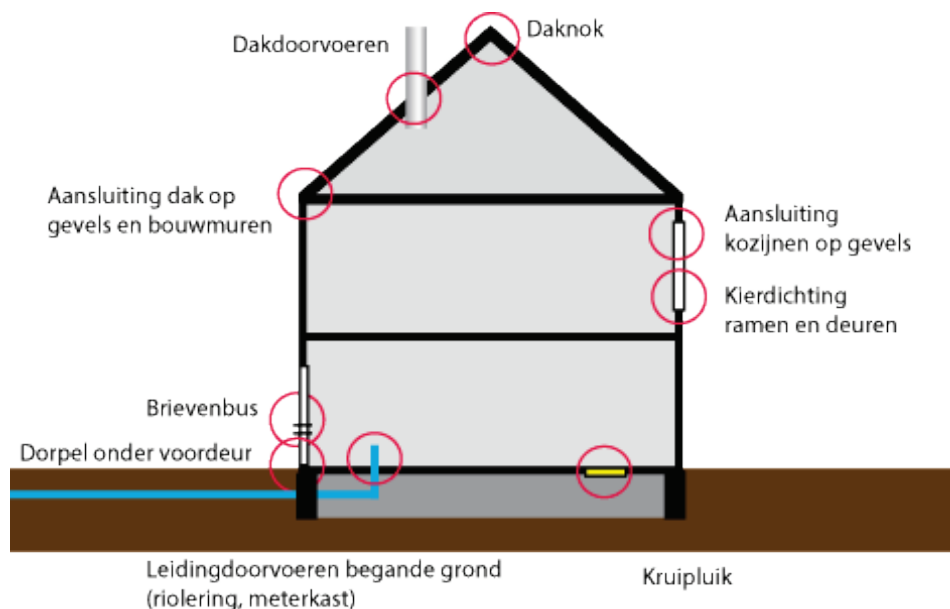
Controle

Controleer de luchtdichtheid in ieder geval per woning visueel voordat de (binnen)afwerking is aangebracht. Daarnaast is het aan te bevelen de luchtdichtheid van de gebouwschil te controleren door middel van een 'opblaasproef' (of 'blowerdoortest'), zie NEN 2686 [100] en afbeelding 5.2. Het opnemen van zo'n kwalitatieve controle als onderdeel van het Technisch Ontwerp (het bestek) zal een preventieve werking hebben. Bij een groter project kan de controle steekproefsgewijze plaatvinden. Controleer daar zodra één woning voldoende gereed is. Eventuele gebreken kunnen dan, zeker in de andere woningen, mogelijk nog eenvoudig verbeterd worden.

Het is ook mogelijk om de luchtdichtheid te controleren met behulp van ultrasoon geluid. Hiermee kunnen al in een vroeg stadium van de bouw (de woning hoeft nog niet gereed te zijn) constructies worden gecontroleerd. Controle van prefab-constructies in de fabriek is ook mogelijk. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het opsporen van luchtlekken rondom kozijnen in een prefab gevel-element. Belangrijk voordeel van deze methode is dat nog relatief eenvoudige verbeteringen zijn aan te brengen.



Afb. 5.2 Luchtdichtheidsmeting met behulp van een tijdelijk aangebrachte 'blowerdoor'. Met behulp van rookdetectie kunnen luchtlekken zichtbaar worden gemaakt. (Bron: Nieman Raadgevende Ingenieurs)



Afb. 5.3 Let op de luchtdichtheid bij de detaillering en uitvoering van de woningschil. Aangegeven zijn veel voorkomende luchtlekken

Eisen Bouwbesluit

Naast de eisen voor energiebehoefte, primair fossiel energieverbruik en hernieuwbare energie zijn in het Bouwbesluit [26] de volgende bouwkundige eisen ten aanzien van energiezuinig bouwen opgenomen (zie Bouwbesluit Afdeling 5.1):

Thermische isolatie

- Warmteweerstand van 'dichte' constructies (geen drijvende bouwwerken of woonwagens) (vanaf 2020):
 - Beganegrondvloer: $R_c \geq 3,7 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$;
 - Gevels: $R_c \geq 4,7 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$;
 - Dak: $R_c \geq 6,3 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$.
- Warmtedoorgangscoefficiënt van ramen en deuren (beiden inclusief kozijnen): gemiddelde $U \leq 1,65 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$; voor een raam of deur (inclusief kozijn) afzonderlijk geldt een U-waarde $\leq 2,2 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. De eis van gemiddeld 1,65 betekent dat de keuze voor kozijnen, deuren en glassoort veel aandacht vraagt (zie paragraaf 5.1.5 en paragraaf 5.2). Niet alle gebruikelijke materialen, profielen en glassoorten zijn mogelijk.
- Warmtedoorgangscoefficiënt voor met ramen en deuren gelijk te stellen constructies: $U \leq 1,65 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.

Luchtvolumestroom (zie ook bijlage 1.3):

- De luchtvolumestroom: q_{v10} -waarde $\leq 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ (oftewel $\leq 200 \text{ dm}^3/\text{s}$), bepaald volgens NEN 2686. Met een $q_{v10, \text{spec}}$ -waarde $< 1,0 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$ vloer voldoet een gemiddelde woning ($< 200 \text{ m}^2$ vloeroppervlak).

Een klein deel van de constructies behoeft niet te voldoen aan de eisen voor thermische isolatie. Dit is gedaan om bijvoorbeeld een brievenbus, leidingtoevoer of ventilatiooroster mogelijk te maken. Dat deel mag volgens het Bouwbesluit maximaal de omvang hebben van 2% van de gebruiksoppervlakte van de woning of het woongebouw.

Voor woonwagens en drijvende bouwwerken met een woonfunctie gelden andere (minder strenge) eisen voor thermische isolatie van de 'dichte' constructies.

Let op!

Zorg voor een duidelijke voorlichting naar bewoners toe, zowel mondeling als schriftelijk. Daarbij kan bijv. gewezen worden op het volgende:

- De noodzaak dampremmende lagen niet te beschadigen;
- Bij verbouwingen er voor te zorgen dat de bestaande damprem goed aansluit op de nieuw aan te brengen damprem;
- De aanbeveling om tenminste dezelfde isolatiewaarden (isolatiedikten) te hanteren voor de nieuw aan te brengen of te vervangen constructies; geef vooral duidelijk aan welk type glas gebruikt is.

Verbouw

Bij het gedeeltelijk vernieuwen of veranderen, of vergroten van een woning hoeft niet aan bepaalde eisen voor energieprestatie te worden voldaan. Wel geldt voor de thermische isolatie en de luchtdichtheid het 'rechtens verkregen' niveau (zie paragraaf 1.1 Bouwbesluit 2012). Dat is kort gezegd het niveau dat er voor de verbouwing was, mits dat niveau aan de destijds geldende eisen voldeed en aan de huidige eisen voor de bestaande bouw voldoet. Voor de thermische isolatie van de dichte schilconstructies geldt echter wel een R_c -waarde van minimaal $1,4 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$.

Wanneer bij verbouw isolatielagen of beglazing vervangen of vernieuwd wordt, gelden de volgende eisen voor vloer, gevel, dak en ramen/deuren:

- R_c -waarde vloer minimaal $2,6 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$;
- R_c -waarde gevel minimaal $1,4 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$;
- R_c -waarde dak minimaal $2,1 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$;
- U-waarde maximaal $2,2 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ voor ramen, deuren en vergelijkbare constructies. Dit betekent dat er minstens dubbel HR-glas moet worden geplaatst. Omdat bestaande kozijnen met enkel glas niet geschikt zijn voor dubbel glas, wordt er in het Bouwbesluit vanuit gegaan dat de ramen en deuren gelijk met de kozijnen worden vernieuwd of vervangen;
- Wanneer het rechtens verkregen niveau een betere energieprestatie heeft geldt het rechtens verkregen niveau.

Let op!

Sinds 1 maart 2013 gelden voor nieuwe dakkapeldakcapellen en zogenoemde bijbehorende bouwwerken (zoals bijgebouwen, aanbouwen, uitbouwen) wél de nieuwbouweisen voor de thermische isolatie van dichte schilconstructies en voor de warmtedoorgangscoefficiënt van ramen en deuren inclusief kozijnen.

Bij een 'ingrijpende' renovatie van meer dan 25% van de oppervlakte van de gebouwschil zijn volgens het Bouwbesluit vanaf 1 juli 2013 ook de nieuwbouweisen voor thermische isolatie van toepassing. Het gaat daarbij om een ingreep in de 'integrale' bouwschil. Hiervan is sprake wanneer bijvoorbeeld een gevel of dak volledig wordt opengelegd of vernieuwd waardoor relatief eenvoudig isolatie volgens nieuwbouweis is aan te brengen. Voorbeelden van 'niet-integrale' renovatie: het na-isoleren van een spouwmuur of het aanbrengen van isolatie tegen een dakbeschot. Bij een 'ingrijpende' renovatie is meestal een bouwvergunning vereist.




5.1.1 Fundering, kruipruimte en beganegrondvloer

Thermische isolatie

Het Bouwbesluit eist een R_c -waarde van minimaal $3,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$. Bij zeer goed geïsoleerde woningen zoals passiehuizen, ligt de minimale waarde rond de $6,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$. De isolatiewaarde van de beganegrondvloer kan relatief eenvoudig een hoge waarde krijgen. In de praktijk zijn zeer goed geïsoleerde prefab elementen (voor het niveau van een passiehuis) nog niet altijd verkrijgbaar. Een goede oplossing is om dan een zwevende dekvloer toe te passen.

Het warmteverlies door vloeren is relatief beperkt in vergelijking met het verlies door gevels en daken omdat de warmtestroom door de vloer naar de grond of kruipruimte gericht is. In het stookseizoen is de gemiddelde temperatuur van de grond of de kruipruimte beduidend hoger dan van de buitenlucht en het temperatuurverschil tussen binnen en 'buiten' kleiner. De vloer behoeft daarom meestal minder geïsoleerd te worden dan gevels en dak.

Afb. 5.4 Enkele voorbeelden van constructies voor begane grondvloeren, de dikte van de isolatie is indicatief. R_c in $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$. Raadpleeg de fabrikant voor de exacte isolatiewaarde

| Vloer | Materiaal | R _c | Dikte* [mm] |
|---|--------------|----------------|-------------|
| Ribcasettevloer | EPS/steenwol | 4,0 | 350 totaal |
|  | | 5,0 | 350 totaal |
| | | 6,5 | 400 totaal |
| Kanaalplaatvloer (met oplegnokken) | EPS | 4,0 | 340 totaal |
|  | | 5,0 | 380 totaal |
| | | 6,5 | 395 totaal |
| PS combinatievloer (PS-broodjesvloer) | EPS | 4,0 | 335 totaal |
|  | | 5,0 | 365 totaal |
| | | 6,0 | 375 totaal |

* Dikten inclusief constructievloer, exclusief dekvloer

Thermische bruggen

Het Bouwbesluit stelt eisen aan de detaillering in verband met thermische bruggen (in het spraakgebruik 'koudebrug'): de f-factor (zie bijlage 1) moet voor een woonfunctie $\geq 0,65$ zijn. Er zal dan geen structurele oppervlakte condensatie optreden. Ondanks deze eis kunnen er bij de oplegging van de begane grondvloer nog relatief grote warmteverliezen optreden.

Deze komen vooral voor bij de aansluiting van de fundering op de begane grondvloer ter plaatse van de woningscheidende wanden en de kopgevels. De warmteverliezen zijn te verminderen door:

- Het volledig rondom isoleren van de (ter plaatse gestorte) funderingsbalken met:
 - U-vormige bakken van geëxpandeerd PS-hardschuim; deze doen bovendien dienst als verloren bekisting (afbeelding 5.7). Alleen te gebruiken bij een fundering op palen. De U-vormige bakken kunnen uit één stuk bestaan, maar ook uit losse bodem- en

- zijelementen. Eerst wordt het bodemelement aangebracht waarop de wapening wordt bevestigd. Daarna kan men de zijelementen aanbrengen;
 - Hardschuimplaten; deze worden achteraf aangebracht. Eveneens alleen te gebruiken bij een paalfundering;
- Het gebruik van stroken drukvast isolatiemateriaal als oplegging van vloer en/of wand. Hiervoor zijn diverse producten verkrijgbaar, zoals elementen van cellulair glas, blokken van cellenbeton of stroken bestaande uit een combinatie van geëxtrudeerd PS-schuim met polymerebeton. Let op de (langeduur-)sterkte.

Een vloer die is voorzien van oplegnokken met daartussen isolatiemateriaal (afbeelding 5.8) is een redelijk alternatief. Bij passiehuizen is een combinatie van oplegnokken en geïsoleerde funderingsbalken te overwegen.

Bij een fundering 'op staal' (dus zonder funderingspalen) zijn er diverse mogelijkheden om bij de fundering en beganegrondvloer thermische bruggen te vermijden zoals:

- Pas stroken (zeer) drukvast isolatiemateriaal toe als oplegging van vloer en/of wanden op de (ongeïsoleerde) fundering; de vloer met drukvaste isolatie aan de onderzijde kan ook op de vaste ondergrond worden gelegd en dus 'los' blijven van de fundering;
- Leg op een betonnen plaatfundering drukvaste isolatie met daarop een dekvloer, zet de wanden op zeer drukvaste stroken isolatie;
- Pas een plaatfundering toe van schuimbeton.

Afhankelijk van de benodigde druksterkte en vorm kan men als isolatiemateriaal kiezen uit o.a. geëxpandeerd PS-schuim (EPS), geëxtrudeerd PS-schuim (XPS), cellulair glas of stroken bestaande uit een combinatie van XPS met polymerebeton.

