



SKH-Publicatie 11-01 d.d. 25-09-2012
Vervangt versie d.d. 15-03-2012

(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

Uitgave: SKH
Nadruk verboden

Deze publicatie is samengesteld door:

De Groot Vroomshoop B.V., A. Brinks
DEVENTER Profielen, ing. J.C.A Schoenmakers
Metsä Wood Holland B.V., J.A.A. van Everdink
Hebo Kozijnen B.V., D. Roordink
Ir. W.H. Olthof
Nederlandse Bond van Timmerfabrikanten, G. Buitenhuis
Nieman Raadgevende Ingenieurs B.V., ir. H.J.J. Valk
PRODAK, ir. A.A. van Moorsel
SHR, ing. R.J.E. Hillebrink
SKH, R.E. van Galen
Timmerfabriek Overbeek, ing. A.J. Overbeek
Trecodome, ir. J.M. Boonstra
VDM Woningen, ing. A.G. Terpstra
Vereniging van Houtskeletbouwers, ir. P. de Graaf

Uitgever:
Certificatie-instelling SKH
Postbus 159
6700 AD WAGENINGEN
Telefoon: (0317) 45 34 25
Fax: (0317) 41 26 10
Email: mail@skh.org
Website: <http://www.skh.org>

© SKH

Niets uit dit drukwerk mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van SKH, noch mag het zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

INHOUD

1	INLEIDING	4
1.1	Bouwbesluit	4
1.2	Energiezuinig bouwen	4
1.3	Elementen voor energiezuinig bouwen	4
1.4	Toepassingsgebied	5
2	GELDIGHEID	6
3	DEFINITIES	7
4	THEORIE EN ACHTERGROND.....	11
4.1	Bouwbesluit en EPC	11
4.2	Energiezuinig bouwen in de praktijk	11
4.3	Passief bouwen	12
4.4	Rekenmethoden	15
4.5	Test- en onderzoeksmethoden	16
4.6	Uitgangspunten	20
4.7	Duurzaamheid	28
5	EISEN ELEMENTEN	29
5.1	Houten gevelelementen (kozijnen)	29
5.2	Houten buitendeuren	32
5.3	Binnenspouwbladsegmenten en HSB wanden	33
5.4	Houtachtige dakconstructies	34
5.5	Houtachtige dakkapellen	34
5.6	Dakramen	34
6	VOORBEELDEN VAN AANSLUIT- EN AFWERKINGSDETAILS	35
6.1	Fundering- en vloerdetails	36
6.2	Vloer- en deurdetails	37
6.3	Vloer- en spouwmuurdetail	39
6.4	Kozijn aansluitdetails	40
6.5	Verdiepingsvloerdetail	42
6.6	Spouwmuurdetail (woningscheidend)	43
6.7	Kopgeveldetail	44
6.8	Sporenkapdetails	45
6.9	Dakdetail (woningscheidend)	46
6.10	Kopgevel dakdetail	47
6.11	Nokdetail	48
6.12	Dakraamdetail	49
6.13	Dakelement detail (verbinding dakelementen)	51
6.14	Dakkapel detail	51
7	PRESTATIE-EISEN MATERIALEN	52
7.1	Hout	52
7.2	Plaatmaterialen	53
7.3	Isolatiemateriaal	53
7.4	Folie	54
7.5	Tape	54
7.6	Dichtingsmaterialen	55
8	LIJST VAN VERMELDE DOCUMENTEN.....	56

1 INLEIDING

1.1 Bouwbesluit

Nederland kent reeds sinds 1995 minimumeisen voor de energieprestatie van nieuwe gebouwen, in de vorm van de energieprestatie-coëfficiënt (EPC), zowel voor woningen als voor utiliteitsgebouwen. Vanaf 2021 stelt de EU strengere eisen aan het energieverbruik van nieuwe gebouwen. De doelstelling van de Nederlandse overheid is om de komende jaren de EPC gefaseerd te verlagen. Voor gebouwen wordt daarbij het volgende tijdspad aangehouden:

2006	EPC \leq 0,8
2011	EPC \leq 0,6
2015	EPC \leq 0,4
2020	EPC \leq 0 (energieneutraal)

Om eenheid te scheppen in de oplossingen op het vlak van houttoepassingen voor een energiezuinig gebouw is deze publicatie geschreven, gericht op de productie van elementen voor energiezuinige gebouwen. In deze publicatie wordt een en ander omschreven hoe deze elementen tot stand komen, berekend, geproduceerd en geplaatst moeten worden met daarbij de aansluitdetails.

1.2 Energiezuinig bouwen

Om te komen tot energiezuinig en zelfs energieneutraal bouwen zijn combinaties van maatregelen nodig. In de markt wordt soms gekozen voor installatietechnische oplossingen. Hoewel er in een gebouw altijd installatietechniek nodig zal zijn, is het uitgangspunt voor deze publicatie dat energiezuinigheid zo veel mogelijk bereikt wordt door een hoogwaardige thermische schil als uitgangspunt te nemen. Dat wil zeggen met een hoge mate van isolatie in dichte en transparante delen en met een zeer goede luchtdichtheid. Een investering in de gevel is over het algemeen er één voor 75 jaar en is daarmee een meer duurzame investering dan een investering in installaties met een gemiddelde levensduur van 15 jaar.

Een van de methoden om te komen tot een aanzienlijke verlaging van het energiegebruik van gebouwen is te bouwen volgens het principe 'Passief Bouwen'. Dit is een bouwwijze die uitgaat van een optimale zonoriëntatie, een zwaar geïsoleerde thermische schil, uitstekende luchtdichtheid en gebalanceerde ventilatie. Op deze wijze wordt een groot deel van de bescheiden energievraag gedekt door passieve zonne-energie, daarom 'Passief Bouwen'. Voor de resterende warmtevraag wordt een qua vermogen bescheiden verwarmingsinstallatie gebruikt, die eventueel geïntegreerd kan worden met het ventilatiesysteem.

Een woning of gebouw gebouwd volgens de principes van Passief Bouwen is (nog) niet zonder meer energieneutraal, er is nog enig energie gebruik voor ruimteverwarming, tapwater en hulpenergie (circulatiepomp en ventilatoren). Hoewel de berekeningsmethoden (PHPP en EPC) onderling sterk verschillen kan als indicatie gegeven worden dat een woning gebouwd volgens Passief Bouwen een EPC zal hebben die uitkomt rondom de 0,4.

1.3 Elementen voor energiezuinig bouwen

De publicatie is niet uitsluitend bedoeld voor projecten die gebouwd worden om te voldoen aan het certificaat 'PassiefBouwen Keur', maar heeft een bredere betekenis. De omschreven elementen kunnen worden toegepast in alle gebouwen die met een hoogwaardige thermische schil zijn ontworpen. Omgekeerd is het zo dat een gebouw dat met deze elementen wordt gerealiseerd niet automatisch voldoet aan alle uitgangspunten van Passief Bouwen. Dat zal moeten blijken uit een beoordeling en berekening van het gehele project volgens de PHPP methode. In deze publicatie wordt daar nader op ingegaan.

1.4 Toepassingsgebied

Deze publicatie heeft betrekking op het volgende:

- houten gevelelementen (kozijnen)
- houten buitendeuren
- binnenspouwbladsegmenten
- dragende binnen- en buitenwanden
- houtskeletbouw
- houtachtige dakconstructies
- houtachtige dakkapellen
- houten vloeren
- houten I-liggers

(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

2 GELDIGHEID

Deze publicatie heeft een informatief en adviserend karakter en wordt regelmatig aangepast bij nieuwe ontwikkelingen en veranderingen in regelgeving m.b.t. energiezuinig en luchtdicht bouwen.

(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

3 DEFINITIES

Blowerdoortest	Het is de bepaling van de luchtdoorlatendheid volgens NEN 2686. De test bepaald de luchtstroom over de thermische schil bij gegeven drukverschil. Tijdens de test wordt het gebouw op overdruk of onderdruk gezet om lekken in de gebouwschil te identificeren en kwantificeren. Eén van de belangrijkste tests om een gebouw te beoordelen op energieprestatie en om een algemene indruk te krijgen van de uitvoeringskwaliteit.
Dampopen bouwen	Dampopen bouwen wil zeggen, dat er geen dampremmende folie aan de binnenzijde van de buitenwand is toegepast. De opbouw van de geïsoleerde buitenwand is dan zodanig, dat er geen (blijvende) inwendige condensatie kan plaats vinden. Belangrijke voorwaarde is dat de materiaallagen aan de buitenzijde (spouwzijde) van de wand voldoende dampdoorlatend zijn.
EI	De Energie Index (EI) is een begrip uit de berekening van het Energielabel en het Energie Prestatie Advies (EPA). Een EPA wordt gegeven door een EPA-adviseur. Hij/zij berekent de energiekwaliteit van een bestaande woning of wooncomplex aan de hand van een Energie Index. Dit indexgetal maakt een vergelijking mogelijk van de energiekwaliteit tussen woningen van hetzelfde type. De EI is niet hetzelfde als de EPC: zowel de EI als de EPC zeggen iets over de energieprestatie van een gebouw, onafhankelijk van het bewonersgedrag en de grootte van het gebouw. Ze zijn echter niet uitwisselbaar en ook niet naar elkaar om te zetten. De EPC-berekening is ontwikkeld voor de nieuwbouw, de EI-berekening is ontwikkeld voor de bestaande bouw. Beide formules wijken van elkaar af. Energie Index wordt soms ook geschreven als energie-index.
Energielabel	Energielabel: de korte benaming voor het 'energieprestatiecertificaat voor (bestaande) woningen en gebouwen'. Het energielabel geeft aan in welke klasse van energieverbruik een bouwwerk valt, aan de hand van de berekende EI.
Energieneutraal	Een situatie waarbij over een jaar berekend het energiegebruik van een gebouwd object (woning/gebouw/wijk/kunstwerk e.d.) tenminste nul is: er wordt niet méér energie uit het gas- en elektriciteitsnet betrokken dan er vanuit duurzame bronnen aan wordt toegeleverd. Over het algemeen wordt daarbij als maatstaf het gebouwgebonden energiegebruik beoordeeld en blijft het gebruikersgebonden (huishoudelijk) deel buiten beschouwing. Een energieneutraal gebouw vereist wel een netaansluiting en het energiegebruik is niet kostenneutraal.
EPC	Index die de energetische efficiëntie van nieuwbouw aangeeft, en wordt bepaald door berekeningen vastgelegd in NEN normen 2916 (utiliteitsbouw) en NEN 5128 (woningbouw). In de loop van 2012 wordt de EPC berekend volgens de EPG, NEN 7120.

(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

EPG	<p>De EPG (NEN 7120) is een genormeerde methode om de energieprestatie van gebouwen, zowel bestaand als nieuwbouw en zowel woningbouw als utiliteitsbouw, te berekenen. Het wordt de opvolger van de huidige EPN (NEN 5128 en 2916) en op termijn ook van de EI-berekening voor het Energielabel. De EPG sluit aan op de Europese richtlijn EPBD. Overige verschillen tussen de EPG en de EPN zijn in vogelvucht:</p> <ul style="list-style-type: none"> • de EPG benadert het warmteverlies door ventilatie op een geheel andere manier, • de EPG maakt gebruik van een nieuw referentieklimaat, • de EPG berekent koeling vanuit een forfaitaire benadering, • de EPG bevat nu ook rekenregels voor enkele nieuwe technieken, zoals douchewaterwarmteterugwinning (DWTW), • de EPG bevat een gebouwschilindicator (informatieve waarde).
Gebalanceerde ventilatie	Mechanisch ventilatiesysteem, dat mechanisch verse buitenlucht inblaast en binnenlucht afzuigt. De hoeveelheid afgezogen lucht is gelijk aan de hoeveelheid ingeblazen lucht.
HR++ glas	Hoog-Rendement glas (HR glas) voldoet aan een U-waarde < 1,6 W/m ² K (voor HR+ glas) en < 1,2 (voor HR++ glas). Hoog-Rendement glas bestaat uit twee of zelfs drie ruiten met daartussen een spouw. Driebladig glas wordt ook wel aangeduid met 'triple glas'. Door het aanbrengen van een coating op één van de ruiten en de spouw te vullen met gas heeft dit type beglazing een veel betere isolatiewaarde dan gewoon dubbelglas.
Koudeval	Koudeval is het verschijnsel dat warme lucht bij grote raampartijen afkoelt en vervolgens naar beneden 'valt' waardoor het lijkt of er altijd een tochtstroom aanwezig is.
Luchtdoorlatendheid	Met de luchtdoorlatendheid (aangeduid met q _{v,10}) wordt bedoeld 'de luchtvolumestroom (q _v) die ontstaat via de kieren en naden die zich tussen de verschillende bouwdelen in de omhulling van een gebouw bevinden, bij een drukverschil van 10 Pascal'. De luchtdichtheid wordt gemeten met de n50-waarde. Deze waarde geeft aan hoe vaak het luchtvolume van een gebouw door luchtlekken wordt ververst, en wel bij een druk van 50 pascal per uur
OSB	Oriented Strand Board (OSB) is een bepaald type houtplaat. In het Nederlands: "plaat gemaakt van gerichte houtschilfers". De schilfers (strands) van de buitenlagen zijn evenwijdig aan de plaatlengte gericht (oriented), die van de binnenlaag zijn ofwel willekeurig gestrooid ofwel dwars gericht op de lengterichting van de plaat.
Passief bouwen	Concept voor energiezuinig bouwen en renoveren gebaseerd op het optimaal gebruiken van passieve bronnen (zon, isolatie, interne warmtelast), met daardoor een zeer laag energiegebruik en een goed binnenklimaat, zowel in de winter als in de zomer, zonder traditioneel verwarmings- of koelsysteem: <ul style="list-style-type: none"> • totale energievraag voor ruimteverwarming en koeling 15 kWh/m² netto vloeroppervlakte per jaar (renovatie 25 kWh/m²); • totale primaire energievraag voor alle huishoudelijke toepassingen, warm tapwater, ruimteverwarming en koeling 120 kWh/m² per jaar (renovatie 130 kWh/m²).
Passiefhuis	'Gebouw' - woning of utiliteitsgebouw – gebouwd volgens het concept Passief Bouwen.