Aandachtspunten:

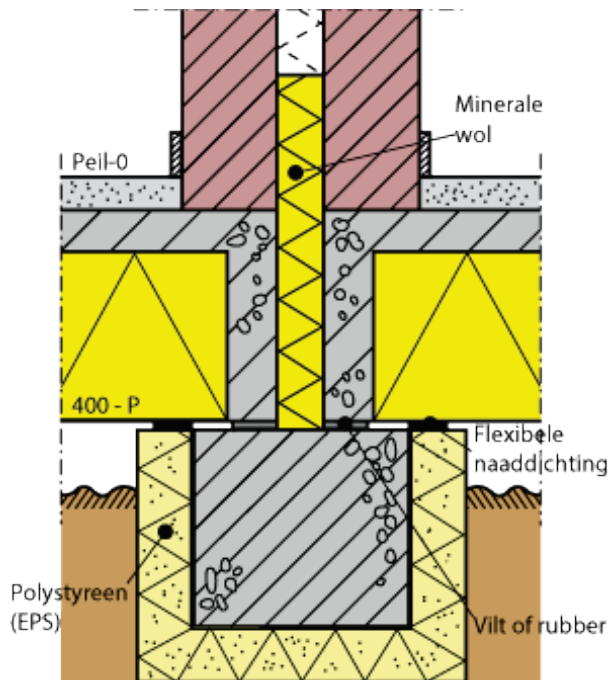
- Let bij PS-elementen op een zorgvuldige behandeling en opslag; ze zijn namelijk licht en kwetsbaar. Voorkom wegwaaien (zwerfvuil!), opdrijven door regenwater, en schade tijdens het storten van het beton;
- Zorg voor een goede aansluiting van de PS-elementen op elkaar. Fabrikanten leveren hiervoor hulpmiddelen zoals koppelprofielen. Ook zijn er systemen waarbij de elementen (bovendien) in elkaar worden geschoven;
- Gebruik bij het bevestigen van leidingen speciale hulpmiddelen zoals band van kunststof, om beschadiging van de isolatie te voorkomen (afbeelding 5.5);
- Er zijn ook PS-elementen (als verloren bekisting) verkrijgbaar voor funderingsbalken op staal. Deze PS-elementen isoleren echter alleen de zijkant van de fundering volledig. De bovenzijde van de funderingsbalk wordt deels geïsoleerd, de onderzijde geheel niet;
- Bij een (prefab) betonnen 'koele' kelder: Breng isolatie aan tussen de kelder en de begane grond en ventileer de kelder met buitenlucht;
- In de praktijk sluit de isolatie van een kruipruimte vaak niet goed aan op de vloerisolatie; het gevolg is een warmtelek. Een (prefab) isolatiedeksel is een goede oplossing hiervoor, zie afbeelding 5.9.



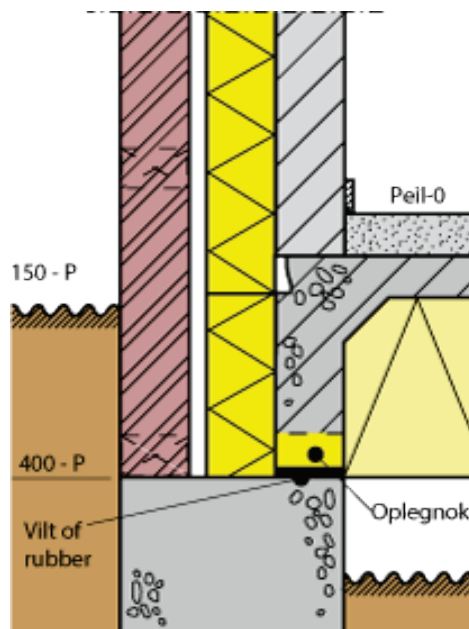
Afb. 5.5 Ophanging van leidingen.

Afb. 5.6 Indicatie van het extra energieverlies per m' fundering in m³ aardgas per jaar via een warmtelek bij de fundering

| | [m ³ aardgas/m'] |
|-----------------------|-----------------------------|
| Langsgevel | 3 |
| Woningscheidende wand | 5 |
| Kopgevel | 5 |



Afb. 5.7 Principe-detail: geïsoleerde funderingsbalk bij een ankerloze spouwmuur als woningscheidende wand



Afb. 5.8 Door de toepassing van oplegnokken bij de oplegging van de begane grondvloer wordt het energieverlies verminderd. Zorg voor een goede luchtdichting tussen kruipruimte en luchtspouw, dit om te voorkomen dat relatief vochtige lucht in de spouw terecht komt met gevaar van condensatie. Dit aandachtspunt geldt niet alleen voor een kopgevel, zoals hier op tekening, maar ook voor een luchtspouw bij een ankerloze spouw in een woningscheidende wand of bij een spouw in een langsgevel



Afb. 5.9 Zorg er voor dat de isolatie onder een kruipluik goed aansluit op de isolatie van de vloer. Hiervoor bestaat een goede oplossing: een losse prefab isolatiedeksel die in een speciale ophangbeugel geplaatst wordt. Kruipluik en isolatiedeksel zijn niet aan elkaar verbonden. Het hier getoonde vloerelement is voorzien van een door de fabrikant geboord kruipgat. Gebruik een goed luchtdicht kruipluik met een soepele dubbele tocht dichting. Pas geen duimgat toe, maar een luikoog verzonken aan de bovenzijde van het luik. (Bron: VBI)

Luchtdichtheid

De begane grondvloer moet een hoge luchtdichtheid hebben ter beperking van de aanvoer van vocht en radon (zie paragraaf 6.1) vanuit de kruipruimte. Volgens het Bouwbesluit (artikel 3.21) mag de luchtdoorlatendheid maximaal $20.10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}^2$ vloeroppervlakte bedragen (gemeten volgens NEN 2690 [102]). De vloer moet in feite 'potdicht' zijn. Voor de referentie rijtjeswoning betekent de eis bijvoorbeeld dat de vloer slechts een lekoppervlakte mag hebben van maximaal zo'n 7 cm^2 .

In de praktijk betekent dit een goed doordacht ontwerp en een zeer zorgvuldige uitvoering. De publicatie Luchtdicht bouwen [99] geeft tal van aanbevelingen. Bijlage 1 geeft de eisen ten aanzien van de luchtdichtheid van woningen.

Voorkom, in verband met het gevaar voor condensatie, de mogelijke aanvoer van lucht vanuit de kruipruimte naar:

- De spouw van een (kop- of langs-)gevelconstructie;
- De ankerloze spouw van een woningscheidende wand. Vooral in dit geval kan condensatie tegen het dak optreden hetgeen in de praktijk tot aanzienlijke (water)schade kan leiden.

Aandachtspunten:

- Vul bij kanaalplaatvloeren de uiteinden van de kanalen met voor dit doel verkrijgbare prefab vulblokken van zacht kunststofschuim; deze zorgen voor isolatie en luchtdichting;
- Vermijd passtroken en vulstukken tussen vloerelementen in de beganegrondvloer; indien toch toegepast, breng dan naaddichting (ook aan de kop bij de gevel) zeer zorgvuldig aan;
- Zorg voor een goede naaddichting rondom de ventilatieroosters bestemd voor de ventilatie van de kruipruimte;
- Zorg voor een goede onderkauwing (= opvulling horizontale voeg aan onderzijde) van de beide wanden van een woningscheidende ankerloze spouwmuur. Vul, bij gebruik van grote elementen, de spouw tussen de beide vloeren met een flexibele plaat (bijv. een elastische kunststofschuimplaat of minerale wol) die enigszins uitsteekt. Hierdoor voorkomt men dat er mogelijk een akoestische koppeling ontstaat bij het onderkauwen;
- Beperk het aantal vloersparingen voor de doorvoer van leidingen; pas daarom bij voorkeur een bovengrondse invoer van zo veel mogelijk leidingen toe. Sparingen op het werk gezaagd of geboord verdienen qua luchtdichting de voorkeur boven prefab sparingen (d.m.v. bijvoorbeeld ingestorte blokken polystyreen). Deze laatste zitten regelmatig niet op de juiste plek. Gezaagde of geboorde sparingen kunnen met weinig tolerantie aangebracht worden en kunnen daardoor eenvoudiger afgedicht worden;

- Breng afdichtingen aan vóór het aanbrengen van de dekvloer. Ze moeten waterdicht zijn, hetgeen ook noodzakelijk is wanneer een anhydriet dekvloer wordt aangebracht;
- Dicht de vloersparingen zorgvuldig af. Minerale wol is hiervoor niet geschikt. Gebruik bij voorkeur mantelbuizen in combinatie met rubberen afdichtingsringen. Deze ringen dichten zowel de opening af tussen de mantelbuis en de vloer als tussen de mantelbuis en de leiding;
- Gebruik een relatief zwaar kruipluik, bijv. van vezelcementplaat, of een luik dat met behulp van sluitingen wordt aangedrukt (afbeelding 5.9);
- Zorg voor een goede drainage rondom de woning tegen vocht;
- Overweeg het toepassen van een zandlaag, een dampremmende folie (bijv. PE) of schuimbeton op de bodem van de kruipruimte tegen vocht en radon; de verdamping uit de bodem neemt hierdoor (sterk) af. Een folie moet bij voorkeur kort voor de oplevering aangebracht worden, dit in verband met de kwetsbaarheid van de folie.

Wel of geen kruipruimte

In veel gevallen is het achterwege laten van een kruipruimte mogelijk en voordelig [103]. Dit geldt zowel voor een fundering op staal als voor een paalfundering. Bouwen zonder kruipruimte kan met zowel een zelfdragende vloer als een systeemvloer. Bij deze laatste zal in de praktijk altijd een luchtlaag tussen de vloer en de bodem aanwezig blijven. Volgens het Bouwbesluit behoeft een kruipruimte niet geventileerd te worden omdat, bij nieuwbouw, de begane grondvloer een zeer goede luchtdichting moet hebben. Toch is het aan te bevelen een toegankelijke kruipruimte licht te ventileren. Dit om minimaal een redelijke luchtkwaliteit in de kruipruimte te garanderen.

Bij een houten beganegrondvloer, zoals in bestaande woningen, is het vrijwel altijd noodzakelijk om de kruipruimte wel te ventileren om problemen met o.a. vocht te voorkomen.

Voordelen van het achterwege laten van een kruipruimte:

- Minder kans op vochtproblemen: Een eventueel hoge grondwaterstand levert geen natte kruipruimte op;
- Meer kans op een goede luchtdichtheid, zeker bij het in het werk storten van de vloer. Voordelen: minder radon en vochtige lucht in de woning. Een zelfdragende vloer, in plaats van een systeemvloer, is bij een goede ondergrond mogelijk. Zo'n vloer is relatief goedkoop en luchtdicht. Nadeel: minder goed inpasbaar in de gebruikelijke planning;
- Bouwtechnisch meestal goedkoper, zowel bij een fundering op staal als bij een paalfundering;
- Minder grondverzet nodig bij het bouwrijp maken: of er is minder ophoogzand nodig (om voldoende drooglegging te verkrijgen), of er behoeft minder grond uitgegraven te worden.

Nadelen van het achterwege laten van een kruipruimte:

- Onder de vloer aanwezige leidingen zijn niet meer toegankelijk voor onderhoud en reparatie. Mede i.v.m. zetting van de ondergrond kiest men daarom voor:
 - Het instorten van de riolering;
 - Het plaatsen van de meterkast zo dicht mogelijk bij de gevel zodat de overige leidingen via een zo kort mogelijke mantelbuis ingevoerd worden.
- Wijzigingen in de plattegrond zijn later moeilijker te realiseren indien riolering en dergelijke aangepast moet worden.

Let op!

Tijdens de ruwbouwfase is een zorgvuldige uitvoering en controle nodig van de leidingen die onder de beganegrondvloer (komen te) liggen. Bescherm tijdens de ruwbouwfase de boven deze vloer uitstekende stukken leiding goed.



Afb. 5.10 Op tal van nieuwbouwlocaties wordt zonder kruipruimte gebouwd. Op de foto een voorbeeld van bouwen zonder kruipruimte op de Vinex-locatie Nieuwland in Amersfoort

5.1.2 Dak

Thermische isolatie en naaddichting

Daken zijn relatief eenvoudig goed te isoleren. Het Bouwbesluit eist een R_c -waarde van minimaal $6,3 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$. Bij daken van zeer goed geïsoleerde woningen zoals passiehuizen ligt de R_c -waarde rond de 8 à $10 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$. Dit betekent een isolatiedikte van ca. $0,3$ à $0,4 \text{ m}$ afhankelijk van het isolatiemateriaal en de constructie. Bij hellende daken kan daarvoor bijvoorbeeld een houten dakdoos met sporen gebruikt worden waarbij de sporen als I-ligger uitgevoerd zijn waardoor de thermische brug via de houten ligger beperkt is [63].

Vooraf bij hellende daken is veel aandacht nodig voor de luchtdichtheid van de nok-aansluiting en de aansluiting van dak(elementen) met de (zolder)vloer. Zie o.a. [96], [63] en [99] voor mogelijke oplossingen daarvoor. Zie voor het isoleren van rieten daken www.riet.com en het rapport 'De onderconstructie van rieten schroefdaken' [122].

Afb. 5.11 Enkele voorbeelden van constructies voor daken. De isolatiedikten zijn indicatief en in de constructies naar boven afgerond op 5 mm . R_c in $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$. Voor de berekening van afschotisolatie op platte daken zie SBRCURnet Infoblad 23: Berekenen van de dikte van afschotisolatie

| | | Isolatie materiaal | Dikte isolatemateriaal [mm] | | | |
|---------------------------------------|----------------------------------|--------------------|-----------------------------|-------------|-------------|--------------|
| | | | $R_c = 6,0$ | $R_c = 7,0$ | $R_c = 8,5$ | $R_c = 10,0$ |
| Hellend dak met pannen | Enkelschalig prefab element 1 | Minerale wol | 250 | 290 | 355 | 415 |
| | | Cellulose platen | 240 | 280 | 340 | 400 |
| | | PIR | 190 | 220 | 265 | 315 |
| | | EPS | 240 | 280 | 340 | 400 |
| | Sandwich element zonder randhout | PIR | 155 | 180 | 220 | 260 |
| | | EPS 'HR' | 195 | 230 | 275 | 325 |
| Plat of lichthellend dak, met ballast | Hout | Resol | 130 | 150 | 185 | 220 |
| | | EPS | 225 | 260 | 320 | 375 |
| | | Cellulair glas | 230 | 270 | 330 | 385 |
| | Grindbeton 200 mm | Resol | 135 | 160 | 195 | 230 |
| | | EPS | 225 | 260 | 320 | 375 |
| | | Cellulair glas | 230 | 270 | 330 | 385 |
| | | XPS omgekeerd dak | 210 | 250 | 300 | 355 |
| | Cellenbeton 200 mm | Resol | 105 | 125 | 160 | 190 |
| | | EPS | 180 | 215 | 270 | 330 |
| | | Cellulair glas | 185 | 225 | 280 | 340 |

1) De benodigde isolatiedikte hangt in sterke mate af van de constructieve opbouw van het element. Elke fabrikant kent een eigen opbouw. Gebruik daarom voor definitieve berekeningen altijd de gegevens met certificaat van de desbetreffende fabrikant.

Tips:

- Door het toepassen van een dakoverstek (0,75 meter, horizontaal gemeten, voor de onderliggende twee bouwlagen) kunnen gevels tegen regen beschermd worden hetgeen o.a. minder onderhoud oplevert;
- Houd rekening met de (mogelijke) plaatsing van een zonneboiler en PV-panelen: zie paragraaf 4.1.2 voor dakhelling, oriëntatie en benodigde ruimte.

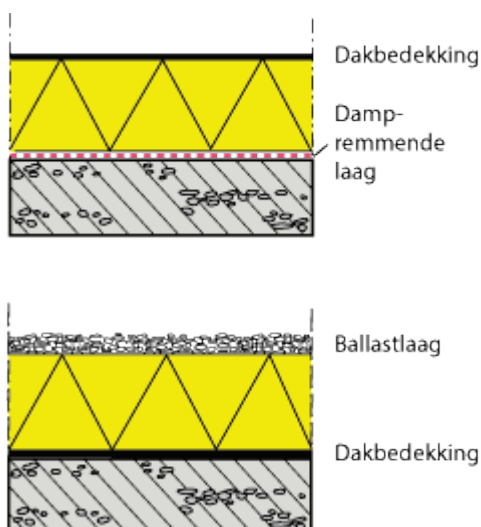
Warm en koud dak

Platte daken worden in de regel als 'warm' dak uitgevoerd: De isolatie ligt bovenop de draagconstructie. Bij een 'koud' dak ligt de isolatie onder de draagconstructie. Zo'n dak wordt vanwege het risico voor inwendige condensatie zelden toegepast.

Er zijn twee mogelijkheden voor de opbouw van 'warm' dakconstructies:

- De isolatie ligt onder de waterdichte laag;
- De isolatie ligt bovenop de waterdichte laag; deze constructie wordt vaak aangeduid als 'omgekeerd' dak; de isolatie beschermt de dakbedekking tegen o.a. grote temperatuurschommelingen.

Voor een omgekeerd dak moet een isolatiemateriaal gebruikt worden waarop o.a. vocht geen invloed heeft; geëxtrudeerd polystyreen (XPS) is voor deze toepassing zeer geschikt. Bij de berekening van de isolatiewaarde van een omgekeerd dakconstructie moet rekening worden gehouden met het extra warmteverlies door regenwater dat onder de isolatieplaten terecht komt (zie ook NTA 8800 [30]).



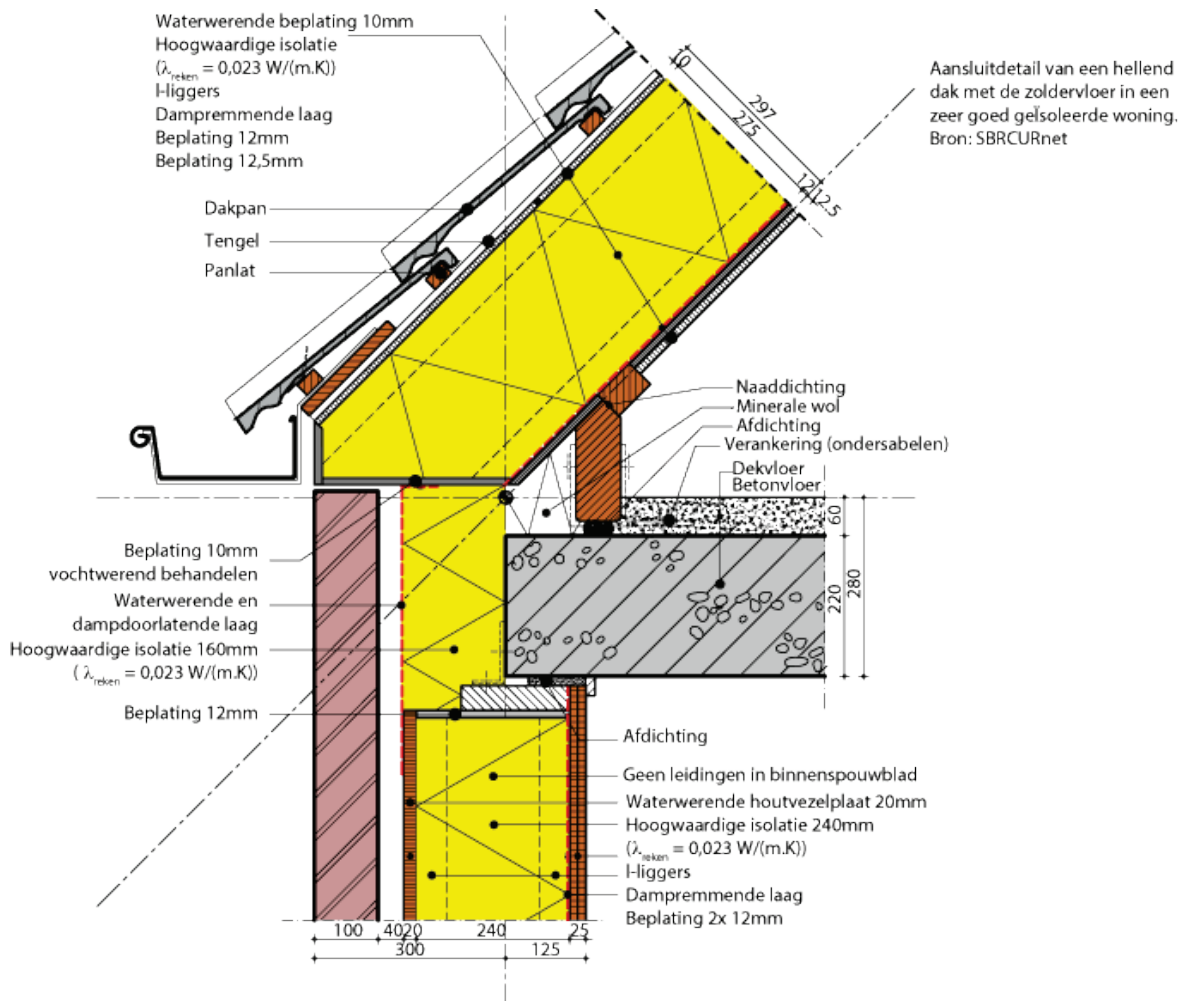
Afb. 5.12 Principe-opbouw van een warm dak en een omgekeerd (warm) dak. Bij het omgekeerde dak moet een ballastlaag worden toegepast tegen aantasting door UV-straling, wegwaaien en opdrijven van de isolatie; deze ballast kan bijvoorbeeld bestaan uit grind, een extensief vegetatiedak of tegels met tegeldragers; bij fijner grind is een (dampopen!) folie nodig tussen grind en isolatie, maar dan kan wel de laagdikte van het grind geringer zijn ten opzichte van grof grind. Zeker bij een omgekeerd dak is een goed afschot gewenst. Meer informatie via www.sbrcurnet.nl: 'Infoblad 38: Een omgekeerd dak zonder waterplaten' en bij diverse fabrikanten

Luchtdichtheid

Vooral de luchtdichtheid van hellende daken vraagt extra aandacht. De publicatie Luchtdicht bouwen [99] geeft voor de diverse aansluitingen praktische details.

- Zorg voor een goede luchtdichting bij de nok. Kies bijvoorbeeld voor scharnierkappen waarbij compressieband in de nok toegepast wordt. Als aanvulling kan een overlap van de (dampremmende) folies dienen;

- Zorg bij de aansluiting van dakelementen met de muurplaat voor dichting met bijvoorbeeld compressieband. Zorg voor een detaillering waarbij dit band tijdens de montage niet weg kan schuiven;
- Zorg voor de dichting van de naad tussen de kopse kant van de muurplaat en de bouwmuur;
- Let op de dichting bij dakdoorvoeren. Gebruik bijvoorbeeld:
 - Een afdekplaat met manchet die om de doorvoer geschoven wordt; zorg voor een goede luchtdichting tussen plaat en dak;
 - Een (zelfklevende) veerkrachtig kunststofschuimen plaat met prefab aangebrachte gaten (plus volgplaat ter afwerking), handig wanneer er meerdere doorvoeren vlak bij elkaar zitten.



Afb. 5.13 Aansluitdetail van een hellend dak met de zoldervloer in een zeer goed geïsoleerde woning. (Bron: SBR [63])

Dampremmende laag

Controleer tijdens de uitvoering de juiste toepassing van dampremmende folies:

- De locatie in de constructie: de damprem moet altijd aan de warme zijde worden aangebracht;
- Het gebruik van de juiste folie; voorkom verwarring met dampopen (vaak ook waterkerende) folie die voor de koude zijde (buitenzijde) van een constructie is bestemd; soms zijn de folies te herkennen aan de kleur van de opschriften: rood voor de warme zijde (dampremmend), blauw voor de koude zijde (dampopen) van een constructie;
- Een voldoende overlap (minimaal 100 mm) van de dampremmende folie en/of een luchtdichte bevestiging van de randen. Ook kunnen de naden met speciale tape zijn afgewerkt; controleer dan of de tape overal goed aangebracht is;
- Raadpleeg vooraf altijd de verwerkingsrichtlijnen van de fabrikant.

Ballast

Het toepassen van ballast op een plat dak heeft twee voordelen:

- Bescherming van de onderliggende dakbedekking tegen ultraviolet licht en tegen grote temperatuurschommelingen;
- Bescherming van de onderliggende vertrekken tegen een snelle opwarming in de zomer. Nadeel van ballast is de toename van het gewicht van de totale dakconstructie.

Mogelijkheden voor ballast zijn o.a.:

- Grind, tegels (overweeg hergebruikt materiaal);
- Extensieve vegetatie [111] en [112].

Extensief vegetatiedak

Een extensief vegetatiedak (zie Kennispaper: Duurzame begroeide daken [250], [111] en [112]) is één van de vormen van vegetatiedaken. Belangrijke kenmerken:

- De vegetatie (en de overige dakconstructie) vergt weinig onderhoud;
- De vegetatie blijft laag en bestaat vooral uit sedum, mos, kruiden of gras en combinaties hiervan;
- De drainage- en substraatlaag (waarin de vegetatie groeit) is relatief dun en bedraagt circa 60 mm bij mos en sedum en circa 100 mm bij gras en kruiden;
- De dakhelling kan variëren van 0° tot circa 30°, dit in tegenstelling tot een dak met grind als ballast.

Belangrijke voordelen van een (extensief) vegetatiedak zijn, naast de hiervoor genoemde algemene voordelen van ballast:

- Buffering van regenwater waardoor de piekbelasting op de riolering afneemt. Het effect zal afhankelijk zijn van de dikte en opbouw van het vegetatiedak. Zie '[Groene daken nader beschouwd](#)' [113] en via www.sbrcurnet.nl het Infoblad 390 Waterbergend vermogen groendaken;
- Extra koelend effect 's zomers;
- Verbetering van het [stadsklimaat](#) [114];
- Verfraaiing van daken, van belang wanneer omwonenden uitzicht op de desbetreffende daken hebben.

Aandachtspunten:

- Een extensief vegetatiedak geeft weinig of geen extra warmte-isolatie, zodat het dak als een 'normaal' dak geïsoleerd moet worden;
- Houd bij het ontwerp van de gevel en het dak (bijv. dakopstand, dakrand) rekening met de dikte van het vegetatiedak en een eventueel benodigd afschot;
- In diverse gemeenten en waterschappen is subsidie te krijgen voor het toepassen van extensieve vegetatiedaken in de bestaande bouw, soms ook in nieuwbouw.




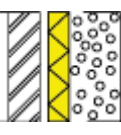
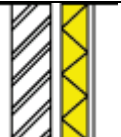
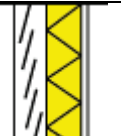
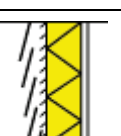

Afb. 5.14 Voorbeeld van een extensief vegetatiedak

5.1.3 'Gesloten' geveldelen

Thermische isolatie

'Gesloten' geveldelen zijn minder eenvoudig te isoleren dan daken en vloeren. De constructies zijn complexer door opbouw en openingen voor ramen en deuren. De 'gesloten' geveldelen moeten een R_c -waarde hebben van minimaal $4,7 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$. In zeer energiezuinige woningen, zoals passiehuizen, worden R_c -waarden van $8,0$ à $10,0 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ toegepast [97]. Bij dergelijke woningen is extra aandacht voor het beperken van thermische bruggen nodig. Een vroeg voorbeeld van een goed geïsoleerd project is het appartementencomplex 'Urban Villa' (afbeelding 5.16) uit 1995 [109]. Daar werden al R_c -waarden van $5,0$ à $6,0$ toegepast!

Afb. 5.15 Enkele voorbeelden van constructies voor gevel en kopgevel. De isolatiedikten zijn indicatief en in de constructies naar boven afgerond op 5 mm. R_c in $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$.

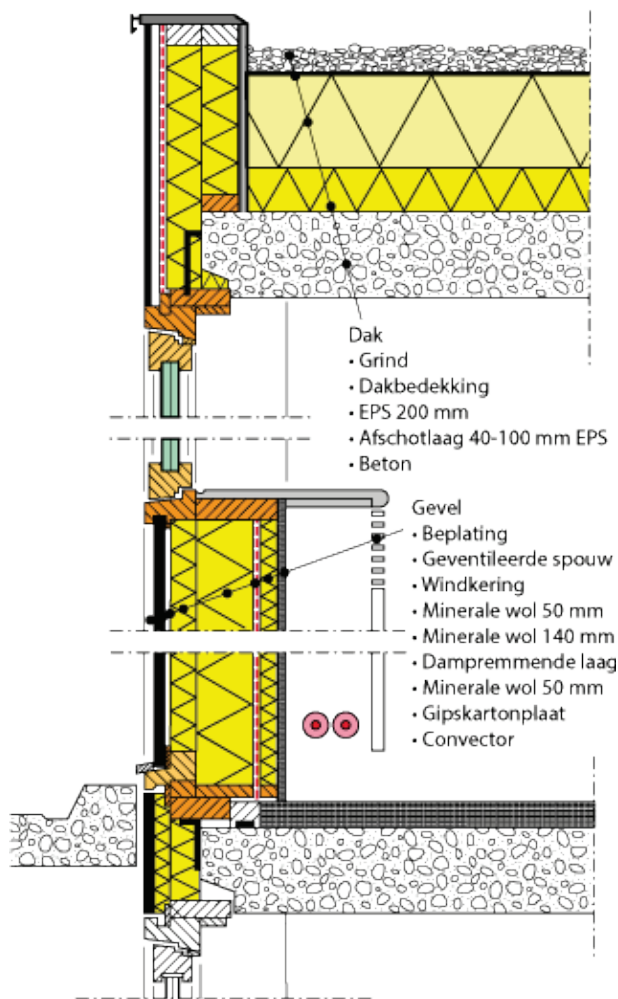
| | | | $\lambda_{\text{declared}}$ | Dikte isolatiemateriaal [mm] | | | |
|--|---|------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------|-----------|-------------|
| | | | | $R_c = 4,5$ | $R_c = 5$ | $R_c = 6$ | $R_c = 8,5$ |
| Baksteen. - kalkzandsteen. of beton | | Steenwol | 0,035 | 155 | 175 | 210 | 305 |
| (RVS spouwankers) ^{1,2)} |  | Glaswol | 0,035 | 155 | 175 | 210 | 305 |
| | | Glaswol extra met alu. | 0,030 | 125 | 140 | 175 | 255 |
| | | EPS 60 (EPS 15) | 0,036 | 160 | 180 | 220 | 315 |
| | | EPS 'extra' | 0,030 | 135 | 150 | 180 | 265 |
| | | Resol | 0,023 | 105 | 115 | 140 | 205 |
| Bakst. - 150 mm cellenbeton | | Steenwol | 0,035 | 125 | 145 | 180 | 275 |
| (RVS spouwankers) ^{1,2)} |  | Glaswol | 0,035 | 125 | 145 | 180 | 275 |
| | | Glaswol extra met alu. | 0,030 | 100 | 115 | 145 | 230 |
| | | EPS 60 (EPS 15) | 0,036 | 130 | 145 | 185 | 280 |
| | | Resol | 0,023 | 85 | 95 | 120 | 185 |
| Bakst. houten element | | Steenwol | 0,037 | 205 | 230 | 280 | 405 |
| (12 % hout) ³⁾ |  | Glaswol | 0,035 | 200 | 220 | 270 | 390 |
| | | Houtvezeldecken | 0,038 | 210 | 235 | 285 | 410 |
| | | Cellulose | 0,037 | 205 | 230 | 280 | 405 |
| Hout - houten element | | Steenwol | 0,037 | 220 | 245 | 295 | 415 |
| (12 % hout, geventileerde spouw) ³⁾ |  | Glaswol | 0,035 | 210 | 235 | 285 | 400 |
| | | Cellulose | 0,037 | 220 | 245 | 295 | 415 |
| | | Houtvezeldecken | 0,038 | 225 | 250 | 300 | 425 |
| Hout - isoplaat- houten element | | Steenwol | 0,037 | 180 | 205 | 255 | 375 |
| (12 % hout, geventileerde spouw) ³⁾ (30 mm isoplaat met een $\lambda < 0,04$ Over alle stijlen en regels) |  | Glaswol | 0,035 | 175 | 200 | 245 | 365 |
| | | Cellulose | 0,037 | 180 | 205 | 255 | 375 |
| | | Houtvezeldecken | 0,038 | 185 | 210 | 260 | 385 |
| Stuc - isolatie- kalkzandsteen | | EPS 100 (EPS 20) | 0,035 | 160 | 180 | 215 | 310 |
| |  | XPS | 0,028 | 130 | 145 | 175 | 250 |
| | | Houtvezel plaat | 0,043 | 195 | 220 | 265 | 380 |