(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

PHPP	Het Passief Huis Plannings Pakket (oorspronkelijk: PassivHaus Projectierungs Paket PHPP) is een rekenmethode (spreadsheet) voor het berekenen van het energiegebruik van een gebouw en is de beoordelingsmaatstaf voor passief bouwen.
PSI-waarde	Lijnvormig warmteverlies. Aansluiting tussen 2 vlakken die als U-waarde worden gedefinieerd.
R _c waarde	De R-waarde geeft de warmteweerstand (het warmte-isolerend vermogen) van een constructie aan. De R _c wordt gebruikt voor niet-transparante delen (muren, vloeren, daken). De R _i is de warmteweerstand van een materiaal laag. Met R _c wordt de totale R-waarde aangegeven van een constructie. De R _c is gedefinieerd in NEN 1068.
RV	Relatieve luchtvochtigheid: de verhouding tussen de hoeveelheid waterdamp die aanwezig is en de hoeveelheid waterdamp die bij de gegeven temperatuur maximaal aanwezig kan zijn.
Trias Energetica	Drie stappen-strategie voor energiezuinig bouwen. De stappen geven een prioriteitsvolgorde voor maatregelen. Stap 1 Beperk de energievraag (bijvoorbeeld door isolatie en warmterugwinning) Stap 2 Gebruik duurzame energie (zon, wind, bio-massa) Stap 3 Gebruik voor de resterende energievraag fossiele energie op een zo efficiënt mogelijke manier (bijvoorbeeld met een HR107 ketel)
Triplex	Triplex is een plaatmateriaal gemaakt van hout en is opgebouwd uit een aantal fineerlagen die kruiselings op elkaar verlijmd worden.
U-waarde	Warmtedoorgangscoefficiënt. De U-waarde (vroeger de k-waarde) drukt de hoeveelheid warmte uit die per seconde, per 1 m ² en per graad temperatuurverschil tussen de ene en de andere zijde van een wand (constructie) doorgelaten wordt. De waarde geeft de mate van isolatie aan: een hoge U-waarde betekent een hogere warmtedoorgang en dus een minder goede isolatie. De U-waarde wordt in Nederland gebruikt kozijnen, ramen en deuren. De eenheid voor de U-waarde is W/(m ² .K). Internationaal wordt R _c waarde gebruikt als warmtedoorgangscoefficiënt.
Ventilatiedebiet	Luchtvolumestroom ten behoeve van het ventileren. Symbool: q _v [m ³ /h of dm ³ /s]
Warmtegeleidingscoëfficiënt	De thermische geleidbaarheid of warmtegeleidingscoëfficiënt (symbool λ) is een materiaalconstante die aangeeft in welke mate het materiaal warmte geleidt, het wordt dan ook gebruikt bij de Wet van Fourier (warmteoverdracht door conductie). De warmtegeleidingscoëfficiënt is afhankelijk van de temperatuur, dichtheid en het vochtgehalte. Hij wordt in het SI-stelsel uitgedrukt in W/m.K (de m staat hier voor meter).
Warmterugwinning (WTW)	WTW is een algemeen principe waarbij de warmte van afgevoerde lucht, water (of eventueel een ander medium) wordt overgedragen aan verse, nog niet opgewarmde lucht of water. Bekende toepassingen zijn: <ul style="list-style-type: none"> • toevoer-ventilatielucht die wordt opgewarmd met de warmte uit afvoer-ventilatielucht. Daardoor wordt er minder warmte weg geventileerd; per saldo kost het minder energie om het gebouw/de woning op temperatuur te houden • warmterugwinning uit douchewater: koud leidingwater wordt voorverwarmd door de warmte van het wegstromend douchewater; daardoor kost het minder energie om het te verwarmen voor warmtapwater.

(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

Zonneboiler	Een zonneboilersysteem zorgt ervoor dat het maken van warm tapwater minder energie kost. Er zijn systemen die tevens bijdragen aan de ruimteverwarming, bijvoorbeeld in combinatie met een lage temperatuur afgiftesysteem. Op het dak ligt een zonnecollector die het zonlicht opvangt. De vloeistof die door de collector stroomt, wordt door het zonlicht verwarmd. De collectorvloeistof verwarmt het leidingwater in een opslagvat op zolder. Het leidingwater uit het voorraadvat wordt op weg naar de kraan door een naverwarmer (meestal een cv-ketel) op de juiste temperatuur gebracht.
Zonnepaneel (PV paneel)	Een zonnepaneel of PV-paneel (van het Engelse 'Photo-Voltaic') is een paneel dat zonne-energie omzet in elektriciteit. Hiertoe wordt een groot aantal fofovoltaïsche cellen op een paneel gemonteerd. De zonne-energie die zo wordt opgevangen is een vorm van duurzame energie.

(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

4 THEORIE EN ACHTERGROND

4.1 Bouwbesluit en EPC

In het Bouwbesluit worden voorschriften voor energiezuinigheid gegeven om het gebruik van fossiele brandstof te beperken. De voorschriften in het Bouwbesluit vormen publiekrechtelijke eisen waar ten tijde van bouwaanvraag aan voldaan dient te worden.

De voorschriften ten aanzien van energiezuinigheid hebben uitsluitend betrekking op nieuwbouw. In de gepubliceerde eindversie van Bouwbesluit 2012 worden de volgende eisen gesteld:

- Dichte scheidingsconstructies $R_c > 3,5 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Ramen, deuren, kozijnen $U \leq 2,2 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Luchtdoorlatendheid $q_{v,10}$ waarde $< 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ (woning met maximaal oppervlak 500m^2 volgens NEN 2686);
- EPC-eisen per gebruiksfunctie zie tabel 4.1

Tabel 4.1: EPC-eisen conform Bouwbesluit 2012

Gebruiksfunctie	EPC-eis
woonfunctie	
- woonwagen	1,3
- andere woonfunctie	0,6
bijeenkomstfunctie	2,0
Celfunctie	1,8
gezondheidszorgfunctie	
- met bedgebied	2,6
- andere gezondheidszorgfunctie	1,0
Kantoorfunctie	1,1
logiesfunctie	
- in een logiesgebouw	1,8
- andere logiesfunctie	1,0
onderwijsfunctie	1,3
Sportfunctie	1,8
Winkelfunctie	2,6

De voorschriften voor thermische isolatie van de uitwendige scheidingsconstructie in het Bouwbesluit zijn minimumeisen. Om te voldoen aan de energieprestatiecoëfficiënt zal al snel een hogere waarde worden gekozen. De eisen aan de thermische isolatie van bouwdeelen uit het Bouwbesluit zijn dan ook vooral te beschouwen als een vangneteis.

Passief Bouwen maakt geen onderdeel uit van de bouwregelgeving. Wel kan verwacht worden dat met het aanscherpen van de EPC-eis er steeds meer gebouwen ontworpen worden waarbij grotere isolatiewaarden worden toegepast om aan de EPC-eis te voldoen dan tot voor kort gebruikelijk was. Voor dergelijke gebouwen zijn de in deze publicatie beschreven elementen goed toepasbaar.

4.2 Energiezuinig bouwen in de praktijk

De isolatiewaarden van energiezuinige gebouwen die gebaseerd worden op een goede bouwkundige kwaliteit en een goed isolerende thermische schil zijn vanzelfsprekend aanzienlijk hoger dan de minimale waarden uit het Bouwbesluit 2012. Er kan geen exacte ondergrens worden aangegeven vanaf welke waarde een bouwdeel als 'zeer energiezuinig' wordt gekenmerkt, maar als ondergrens voor deze publicatie kan worden uitgegaan van een $R_c > 5 \text{ m}^2\text{K/W}$.

De isolatiedikte hangt, naast de isolatiewaarde van het toegepaste materiaal en de isolatiewijze, af van de bouwmethode en isolatiewijze en ontwerpvariabelen. In de praktijk komen isolatiediktes voor van 20 – 40 cm. Dat betekent dat de totale geveldikte niet erg afwijkt van de standaardgevel opbouw met een spouwmuur met isolatie in de spouw, wanneer voor een dunne gevelfwerking wordt gekozen.

Bij passief bouwen geldt een minimumwaarde (richtlijn) van $R_c > 6,5 \text{ m}^2\text{K/W}$. In de praktijk worden elementen toegepast van $R_c = 8 \text{ m}^2\text{K/W}$ tot circa $R_c = 12 \text{ m}^2\text{K/W}$. De te hanteren waarde is afhankelijk van het gebouwontwerp.

(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

Keuze voor bouwen met hout

Een specifiek voordeel van houten prefab bouw is de mogelijkheid om elementen te prefabriceren, waardoor de voor energiezuinig bouwen noodzakelijke kwaliteit van uitvoering ook daadwerkelijk kan worden gehaald. Zo is het o.a. bij prefab houtskeletbouw mogelijk dat de kozijnen in de fabriek worden ingebouwd met goede detaillering en goede aansluiting.

Hout als constructief element heeft als nevenvoordeel dat het materiaal zelf een zekere isolatiewaarde heeft, waardoor er niet snel sprake is van koudebruggen in een constructie. Isolatie van prefab houtskelet daken en wanden kan in de fabriek onder gecontroleerde condities plaatsvinden, waardoor blijvend goed aansluitende en volledige isolatie wordt bereikt.

Aandachtspunten

Luchtdicht bouwen

Belangrijk aandachtspunt bij energiezuinig bouwen is het beperken van de luchtdoorlatendheid. Daarmee wordt ongewenste infiltratie van koude buitenlucht (warmte naar buiten) in de winter voorkomen. Met de luchtdoorlatendheid wordt bedoeld de luchtvolumestroom die ontstaat via de kieren en naden die zich tussen de verschillende bouwdelen in de omhulling van een gebouw bevinden.

Een lage luchtdoorlatendheid (ofwel: een hoge luchtdichtheid) wordt bereikt door te zorgen voor goed ontworpen en goed uitgevoerde aansluitingen. Naast de onderlinge aansluiting tussen prefab elementen vragen vooral de aansluitnaden van prefab elementen op steen en beton om de toepassing van de juiste vullingen en afdichtingen, waarmee een blijvend luchtdichte aansluiting wordt gemaakt. Een goede richtlijn voor energiezuinig bouwen is 'klasse 3' uit de SBR- publicatie 'Luchtdicht Bouwen'.

Zie voor grootheden en richtwaarden paragraaf 4.6.4. De luchtdoorlatendheid kan worden bepaald met een blowerdoortest volgens NEN 2686 (zie paragraaf 4.5.2).

Bij passief bouwen geldt voor de luchtdichtheid een aparte en strenge eis. De luchtdichtheid van een passief gebouw moet bij oplevering lager zijn dan $0,6h^{-1}$ (bij 50 Pa) en moet worden aangetoond met een blowerdoortest. De gevraagde luchtdichtheid bij passief bouwen is zeker vier keer beter dan de gangbare bouwpraktijk. De inzet van levensduurbestendige tapes, waarmee naden worden afgeplakt is essentieel om een dergelijke mate van luchtdichtheid te bereiken.

Dampopen bouwen

Luchtdichtbouwen en dampopen constructies zijn twee verschillende principes die in een energiezuinig huis naast elkaar kunnen bestaan. Luchtdicht bouwen is er op gericht dat er geen ongewenste ventilatieverliezen uit de woning optreden. Dampopen bouwen wil zeggen, dat er geen dampremmende folie aan de binnenzijde van de buitenwand is toegepast. De opbouw van de geïsoleerde buitenwand is dan zodanig, dat er geen (blijvende) inwendige condensatie kan plaats vinden. Bij zwaardere isolatiepakketten vindt droging zowel naar buiten als naar binnen plaats. Belangrijke voorwaarde voor dampopen bouwen is dat de materiaallagen aan de spouwzijde van de wand voldoende dampdoorlatend zijn. Wanneer er geen dampremmende folie wordt toegepast, moet de beplating aan de binnenzijde zowel voldoende mate van dampremming en daarnaast de functie van luchtdichting overnemen. Ten behoeve van de luchtdichting dienen er in de aansluitingen dichtingsmaterialen te worden aangebracht en moeten de plaatnaden worden afgeplakt met speciale tape. De luchtdichting dient om convectie en daarmee gepaard gaande inwendige condensatie in de wand te voorkomen.

4.3 Passief bouwen

De term passief bouwen staat voor een specifieke manier van bouwen van gebouwen met een comfortabel binnenklimaat gedurende het gehele jaar, zowel in de zomer als in de winter. Echter, zonder een conventioneel verwarmingssysteem en zonder de toepassing van actieve koeling. Het gebouw is voorzien van een zeer goede thermische isolatie en zeer goede lucht-/kierdichting van de constructie. Een goed binnenklimaat is verzekerd door een goed functionerend gebalanceerd ventilatiesysteem met hoge mate van warmteterugwinning. Zonwering en nachtventilatie voorkomen hoge binnentemperaturen in de zomer.

(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

Door het beperken van warmteverliezen door transmissie via de gevel, ventilatie en infiltratie kan het binnenklimaat goed gecontroleerd en geregeld worden. Tijdens het stookseizoen wordt optimaal gebruik gemaakt van passieve zonnewarmte. Tijdens de zomer wordt directe zoninstraling voorkomen om te hoge binnentemperaturen te voorkomen. Dit resulteert in een gedurende het hele jaar comfortabel gebouw.

De energiebesparing is een gevolg van een integrale aanpak van het beperken van transmissieverliezen en infiltratie- en ventilatieverliezen, het benutten van passieve winsten, het doordacht ventileren, het gebruik van efficiënte apparatuur. Het passiefhuisconcept kan worden uitgevoerd met een verscheidenheid aan technologieën, ontwerpen en materialen.

Passief bouwen beschrijft geen bouwstijl of ontwerp maar streeft een zeer hoge bouwkwaliteit na. Passief bouwen gaat uit van Trias Energetica en heeft daarom beperking van de energievraag als uitgangspunt. Een hoogwaardige thermische schil is daarbij essentieel. Door een zeer goed geïsoleerd gebouw, vrijwel geen warmteverliezen door ventilatie en infiltratie en optimaal gebruik van passieve zonne-energie wordt de energievraag maximaal gereduceerd.

Bij het passief bouwen concept past een installatie die in principe de beperkte warmtebehoefte kan leveren door de warmte mee te geven aan noodzakelijke hoeveelheid ventilatie.

Door gebruik te maken van passieve principes voor zomercomfort, zoals zonwering en zomernachtventilatie wordt ook de behoefte aan actieve koeling maximaal beperkt.

Passief bouwen is geschikt voor woningen, maar ook voor andere bouwtypen. Zo zijn er ook passiefscholen en passiefkantoren, en zelfs passieve supermarkten.

De passief bouwen definitie is concreet gemaakt door de energetische prestatie van een gebouw te bepalen met het PHPP model. De passief bouwen definitie luidt:

- een maximale warmtevraag van 15 kWh/m² gebruiksoppervlak per jaar;
- een maximaal primair energiegebruik van 120 kWh/m² per jaar.

De eis voor passiefrenovatie luidt:

- een maximale warmtevraag van 25 kWh/m² gebruiksoppervlak per jaar;
- een maximaal primair energiegebruik van 130 kWh/m² per jaar.

Naast deze eisen zijn er een aantal richtlijnen, bijvoorbeeld voor de isolatiewaarde van dichte en transparante delen, de luchtdichtheid en de toepassing van gebalanceerde ventilatie. In de praktijk worden de termen 'richtlijn' en 'eis' door elkaar gebruikt. Dat komt ook omdat de richtlijnen niet vrijblijvend zijn. Alleen als de richtlijnen serieus worden geïntegreerd in het ontwerp zijn de eisen voor Passief bouwen haalbaar.

Voor de bepaling van het primaire energiegebruik wordt rekening gehouden met het gemiddelde landelijke opwekendement van elektriciteit en de infrastructuur die nodig is voor transport van energie. Anno 2011 betekent 1 kWh elektriciteitsverbruik in een gebouw, een primair energiegebruik van 2,6 kWh.

Voor andere bouwtypen is de eis aan de maximale warmtevraag ook 15 kWh/m², terwijl er voor het primaire energiegebruik functieafhankelijke waarden kunnen zijn.

In Nederland wordt sinds 2009 het Passiefbouwenkeur verstrekt aan projecten die voldoen aan deze criteria.

(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

4.3.1 Keurmerk Passief Bouwen

In Nederland is een privaatrechtelijk keurmerk voor passieve gebouwen, het PassiefBouwen Keur. Het is mogelijk om een certificaat te krijgen voor een gebouw dat is ontworpen en gebouwd volgens de principes van passief bouwen. Het beoordelen of sprake is van een passief gebouw is een beoordeling op gebouwniveau. Als het gebouw berekend volgens de PHPP-methode (zie 4.4.2) voldoet aan de eisen, dan kan in principe het certificaat 'ontworpen volgens Passief Bouwen' worden verleend.

Het is voor het verkrijgen van het keurmerk geen eis dat er passief-gecertificeerde bouwdelen worden toegepast.

Het Keurmerk wordt in twee fases afgegeven door de stichting PassiefBouwen.nl. Voor alle duidelijkheid: het betreft een keurmerk op gebouwniveau. Enerzijds betekent dit dat de toepassing van passief gecertificeerde elementen niet per definitie leidt tot een gebouw dat voldoet aan het Keurmerk. Anderzijds is voor een gebouw dat voldoet aan het Keurmerk niet vereist dat er passief gecertificeerde elementen worden toegepast.

Fase 1 'Ontworpen volgens de PassiefBouwen Keur'

De aanvrager dient de volgende bescheiden te overleggen:

1. plattegronden, gevels, doorsneden, bouwtechnische details en situatie
2. berekeningen, KOMO[®]-attesten als onderbouwing van de R_c en U-waarden.
3. informatie (attesten) over de installaties
4. EPC-berekening
5. PHPP-berekening (versie 2009-NL)
6. bouwbesluittoetsing.

Op de website van de Stichting is informatie te vinden over relevante buitenlandse producten voor passief bouwen, die over gelijkwaardige, buitenlandse kwaliteitsattesten beschikken. Bij deze buitenlandse kwaliteitsattesten dient o.a. onderzocht te worden of deze ook voldoen aan het bouwbesluit (o.a. op het gebied van inbraakwerendheid).

De Stichting controleert de bescheiden en gaat na of de informatie correspondeert met de gegevens in de PHPP- en EPC-berekening. Bij de toetsing voor het deelcertificaat Ontwerp wordt vastgelegd wat de warmtevraag is volgens PHPP en of deze voldoet aan het gestelde criterium. Bouwkundige details worden beoordeeld volgens toetsprotocol uit het zakboek SBR-referentiedetails.

Regelgeving is Bouwbesluit, de kwaliteit van de details conform de SBR-referentiedetails passief bouwen. De luchtdoorlatendheid van de gebouwschil moet zijn gedefinieerd volgens SBR klasse 3 voor luchtdicht bouwen ($< 0,15 \text{ l/sec/m}^2$).

In het ontwerp is in principe balansventilatie met warmteterugwinning opgenomen, waarbij de teruggewonnen warmte wordt gebruikt voor voorverwarming van de verse luchttoevoer.

Zomernachtventilatie moet mogelijk zijn door zowel:

- een bypass in de balansventilatie-unit;
- de mogelijkheid van doorspuien;
- kleppen of geschikte klapramen.

De toepassing van een zonneboiler en van hotfill-aansluitingen voor geschikte apparatuur wordt aanbevolen, maar niet meegewogen voor de beoordeling. Elektrische weerstandsverwarming mag niet worden gebruikt voor ruimteverwarming en niet voor de hoofd-warmwatervoorziening.

Zodra enigerlei vorm van elektrisch aangedreven verwarmingsbronnen wordt toegepast moet worden berekend of het totale primaire energiegebruik van de in de woning aanwezige apparatuur onder de 120 kWh/m^2 blijft.

Als de aanvrager een toetsingsrapport overlegt van een controle-instituut, dat over de vereiste deskundigheid beschikt, kan het certificaat 'Ontworpen volgens Passief Bouwen' door de Stichting PassiefBouwen.nl afgegeven worden.

(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

Afhankelijk van het geïnstalleerde vermogen van de verwarmingsinstallatie ten opzichte van het benodigde stationaire vermogen wordt gewezen op wellicht wat langere opwarmtijden in relatie tot GIW/ISSO-eisen (opwarmtoeslagen).

Er wordt gewezen op de noodzaak van zorgvuldig bouwen, om koudebruggen en luchtlekken te voorkomen en te bereiken dat ook de installaties tot tevredenheid werken.

Hieraan moet op de bouwplaats extra aandacht worden besteed om tekortkoming en extra werk te voorkomen. Het is aan te bevelen de verblijftijd van geprefabriceerde houten evelelementen in de bouwfase zo kort mogelijk te houden. Als deze elementen in de bouw geplaatst worden moeten ze aanvullend afgedekt worden om te voorkomen dat water in de constructie kan treden.

Het intredende water heeft zwelling van houten delen tot gevolg. Dit vocht zal in de bewoningsfase weer verdampen en krimp geven aan deze elementen. Ten gevolge van deze krimp kunnen ongewenste naden en kieren optreden.

Fase 2 'Gebouwd volgens PassiefBouwen Keur'

Controle tijdens de bouw

Tijdens de bouw worden (minstens) 2 controlebezoeken afgelegd (1x tijdens de gevelsluiting en 1x tijdens de installatiefase) door een adviseur die over deskundigheid beschikt. Het noodzakelijk aantal controles hangt af van de grootte en type project.

Gecontroleerd wordt met behulp van checklisten of de noodzakelijke kwaliteit wordt gerealiseerd. Deze checklisten zijn in te zien en worden met eventuele aanwijzingen verstrekt aan de aanvrager. Vlak voor de oplevering wordt een blowerdoortest uitgevoerd en worden met een flowfinder de ventilatiedebieten gecontroleerd. Als de resultaten onvoldoende zijn wordt na melding van verbetering hernieuwd gemeten.

De resultaten worden verstrekt aan de aanvrager. Tegelijk wordt de bewoners/gebruikersinstructie meegestuurd/afgegeven. Op het eerst mogelijke moment worden de infraroodfoto's gemaakt. De resultaten worden verstrekt aan de aanvrager. Als fouten worden gevonden moeten deze worden hersteld en worden er na hernieuwde gereed melding nieuwe thermische foto's gemaakt.

Als de aanvrager de keuringsrapporten overlegt kan het certificaat 'Gebouwd volgens Passief Bouwen' door de Stichting PassiefBouwen.nl afgegeven worden.

4.4 Rekenmethoden

4.4.1 EPC, EI en NEN 7120

De energetische prestatie voor nieuwbouw wordt uitgedrukt in de energieprestatiecoëfficiënt (EPC). De EPC wordt berekend met behulp van NEN 5128 voor woningbouw en NEN 2916 voor utiliteitsbouw. Deze beide normen zullen op afzienbare termijn (naar verwachting in 2012) worden vervangen door de integrale norm NEN 7120:2010 'Energieprestatie voor gebouwen' (EPG).



NEN 7120 vormt de bepalingsmethode voor het berekenen van de energieprestatie van nieuwbouw (woning- en utiliteitsbouw) en op termijn ook voor de energie-index (EI) van bestaande bouw voor alle gebruiksfuncties. Bij een bouwaanvraag wordt getoetst of aan de EPC-eis uit het Bouwbesluit wordt voldaan. In de bestaande bouw wordt het energiegebruik inzichtelijk gemaakt door de EI en daarvan afgeleid het energielabel. Aan de EI zijn geen minimale prestatie-eisen gesteld, wel heeft een lager energiegebruik in de bestaande bouw financiële voordelen bij verkoop, verhuur en op het woningwaarderingstelsel.

(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

Kortom: met de nieuwe EPG (NEN 7120) kan men zowel de EPC als binnenkort ook de EI berekenen.

Het berekenen van de EPC, het bepalen van de EI en de interpretatie van NEN 7120 valt verder buiten het bestek van deze publicatie.

4.4.2 PHPP rekenmethode

Om aan te tonen dat aan de eisen van een passiefhuis wordt voldaan, wordt de energiebehoefte van een passiefhuis bepaald met de PHPP (PassivHaus Projectierungs Paket) rekenmethodiek. De berekeningsmethode is ontwikkeld door het in Duitsland gevestigde Passivhaus Institut (PHI, Duitsland). De PHPP berekeningsmethode gaat uitsluitend uit van fysische parameters. Deze methode is speciaal geschikt om de prestatie van een gebouw met een zeer lage energievraag te bepalen. De PHPP-NL methode, is de Nederlandse vertaling en aanpassing aan Nederlandse bouwweisen. Deze wordt in Nederland in toenemende mate gebruikt en is ook nodig wanneer men een gebouw als passief wil laten certificeren met het Passiefbouwenkeur.

Het PHPP pakket bestaat uit een rekenmodel in Excel en een handboek en is een belangrijk hulpmiddel om passief bouwen projecten te ontwerpen.

Het rekenmodel omvat

- energieberekeningen inclusief R_c waarden en U waarden
- ontwerp en specificaties van kozijnen, ramen en deuren
- ontwerp en specificaties van het ventilatiesysteem
- bepaling van de netto warmtevraag
- bepaling van het verwarmings- en koelvermogen
- voorspelling over het zomercomfort
- vermogen van verwarming en warm watersystemen
- berekening van hulpenergie, huishoudelijk elektriciteitsverbruik
- berekening van primaire energie en CO₂ emissies.
- diverse hulpmiddelen voor specifieke berekeningen en databases voor klimaatfiles, primaire energiefactoren enz.

Het handboek beschrijft niet alleen hoe met het rekenmodel om te gaan, maar geeft ook de cruciale onderwerpen aan die van belang zijn bij passief bouwen. Zoals advies over luchtdicht bouwen, voorkomen van koudebruggen en beperken van lineaire warmteverliezen.

De PHPP is ontwikkeld als een ontwerp-tool die kan worden gebruikt door de architect en adviseurs om een passief bouwen project te ontwerpen en te optimaliseren.

Daarvoor zijn dynamische modellen gebruikt die gemeten situaties in gerealiseerde projecten nabootsten. PHPP is systematisch ontwikkeld door benuttingsfactoren af te stemmen op resultaten van dynamische energieberekeningen. De resultaten daarvan zijn als input voor PHPP gebruikt. PHPP is ook gevalideerd aan de hand van energiegebruiken van grote aantallen projecten, waarbij een goede correlatie tussen het gemiddeld energiegebruik en het berekend gebruik werd gevonden.

4.5 Test- en onderzoeksmethoden

In deze paragraaf worden test- en onderzoeksmethoden omschreven op element niveau, tenzij anders vermeld.

Van de toe te passen houten gevelelementen (kozijnen, ramen, deuren) en houten binnenspouwbladen kunnen de prestaties worden getoetst door deze te testen in het laboratorium of in de praktijk.

Van KOMO[®] gecertificeerde elementen zijn de prestaties aangetoond en opgenomen in het certificaat. Van elementen die afwijken van het certificaat of van de standaard eisen zoals de KVT dienen de prestaties te worden aangetoond. Zo ook voor elementen die vervaardigd zijn van bijvoorbeeld geïsoleerd hout of andere alternatieve materialen.

Van de onderstaande eigenschappen dienen de prestatie aangetoond te worden:

(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

4.5.1 Kozijnen en ramen

Indien er een ander alternatief materiaal wordt toegepast buiten het KOMO[®] certificaat en/of KVT dienen de sterkte en stijfheid-eigenschappen te worden bepaald.