Toelichting:

1) Bij toepassing van gegalvaniseerde spouwankers is 5 % extra isolatie materiaal nodig

2) Met een blijvend warmtereflecterende (aluminium) laag aan de spouwzijde, is 15 mm minder isolatiemateriaal nodig

3) Bij houten elementen is er vanuit gegaan dat de stijlen en regels in één vlak liggen



Afb. 5.16 Doorsnede van één van de gevels van het project 'Urban Villa' in Amstelveen, een voorloper van de passiehuizen en een vervolg op de Minimum Energie Woningen uit 1983. Het isolatiepakket bestaat uit totaal 240 mm minerale wol. In de isolatie ligt de dampremmende laag waardoor deze goed beschermd is. Het stijl- en regelwerk ligt niet in één vlak zodat slechts op de plek waar ze elkaar kruisen de constructie uit alleen hout zonder isolatie bestaat. Dit beperkt het warmteverlies. (Bron: Architect: Atelier Z - Zavrel Architecten; Ontwikkeling: BAM Vastgoedbeheer en RABO Vastgoed; Onderzoek en advies: Damen Consultants, TU-Delft en DWA. Realisatie: 1995)

Let op detaillering en uitvoering

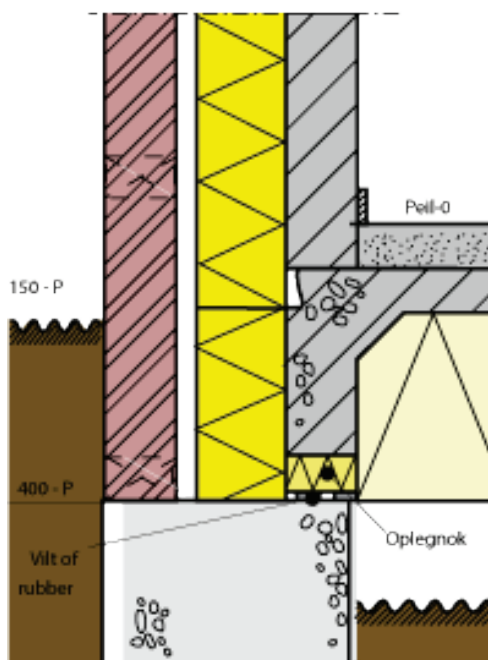
- Voor gevelsluitende houten elementen zijn harde platen van minerale wol of houtvezels verkrijgbaar waarmee het warmtelek, gevormd door het stijl- en regelwerk, beperkt kan worden. Deze platen worden aan de spouwzijde van het element op het element bevestigd. Deze platen doen tevens dienst als damp-open waterkerende laag;
- Gebruik rondom kozijnen en bij de aansluiting van gevel-elementen altijd een dubbele naaddichting, bij voorkeur met compressieband en/of folie (afbeelding 5.19). Houd rekening met kruip van de vloerconstructie. De zakking, in het midden van de overspanning, kan wel 5 mm bedragen [99]. De afdichting tussen gevel en vloer moet dus deze werking kunnen opnemen;
- Beperk door een goede detaillering het gebruik van ter plaatse gespoten PUR-schuim voor aansluitdetails. Dit kan gunstig zijn vanuit milieuoogpunt;
- In de praktijk blijkt dat het aan een zorgvuldige uitvoering regelmatig ontbreekt (zie afbeelding 5.22). Controle door thermo(foto)grafie, steekproefsgewijs, is sterk aan te bevelen.

Specifiek voor spouwconstructies

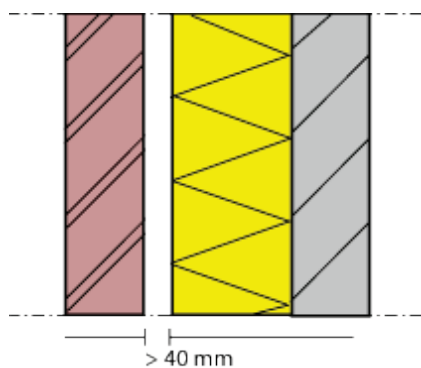
- Zorg boven kozijnen en boven alle andere horizontale beëindigingen van de spouw (zoals vlak boven de fundering) voor een goede waterafvoer via bijvoorbeeld open stootvoegen. Gebruik

voor de spouwisolatie onder het maaiveld-niveau een niet-vochtgevoelig isolatiemateriaal zoals hardschuimplaten;

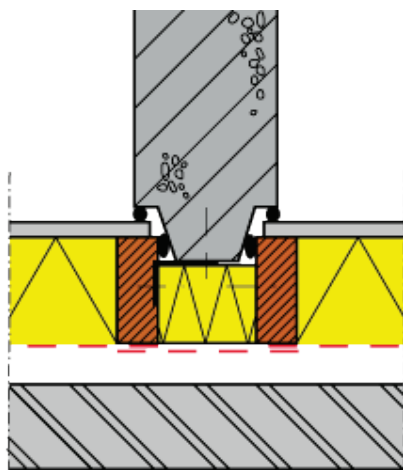
- Pas bij een gemetseld buitenspouwblad een luchtspouw van minstens 40 mm (als ontwerpmaat) toe tussen de isolatie en het buitenspouwblad (afbeelding 5.18; [105]). Redenen:
 - Ongehinderde afvoer van het door het buitenblad gedrongen regenwater;
 - Hogere kwaliteit van het metselwerk doordat de metselaar voldoende ruimte heeft om snel en goed te metselen;
- Laat bij het toepassen van twee lagen isolatieplaten achter elkaar de naden ten opzichte van elkaar verspringen waardoor minder doorgaande naden ontstaan en er dus minder kans is op warmtelekken. Redenen om twee lagen toe te passen zijn o.a.:
 - Het realiseren van zeer hoge R_c -waarden;
 - Het eenvoudiger nauwkeurig passend kunnen plaatsen van zachte isolatieplaten met enige overmaat (om naden tussen isolatie en constructie te minimaliseren);
- Houd rekening met de negatieve invloed van onder andere spouwankers op de R_c -waarden van geïsoleerde spouwmuren. Zie NEN 1068 [107]. Bij gebruik van RVS-ankers ($\varnothing 4$ mm) is 5% minder isolatie nodig dan bij gegalvaniseerde spouwankers ($\varnothing 6$ mm). Het achterwege laten van RVS-ankers (indien mogelijk) zou nog eens 5% isolatie besparen;
- Er zijn voor minerale wolplaten in combinatie met kalkzandsteen binnenspouwbladen speciale spouwankers verkrijgbaar die tussen de platen bevestigd worden tijdens het aanbrengen van de platen [104]. De ankers zitten daardoor op de juiste plaats en de kans op beschadiging van de isolatieplaten is minimaal, dit in tegenstelling tot de gebruikelijke prikankers;
- Voorkom beschadigingen in de isolatie tijdens de uitvoering. Gebruik bijvoorbeeld kortelingsteunen voor de bevestiging van steigers;
- Bescherm zachte isolatieplaten tijdens de bouw tegen regen en wind. Dek bij werkonderbrekingen spouwplaten bij regen af;
- Controleer tijdens de uitvoering regelmatig en nauwgezet de aangebrachte isolatie. Let er bijvoorbeeld op dat bij uitwendige hoeken de isolatieplaten goed elkaar overlappen en op elkaar aansluiten. Bij het gebruik van zachte isolatieplaten is voor het aansluiten een kunststof strip (of hoekanker) verkrijgbaar (zie afbeelding 5.21);
- Controleer op een goede aansluiting van de isolatie op het binnenspouwblad; voorkom een 'valse' spouw (zie hieronder).



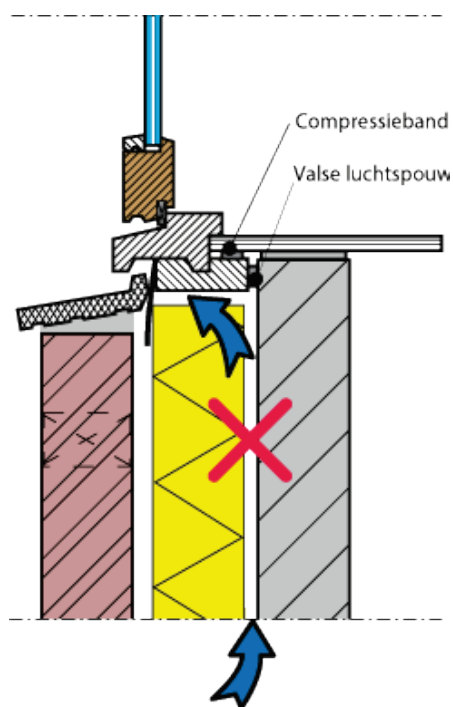
Afb. 5.17 Gebruik onderin de spouw bijvoorbeeld niet-capillaire hardschuimplaten (bijv. EPS of XPS), deze zijn goed bestand tegen water



Afb. 5.18 Bij een gemetseld buitenspouwblad is een luchtspouw van minstens 40 mm (als ontwerpmaat) nodig



Afb. 5.19 Gebruik altijd een dubbele naaddichting rondom kozijnen en gevel-elementen



Afb. 5.20 Bij enige ruimte tussen de isolatie en het binnenspouwblad en spleten van 5 à 10 mm aan onder- en bovenzijde van de isolatie, blijkt het warmteverlies meer dan te verdubbelen [106]



Afb. 5.21 Kunststof strip (of hoekanker) om zachte isolatieplaten bij uitwendige hoeken zorgvuldig op elkaar te laten aansluiten. (Bron: Gebroeders Bodegraven BV)



Afb. 5.22 Zorgvuldige uitvoering voorkomt energieverlies. Op de foto is duidelijk zichtbaar dat de isolatieplaten niet op elkaar aansluiten waardoor een ernstig warmtelek zal ontstaan.

Harde of zachte platen in (gemetselde) spouwmuren

Uit onderzoek [106] blijkt dat het isolerend vermogen van een spouwconstructie kan halveren als de isolatie niet goed tegen het binnenspouwblad aansluit; men spreekt dan van een 'valse' spouw. Als bovendien spleten in of aan de randen van de isolatieplaten aanwezig zijn, neemt de isolatiewaarde nog verder af. Bij de keuze van het isolatiemateriaal, bij de detaillering en bij de uitvoering vraagt de geïsoleerde spouw dus veel aandacht. Ook NTA 8800 (in paragraaf 8.2.2.2.2) [30] benadrukt daarom via een correctiefactor bij het berekenen van de R_c -waarde het belang van een goed uitgevoerde (spouw)isolatie.

Bij isolatieplaten zijn te onderscheiden:

- Harde platen zoals van EPS (geëxpandeerd polystyreen), PIR, Resol en cellulair glas. De platen zijn meestal rondom voorzien van sponningen. Er is een PIR-plaat verkrijgbaar die aan één zijde relatief zacht is door de bekleding van minerale wol;
- Zachte platen zoals van glaswol, steenwol, vlaswol of houtvezels. Ondermeer ter versteviging zijn platen soms één- of tweezijdig bekleed. De platen kan men dan beter hanteren en op maat snijden. Er zijn steenwolplaten leverbaar die een relatief harde en zachte zijde hebben. Zij kunnen o.a. met de zachte zijde goed aansluiten op het binnenspouwblad. De relatief harde buitenzijde maakt de plaat windvast.

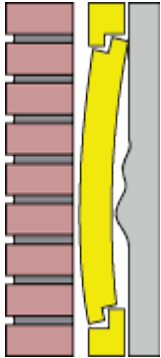
Voordelen van zachte platen ten opzichte van harde platen in een gemetselde spouwmuurconstructie:

- Zachte platen zijn flexibel en kunnen daardoor goed op de randen aansluiten bij het gebruik van enige overmaat. Bij harde platen blijven er eerder (dan bij zachte platen) aan de randen naden over, die dan met PUR-schuim moeten worden afgedicht. Bij smalle naden (< 6 mm) is dit niet goed mogelijk;
- Een niet geheel vlakke afwerking van het binnenspouwblad geeft minder problemen dan bij harde platen. Bij deze platen moet voor een goede aansluiting het spouwblad geheel glad zijn;

- Bij zachte platen zijn minder snel sparingen voor bijvoorbeeld verankering van kozijnen in de isolatie nodig. Dus meer kans op een betere kwaliteit van de isolatie en minder werk;
- Spouwankers leveren bij het bevestigen van zachte platen minder problemen op dan bij harde platen.

Voordeel van harde platen:

- Ze zijn beter dan zachte platen bestand tegen regen en wind tijdens de bouw. Er zijn daarom minder beschermende maatregelen tegen regen nodig.