Kozijn- en raamverbindingen

Kozijnverbindingen dienen minimaal te voldoen aan de eisen in Katern 15 van de KVT. Indien niet aan de eisen van de KVT Katern 15 kan worden voldaan dienen de kozijnverbindingen te worden onderzocht overeenkomstig punt A Kozijnverbindingen.

A. Kozijnverbindingen:

Onderzoek wordt uitgevoerd naar de verlijming van kozijnverbindingen volgens BRL 0819: "Verbindingstechnieken in houten gevelelementen".

Het onderzoek bestaat uit de volgende onderdelen:

- Vermoeiing van afgewerkte kozijnen
- Veroudering van kozijnverbindingen
- Bepalen van de sterkte en stijfheid van de kozijnverbindingen

B. Raamverbindingen

Indien wordt afgeweken van de KVT Katern 15 dienen de raamverbindingen te worden onderzocht op de sterkte, stijfheid en duurzaamheid.

Maximale raamafmetingen

Indien ramen worden geproduceerd met verbindingen niet conform de KVT katern 15, dient de sterkte van de verbindingen te worden aangetoond waarmee de maximale raamafmetingen kunnen worden bepaald. Ook indien er zwaarder glas wordt toegepast dan 35 kg/m² dienen de raamafmetingen te worden berekend.

Afwerkbaarheid

De afwerkbaarheid op materialen welke niet standaard zijn opgenomen in het KOMO[®] certificaat of niet zijn vermeld in de KVT dienen te voldoen aan de "Beoordelingsgrondslag voor dekkende grondverfsystemen voor hout", SKH-Publicatie 99-02 (d.d. 2004-09-01).

4.5.2 Invloed van prestaties complete houten gevels en gevelelementen

Luchtdoorlatendheid, waterdichtheid, weerstand tegen windbelasting

Complete gevelelementen (kozijnen, ramen en deuren), maar ook complete gevels kunnen beproefd worden op luchtdichtheid, waterdoorlatendheid en weerstand tegen windbelasting (sterkte, stijfheid) volgens NEN-EN 1026, 1027, en 12211. Dit kan in een laboratorium maar eventueel ook op locatie volgens o.a. bovengenoemde normen en NEN 2686 en NEN 2778.

Inbraakwerendheid

Volgens NEN 5096 bereikbare gevelelementen dienen volgens het Bouwbesluit te voldoen aan minimaal weerstandsklasse 2 van NEN 5096. Dit kan worden getest in een geaccrediteerd laboratorium of op locatie.

Thermografisch onderzoek /infrarood (gebouwniveau)

De uitvoeringskwaliteit van de thermische schil kan in beeld worden gebracht met behulp van een warmtebeeldcamera (infrarood thermografie). Deze niet-destructieve onderzoeksmethode wordt steeds vaker ingezet als onderdeel van een systematische controle van de uitvoeringskwaliteit. Alleen een opgeleide thermograaf is in staat de warmtebeelden correct te interpreteren. Deze kan het onderscheid maken tussen een fout in de isolatielaag en bijvoorbeeld zoninstraling of een de invloed van een open raam. Voor het verkrijgen van het uitvoeringcertificaat 'Gebouwd volgens Passief Bouwen' is een thermografisch onderzoek verplicht.

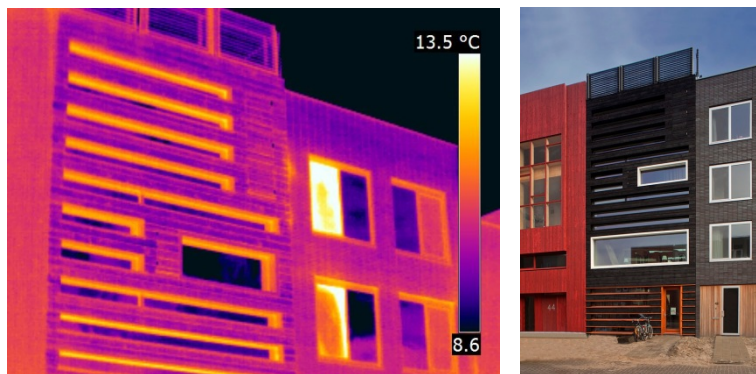
(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

Naast onderzoek naar de isolatiekwaliteit in gevels en daken kunnen onbedoelde luchtlekken inzichtelijk worden gemaakt. Hiervoor is het wel noodzakelijk dat er een zo groot mogelijk temperatuurverschil (δT) is tussen binnen en buiten. Minimaal een δT van 15 °C wordt aanbevolen, en hoe groter het verschil hoe nauwkeuriger de beoordeling.

Voor de beste onderzoeksresultaten met betrekking tot de luchtdichtheid van de gebouwschil wordt thermografisch onderzoek gecombineerd met de blowerdoor-test.

Voor bouwkundig thermografisch onderzoek bestaan (nog) geen normen. Ook bestaan er geen publiekrechtelijke eisen waaraan resultaten getoetst kunnen worden. De resultaten van het uitgevoerde onderzoek kunnen daarom alleen worden ingezet voor een beoordeling of de beoordeelde constructie overeenkomt met wat verwacht mag worden. De resultaten van infraroodopnamen kunnen aanleiding geven tot gericht (destructief) onderzoek naar gebreken.

Nadeel van infrarood thermografie is dat het een controle achteraf betreft aan het gerealiseerde gebouw. Ingrijpen is dan kostbaar en kan zelden zonder schade. Geadviseerd wordt dan ook thermografie in te zetten als sluitstuk van een systematische in- of externe kwaliteitscontrole.



*Visuele controle warmtelekken in gevelelementen d.m.v. thermografie
De woning op de foto is het project 'Weijnen 2.0 te Amsterdam (IJburg),
een ontwerp van Faro architecten. Dit is de eerste nieuwbouwwoning
waaraan het certificaat 'Gebouwd volgens Passief Bouwen' is uitgereikt.*

Ultrasoon onderzoek

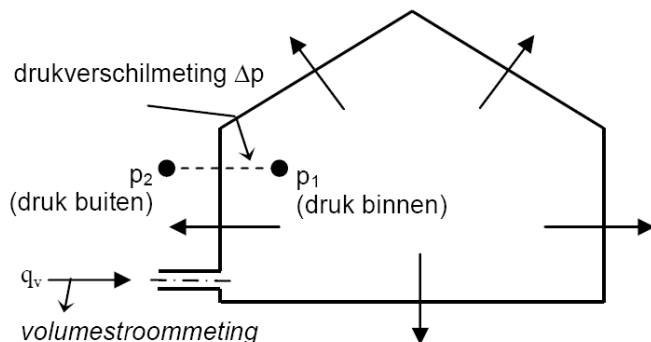
Naast thermografie kan ook gebruik gemaakt worden van ultrasoon geluid om niet-destructief onderzoek te doen naar luchtlekken en de luchtdichtheid.

Door middel van het uitzenden van geluidsgolven met een zeer hoge frequentie kunnen de problemen worden opgespoord. De verschillen in geluidintensiteit geven aan waar de luchtlekken in de constructie zich bevinden.

Blowerdoortest (gebouwniveau)

Deze test (conform NEN 2686) staat wel bekend als de 'opblaasproef', hoewel ook vaak een woning of gebouw juist op onderdruk wordt gezet, om eventuele lekkages makkelijk met rookbuisjes te kunnen detecteren. Steeds vaker wordt een dergelijke test voorgeschreven door de opdrachtgever omdat het tevens een goede indicatie is voor de bouwkwaliteit in het algemeen. Voor het uitvoeringscertificaat "Gebouwd volgens Passief Bouwen" is de test verplicht. Geadviseerd wordt deze proef niet uit te stellen tot vlak voor de oplevering, omdat er dan geen aanpassingen meer mogelijk zijn, maar te kiezen voor een beproeving in twee fasen: een indicatieve meting na gereed komen van het casco (wind- en waterdicht) en een definitieve meting bij oplevering.

(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN



Bij de blowerdoortest wordt het gebouw op onderdruk gebracht. Volgens de norm mag ook met overdruk worden gewerkt, maar dan is het minder eenvoudig luchtlekken op te sporen. Vervolgens wordt bij een aantal waarden van het drukverschil tussen binnen en buiten gemeten hoeveel lucht (de luchtvolumestroom) door de ventilator wordt afgevoerd om het drukverschil constant te houden. Deze waarden worden in een grafiek weergegeven, de zogenaamde drukvolumestroomkarakteristiek. Door deze waarden wordt een rechte lijn getrokken, waarna de volumestroom bij 10 Pascal kan worden afgelezen; dit is de maatgevende luchtdoorlatendheid.



Luchtdichtheidsmeting (blowerdoortest)



Visuele bepaling luchtlek met een rookbuisje

Naast een kwantitatieve beoordeling van de luchtdoorlatendheid (de meting hoeveel lucht de woning binnenkomt respectievelijk verlaat) vindt er ook een kwalitatieve beoordeling plaats. Zo kan nagegaan worden waar de lekken gesitueerd zijn en hoe deze gedicht kunnen worden. Een veel gehanteerde manier om deze lekken op te sporen, is met behulp van een zogenaamd 'rookbuisje'.

Over het algemeen wordt de meting uitgevoerd door een meetdeur in het voor- of achterdeurkozijn te monteren. Omdat er aan de detaillering van de deur in bijna elk project aandacht wordt besteed is dat een verantwoorde keuze. Voorwaarde is wel dat er geen brievenbusleuf in de deur aanwezig is en dat er sprake is van een doorgaande kaderdichting.

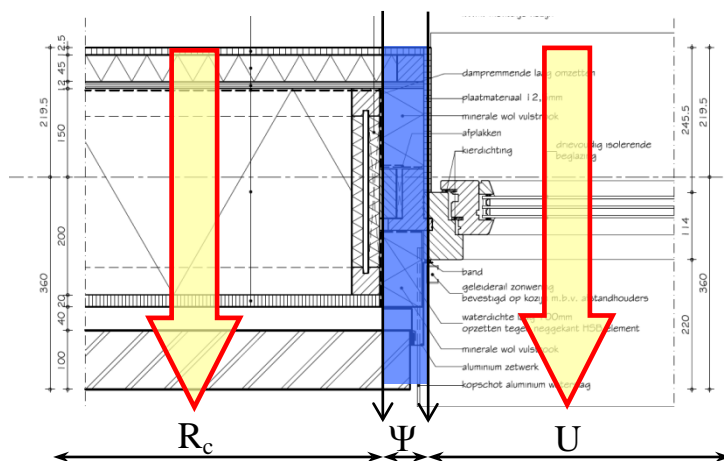
Bij nieuw gebouwde woningen kan elke woning apart worden gemeten. Wel is soms bij appartementengebouwen een afwijkende procedure vereist, afhankelijk van het verloop van de luchtdichtheidsschil. Bij renovatie kan de kwaliteit van de bestaande bouwmuur (of bij appartementen: het bestaande casco) de meetresultaten beïnvloeden, terwijl deze geen deel uit maakt van de te beoordelen buitenschil. In dat geval moeten ook de naastgelegen woningen op druk worden gebracht (gelijk aan de te meten woning) zodat er geen drukverschil aanwezig is. In dergelijke situaties is een ervaren meettechnicus vereist.

(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

4.6 Uitgangspunten

In de volgende paragrafen wordt ingegaan op de eisen en berekening van de bouwfysische prestaties van gevelelementen. De prestaties die gesteld worden aan gevelelementen zijn onder te verdelen in de volgende aspecten:

- Dichte delen (v.d. gebouwschil) R_c -waarde [m^2K/W]
- Ramen, deuren en panelen U -waarde [W/m^2K]
 - Zie hierna voor een specificatie
- Aansluitingen Ψ -waarde [W/mK]
 - Tussen bouwdelen (bijvoorbeeld tussen kozijn en wand)
 - Binnen bouwdelen afhankelijk van de opbouw (bijvoorbeeld: de invloed van de afstandhouder van het glas).



4.6.1 R_c -waarde

Eisen

Voor scheidingsconstructies tussen een verwarmde ruimte en de buitenlucht (of grond) geldt een minimale R_c -waarde van 3,5 m^2K/W (Bouwbesluit 2012). Voor energiezuinig bouwen zijn hogere warmteweerstanden benodigd; voor passief bouwen geldt de warmtevraag van maximaal 15 kWh/ m^2 . Voor dichte buitenwandelementen en daken kan als richtwaarde voor passief bouwen een $R_c \approx 10,0 m^2K/W$ worden aangehouden, met een minimum van 6,5 m^2K/W .

Ontwerp

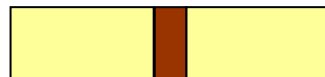
Een houten gevel- of dakelement vormt een samengestelde constructie, bestaande uit in hoofdzaak houten stijlen, isolatie en een afwerking. De warmteweerstand van een houten gevelelement wordt bepaald door de isolatiedikte, het houtpercentage en de warmtegeleidingscoëfficiënt van de toegepaste materialen.

De opbouw van houten gevelelementen voor energiezuinig bouwen is grofweg onder te verdelen in de volgende typen:

1. Element bestaande uit houten stijlen

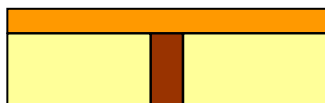
Hout vormt ten opzichte van isolatie een warmtelek. Hout isoleert circa 5 á 7 keer minder dan een isolatiemateriaal.

Als isolatiemateriaal wordt veelal uitgegaan van minerale wol. Om de dikte van het element te verminderen kan ook thermisch hoogwaardige isolatie worden toegepast om een hoge warmteweerstand te realiseren.



2. Element bestaande uit houten stijlen voorzien van een doorgaande isolatielaag

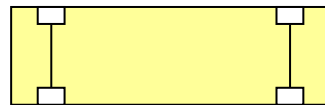
Om de warmtestroom via de houten stijlen te beperken wordt in dit concept een doorgaande isolatielaag voor de stijlen aangebracht.



(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

3. *Element opgebouwd uit houten I-liggers*

De hoeveelheid constructiehout (houtpercentage) is van groot invloed op de uitkomst van de warmteweerstand. Om het houtpercentage te verlagen worden in dit gevelconcept houten I-liggers toegepast. Het I-ligger element bestaat uit een kern van bijvoorbeeld houtachtig plaatmateriaal verbonden met 2 regels waarop de beplating wordt bevestigd.



4. *Combinaties: element bestaande uit houten stijlen met thermische onderbreking of I-liggers, meerdere thermisch hoogwaardige isolatielagen en/of reflecterende folies*

Aangezien bovenstaande constructies leiden tot een toename van de geveldikte worden momenteel constructies ontwikkeld waarbij met beter isolerende materialen een hoge warmteweerstand te realiseren zonder toename van de geveldikte. Voorbeelden hiervan zijn reflecterende folies (conform NEN 1068), gebruik van vacuümpanelen, stilstaande luchtlagen en thermisch onderbroken profielen.



5. *CLT Hout*

CLT hout zijn houten elementen die zijn samengesteld uit kruislings verlijmde houten latten, waardoor 'massieve' houten elementen ontstaan. Deze elementen kunnen worden toegepast in gevels, wanden, vloeren en daken. De warmteweerstand van deze elementen alleen voldoet niet aan de eisen van het Bouwbesluit. Er zal altijd een isolatie aan moeten worden toegevoegd. Deze isolatie laag kan bestaan uit:

- 'Harde' isolatie platen,
- Een niet dragende hsb-wand die tegen het element wordt bevestigd en waarin de isolatie is opgenomen.

Een voordeel van de toepassing van een isolatieplaat met lage λ -waarde is de geringere dikte die nodig is om de R_c -waarde te behalen. Bij de bepaling van de R_c -waarde kan uiteraard rekening worden gehouden met de warmteweerstand van het houten element. In het algemeen zijn de CLT-elementen zichtbaar (toepassing als zicht elementen). Doordat in de elementen géén dampremmende laag aanwezig is, moet nagegaan worden of condensatie in de elementen zal optreden. Hiervoor zijn berekeningen t.a.v. de dampweerstand en condensatie vereist.

Naast de R_c -waarde van de elementen moet ook op de luchtdichtheid van de elementen en zijn aansluitingen worden gelet. De elementen moeten voldoende luchtdicht zijn verlijmd of zijn uitgevoerd met een triplex-achtige plaat in het midden. In het algemeen zijn de luchtdichte aansluitingen tussen de elementen uit te voeren met een speciale afdichtingsband tussen de elementen.

Uiteraard zijn de details voor deze toepassing anders dan voor standaard houtskeletbouw.



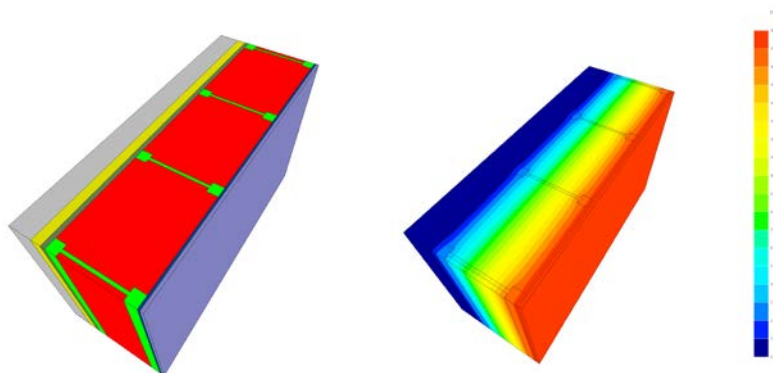
Gevelelementen bestaande uit houten I-liggers

(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

De warmteweerstand van een gevelement kan bepaald worden op basis van:

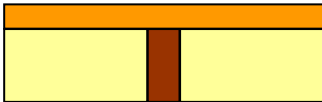
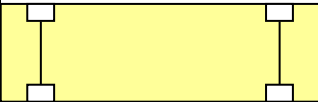
- een handberekening conform NPR 2068, of
- een numerieke berekening conform NEN 1068.

Bij een conform NPR 2068 samengestelde constructie wordt de warmteweerstand in loodrecht en evenwijdig aan de constructie per sectie bepaald. Dit levert een samengestelde warmteweerstand op met een conservatieve uitkomst ten opzichte van de numerieke berekening. De numerieke berekening wordt met de eindige element methode conform NEN 1068 berekend. Bij een dergelijke berekening wordt de materialisering van het detail geschematiseerd waarna op basis van een temperatuursverschil de warmtestroom door het detail berekend wordt.



Voorbeeld

In onderstaande tabel is voor twee gevels met een vergelijkbare geveldikte de warmteweerstand bepaald. Voor een gevel met houten stijlen van 250 mm met een doorgaande isolatielaag van 100 mm minerale wol wordt een R_c van 7,7 m^2K/W verkregen. Een gevel met houten I-liggers behaald als gevolg van een lager houtpercentage bij een dikte van 350 mm een warmteweerstand van 8,9 m^2K/W .

	Houten stijlen voorzien van doorgaande isolatie	Houten I-liggers
		
gevelopbouw	- 100 mm metselwerk - 40 mm luchtspouw - 100 mm minerale wol ($\lambda = 0,035 W/mK$) - 250 mm houten stijlen/minerale wol (houtpercentage 17%) - 12 mm gipsplaat Totale dikte 502 mm	- 100 mm metselwerk - 40 mm luchtspouw - 20 mm houtvezelplaat - 350 mm I-liggers met minerale wol ($\lambda = 0,035 W/mK$) (houtpercentage 5%) - 12 mm gipsplaat Totale dikte 522 mm
warmteweerstand	$R_c = 7,76 m^2K/W$	$R_c = 8,92 m^2K/W$

Uitvoering

Om in de praktijk de berekende warmteweerstand ook daadwerkelijk te realiseren dient isolatie klemmend aangebracht te worden en dienen naden te worden vermeden.

Niet alle gebruikelijke oplossingen zijn zonder meer op te schalen naar dickere isolatiepakketten. Het gebruik van folie als afsluiting van een gevelement aan de spouwzijde zal bij dergelijke dikten van het isolatiepakket onvoldoende zijn om uitzakken te voorkomen. Voor een goed resultaat is dan een harde buitenplaat nodig. Door te kiezen voor een plaat met een goede thermische kwaliteit verbetert de isolatiewaarde van het element nog aanzienlijk, vanwege de doorgaande isolatielaag voor de stijlen langs.

(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

Naast het handmatig vullen van de elementen van isolatie kunnen de gevelelementen ook worden vol geblazen met cellulose en dergelijke. Het in te blazen materiaal wordt altijd aangebracht tussen twee platen om uitbollen te voorkomen. Deze techniek kan zowel in de fabriek als op het werk worden uitgevoerd. In beide gevallen vraagt het veel aandacht voor een goed resultaat. Denk aan zaken als inblaasdruk, inblaashoogte, verdeling van het materiaal en mogelijk zakking bij transport. Ervaren partners en goede uitvoeringscontrole zijn essentieel voor een goed resultaat.

Daarnaast is het van belang dat als gevolg van werking van materialen er gedurende de gebruiksfase geen naden ontstaan.

4.6.2 U-waarde

Eisen

De kozijnen, ramen en deuren in een gevel(element) vormen energetisch gezien een warmtelek in de bouwkundige constructie. Daarom neemt bij energiezuinige gebouwen de toepassing van dribladig glas toe. Daarmee vormt het profielsysteem van kozijnen, ramen en deuren, de U_f , de zwakste schakel. Door toepassing van o.a. aangepast profielen, zwaardere houtmaten en aanpassing van het materiaal zijn aanzienlijk gunstiger U_f -waarden (en daarmee U_w -waarden voor de kozijnen) mogelijk.

De kwaliteit van kozijnen ($U_{\text{window}} = U_w$) wordt bepaald door de volgende factoren:

- U_f (U_{frame}) : de warmtedoorgangscoefficiënt van een kozijn (stijlen en dorpels, raamhout)
- U_g (U_{glazing}) : de warmtedoorgangscoefficiënt van beglazing
- Ψ_g (Ψ_{glazing}) : het (lineaire) warmteverlies van de randaansluiting van de beglazing in het kozijn (psi-waarde)
- U_w (U_{window}) : samenstel van U_f , U_g en Ψ_g

U_w is de isolatiewaarde van een 'raam' (kozijnhout, glas en afstandhouder), als resultaat van deze drie factoren. In Nederland wordt geen afzonderlijke eis gesteld aan U_f en U_g . Om de energetische prestatie van de kozijnen onderling vergelijkbaar te maken, wordt de U_w -waarde van het kozijn zowel in Nederland als Duitsland berekend met een standaardafmeting van 1,23 x 1,48 m. Dit is overeenkomstig de Europese norm NEN-EN-ISO 10077.

Bouwbesluit 2012 stelt een eis aan de ramen, deuren en kozijnen in een uitwendige scheidingsconstructie. De warmtedoorgangscoefficiënt daarvan (U_w) mag niet groter zijn dan 2,2 W/m²K. Voor energiezuinig bouwen worden gevelelementen met veel gunstiger (lagere) U -waarden toegepast, waarmee steeds kan worden voldaan aan deze Bouwbesluit-eis.

Bij passief bouwen geldt een U -waarde voor ramen en deuren (inclusief kozijnen) van $U_w \leq 0,8$ W/m²K. Bij de beoordeling van kozijnen hanteert het Duitse Passivhausinstitut (PHI) eveneens een U_w -waarde $\leq 0,8$ W/m²K, bij een $U_g \geq 0,7$ W/m²K. In Nederland wordt bij de beoordeling voor het keurmerk Passief Bouwen de U_w -waarde $\leq 0,8$ W/m²K formeel als richtwaarde gesteld aan ramen en deuren. Daarbij moet worden aangetekend dat met een hogere U_w in de meeste gevallen niet voldaan kan worden aan de primaire eis voor de warmtebehoefte (≤ 15 kWh/m²).

Binnenoppervlaktetemperatuur

In Duitsland geldt conform de PHI-eisen een binnenoppervlaktetemperatuur van minimaal 17°C. Een specifieke binnenoppervlaktetemperatuur voor passief bouwen wordt in Nederland niet gesteld. Wel wordt in het Bouwbesluit voor bijvoorbeeld woonfuncties een minimale binnenoppervlaktetemperatuur gesteld; uitgedrukt in een f-factor van minimaal 0,65. Een f-factor van 0,65 komt overeen met een oppervlaktetemperatuur van $\geq 11,7$ °C. De f-factor in het Bouwbesluit geldt niet voor kozijnen, ramen en daarmee gelijk te stellen constructie-onderdelen.

Bij het beoordelen van de PHPP-berekening van een project wordt gecontroleerd of de kozijnen voldoen aan de richtlijn $U_w \leq 0,8$ W/m²K. Deze richtlijn aan de U_w wordt gegeven uit het oogpunt van comfort, om koudeval tegen te gaan, zodat het niet nodig is om een radiator of andere lokale warmtebron onder het glas te plaatsen. De beperkte verwarmingscapaciteit die bij een passief gebouw nodig is kan daardoor op een willekeurige positie in de ruimte worden gerealiseerd of bijvoorbeeld aan de ventilatielucht worden toegevoegd. Het realiseren van gevelopeningen zonder verwarmingselement zal dan niet leiden tot comfortklachten.

(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

Uit Duits onderzoek is als richtlijn afgeleid dat er daarvoor maximaal $3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ verschil mag zijn tussen de ruimtetemperatuur (luchttemperatuur) en de binnenoppervlaktetemperatuur van de gevel. In formule: $\theta_i - \theta_{i,o} \leq 3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Deze richtlijn geldt echter voor vlakken, niet voor lijnvormige elementen, zoals aansluitdetails (ψ) en kozijnen. Eisen daaraan kunnen wel ontleend worden aan het koudebrugvrij ontwerpen en bouwen, maar die zijn niet maatgevend in dit verband.

De richtlijn $U \leq 0,8$ wordt gesteld aan het kozijn als geheel (U_w). Om voldoende kwaliteit te realiseren is het daarbij noodzakelijk een specifieke eis te stellen aan de samenstellende delen (U_g , U_f). Daarbij gaat het om het zo veel mogelijk vermijden van lokaal discomfort door koude straling en koudeval en om het voorkomen van inwendige condensatie op de profielen en het binnen redelijke grenzen beperken van uitwendige condensatie op het glas.

Beoordeling U_w

In energiezuinige gebouwen kunnen zowel passief gecertificeerde als niet passief-gecertificeerde producten toegepast worden. Dat geldt ook voor gebouwen die gebouwd en beoordeeld worden volgens passief bouwen.

Onderlinge vergelijking van de U_w van kozijnen en deuren vindt plaats aan de hand van een standaardafmeting.

- Voor kozijnen en ramen de geadviseerde maat uit de NEN-EN-ISO-10077 van $1,23 \times 1,48$ m in twee varianten: een waarde voor vast glas en een waarde voor een kozijn met een draaikiepraam.
- In kwaliteitsverklaringen worden zowel de waarde van U_f als U_w vermeld, van zowel een standaardkozijn met vast glas als een kozijn met een draaikiepraam.
- In de PHPP-berekening (en ook de EPC-berekening) kan dan de waarde van het standaard draaikiepk kozijn voor het gehele project gehanteerd worden. Vanzelfsprekend blijft de mogelijkheid bestaan om projectgericht nauwkeurig berekende waarden voor alle (raam)kozijnen in te voeren. Dit is gunstig bij grote glasmaten. In dat geval dienen alle kozijnen nauwkeurig te worden ingevoerd.
- Voor deuren geeft de Europese norm geen adviesafmeting; hiervoor wordt aangesloten bij de Nederlandse markt. Deuren worden vergeleken worden op basis van de dagmaat waarmee de doorgang gerealiseerd kan worden die minimaal vereist is volgens Bouwbesluit ($0,85 \times 2,3$ m). Daarbij moet rekening gehouden worden met de dikte van de deur en de maat van de kruk. Vaak zal een dagmaat van $0,95 \times 2,30$ m nodig zijn, maar omdat de dikte van de deurbladen per fabrikant en per type kan verschillen wordt geen vaste dagmaat als vergelijkingsmaatstaf gehanteerd. Wanneer in een project de deur minder dan 90° open kan draaien is een grotere dagmaat vereist om aan de eisen volgens Bouwbesluit te voldoen.
- Deuren dienen altijd per kozijn apart te worden berekend. Dat geldt zowel voor de (woning)toegangsdeuren (voor- en achter) als ook voor balkondeuren, stolpdeuren, (hef)schuifpuien, etc.