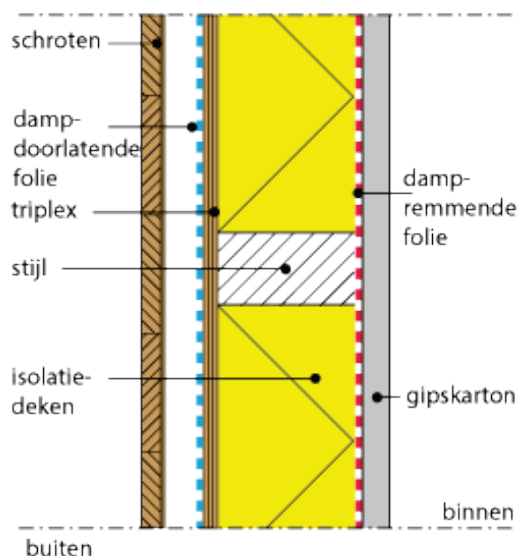


Afb. 5.23 Bij harde platen is een vlak binnenspouwblad noodzakelijk. Maar ook bij zachte platen moeten grove speciebaarden, lijmresten en andere oneffenheden verwijderd worden om de platen zo goed mogelijk op het binnenspouwblad te laten aansluiten

Dampremmende laag

Constructies zoals gevels en daken moeten zodanig opgebouwd zijn dat er geen structurele inwendige condensatie kan optreden (zie bijlage 1). Daarom moet de 'dampdichtheid' van een constructie vanaf binnen (= de warme zijde, tevens woningzijde) naar buiten afnemen. Een dampremmende folie aan de warme zijde kan hierbij noodzakelijk zijn. Stem dit af op de waterkerende, meestal damp-open, afwerking aan de buitenzijde.

In de praktijk blijkt dampremmende folie tijdens de uitvoering (op de bouwplaats) soms slecht, geheel niet of zelfs aan de verkeerde zijde van de constructie aangebracht te worden. Een nauwgezette controle tijdens de uitvoering is noodzakelijk. Controleer de damprem voordat de (binnen)afwerking is aangebracht. Controleer ook of de dampremmende en de eventueel toe te passen dampopen folies niet verwisseld zijn. Soms zijn de folies te herkennen aan de kleur van de opschriften: rood voor de warme zijde (dampremmend), blauw voor de koude zijde (dampopen) van een constructie. Lees altijd de instructies van de fabrikant. Een goede voorlichting aan de uitvoerenden is sterk aan te bevelen.



Afb. 5.24 Vooral bij houten gevel-elementen en houtskeletbouw is een dampremmende laag aan de binnenzijde (dus aan de warme zijde) vaak noodzakelijk. Zo'n laag is ook gunstig voor de luchtdichtheid van constructies

Let op detaillering en uitvoering

- Gebruik als dampremmende laag een polyetheenfolie (PE-folie) met een dikte van circa 0,20 mm of een folie met overeenkomstige eigenschappen. Belangrijke aspecten zijn de dampdichtheid en de sterkte; dit laatste aspect is vooral van belang om de kans op beschadigingen van de folie van gevel- en dakelementen tijdens de productie en tijdens de bouw te beperken;
- Pas overlappingen van folies toe alleen ter plaatse van stijlen en/of regels; de overlap moet minimaal 100 mm zijn;
- Plak de folieranden waar geen overlap van folies is, goed af. Dit kan bijvoorbeeld voorkomen bij de aansluiting van een dichte wand op een kozijn.

5.1.4 Woningscheidende wand en vloer

Thermische isolatie

Het Bouwbesluit stelt geen eisen aan de thermische isolatie van woningscheidende wanden en vloeren. Bij de energieprestatieberekening volgens NTA 8800 [30] wordt ervan uitgegaan dat aan elkaar grenzende woningen dezelfde gemiddelde binnentemperatuur hebben. In werkelijkheid zal dat echter vaak niet het geval zijn. Wanneer die temperatuur niet gelijk is, treedt er via de woningscheidende wand of vloer warmtetransmissie op vanuit de 'warme' naar de 'koude' woning. Zoals in afbeelding 5.25 te zien is, kunnen deze 'verliezen' aanzienlijk zijn. Deze cijfers zijn berekend. Maar ook uit praktijkonderzoek blijkt dat er een behoorlijke warmte-uitwisseling tussen woningen kan optreden [109]. Bij gestapelde bouw kan het warmtetransport niet alleen via de bouwmuren plaatsvinden, maar vanzelfsprekend ook via vloer en plafond.

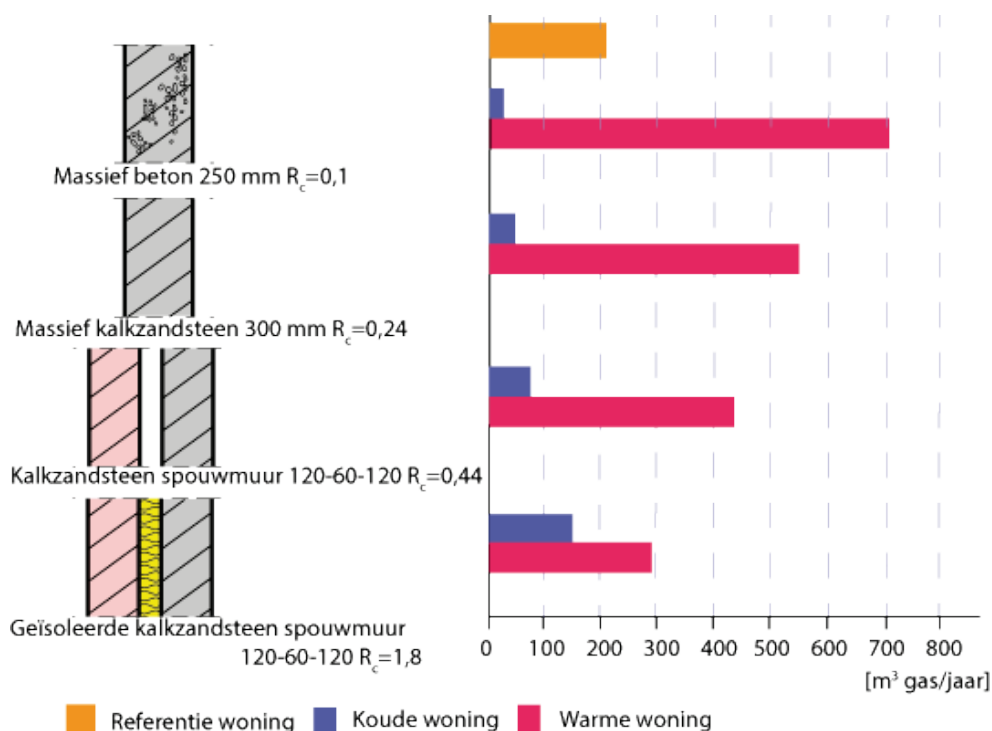
Het thermisch isoleren van de scheidingsconstructies beperkt dergelijke warmtetransporten. In welke mate de isolatie energie bespaart per rijtje woningen of woongebouw, hangt af van het nuttig gebruik van de toegevoerde warmte in de relatief 'koude' woningen. Hoe beter de woningen geïsoleerd zijn, hoe eerder de warmte afkomstig van de burens overtuigend is en weggeventileerd wordt. Dit betekent dus energievervalsing. Ook levert het isoleren van de woningscheiding een eerlijker verdeling van de energielasten op. Verder zorgt het isoleren er voor dat de binnentemperatuur in de ene woning minder afhankelijk is van de temperatuur in de aangrenzende woning.

Bovendien voorkomt isolatie dat het opwarmen van de woning extra lang duurt wanneer ook de buurwoningen een relatief lage binnentemperatuur hebben. De te installeren verwarmingscapaciteit kan dus door de isolatie omlaag, wat een kostenbesparing met zich meebrengt. Isolatie van de spouw tussen de woningen kan bovendien de geluidwerende kwaliteit van de spouw verbeteren [110], mits zachte isolatie toegepast wordt.

Het aanbrengen van thermische isolatie is bij een ankerloze spouwmuur eenvoudig te realiseren door bijv. naderhand minerale wol in te blazen. Bij een spouwmuur van gestapelde elementen zoals van kalkzandsteen zijn ook minerale wol platen te gebruiken die tijdens het lijmen van de elementen worden geplaatst.

Woningscheidende vloeren zijn als volgt te isoleren:

- Bij steenachtige vloeren ligt een zwevende dekvloer voor de hand. Een relatief dure maatregel, maar technisch gezien geen enkel probleem. Bovendien is zo'n dekvloer vaak al nodig in verband met de contactgeluidisolatie-eisen tussen de betreffende woningen;
- Bij houtskeletbouw wordt isolatie vanwege geluidisolatie en brandveiligheid al standaard in de vloer- of plafondconstructie aangebracht.



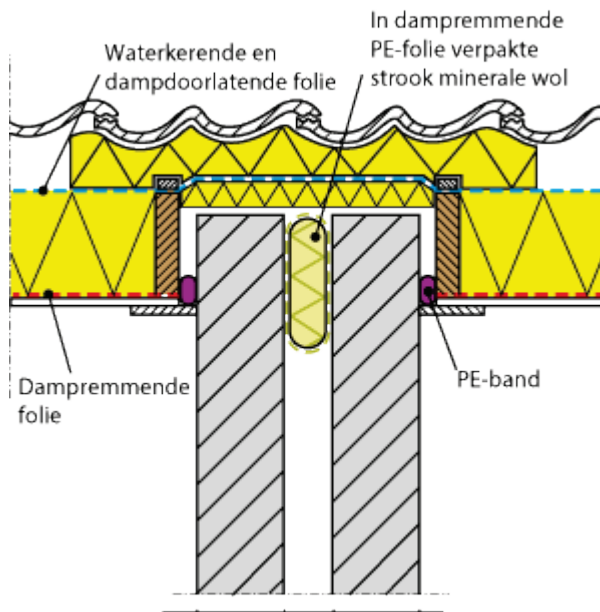
Afb. 5.25 Het energieverbruik in m³ aardgas per jaar van een tussenwoning wanneer hier gedurende het stookseizoen gemiddeld 2°C meer (warme woning) of minder (koude woning) wordt gestookt dan in één van de aangrenzende woningen. Er is dus maar één woningscheidende wand met een temperatuurverschil van 2°C. Het verbruik is afhankelijk van de isolatiewaarden van de woningscheidende wanden. De oranje balk geeft het energieverbruik van de referentiewoning aan als beide buurwoningen dezelfde temperatuur aanhouden als de referentiewoning. De spouwisolatie moet vanwege geluidisolatie uit een zacht materiaal bestaan, bijvoorbeeld onverpakte, minerale wol

Geluidisolatie

Door een woningscheidende wand als ankerloze spouw uit te voeren, is zowel een goede geluidisolatie als thermische isolatie (zie hiervoor) te realiseren. Een ankerloze spouw verbetert, ook zonder isolatie, de geluidisolatie tussen woningen, dit ten opzichte van een massieve wand van vergelijkbare dikte. Bij de meest gangbare bouwmethoden is een ankerloze spouw, zeker bij laagbouw, goed mogelijk. Het (deels) vullen van de spouw met minerale wol verhoogt, zeker bij de relatief 'lichte' constructiematerialen zoals cellenbeton, de geluidisolatie aanzienlijk. Bij zwaardere constructies is het aan te bevelen om tenminste de ankerloze spouw ter hoogte van de vloeren en het dak met minerale wol te vullen (zie afbeelding 5.26). Dit verbetert de geluidisolatie: geluidshinder via de 'flankerende' vlakken zoals de fundering en de dakelementen wordt door de isolatie beperkt. Zie voor de betreffende details de uitgaven [96] en [63].

Aandachtspunten

- Sluit een spouw bij een woningscheidende spouwmuur goed af van de spouw in de gevel en het dak om warmteverliezen te voorkomen;
- Het over de volle hoogte van de spouw isoleren verbetert de geluidisolatie. De beste isolatiewaarde bereikt men door de spouw voor 50% (halve spouwdikte) te vullen;
- Door de spouw te isoleren voorkomt men onderling contact tussen de beide spouwbladen als gevolg van 'specie'bruggen (indien de spouwbladen worden gemetseld of gelijmd);
- Gebruik in de spouw alleen zacht materiaal zoals onverpakte minerale wol, folies en weefselstroken. Gebruik dus beslist geen harde isolatieplaten;
- Voorkom de aanvoer van lucht vanuit de kruipruimte naar de ankerloze spouw. In dit laatste geval kan condensatie tegen het dak optreden hetgeen in de praktijk tot aanzienlijke (water)schade kan leiden;
- Trek de spouw door tot onder de begane grondvloer. Neem maatregelen om te voorkomen dat tijdens de bouw deze spouw met afval verontreinigd wordt. Vul dit onderste deel van de spouw daarom met bijvoorbeeld elastische kunststofschuimplaat.



Afb. 5.26 Detail van de aansluiting van een ankerloze spouwmuur als woningscheidende wand op een systeemdak. Zorg er voor dat er voldoende isolatie aangebracht wordt bovenop de bouwmuur. Dek de spouw bovenaan af met een dampdichte folie om eventuele condensvorming tegen de onderzijde van de pannen te voorkomen. (Bron: [96])

5.1.5 Kozijnen, ramen en deuren

Kozijnen, ramen en deuren vormen nog een duidelijk zwakke schakel in de woningschil. Deze situatie is sterk te verbeteren door gebruik te maken van houten kozijnen met een onderbreking van de thermische brug en geïsoleerde deuren. Dit in combinatie met drievoudig glas waarin 'beter' isolerende afstandhouders zijn toegepast. In deze paragraaf komen deze producten, een 'must' in zeer goed geïsoleerde woningen, daarom volop aan de orde. Voor beglazing zie paragraaf 5.2.

De U-waarde van kozijnconstructies (kozijn+glas of kozijn+deur) mag volgens het Bouwbesluit gemiddeld maximaal $1,65 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ bedragen (gemiddeld naar rato van het oppervlak). Voor een raam of deur (inclusief kozijn) afzonderlijk geldt een U-waarde van maximaal $2,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

De waarde van $1,65$ is gebaseerd op een referentieraam van hout (forfaitaire U_w -waarde $2,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) met HR++-glas (U_g van $1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) met een aluminium afstandhouder. Deze eis betekent dat de keuze voor kozijnen, deuren en glassoort aandacht vraagt (zie afbeelding 5.27). Diverse tot voor kort gebruikelijke materialen, profielen en glassoorten zijn niet meer mogelijk.

Ramen en kozijnen

NTA 8800 [30] gaat in op de invloed van kozijnen op de thermische kwaliteit van de totale raamconstructie (kozijn + glas). Bij het berekenen van de U-waarde van een raam (U_w , de w staat voor window) moet naast het glas en afstandhouders ook het kozijn meegerekend worden en de verhouding tussen het glas- en kozijnoppervlak. De U-waarde van het kozijn zelf (U-kozijn) wordt ook vaak aangeduid met U_{frame} , afgekort tot U_f of U_{fr} .