Voorwaarde: $U_g \geq 0,6\text{ W/m}^2\text{K}$

Er zijn twee redenen om een grenswaarde te stellen aan de minimale U -waarde voor het glas:

- oppervlaktecondensatie binnen op het kozijnhout;
- oppervlaktecondensatie buiten op het glas gedurende een (te) groot deel van de dag bij specifieke weersomstandigheden.

Bij de vanuit passief bouwen gewenste U -waarde voor het kozijn $U_w \leq 0,8\text{ W/m}^2\text{K}$ is de U_g bij voorkeur zo hoog mogelijk om uitwendige condensatie te voorkomen. Een specifieke grenswaarde is arbitrair, omdat er aan uitwendige condensatie minder goed te rekenen valt en er geen richtlijnen of normen voor handen zijn.

Als richtlijn geldt in het kader van deze publicatie het volgende:

- er wordt geen bovengrens gesteld aan de U -waarde van de profielen (U_f);
- bij de bepaling van de U_w van kozijnen wordt een minimale U -waarde van het glas (U_g) aangehouden van $0,6\text{ W/m}^2\text{K}$ om condensatie aan de buitenzijde enigszins te beperken.

Dit uitgangspunt houdt in dat het op projectniveau nog wel mogelijk is te kiezen voor glas met een lagere U -waarde, en dit mee te nemen in de PHPP-berekening.

(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

Met bovenstaande uitgangspunten is het mogelijk om massief houten kozijnen toe te passen in projecten waarvoor men streeft naar het verkrijgen van het 'Ontworpen volgens PassiefBouwen Keur' dan wel 'Gebouwd volgens PassiefBouwen Keur' volgens de Stichting PassiefBouwen.nl, beoordeeld volgens PHPP-NL. Daarbij wordt opgemerkt dat het met deze uitgangspunten ($U_g \geq 0,6$) niet zonder meer mogelijk zal zijn op het kozijnsysteem (profielsysteem) een PHI-certificaat te verkrijgen; dan wordt U_w beoordeeld bij $U_g = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Toelichting inwendige condensatie

- Bij kozijnen is, in het algemeen, het frame het thermisch zwakste deel ($U_{fr} > U_{gl}$). Bij hoge luchtvochtigheid bestaat er dus risico op het ontstaan van oppervlaktecondensatie op het kozijn- en raamhout. Dit risico neemt toe naar mate het verschil tussen U_g en U_f toeneemt.
- Bij de beoordeling van f-factor (oppervlakte-temperatuurfactor volgens NEN 2778) blijft een kozijnopening in zijn geheel buiten beschouwing. Oppervlaktecondensatie op het kozijn is enerzijds niet te vermijden en brengt anderzijds geen gevaar voor schade met zich mee omdat kozijnen over het algemeen goed afgewerkt en goed zichtbaar zijn. Eventuele oppervlaktecondensatie op een kozijn levert daarmee geen strijdigheid op met het Bouwbesluit en is in het kader van de bouwregelgeving aanvaardbaar.
- Het daadwerkelijk optreden van oppervlaktecondensatie is direct afhankelijk van het vochtgehalte in de ruimte (relatieve vochtigheid). De beoordeling van de f-factor is gebaseerd op een θ_i van $18 \text{ }^\circ\text{C}$ en θ_u van $0 \text{ }^\circ\text{C}$. De maximaal toelaatbare oppervlakte-temperatuur $\theta_{i,o} = 11,7$ heeft een dauwpunt van 1374 Pa ; dat komt overeen met een RV van 66% bij $18 \text{ }^\circ\text{C}$. Omdat de grenswaarde van klimaatklasse 3 op 1430 Pa ligt, is incidentele oppervlaktecondensatie mogelijk, zelfs op oppervlakken die aan de grenswaarde voor de f-factor voldoen. In de praktijk leidt dit niet tot schade zoals schimmelvorming.
- Meest kritisch is een situatie met een hogere binnentemperatuur, lagere buiten temperatuur en een hogere relatieve vochtigheid. Voor het temperatuurtraject kan $-10 / 20 \text{ }^\circ\text{C}$ worden aangehouden (conform PHPP) en voor het vochtgehalte de grenswaarde van klimaatklasse 3 (1430 Pa). Condensatie vindt dan plaats bij een oppervlakte-temperatuur van $12,3 \text{ }^\circ\text{C}$. Bij $20 \text{ }^\circ\text{C}$ is de bijbehorende RV 61% ; voor de wintersituatie is dit een hoge waarde, alleen in badkamers zal gedurende korte tijd een hogere RV voorkomen, zelfs bij goede ventilatie. Hogere RV's in verblijfsruimten komen wel voor, maar dat vindt plaats bij hogere buitentemperaturen en dus ook een hogere oppervlakte-temperatuur.
- De optredende oppervlakte-temperatuur op kozijnen ligt bij een U-waarde van $1,2$ op ca. $14 - 15 \text{ }^\circ\text{C}$. Hoewel dit de laagste binnenoppervlakte-temperatuur is, wordt de kans op oppervlaktecondensatie daarmee minimaal. Uit dat oogpunt is er dus geen reden een eis te stellen aan de maximaal toelaatbare U-waarde van toe te passen kozijnen.

Toelichting uitwendige condensatie

Al bij de toepassing van HR⁺⁺-glas treedt regelmatig condensatie op het buitenoppervlak op. Dit doet zich met name voor in de ochtenduren in het tussenseizoen met koude nachten gecombineerd met hoge luchtvochtigheid. Het condens blijft het langst aanwezig op noordelijk georiënteerde glasvlakken. Oorzaak is de lage buitentemperatuur op het glas. Afhankelijk van de ligging kan deze lager zijn dan de luchttemperatuur door de hoge emissiefactor en nachtelijke uitstraling. De condensatie is onschadelijk, maar leidt op glas tot verminderd doorzicht. Bewoners ervaren dit als hinderlijk. Bij verdere verlaging van de U-waarde, zoals bij driebladig glas, wordt de periode waarin de condens ontstaat en de tijd dat deze zich handhaaft verlengd: gedurende een groter deel van het jaar en langere tijd vormt zich condens aan de buitenzijde en is er geen doorzicht.

Uitwendige condensatie op het glas wordt verminderd door dieper in de gevel liggen van het kozijn of een klein overstek. Hiermee vermindert de nachtelijke uitstraling en daarmee de afkoeling. Een andere mogelijkheid waar de glasindustrie momenteel mee ontwikkelt, is een aanvullende behandeling van de buitenkant van het glas waardoor er geen of vrijwel geen condensatie optreedt.

4.6.3 Psi (Ψ)-waarde

De lijnvormige warmteverliezen geven aan hoeveel warmte verloren gaat door een aansluiting per m^1 detail bij een temperatuurverschil van $1\text{ }^\circ\text{C}$, de dimensie is W/mK . Het verminderen van het warmteverlies is niet alleen te realiseren door de warmteweerstand van de vloer, gevel en dak te verhogen, maar ook door lijnvormige warmteverliezen: Ψ -waarden (psi) te verminderen.

Eisen

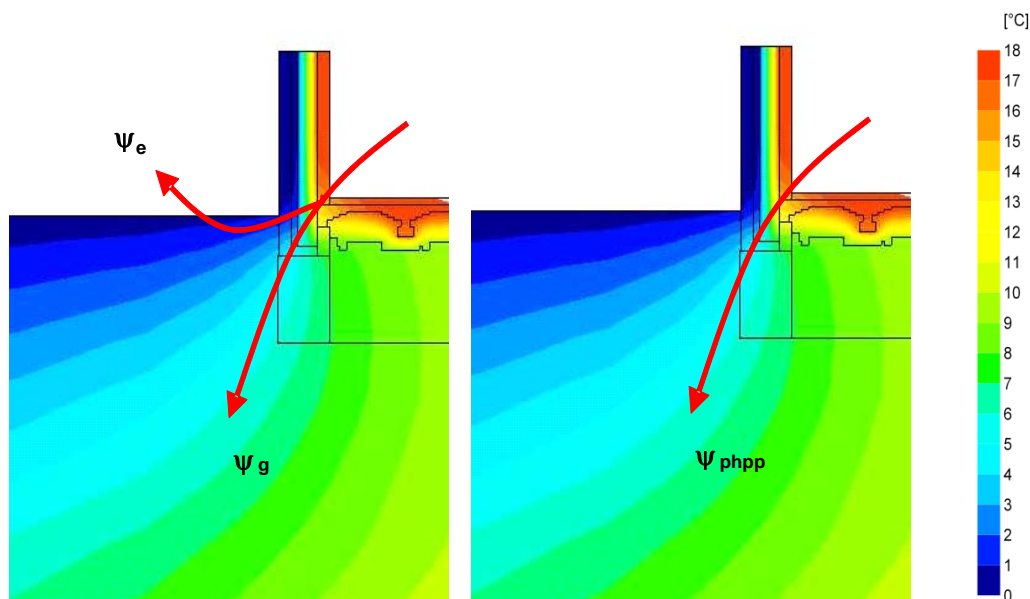
Vanuit Passief Bouwen wordt een koudebrugvrije aansluiting vereist. Dit betekent dat de aansluiting van het gevelement op een andere constructie dient te voldoen aan een $\Psi_{\text{phpp}} < 0,01$.

Houd bij de bepaling van de Ψ -waarde rekening met de verschillen in schematisering tussen de Nederlandse en Europese rekenregels. Ook bij de PHPP-NL wordt op 'Duitse' wijze geschematiseerd. In principe zijn er twee duidelijke verschillen te onderscheiden in de bepalingmethode volgens NEN 1068 en PHPP:

1. De methode NEN 1068 gaat voor de bepaling van de Ψ -waarde uit van binnenwerks gemeten maten. Dit betekent bijvoorbeeld dat bij een uitwendige hoek het warmteverlies dat optreedt door de hoek volledig in de Ψ -waarde wordt verdisconteerd. De PHPP methode hanteert buitenwerks gemeten maten waardoor het warmteverlies van de hoek twee keer wordt meegenomen in de warmteverliesberekening. Dit wordt gecorrigeerd door de Ψ -waarde, wat in die situatie veelal een negatieve Ψ -waarde zal opleveren.
2. Ter plaatse van de funderingsdetails hanteert NEN 1068 twee randtemperaturen, namelijk de bodemtemperatuur en de buitentemperatuur. Dit resulteert bij de fundering in twee Ψ -waarden, namelijk Ψ_e en Ψ_g . Bij PHPP wordt de bodem- en buitentemperatuur verdisconteerd in één Ψ -waarde.

Dit is ook de reden dat in het PHPP-model wordt gerekend met één Ψ -waarde per aansluiting, terwijl in NEN 1068 onderscheid wordt gemaakt in drie typen Ψ -waarden:

- Ψ_k het lineaire warmteverlies door aansluiting k (alle types details met uitzondering van funderingsdetails)
- $\Psi_{\text{gr},i}$ het lineaire warmteverlies door aansluiting i naar de grond (uitsluitend van toepassing bij funderingsdetails)
- $\Psi_{\text{e},i}$ het lineaire warmteverlies door aansluiting i naar de buitenlucht (uitsluitend van toepassing bij funderingsdetails)



Vershil Ψ -waarden NEN 1068 en PHPP-systematiek

Het creëren van een doorgaande isolatielaag is niet alleen bij de aansluiting van een gevelement op een kozijn van belang, maar ook bij de fundering.

(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

4.6.4 Luchtdichtheid

Met de luchtdoorlatendheid (aangeduid met $q_{v;10}$) wordt bedoeld de luchtvolumestroom (q_v) die ontstaat via de kieren en naden die zich tussen de verschillende bouw delen in de omhulling van een gebouw bevinden, bij een drukverschil van 10 Pa, uitgedrukt in dm^3/s of m^3/s .

Eisen

Om het warmteverlies te beperken stelt het Bouwbesluit dat de luchtdoorlatendheid maximaal $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ mag bedragen. Voor een woning van 100 m^2 levert dat een grenswaarde op van $2,0 \text{ dm}^3/\text{s.m}^2$. Deze waarde heeft voor de (woning)bouwpraktijk niet veel waarde, omdat vanwege de energieprestatie een lagere waarde is opgenomen in de EPC-berekening en die daarmee maatgevend wordt. Veelal wordt (op basis van gelijkwaardigheid) een waarde $q_{v;10;kar} = 0,625 \text{ dm}^3/\text{s.m}^2$ aangehouden. Uit metingen blijkt dat deze in veel gevallen niet gerealiseerd wordt. Met gebruikelijke bouwmethoden is een waarde van $0,8 \text{ dm}^3/\text{s.m}^2$ goed haalbaar bij grondgebonden woningen met een kap. In appartementenbouw worden regelmatig lagere waarden gemeten. Voor energiezuinig bouwen is een waarde $< 0,4 \text{ dm}^3/\text{s.m}^2$ goed te noemen.