Afbeelding 5.27 geeft een vereenvoudigd overzicht van warmtedoorgangscoefficienten van ramen met verschillende glas- en kozijntypen:

- Kozijntype A is een kozijn van hout of kunststof met een forfaitaire U-kozijn van $2,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
- Kozijntype B is een metalen kozijn met thermische onderbreking met een forfaitaire U-kozijn van $3,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
- Houten kozijn met U-kozijn van $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; in de praktijk ligt de U-kozijn van lichtere houtsoorten zoals vuren, lariks en 'accoya' rond deze waarde, van meranti rond $1,4$. Lagere waarden voor U-kozijn zijn echter ook mogelijk, bijvoorbeeld door dikkere profielen te gebruiken: tot zo'n $0,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ voor de lichtere houtsoorten en $1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ voor meranti. Dergelijke zeer goed isolerende kozijnen worden wel aangeduid met 'passiehuiskozijn';

- Aluminium raam met U-kozijn van $1,3 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$; in de praktijk ligt de U-kozijn van aluminium ramen met een zeer goede onderbreking van de thermische brug tussen circa 2,0 en $1,0 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$.

Interpoleer rechtlijnig voor tussenliggende waarden. Duidelijk zichtbaar is de grote invloed van de thermische kwaliteit van het kozijn op de U-waarde van het totale raam. Aanbevolen wordt om de U_w -waarde uit te rekenen omdat dat in veel gevallen veel gunstiger uitkomt dan de forfaitaire waarden. Bij veel energieprestatie-rekenprogramma's is een eenvoudige rekenmodule aanwezig om de U-waarde van het totale raam (U_w) uit te rekenen.

Zie voor een overzicht van warmtedoorgangscoefficienten van alleen glas (U_{glas}) en de invloed van afstandhouders paragraaf 5.2.

Tip:

Het is gunstig voor een lage U_w -waarde om het glasoppervlak zo groot en het kozijnoppervlak zo klein mogelijk te maken.

Extra isolerende houten kozijnen

De isolatie van houten kozijnen is nog iets te verbeteren door in het kozijnhout een onderbreking met een beter isolerend materiaal aan te brengen. De onderbreking kan bestaan uit bijvoorbeeld PUR-schuim of geëxpandeerde kurk. Het effect op U_w is echter gering ($< 0,1 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$), vooral bij kozijnen van lichtere houtsoorten zoals vuren, lariks en 'accoya'. Dit komt doordat deze houtsoorten zelf al relatief goed isoleren.

Afb. 5.27 Overzicht van U_w in $\text{W/(m}^2\cdot\text{K)}$ voor een totale raamconstructie (kozijn + glas) van enkele typen kozijnen en glassoorten; de forfaitaire waarden van kozijntype A en B zijn afkomstig uit NTA 8800 tabel 8.3. Bij het berekenen van de energieprestatie moeten voor ramen altijd U_w -waarden ingevoerd worden, en dus niet alleen de U-waarden van het glas. Fabrikanten leveren vaak de voor de energieprestatieberekening benodigde U-waarden van specifieke kozijnen, glassoorten en afstandhouders. De U_w -waarden in de tabel zijn afgerond en gelden voor beglazing met aluminium afstandhouders en een forfaitair kozijnaandeel (25%) van het totale raamoppervlak.

| | U_{glas} | Kozijntype A (hout of kunststof) $U_{\text{kozijn}} \leq 2,4$ | Kozijntype B (thermisch onderbroken metaal) $U_{\text{kozijn}} \leq 3,8$ | Houten kozijn lichte houtsoort $U_{\text{kozijn}} = 1,3$ | Aluminium kozijn met zeer goede koudebrug-onderbreking $U_{\text{kozijn}} = 1,3$ |
|-----------------|-------------------|---|--|--|--|
| HR++ | 1,2 | 1,8* | 2,2* | 1,4 | 1,55 |
| | 1,1 | 1,7* | 2,15* | 1,35 | 1,45 |
| | 1,0 | 1,6 | 2,1* | 1,25 | 1,4 |
| Drievoudig glas | 0,9 | 1,5 | 2,0* | 1,2 | 1,3 |
| | 0,7 | 1,4 | 1,9* | 1,1 | 1,2 |

*) Voldoet niet aan eis Bouwbesluit van $U_w \leq 1,65$ als gemiddelde waarde voor alle kozijnen; voor een afzonderlijk kozijn moet $U_w \leq 2,2 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$

Deuren

Buitendeuren

Bij het berekenen van de U-waarde van een (voor)deur moet ook het kozijn worden meegenomen. Volgens NTA 8800 wordt een deur met $\geq 65\%$ glas (% van het totale oppervlak van deur + kozijn) beschouwd als een glasdeur; daarvoor gelden dezelfde regels als voor een raam bij de berekening van de energieprestatie. Voor overige deuren met transparante delen geldt dat de deur als 2 delen wordt beschouwd: vaste delen van de deur + beglazing in de deur.

Een (voor)deur inclusief kozijn moet een U-waarde hebben $\leq 2,2 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$. Let op: de gemiddelde U-waarde van alle ramen en deuren moet $\leq 1,65 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ zijn. De forfaitaire U-waarde voor een niet-geïsoleerde deur van $3,4 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ is niet meer bruikbaar omdat daarmee niet aan de eis voldaan wordt. Maak daarom bij de energieprestatie-berekening gebruik van de U-waarde voor een specifieke deur

waarbij de U-waarde wordt aangeleverd door de fabrikant. Vergeet niet om ook het kozijn mee te rekenen. Bij sommige energieprestatie-rekenmodellen is daarvoor een rekenmodule aanwezig. Heeft uw model dat niet, gebruik dan indien aanwezig de module voor ramen. Let op: Met lang niet alle leverbare (voor)deuren is aan de isolatie-eis te voldoen!

Hoewel met sommige massiefhouten deuren met de gangbare dikte van circa 55mm nog net aan de isolatie-eis kan worden voldaan, ligt het voor de hand om te kiezen voor beter-isolerende deuren. Zo zijn er deuren met een geïsoleerde kern van PUR-schuim verkrijgbaar met een U-waarde van circa 1,2 W/(m²·K); inclusief een licht houten kozijn geeft dat een totale Ud van circa 1,3 W/(m²·K). Ook zijn er zeer goed geïsoleerde ('passiehuys-') deuren, inclusief drievoudig glas, verkrijgbaar met U-waarden van 0,6 à 0,8 W/(m²·K). Inclusief een geïsoleerd of licht houten kozijn levert dat een totale Ud op van 0,8 à 1,0 W/(m²·K).

Onderdorpels vormen vaak een zwakke schakel bij buitendeurkozijnen. Kies daarom onderdorpels die goed isoleren (afbeelding 5.28).



Afb. 5.28 Deze BUVA-ISOSTONE® onderdorpel van glasvezel versterkt kunststof is gevuld met PUR-schuim en heeft daardoor een gunstige U_{frame} -waarde van circa 0,9 à 1,0 W/(m²·K) afhankelijk van het type dorpel; de versies voor hefschuifdeuren hebben een U_{frame} -waarde van 1,6 à 1,9 W/(m²·K). (Bron: BUVA BV)

Naden en kieren bij kozijnen

Voorkom naden en kieren. Dit is van belang voor:

- Het beperken van de 'onbewuste' ventilatieverliezen (zie hoofdstuk 6);
- Het verbeteren van de geluidsisolatie; dit speelt bij geluidbelaste gevels een rol.

Naden

Naden zijn aansluitingen tussen vaste delen. Zorg voor goede details bij de aansluiting van kozijnen met wanden, vloeren en daken. Bij prefab houten en betonnen binnenspouwbladen verdient het de voorkeur kozijnen of kozijnen inclusief glas, reeds in de fabriek te monteren. Prefabricage biedt doorgaans een zorgvuldiger uitvoering dan op de bouwplaats uitgevoerd werk.

Let op:

- Een afnemende dampdichtheid van binnen naar buiten; dit is van groot belang voor de levensduur van constructies;
- Een zodanige voegbreedte dat afdichtingsband voldoende gecompriëerd kan worden. De voeg mag dus niet te breed zijn en moet redelijk gelijkmatig van vorm zijn. Let hierop vooral bij de aansluiting van de spouwlat op een gemetseld of gelijmd binnenspouwblad. Bij twijfel: gebruik (ook) een aftimmering zodat een dubbele naaddichting ontstaat;
- Gebruik voor de dichting van de naad onder onderdorpels van buitendeuren een brede strook plakfolie.

Kieren:

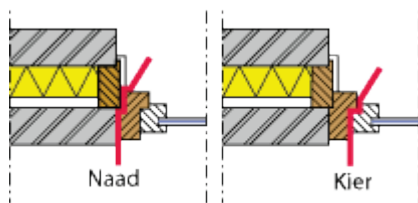
Kieren zijn aansluitingen bij draaiende delen (ramen en deuren).

Let op:

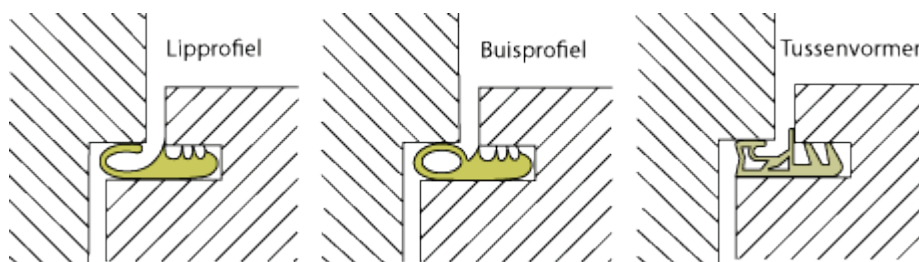
- Gebruik in de hoeken gelaste profielen (kaderprofielen): De kierdichtingsprofielen in de hoeken, bij de scharnieren en bij de sluitingen mogen niet onderbroken zijn;
- Gebruik voldoende scharnieren en sluitingen om kromtrekken van de ramen en deuren te voorkómen. Neem bijvoorbeeld één scharnier of sluiting per meter kier. Gebruik bijvoorbeeld drie-puntsluitingen voor deuren, waarbij de deur in één handeling wordt gefixeerd;
- Gebruik knevelsluitingen;
- Gebruik nastelbare scharnieren en sluitplaten;
- Breng de kierdichting zo ver mogelijk naar binnen (woningzijde) aan;
- Overweeg dubbele kierdichting. Het effect ervan op de kierdichting (qua ventilatieverliezen) staat echter ter discussie omdat er een vrij grote kracht nodig is om het kozijn te sluiten. De vorige vier maatregelen zijn in ieder geval belangrijker dan deze vijfde. Voor geluidisolatie is dubbele kierdichting soms noodzakelijk;
- Kies voor een brievenbus (in een voordeur) met een buitenklep en een niet-stugge tochtborstel. Nog beter is om genoemde voorzieningen te combineren met een aan de binnenzijde aangebrachte bak die de post opvangt. Deze bak kan voorzien worden van een binnenklep met tochtdichting om condensvorming tegen de buitenklep te voorkomen.

Er zijn verschillende tochtdichtingsprofielen voor draaiende delen:

- Lipprofiel: Hiermee is een goede kierdichting mogelijk. De benodigde aandrukkracht kan beperkt blijven; daarom geeft dit profiel over het algemeen in de praktijk een goed resultaat;
- Buisprofiel: Zeer goede kierdichting mogelijk, maar alleen bij een vaste kierbreedte (weinig maattolerantie). Redelijk grote tot grote aandrukkracht nodig. Een goed resultaat is dus alleen te bereiken bij voldoende sluitingen;
- Tussenvormen: Dit zijn combinaties van buis- en lipprofielen of meervoudige lipprofielen. Ze vertonen een tussenliggend gedrag in eigenschappen.



Afb. 5.29 Naden en kieren vragen veel aandacht. Let op een doorgaande afdichting bij de hoeken



Afb. 5.30 Lipprofiel, Buisprofiel en Tussenvormen

Vensterbank

Voorkom dat (in het stookseizoen) achter gesloten (rol)gordijnen een sterk opgaande warme luchtstroom, rechtstreeks afkomstig van verwarmingselementen, kan ontstaan. Zie afbeelding 7.4 in paragraaf 7.2.2 voor de juiste detaillering want de vensterbank en de (rol)gordijnen mogen ook de warmteafgifte van radiatoren of convectoren aan de kamer niet belemmeren. Let dus op bijvoorbeeld:

- De juiste afmetingen van vensterbanken;

- De mogelijkheden om rolgordijnen en gordijnrails op de juiste plek te kunnen bevestigen; let op: gordijnen moeten overdag zo min mogelijk daglicht wegnemen en moeten dus naast de ramen geschoven kunnen worden.

5.2 Beglazing

De beglazing is van invloed op:

- Het warmteverlies (U-waarde);
- De zontoetreding (g-factor, zontoetredingsfactor, ook wel ZTA-waarde genoemd);
- De daglichttoetreding (TL-factor, lichttoetredingsfactor, in NTA 8800 aangeduid met LTA-waarde) (zie paragraaf 4.3 voor o.a. eisen daglichttoetreding).

De U-waarde van kozijnconstructies (kozijn+glas of kozijn+deur) mag volgens het Bouwbesluit gemiddeld maximaal 1,65 W/(m²·K) bedragen (gemiddeld naar rato van het oppervlak). Voor een raam of deur (inclusief kozijn) afzonderlijk geldt een U-waarde van maximaal 2,2 W/(m²·K).

De waarde van 1,65 is gebaseerd op een referentieraam van hout (forfaitaire U_w-waarde 2,4 W/(m²·K)) met HR⁺⁺-glas (U_g van 1,1 W/(m²·K)) met een aluminium afstandhouder. In zeer goed geïsoleerde woningen is drieboudig glas al standaard.

In afbeelding 5.31 staan enkele indicatieve gegevens over U-waarden, g- en TL-factoren van diverse glastypen. Op www.kenniscentrumglas.nl is algemene informatie over beglazing te vinden. Voor informatie over drieboudig glas zie de brochure '[Drieboudig glas en bijpassende kozijnen](#)' [123].

In de brochure 'Wat u moet weten over isolerend dubbelglas en HR⁺⁺-beglazing' [108] is nuttige informatie voor o.a. bewoners opgenomen. Zo staat er informatie in over het risico van thermische breuk en hoe dat te voorkomen is. De handleiding is ondanks het jaar van uitgave nog grotendeels actueel.

Let op:

- Er zijn veel merken en typen beglazing verkrijgbaar met specifieke kenmerken. Voor exacte gegevens: informeer bij de desbetreffende fabrikant, let op KOMO-keur;
- Fabrieksgegevens over U-waarden gelden alleen voor het glas zelf, dus zonder de invloed van de omranding (afstandhouders en kozijn).

Afb. 5.31 Overzicht van enkele typen glas (zonder effecten afstandhouders en kozijn) met indicatie van U-waarden, TL- en g-factoren. Let op: De eigenschappen bij 'ramen' gelden alleen voor verticaal geplaatste ramen! Zo kan de U-waarde van beglazing bij plaatsing onder een hoek toenemen (= dus afname van isolatiewaarde) met maximaal zo'n 50%. Ook enkele gegevens over platdakramen en daklichtkoepels. Informeer voor exacte gegevens altijd bij de fabrikant of leverancier. Er is ook HR⁺⁺-glas verkrijgbaar met een extra coating aan de woningzijde op het glas. De U-waarde kan dan tot 0,8 W/(m²·K) dalen, maar tegelijk nemen ook de TL- en g-factor af, hetgeen meestal niet gewenst is. Het glas kan bijvoorbeeld interessant zijn bij renovatie wanneer maar een beperkte glasdikte mogelijk is.

| | | U-waarde [W/(m ² ·K)] | TL-factor [-] | g-factor [-] |
|--|--|-------------------------------------|------------------|-----------------|
| Ramen | Blank enkel glas | 5,8 | 0,90 | 0,80 |
| | Blank dubbel glas | 2,8 | 0,80 | 0,70 |
| | HR ⁺⁺ -glas (niet zonwerend) | 1,0-1,2 | 0,70-0,80 | 0,50-0,65 |
| | Drieboudig beglazing (niet zonwerend) | 0,5-0,9 | 0,60-0,75 | 0,50-0,60 |
| Platdakramen met HR⁺⁺-glas | HR ⁺⁺ -gelaagd veiligheidsglas (niet zonwerend) | 1,1-1,2 | 0,80-0,85 | 0,60-0,65 |
| Daklichtkoepels (inclusief geïsoleerde dakopstand, transparant) | Dubbelwandig kunststof | 2,8 | 0,85 | 0,80 |
| | Driewandig kunststof | 1,9 | 0,8 | 0,75 |
| | HR ⁺⁺ -glas met kunststof enkelwandig koepel | 0,7-0,8 | 0,70-0,75 | 0,50-0,55 |

5.2.1 Warmteverlies

Verschillen in warmte-isolatie van dubbel en drievoudig glas worden bereikt door gebruik te maken van:

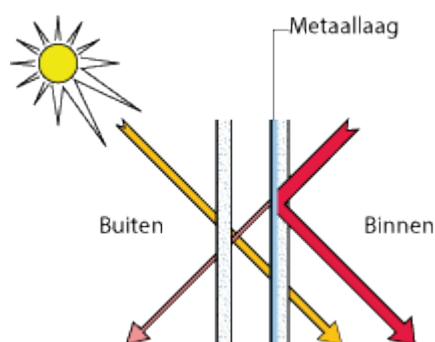
- Verschillen in het soort coating;
- De spouwvulling: lucht of een edelgas. Bij HR⁺⁺- en drievoudig glas wordt een edelgas gebruikt, meestal argon, voor de hogere isolatiewaarden soms krypton. Verwacht wordt dat de hoeveelheid edelgas in de spouw per jaar met enkele procenten zal afnemen. Beide gassen zijn niet schadelijk voor de gezondheid of het milieu. Extra geluidisolatie is te bereiken door de binnenruit (aan woningzijde) samen te stellen uit gelaagd glas met een PVB(A)-folie ertussen;
- De breedte van de spouw(en). De meest gunstige waarde wordt verkregen bij een spouwbreedte van 15 - 20 mm;
- Het type afstandhouder. Afstandhouders zijn meestal gemaakt van aluminium of RVS. Deze vormen een aanzienlijk warmtelek tussen het binnen- en buitenblad. Dit warmtelek is te verminderen door kunststof afstandhouders toe te passen (afbeelding 5.32). In NTA 8800 bijlage L [30] wordt ingegaan op de invloed van afstandhouders op de thermische kwaliteit van de totale raamconstructie.

Het warmteverlies van het gehele raam is naast het type glas en afstandhouders ook afhankelijk van het kozijn: zie verder paragraaf 5.1.5.

Het warmteverlies van een totaal raam is (ook) te verbeteren door het toepassen van bouwkundige elementen zoals warmte-isolerende luiken en rolgordijnen (zie hieronder).

Afb. 5.32 Voorbeeld van de invloed van het type afstandhouder op de U_w (= U-waarde van een totaal raam). Uitgangspunten: De kozijnen van kunststof en aluminium zijn voorzien van een zeer goede onderbreking van de thermische brug; het kozijnoppervlak is 25% van het totale raamoppervlak, psi-waarden (ψ -waarden) afstandhouders (in $W/(m \cdot K)$): aluminium afstandhouder bij hout en kunststof kozijn 0,074, bij aluminium kozijn 0,115; kunststof afstandhouder bij hout en kunststof kozijn 0,033, bij aluminium 0,041. Er zijn ook andere psi-waarden mogelijk, dit is mede afhankelijk van het soort kunststof; zie voor forfaitaire psi-waarden bijlage I van NTA 8800 [30]. (Bron: psi-waarden: Saint-Gobain Glass)

| U-waarde [$W/(m^2 \cdot K)$] | Houten kozijn | Kunststof kozijn | Aluminium kozijn |
|--|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | $U_{\text{kozijn}} = 1,3$ | $U_{\text{kozijn}} = 1,3$ | $U_{\text{kozijn}} = 1,3$ |
| $U_{\text{glas}} = 1,1$ Met aluminium afstandhouder | $U_w = 1,34$ | $U_w = 1,34$ | $U_w = 1,46$ |
| $U_{\text{glas}} = 1,1$ Met kunststof afstandhouder | $U_w = 1,24$ | $U_w = 1,24$ | $U_w = 1,26$ |



Afb. 5.33 Principe-opbouw HR⁺⁺-glas. Warmtestraling wordt door de metaallaag in de woning teruggekaatst, zonnestraling wordt doorgelaten

Aandachtspunten:

- Op de afstandhouder zijn vaak gegevens over de beglazing afgedrukt, waaronder de U-waarde. Dergelijke informatie is echter niet verplicht;
- Met drie- en viervoudige beglazing kan men U-waarden voor het glas realiseren beneden de 1,0. Nadeel is dat de TL- en g-factoren eveneens afnemen en dat het gewicht door de extra ruit(en) sterk toeneemt. Er is glas verkrijgbaar waarbij de extra laag (of lagen) uit folie bestaat waardoor

het gewicht dus niet toeneemt ten opzichte van HR⁺⁺-glas; ook de dikte van dergelijk glas met folie is geringer;

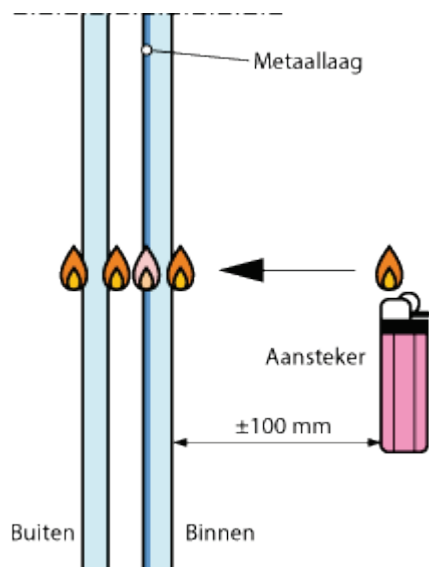
- Goed isolerend glas zoals HR⁺⁺-glas is gevoelig voor thermische breuk. Deze ontstaat door temperatuurverschillen van zo'n 30 °C en meer in het oppervlak van het glas. Thermische breuk kan worden voorkomen door gehard glas (Heat Soak getest) toe te passen. De kans op thermische breuk is te verkleinen door o.a.:
 - Gedeeltelijke beschaduwing te voorkomen; breng geen objecten of zonwering aan op geringe afstand van het glas; zo is bij verticale doeken screens bij gedeeltelijke sluiting een reële kans op breuk aanwezig;
 - Geen folie of stickers op het glas te plakken;
 - Verwarmingselementen niet te dicht bij ramen te plaatsen.

Zorg er voor dat bewoners informatie krijgen over het risico van thermische breuk. Meer informatie: www.kenniscentrumglas.nl [108].

- Naarmate beglazing beter isoleert, is de kans op condensatie aan de buitenzijde van het raam groter. Het risico op condensvorming is het grootst in de ochtenduren in het voor- en najaar. De condens verdwijnt zodra de buitentemperatuur stijgt en de luchtvochtigheid afneemt. Eventuele condensvorming komt niet door een fout in het product, maar is juist het gevolg van de zeer hoge warmte-isolatie van de beglazing. Voorzieningen die de uitstraling naar de hemelkoepel beperken, zoals een dakoverstek en goot, verminderen de condensatie. Condensvorming is echter niet geheel te voorkomen.

Tip:

Om te herkennen waar warmte- of zonreflecterende coatings in HR⁺⁺- of drievoudig glas zijn aangebracht, is een trucje voorhanden (afbeelding 5.34). Dit trucje is handig om te kunnen controleren of het glas met de juiste zijde naar binnen c.q. naar buiten geplaatst is. Bijzondere soorten glas zoals zonwerend glas moeten namelijk op één bepaalde wijze worden aangebracht, zie de informatie van de fabrikant. Voor de warmte-isolatie van beglazing maakt het echter niet uit welke zijde waar geplaatst wordt. Toch is het aan te bevelen om 'normaal' HR⁺⁺-glas of drievoudige beglazing in een woning alle op dezelfde wijze te plaatsen om eventuele kleurverschillen te voorkomen.



Afb. 5.34 Trucje ter controle van de juiste plaatsing van goed-isolerend glas (met metaallaag): Houd aan de woningzijde van het glas, op ± 0,1 m afstand hiervan, een brandende aansteker. Naar buiten kijkend, zie je dan (bij HR⁺⁺- glas) vier vlammetjes reflecteren. Het tweede vlammetje behoort een afwijkende kleur, meestal blauw/rose, te hebben omdat in dit voorbeeld de metaallaag op de binnenste glaslaag aan de spouwzijde is aangebracht.

Warmte-isolerende luiken

Volgens NTA 8800 geldt dat voor ramen die zijn voorzien van warmte-isolerende (rol)luiken, het energiebesparende effect in het stookseizoen mag worden meegenomen. Dit kan door de U-waarden met en zonder (rol)luik rechtlijnig te middelen en deze gemiddelde waarde in de berekening in te voeren. De norm gaat er dus vanuit dat de (rol)luiken de helft van de tijd in gebruik zijn. Er zijn twee voorwaarden:

- De (rol)luiken moeten vanuit de woning handmatig of automatisch te bedienen zijn;
- De (rol)luiken bedekken het volledige raam inclusief kozijn.

Door het toepassen van niet-permanente isolatie zoals isolatieluiken kan de isolatiewaarde van een raam tijdelijk verhoogd worden. Het gebruik en daarmee dus een verbeterde isolatie, is echter volledig afhankelijk van de bewoner. Sowieso zullen overdag luiken in veel gevallen 'open' staan vanwege dag- en zonlicht en uitzicht. Isolatieluiken kunnen (wel) interessant zijn voor speciale toepassingen zoals in seizoensvariabele gevels. In het stookseizoen kan bijvoorbeeld een groot glasoppervlak in de noordgevel met luiken gedeeltelijk worden gesloten.

Luiken zijn zowel aan de binnen- als aan de buitenzijde van het raam mogelijk. Schuifluiken kunnen bij een brede spouw in de beglazing ook tussen de ruiten aangebracht worden. Let op:

- Bij het toepassen van isolatieluiken moet in het achterliggende vertrek altijd ventilatie mogelijk blijven. Bij gebalanceerde ventilatie leveren ze vanzelfsprekend geen problemen op;
- Luiken moeten goed aansluiten op het kozijn. Dit vraagt om een uitgekiend ontwerp, vooral wanneer het gaat om buitenluiken die vanuit de woning te bedienen moeten zijn. Bij binnenluiken moet de kierdichting erg goed zijn om de kans op condensatie op de ramen te verkleinen;
- Luiken kunnen vluchtwegen blokkeren.

Warmte-isolerende (rol)gordijnen

Ook (rol)gordijnen, verhogen de isolatiewaarde van een raam, vooral als ze voorzien zijn van een warmtereflecterende laag. Met name bij serres zijn ze interessant, zeker als de serre van enkel glas is: de (rol)gordijnen kunnen dienst doen als (nacht)isolatie en als zonwering. Ter illustratie: De U-waarde van de totale raamconstructie bedraagt bij enkel glas in een houten kozijn voorzien van zo'n rolgordijn met zijgeleiding $3,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ [114], in plaats van circa $5,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ zonder rolgordijn.

Translucente isolatiematerialen

Translucente isolatiematerialen (TIM's) zijn lichtdoorlatend, maar ondoorzichtig. Ze isoleren redelijk tot goed. Er bestaan diverse typen. Meestal is zowel aan de binnen- als buitenzijde een afdekking nodig van bijvoorbeeld een glas- of kunststofplaat. Zo is een plaat verkrijgbaar bestaande uit twee glasplaten gevuld met aan elkaar grenzende kunststof buisjes met een doorsnede van enkele millimeters. De buisjes staan loodrecht op het vlak van de beide glasplaten waartussen ze zijn opgenomen; de dikte van de plaat is 50 mm en de U-waarde bedraagt $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. TIM's kunnen ook in transparant stucwerk verwerkt zijn waarbij de stuclaag bestaat uit lichtdoorlatende hars met glasparels.

Ook kunnen aerogels (op basis van silicium) als TIM worden gebruikt. Ze kunnen o.a. in de vorm van korreltjes tussen glasplaten aangebracht zijn. De ruimte tussen beide platen kan vacuüm worden gezogen waardoor de isolatiewaarde (excl. randeffecten) zeer hoog is: circa 8 à 10 x zo goed als de gebruikelijke isolatiematerialen in de bouw. De λ -waarde bedraagt circa $0,004 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ zonder het negatieve effect van de randafwerking [116]. Deze randafwerking vormt nog een probleem qua thermische brug en levensduur van de panelen.

Translucente materialen bieden een goed perspectief voor toepassingen waar uitzicht geen rol speelt, maar de toetreding van (diffuus) licht en zonne-energie wel (bovenramen, dakramen). Echter, gezien de relatief hoge kostprijs van TIM's en de ontwikkelingen van nieuwe glassoorten, is het twijfelachtig of TIM's ooit op grote schaal toegepast zullen worden [98].