Privaatrechtelijk is voor Passief Bouwen een veel strengere luchtdichtheidseis geformuleerd. Voor het behalen van het Passief Bouwen Keurmerk dient de woning te voldoen aan een maximale luchtdoorlatendheid van $0,6 \text{ h}^{-1}$ bij een drukverschil van 50 Pa. Dit moet worden aangetoond met een blowerdoortest (zie paragraaf 4.5). Omgerekend naar de Nederlandse meetwaarde bij 10 Pa drukverschil heeft de woning een infiltratie van $q_{v;10;kar} \approx 0,15 \text{ dm}^3/\text{s}$ per m^2 . In vergelijking met de gangbare rekenwaarde in de EPC-berekening ($q_{v;ao} = 0,625 \text{ dm}^3/\text{s.m}^2$) is de gevraagde luchtdichtheid bij passief bouwen daarmee zeker vier keer beter dan de gangbare bouwpraktijk.

In NEN 2687 wordt een relatie gelegd tussen het ventilatiesysteem en de luchtdichtheid. In de norm wordt de mate van luchtdichtheid onderverdeeld in drie klassen. Klasse 1 en 2 zijn respectievelijk gekoppeld aan ventilatiesysteem C en D. De strengste eisen ten aanzien van luchtdichtheid worden gesteld aan klasse 3, deze klasse is gekoppeld aan het niveau Passief Bouwen ($q_{v;10;kar} \leq 0,15 \text{ dm}^3/\text{s.m}^2$).

Infiltratieklasse	Ventilatiesysteem	infiltratie
Klasse 1 – basis	Natuurlijke toe- en afvoer A	$1,0 \text{ dm}^3/\text{s}$ per m^2
Klasse 2 – goed	Natuurlijke toevoer en mechanische afvoer C Mechanische toevoer en natuurlijke afvoer B Mechanische toe- en afvoer D	$0,6 - 0,4 \text{ dm}^3/\text{s}$ per m^2
Klasse 3 – uitstekend	Mechanische toe- en afvoer D i.c.m. Passief Bouwen	$\leq 0,15 \text{ dm}^3/\text{s}$ per m^2

Realisatie

Om te voldoen aan luchtdichtheidsklasse 3 gelden in het ontwerp en uitvoering de volgende richtlijnen:

- Eénzijdig afgeschuinde haakschoten hang- en sluitwerk;
- Zo veel mogelijk de naden/kieren afplakken;
- Zo veel mogelijk luchtdichtingen prefabriceren;
- Dubbele luchtdichtingen in de draaiende delen; in samenhang met de te verwachten vervorming van het element;
- Natte beglazing bij houten kozijnen en kwaliteitseisen bij kunststof en aluminium kozijnen;
- Kabeldoorvoeren, leidingdoorvoeren (buitenlichtpunten en buitenkranen), prefab manchetten gebruiken, afplakken en bij elektriciteitsleidingen ook in de leiding afkitten;
- Overlappen en aansluitingen van de dampremmende folie afplakken;
- Geen doorbrekingen dampremmende folie (gebruik een voorzetwand voor de elektra- en waterleidingen);
- Gerichte controle van de aangebrachte luchtdichtingen en controlemetingen (in combinatie met infraroodmetingen).

(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN



Aansluitingen aftapen, gebruik prefab manchetten bij doorvoeringen

Naast de hiervoor genoemde uitgangspunten dient in de detaillering aan hoge eisen te voldoen. Daarbij mag de uitvoerbaarheid in de praktijk niet uit het oog worden verloren. Bij de keuze van het afdichtingsmateriaal in de bouwvoorbereiding rekening houden met de volgende aspecten:

- De keuze van het dichtingsmateriaal in relatie tot de gebouwdelen en toegepaste materialen, rekening houdend met kruip, krimp, thermische bewegingen en optredende belastingen.
- Uniforme materiaalkeus en maatvoering voor bepaalde oplossingen;
- Beperking van het aantal luchtdichtingsmaterialen;
- Uniforme methode voor het oplossen van ontmoetingen;
- Standaardafmetingen van de toe te passen materialen;
- Houd rekening met de nodige toleranties en maatafwijkingen tijdens de uitvoering;
- Houd rekening met de bouwmethodiek en montagevolgorde;
- Laat in verband met de weersomstandigheden zoveel mogelijk luchtdichtingen in de fabriek aanbrengen.
- Verwerkingsvoorschriften naleven.



4.7 Duurzaamheid

Duurzaamheid is een 'containerbegrip' geworden. Ofwel iedereen gebruikt de term en bedoelt er wat anders mee. Daarmee dreigt de betekenis uit te hollen. Het blijft belangrijk te streven naar een gebouwde omgeving die duurzaam gebouwd is en onderhouden wordt.

De definitie van duurzaamheid is ontleend aan het Brundtland –rapport 'Our common future' geschreven onder auspiciën van de VN in 1987. Onder duurzame ontwikkeling wordt daarin verstaan: een ontwikkeling die voorziet in de behoefte van de huidige generatie zonder daarmee voor de toekomstige generaties de mogelijkheden in gevaar te brengen. Vertaald naar de bouwpraktijk: *Het op een zodanig kwaliteitsniveau ontwikkelen en uitvoeren van bouwprojecten en beheersmaatregelen, dat de milieubelasting van het realiseren en gebruik van woningen en gebouwen geminimaliseerd wordt.*

Duurzaamheid gaat daarmee om bouw en exploitatie. De term duurzaamheid kan ook gesplitst worden in technische duurzaamheid (in het engels *durability*) als milieukundige duurzaamheid of 'houdbaarheid' (*sustainability*). Daarbij moet niet worden vergeten dat gaat om een integrale oplossing. Een goede combinatie van beide duurzaamheidsaspecten die ook verder voldoet aan alle technische -, esthetische - en bruikbaarheidseisen. Want een milieutechnisch verantwoord gebouw dat veel onderhoud vraagt, of niet praktische bruikbaar is, of gewoon 'lelijk' wordt gevonden, heeft geen toekomstwaarde en is daarmee niet duurzaam.

(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

Deze publicatie richt zich op elementen voor energiezuinige projecten en passief bouwen. In dat verband is van belang dat de thermische kwaliteit en de luchtdichtheid van de elementen gewaarborgd is en dat daarmee de projecten blijvend energiezuinig en luchtdicht zijn. Het gaat dan bijvoorbeeld om isolatiematerialen die niet degenereren en niet uitzakken, om afdichtingsmaterialen (tapes, banden en rubbers) die blijvend afdichten ook als er sprake is van elastische vervorming en om detaillering die is afgestemd op het noodzakelijke onderhoud. De richtlijnen en aanbevelingen in deze publicatie zijn daarop afgestemd.

5 EISEN ELEMENTEN

5.1 Houten gevelelementen (kozijnen)

Eisen

Bouwbesluit 2012 stelt een eis aan de ramen, deuren en kozijnen in een uitwendige scheidingsconstructie. De warmtedoorgangscoefficiënt daarvan (U_w zie 4.6.2) mag niet groter zijn dan $2,2 \text{ W/m}^2\text{K}$. Voor energiezuinig bouwen worden gevelelementen met veel gunstiger (lagere) U -waarden toegepast, waarmee steeds kan worden voldaan aan deze Bouwbesluit-eis.

Het is mogelijk om kozijnsystemen te laten certificeren door het Passivhausinstitut (PHI) in Duitsland. Dan wordt U_w bepaald bij met beglazing met een isolatiewaarde van $U_g = 0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$. Het PHI definieert een kozijn als passief als $U_w \leq 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$, onder deze condities en bij de volgens NEN-EN-ISO 10077 vastgestelde afmeting (1,23 x 1,48m). Hoewel binnen deze afmeting verschillende uitvoeringen mogelijk zijn, wordt het draai/kiepraam als maatstaf gehanteerd. Toepassen van $U_g < 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ om in combinatie met een minder geïsoleerd kozijn aan de eis $U_w \leq 0,8$ te voldoen, is voor het verkrijgen van het PHI-certificaat op het profielsysteem niet toegestaan.

Zertifikat Passivhaus Institut
Dr. Wolfgang Feist
Rheinstraße 44/46
D-64283 Darmstadt

gültig bis 31.12.2010

Passivhaus geeignete Komponente: Fensterrahmen

Hersteller: EGE Holzbau GmbH & Co. KG, D-96526 Sangerhausen
 Produktname: EGE-THERM PLUS

Folgende Kriterien wurden für die Zerkennung des Zertifikates geprüft:

Passivhaus-Behaglichkeitskriterium:
 Unter Standardbedingungen (Verglasung mit $U_g = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$, Fensterbreite 1,23 m, Fensterhöhe 1,48 m) erfüllt der Fenster-U-Wert die Bedingung:
 $U_w = 0,79 \leq 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$

Rahmenkennwerte:		Abstandhalter	Swisspacer V
Rahmen	unten	seitl./oben	$\psi_g \text{ [W/m}^2\text{K]}$
$U_f \text{ [W/m}^2\text{K]}$	0,76	0,74	
Breite [mm]	128		0,031

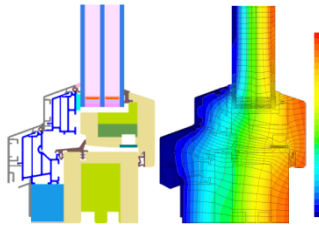
Passivhaus spezifische Auflagen:
 Die Passivhausung wurde nur mit dem o.g. Abstandhalter geprüft; andere Abstandhalter, vor allem solche aus Aluminium, führen zu wesentlich höheren Wärmeverlusten.

Passivhaus-Einbauhinweise:
 Einseitig-Einbaudetails sind nicht zulässig.
 $U_{w, \text{einbaubar}} \leq 0,85 \text{ W/m}^2\text{K}$

wenn die in der Anlage dokumentierten Einbaudetails des Fensters in Passivhaus geeignete Wandaufbauten (Wandbauteile) mit dem Hochleistungs- und Bauteilherstellung eingetragenen werden.

Das Zertifikat ist wie folgt zu verwenden:

PASSIV HAUS geeignete KOMPONENTE Dr. Wolfgang Feist		Fensterrahmen: $U_f = 0,76 / 0,74 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\psi_g = 0,031 \text{ W/m}^2\text{K}$ Breite = 128 mm
---	---	---



EGE Holzbau GmbH & Co.KG 'EGE-THERM PLUS'

Blendrahmen aus Holz-PU-Verbundmaterial, Flügelrahmen aus Holz-PU-Recycel-Verbundmaterial; jeweils mit auf-Kleppstern Aluminium-Dämmrohren

Verglasung¹⁾ d = 40 mm (4/14/4/14/4)

	unten	seitl./oben
Rahmenkennwerte	$U_f \text{ [W/m}^2\text{K]}$	0,76
	Ansichtsbreite [mm]	128
Abstandhalter: Swisspacer V	$\psi_g \text{ [W/m}^2\text{K]}$	0,031
Temperaturfaktor am Glasrand	$f_{s, \text{Glasrand}} \text{ [-]}$	0,77
Fenster-U-Wert ¹⁾ (1,23 x 1,48 m)	$U_w \text{ [W/m}^2\text{K]}$	0,79 ¹⁾

Hersteller: EGE Holzbau GmbH & Co.KG, Grabenweg 20
 D-96526 Sangerhausen, Tel: 036464 / 6711-0
 Fax: 036464 / 6711-19, Internet: www.egc.de

Berechnung: Passivhaus Institut 2010

¹⁾ Bei der Ermittlung des Fenster-U-Wertes (n = 1,23 m, h = 1,48 m) wurde ein Glas-U-Wert $U_g = 0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ eingesetzt.

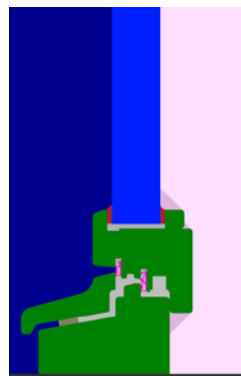
Het is voor het Keurmerk Passief Bouwen niet noodzakelijk om PHI-gecertificeerde kozijnen toe te passen.

Zie paragraaf 4.6.2 voor een nadere toelichting op de eisen, de berekeningsmethode en de beoordeling in het kader van energiezuinig en passief bouwen.

(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

Ontwerp

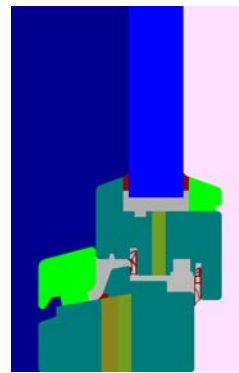
Om tot een element te komen dat voldoet aan een U-waarde van $0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ dienen zowel het kozijn, de detaillering, het glas als de afstandhouder te worden geoptimaliseerd. Een eerste optimalisatie om een lagere U-waarde van het kozijn te verkrijgen is het creëren van een doorgaand temperatuurverloop in het kozijn en het glas. In voorbeeld 1 is een massief kozijn weergegeven in combinatie met drievoudige beglazing ($U_g = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$). Daarmee wordt een U_w verkregen van $0,97 \text{ W/m}^2\text{K}$. In het tweede voorbeeld is een geïsoleerd kozijn berekend met drievoudige beglazing, de U-waarde van het raam wordt in dat geval verlaagd naar $0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$.