5.2.2 Zonwering

Binnenkomende zonnewarmte levert 'gratis' warmte in de winter (zie paragraaf 4.2). In de zomer is zonnewarmte juist vaak ongewenst vanwege mogelijk te hoge binnentemperaturen.

Bij de energieprestatieberekening wordt rekening gehouden met de benodigde energie om de ongewenste warmte 'weg te koelen'. Door toepassing van o.a. zonwering kan deze koeling voorkomen worden hetgeen extra energieverbruik voorkomt. Zonwering wordt daarom in de berekening gewaardeerd, maar alleen wanneer de zonwering deel uit maakt van het project en dus aangebracht is voor de oplevering van het project.

De zombijdrage is afhankelijk van:

- De zonnewarmte-doorlatende eigenschappen, g-factor (zie afbeelding 5.31);
- De aanwezigheid en eigenschappen van zonwering. Zie paragraaf 4.2.1 voor enkele suggesties voor de detaillering van de gevel bij het toepassen van zonwering.

Uiteraard zijn ook de oppervlakte, de oriëntatie en eventuele belemmeringen van de ramen, daklichten enz. van belang (zie paragraaf 4.1 en paragraaf 4.2).

Er zijn verschillende vormen van zonwering, zie ook 'Vat op de zon' [117]:

- Buitenzonwering;
- Vaste, bouwkundige elementen (bijv. Overstekken);
- Binnenzonwering;
- Zonwering in een glasspouw;
- Zonwerende beglazing, doorzicht-pv-panelen;
- Vegetatie



Afb. 5.35 Voorbeeld van een project waarbij de beweegbare zonwering bij de koopprijs inbegrepen was. Een deel van de gevel is voorzien van doorzicht-PV-panelen, ook een vorm van zonwering. De woningen liggen in De Energiewijk in Roomburg te Leiden. (Betrokken partijen: Planontwikkeling: Gemeente Leiden; Architect: Han van Zwieten Architecten bna; Ontwikkelaar/aannemer: ACL; Aannemingscombinatie Leiderdorp; Realisatie 2004)

Bewonersvoorlichting: Te warm in de zomer?

Geef bewoners duidelijke informatie over zonwering en ventilatie, bijvoorbeeld in de vorm van de volgende tekst:

Gebruik bij warm zonnig weer bij voorkeur buitenzonwering en ventileer in ruime mate met buitenlucht zolang deze nog koeler is dan de binnenlucht. Dit zal vooral 's nachts en 's ochtends vroeg het geval zijn. Zet ramen en deuren open, maar let op insluipers! Laat eventueel anti-inbraakstangen in sommige ramen aanbrengen zodat u die zonder risico van inbraak open kunt laten staan.

Zonnewarmte-doorlatende eigenschappen, zonwerende beglazing

De zontoetredingsfactor (g-factor) geeft de verhouding tussen de binnenkomende en de totale opvallende zonnestraling; zowel de directe als de diffuse straling zijn hierin verdisconteerd. Hoe hoger de

g-factor, hoe meer zon er binnen komt. De lichttoetredingsfactor (TL-factor) geeft de verhouding tussen de binnenkomende en de opvallende zichtbare zonnestraling bij een loodrechte invalshoek. Hoe hoger de TL-factor, hoe meer daglicht er binnen komt.

De zonwerende eigenschappen van beglazing kan verhoogd worden door het toepassen van zonreflecterend glas (met behulp van coatings) of van zonabsorberend glas. Met zonreflecterende coatings is een betere mate van zonwering te bereiken dan met zonabsorberend glas, vandaar dat moderne glastypen uitgaan van reflecterende coatings. Reflecterende beglazingen voor woningbouw hebben g-factoren van 0,40 à 0,50. Zo is een zonwerend HR⁺⁺-glas verkrijgbaar met een g-factor van 0,41 en een TL-factor van 0,68. Ter vergelijking: De modernste heldere (niet-zonwerende) HR⁺⁺-glastypen hebben g-factoren van circa 0,50 à 0,55 en TL-factoren van rond de 0,70.

Let erop dat een hoge g-factor over het algemeen een (geringe) verlaging van de daglichttoetreding (TL-factor) betekent t.o.v. helder glas. Daarbij verkleuren zonwerende beglazingen het daglicht soms in enige mate. Nadeel van zonwerende beglazingen is dat de zonnewarmte ook in de winter geweerd wordt terwijl dan juist een bijdrage van passieve zonne-energie gewenst is.

Buitenzonwering

De beste zonwering wordt verkregen als de zonnestraling buiten het glas wordt opgevangen. Buitenzonwering levert daarom de grootste mate van zonwering op. In de wintersituatie, wanneer de zonnewarmte juist welkom is, kan de zonwering omhoog gelaten of weggeschoven worden. Typen buitenzonwering zijn: uitvalschermen, (rol)screens, schuifschermen, buitenjaloezieën en markiezen. De mate van zonwering is voor bijna alle uitvoeringen goed tot zeer goed. In de NTA 8800 zijn forfaitaire waarden opgenomen voor de waardering van verschillende typen zonwering binnen de energieprestatieberekening. Informeer bij de (kleur)keuze van het doek altijd naar de g- en TL-factor en kies voor een gunstige combinatie. De g-factor van buitenzonwering in combinatie met HR⁺⁺-glas varieert bij screens van ruim 0,05 tot ca. 0,20, afhankelijk van glas- en doeksoort. Dit houdt dus in dat nog slechts 5 à 20% van de opvallende zonnewarmte binnenkomt. Bij andere buitenzonweringssystemen worden vergelijkbare waarden gehaald.

Aandachtspunten (zie ook paragraaf 4.2.1):

- Goede bevestigingspunten;
- Géén belemmering ventilatietoever (gevelroosters en ramen);
- Géén extra opgewarmde lucht binnenhalen via ventilatietoever;
- Windvastheid;
- Kans op thermische breuk verkleinen (zie paragraaf 5.2.1).

Vaste, bouwkundige elementen

Dit betreffen elementen als uitkragingen en vaste luifels, die in het bouwkundig ontwerp zijn opgenomen. Qua zonwerende werking vallen ook vaste buitenzonweringen onder deze groep. Door deze elementen wordt het glasvlak ten dele beschaduwd. De mate van beschaduwing hangt uiteraard af van de zonnestand ten opzichte van de gevel: De g-factor is variabel. Een ander kenmerk van deze wijze van zonwering is dat ze, net als bij zonwerende beglazing, steeds aanwezig is, dus ook in de winter als de zonnewarmte juist welkom is.

Praktisch gezien is de toepassing van luifels hoofdzakelijk interessant voor gevels tussen zuidoost en zuidwest. De hoogstaande zon in de zomer wordt goed tegengehouden terwijl de laagstaande winterzon wel wordt doorgelaten. Bij andere geveloriëntaties is de zonnestand, ook in de zomer, te laag om met luifels een redelijke mate van zonwering te bereiken.

Binnenzonwering

In plaats van buitenzonwering is ook binnenzonwering te gebruiken, maar dergelijke zonwering heeft veel minder effect: Globaal weert buitenzonwering twee maal zoveel zon als binnenzonwering. De mate van zonwering hangt af van het type en de kleur van de binnenzonwering.

Een redelijk goede zonwering aan de binnenzijde kan alleen gerealiseerd worden met sterk zonlichtreflecterende (rol)gordijnen of lamellen. Deze bestaan uit een dichtgeweven doek of uit een folie en zijn voorzien van een opgedampte aluminiumlaag aan (tenminste) de raamzijde van de zonwering. De

g-factor van dergelijke binnenzonwering in combinatie met HR⁺⁺-glas bedraagt zo'n 0,30 tot zelfs 0,25. Het beste resultaat wordt behaald als beide zijden van de zonwering van zo'n reflectielaag zijn voorzien.

In de energieprestatieberekening (NTA 8800) kan een gebouwgebonden automatisch gestuurde binnenzonwering ook gewaardeerd worden. Dit heeft een positief effect op de energieprestatie-indicatoren.

Zonwering in een glasspouw

Ook is zonwering tussen 2 glaslagen mogelijk. Voordeel ten opzichte van buitenzonwering is dat men geen rekening hoeft te houden met de invloed van wind. Het is een ingewikkelde oplossing die wel in de utiliteitsbouw, maar (nog) niet veel in de woningbouw wordt toegepast.

5.2.3 Daglichttoetreding

De toetreding van daglicht in een vertrek is één van de factoren die de bruikbaarheid van het vertrek bepalen. Relatief weinig daglicht (en uitzicht) leidt tot een negatieve beleving van de ruimte en extra elektriciteitsverbruik voor verlichting (zie paragraaf 10.1). De daglichttoetreding (zie ook paragraaf 4.3) is o.a. afhankelijk van de lichtdoorlatende eigenschappen van een raam of daklicht.

Daglicht-doorlatende eigenschappen

De lichttoetredingsfactor (TL-factor, zie ook afbeelding 5.31) geeft de verhouding tussen de binnenkomende en de opvallende zichtbare zonnestraling (daglicht) bij een loodrechte invalshoek. Zonwerende en warmte-isolerende coatings verlagen de TL-factor. Ook de derde glaslaag bij drievoudige beglazing verlaagt de TL-factor, dit ten opzichte van dubbele beglazing (HR⁺⁺-glas).

Lichtniveauverschillen

Het is aan te bevelen om te sterke contrasten in daglicht zo veel mogelijk te beperken; dit vanwege het visuele comfort. Bijkomend voordeel is dat bewoners minder snel kunstlicht zullen gebruiken. Geef kozijnen bijvoorbeeld een lichte kleur en verdeel de daglichtopeningen (ramen en deuren met beglazing) over de gevel(s). Gebruik zo mogelijk daklichten of 'tubes' / 'daklichtspots' (zie paragraaf 4.3).

5.3 Bouwkundige 'massa': zwaar of licht bouwen?

De 'massa' (eigenlijk gaat het om de warmtecapaciteit, zie kader) van een woning speelt een belangrijke rol in het afvlakken van de temperatuurvariatie. Een 'lichte' woning warmt relatief snel op en kan weer snel afkoelen, terwijl een 'zware' woning een relatief lange opwarmtijd heeft, maar haar warmte ook lang vasthoudt. De 'snelle' opwarming van een lichte woning is in de winter een voordeel, maar in de zomer een nadeel. Voor een zware woning geldt het omgekeerde.

De 'massa' heeft een grote invloed op de berekening van de eerste BENG indicator (de energiebehoefte). Uiteraard werkt dit ook door in de tweede BENG indicator (het primair fossiel energiegebruik) volgens NTA 8800.

De eerste BENG indicator (energiebehoefte) bestaat uit de optelling van de warmtebehoefte en de koudebehoefte. Bij een lichte thermische massa stijgt met name de koudebehoefte hard, waardoor de totale BENG 1-energiebehoefte stijgt. Het effect is ongeveer 5 kWh_{th}/m² bij een grondgebonden woning. Wanneer in een lichte woning geen maatregelen getroffen worden om de opwarming van de woning tegen te gaan (denk aan zomernachtventilatie en buitenzonwering), dan kunnen al snel comfortklachten optreden in de zomerperiode. Ook blijkt de BENG 1 indicator in die gevallen zeer snel op te lopen, waardoor niet meer voldaan wordt aan de eisen uit het Bouwbesluit. Het treffen van aanvullende maatregelen is dan noodzakelijk.

Wat wordt verstaan onder 'lichte' en 'zware' 'massa'?

Let op: het gaat eigenlijk niet om de 'massa' maar om de 'effectieve interne warmtecapaciteit' (zie paragraaf 7.7 van NTA 8800 [30]). De effectieve interne warmtecapaciteit is in de NTA gerelateerd aan de massa van de constructie per $m^2 A_g$. De NTA 8800 onderscheidt vier forfaitaire categorieën:

- Volledig houtskeletbouw, staalframebouw staalskeletbouw met houtskeletbouw of staalframebouw vloeren (massa constructie per $m^2 A_g \leq 250 \text{ kg/m}^2$);
- Houtskeletbouw, staalframebouw en staalskeletbouw met staal-beton of niet massieve betonnen vloeren. Dragend metselwerk met houten vloeren (denk aan vooroorlogse woningbouw) (massa constructie per $m^2 A_g$ 250 tot 500 kg/m^2);
- Betonnen kolom-ligger skeletbouw met niet-massieve betonnen vloeren of dragend metselwerk met niet- massieve betonnen vloeren (denk aan woningbouw in de wederopbouwperiode) (massa constructie per $m^2 A_g$ 500 tot 750 kg/m^2);
- Betonnen wand-vloer skeletbouw met massieve en niet-massieve betonnen vloeren of dragend metselwerk met massieve betonnen vloeren (denk aan woningbouw uit de Vinexperiode) (massa constructie per $m^2 A_g \geq 750 \text{ kg/m}^2$).

In de omschrijvingen wordt met massief bedoeld: een massa van de constructie $> 100 \text{ kg/m}^2$. Hieronder vallen steenachtige materialen zonder afscherming door binnenisolatie.

Met licht wordt bedoeld: een massa van de constructie $\leq 100 \text{ kg/m}^2$. Hieronder vallen houtskeletbouw en staalskeletbouw en steenachtige materialen met een niet-massieve afscherming aan de binnenzijde, zoals binnenisolatie.

Het is binnen NTA 8800 ook toegestaan om zelf de effectieve interne warmtecapaciteit te berekenen. In bijlage B van NTA 8800 staat deze methode beschreven. Met name bij lichte woningen kan het lonen om deze uitgebreide berekeningsmethode te volgen.

Een 'licht' gebouw thermisch actief maken

Een licht gebouw kan thermisch 'actief' worden door gebruik te maken van een 'fase-transformatiemateriaal' ('phase-change material', afgekort PCM). Het is mogelijk om PCM's in bouwmaterialen of bouwproducten zoals panelen op te nemen, waardoor de thermische capaciteit aanzienlijk wordt vergroot terwijl de massa (gewicht) nauwelijks toeneemt. Ook kan PCM worden ingebouwd in installaties zoals een ventilatie-unit met WTW. De werking van PCM's is als volgt: Zodra de ruimtetemperatuur boven globaal 25°C komt, gaan de PCM's over van vaste naar vloeibare vorm. De hiervoor benodigde warmte wordt uit de omgeving onttrokken. Zodra de ruimtetemperatuur weer afneemt, stolt het materiaal en geeft de warmte weer af. Het koelend c.q. verwarmend effect kan in een woning wel enkele $^\circ\text{C}$ bedragen [118]. PCM's bestaan al vrij lang, maar worden in de bouw nog nauwelijks toegepast [119]. Er is een Nederlandse fabrikant die kant-en-klare producten levert. In NTA 8800 (paragraaf 7.8.4) [30] is het mogelijk om het effect van PCM's via de berekeningsmethode van bijlage B (de uitgebreide berekening van de effectieve interne warmtecapaciteit) in rekening te brengen.