Voorbeeld 1

$$U_f = 1,38 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\text{i.c.m. } U_g = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$$

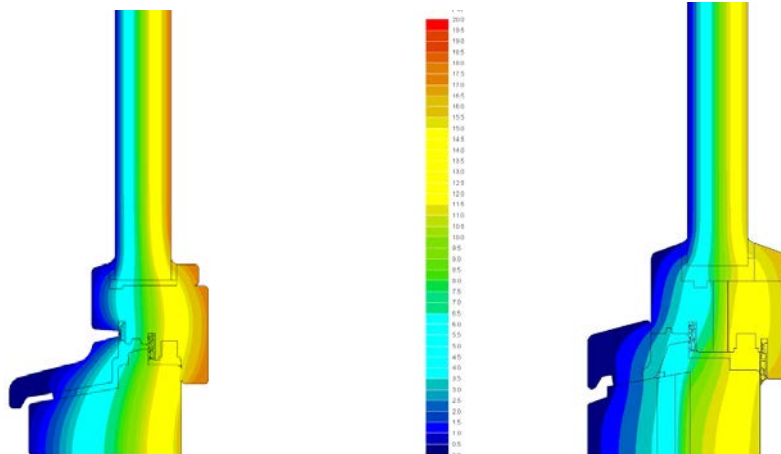
$$U_w = 0,97 \text{ W/m}^2\text{K}$$


Voorbeeld 2

$$U_f = 0,94 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\text{i.c.m. } U_g = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$$

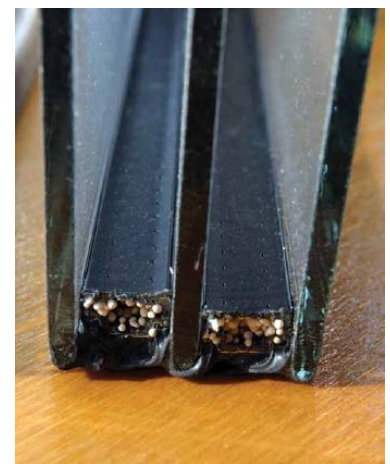
$$U_w = 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$$



Isothermenverloop door massieve en geïsoleerde houten kozijnen

(bron: Adviesburo Nieman BV / vb 1: massief kozijn / vb 2: Timmerfabriek Overbeek BV)

Om een U-waarde van $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ te behalen zal veelal drievoudig glas worden toegepast met een U-waarde die varieert tussen $0,5$ en $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. De twee spouwen zijn gevuld met argon of krypton gas en de binnenste glasplaat is voorzien van een coating met een lage emissiviteit. De beglazing is voorzien van thermisch onderbroken afstandhouders, die de drie glasplaten verbinden. De spouwbreedte bij een U-waarde van $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ is in combinatie met traditioneel argon gas veelal 14 mm . Een grotere spouw is kritisch als gevolg van een te grote druk op de beglazing. Het warmteverlies via de afstandhouder lijkt klein, maar heeft bij de energetische optimalisatie een invloedrijke betekenis. Om het warmteverlies via de afstandhouder zoveel mogelijk te verkleinen zit het glas dieper in de spouwing.

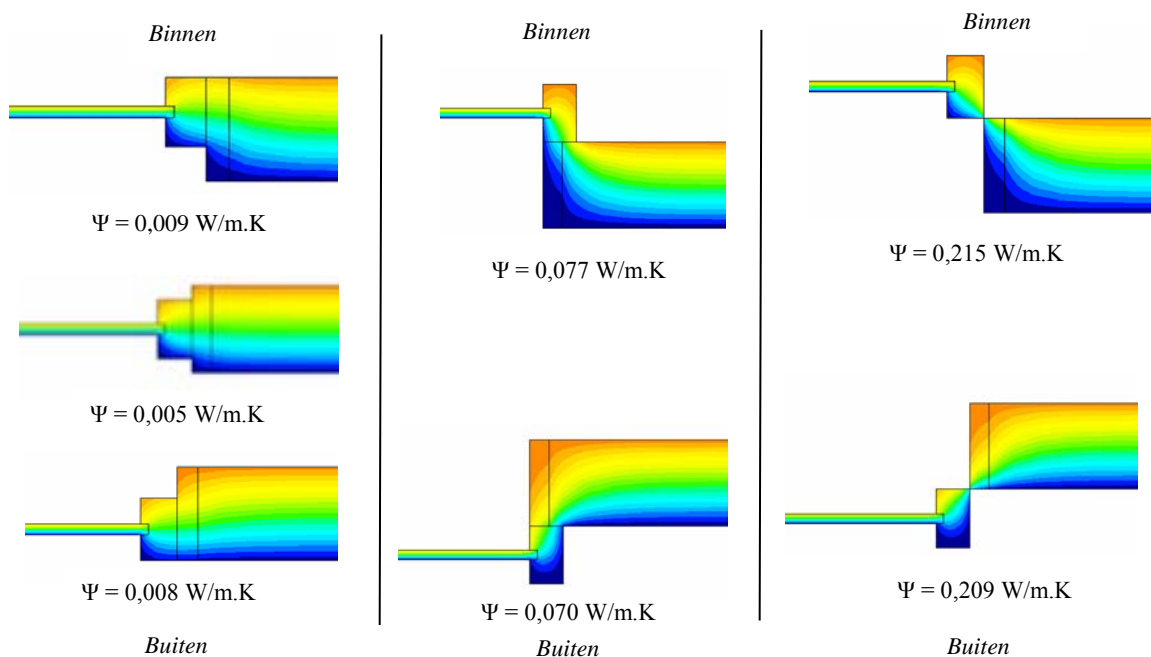


Naast de thermische kwaliteit (U-waarde) moet er ook aandacht zijn voor de licht- en zondoorlaat. Vooral de zontoetredingsfactor (g-waarde, voorheen ZTA) is kritisch. Door de drie glasbladen loopt die terug. Ook het toepassen van zwaardere folie speelt een rol, zodat men met een eenvoudiger gasvulling kan volstaan. In beide gevallen neemt het doorzicht af en kunnen ruiten zichtbaar grijs zijn. Daarom wordt geadviseerd een g-waarde $\pm 0,45$ te kiezen.

Positie kozijn in gevelement

De verbinding van het kozijn in de gevel veroorzaakt een koudebrug en vormt daardoor de zwakste thermische punt van het raam. Om het effect van deze aansluiting inzichtelijk te maken, zijn in onderstaande figuur enkele aansluitingen geschematiseerd. In de eerste kolom is het kozijn tussen de gevelementen aangebracht, waarbij gevarieerd is de negge. Als het kozijn naar binnen of naar buiten wordt geplaatst neemt het warmteverlies licht toe ten opzichte van het plaatsen van het kozijn in het hart van de constructie. Het plaatsen van het kozijn in het hart van de constructie zorgt voor een doorgaande isolatielijin waardoor minder warmte in de aansluiting verloren gaat.

Als het kozijn evenwijdig aan het gevelement wordt geplaatst (tweede kolom) loopt de warmtestroom minder door, waardoor het lijnvormig warmteverlies stijgt. Dit effect wordt verstrekt naarmate de onderlinge aansluiting tussen kozijn en gevelement afneemt (derde kolom).



Invloed van de positie kozijnen in gevelementen op de psi-waarde.

Bij het plaatsen van een kozijn aan de binnenzijde van een geïsoleerd spouwblad ontstaat er een risicovolle situatie met de afwatering aan de onderkant van het kozijn. Bij de geringste onvolkomenheid ontstaat inwatering in de constructie met grote risico's. In dit licht is plaatsing van het kozijn zo ver mogelijk aan de buitenzijde te prefereren.

5.2 Houten buitendeuren

Eisen

Veel wat van toepassing is bij kozijnen geldt ook voor de deuren.

De U_w van een deurkozijn met deur wordt bepaald door de:

U_f warmtedoorgangscoefficiënt van het kozijn(hout)

U_p (U_{paneel}) de warmtedoorgangscoefficiënt van het deurblad

Een deurblad is in de norm niet specifiek gedefinieerd en wordt behandeld als een paneel.

De eis voor een Passivhauscertificaat is dat de $U_w \leq 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$. Voor Nederland geldt dit voor passief bouwen als richtlijn.

De eisen ten aanzien van de luchtdichtheid zijn behandeld in par 4.6.4. Voor de naad tussen kozijn en deur vertaalt zich dit in een c-waarde (partiële luchtdichtheitscoëfficiënt) van $0,04 \text{ dm}^3/\text{s.m.Pa}^n$, bij $n=0,625$.

De luchtdoorlatendheid voor ramen en deuren wordt getest volgens NEN-EN 1026. De classificatie is omschreven in NEN-EN 12207;1999 *Ramen en deuren –Luchtdoorlatendheid- Classificatie*.

Onderstaande tabellen geven deze classificatie weer.

Luchtdoorlatendheid bij 100 Pa en maximale testdrukken gerelateerd aan het oppervlakte:

Klasse	Luchtdoorlatendheid ($\text{m}^3/\text{h.m}^2$) bij 100 Pa	Max. testdruk (Pa)
0	Niet getest	
1	50	150
2	27	300
3	9	600
4	3	600

Luchtdoorlatendheid bij 100Pa gerelateerd aan de lengte van de kiernaad:

Klasse	Luchtdoorlatendheid ($\text{m}^3/\text{h.m}^2$) bij 100 Pa	Max. testdruk (Pa)
0	Niet getest	
1	12,5	150
2	6,74	300
3	2,25	600
4	0,75	600

Deze onderste eis kunnen we vertalen naar een c-waarde met de formule $q_v = c.P^n$. Hierin is $n=0,625$ en c wordt uitgedrukt in $\text{dm}^3/\text{s.Pa}^n$

Bijvoorbeeld klasse 4 $0,75 \text{ m}^3/\text{h.m}$ komt overeen met $0,21 \text{ dm}^3/\text{s.m}$.

$c = 0,21/100^{0,625} = 0,012 \text{ dm}^3/\text{s.m.Pa}^n$

Voor klasse 3 wordt de c-waarde 0,035

N.B. Indien we het betrekken op het oppervlak dan komen er hogere waarden uit voor een deur met een oppervlak van 2,3 m en een naadlengte van ongeveer 6,6 m. We kunnen stellen dat de deur (met bijbehorende specifieke dichting) minimaal in stabiliteitsklasse 2 moet vallen om te voldoen aan de strenge eisen van energiezuinige woningen.

Aanbevolen wordt om het boek Luchtdicht Bouwen van de SBR te hanteren. Bovenstaande theorie wordt in dit boek uitgebreid beschreven evenals hoe met behulp van de juiste c-waarden een overall c- waarde wordt bepaald en de $q_{v,10}$ waarde van een woning of gebouw.

(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

Belangrijk is dat de luchtdichtheid gewaarborgd blijft gedurende de levensduur. De onvermijdelijke doorbuiging van het deurblad ten gevolge van klimaatverschillen tussen binnen en buiten dienen te worden opgevangen door de tochtlichtingsprofielen. Tevens dient het hang- en sluitwerk afgestemd te zijn op deze doorbuiging zodat de deur bedienbaar blijft.

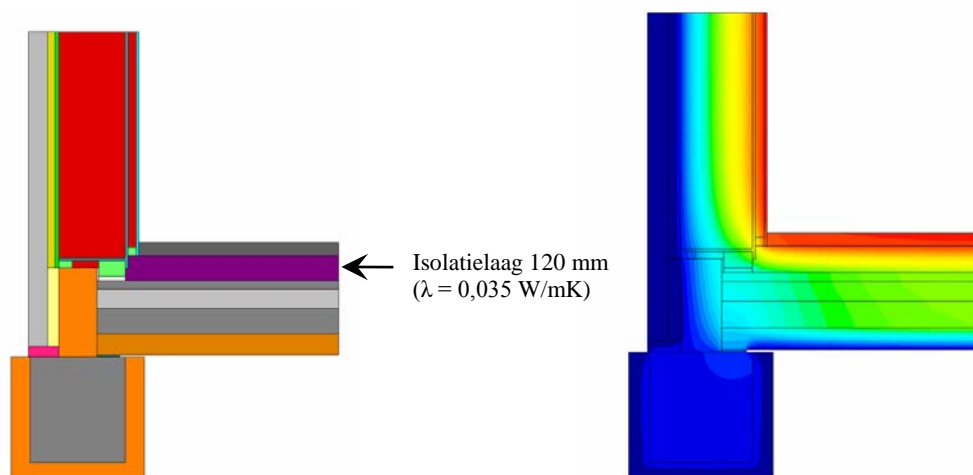
Het verdient aanbeveling om de deur ook te testen op temperatuurverschil tussen binnen en buiten als gevolg van zoninstraling van 65 °C.

5.3 Binnenspouwbladsegmenten en HSB wanden

Voor binnenspouwblad-elementen en buitenwanden wordt in deze publicatie geen opbouw voorgeschreven. De R_c -waarde wordt projectgericht bepaald. De wijze van berekenen is beschreven in paragraaf 4.6.1. Voor de gehele gevelopbouw geldt een minimale R_c -waarde van 3,5 m²K/W (Bouwbesluit 2012). Voor energiezuinig bouwen zijn hogere warmteweerstand benodigd, globaal vanaf $R_c = 5$ m²K/W. Voor passief bouwen kan als richtwaarde een $R_c \approx 10,0$ m²K/W worden aangehouden, met een minimum van 6,5 m²K/W. In de praktijk zal deze waarde uiteen lopen van ca. 8 – 12 m²K/W, afhankelijk van de PHPP-berekening van het project.

In het algemeen wordt een gevelopbouw toegepast met een dampremmende laag aan de binnenzijde. Bij dampopen bouwen dient er een dynamische hygrische controleberekening te worden gemaakt, om na te gaan of het risico op inwendige condensatie door dampdiffusie voldoende beperkt is. Om inwendige condensatie door luchtstroming te voorkomen is een goede luchtdichtheid noodzakelijk en zijn stromingsdichte aansluitingen vereist, juist ook bij dampopen bouwen.

Bij de funderingsaansluiting vindt door de traditionele bouwwijze in Nederland veel warmteverlies plaats. Met name de aansluiting vloer op binnenspouwblad zorgt voor een thermische onderbreking, waardoor warmte verloren gaat. Om een $\Psi_{phpp} < 0,01$ ter plaatse van de fundering te realiseren dient de isolatie in het gevelelement in verbinding te staan met de vloerisolatie. Bij een houten gevelelement in combinatie met een betonvloer kan dit gerealiseerd worden door bijvoorbeeld isolatie op de vloer aan te brengen, zie onderstaande figuur.



Modellering detail en isothermen verloop bij funderingsdetail, met 120 mm isolatie op de begane grondvloer

(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

5.4 Houtachtige dakconstructies

Voor dakelementen wordt in deze publicatie geen opbouw voorgeschreven. De R_c -waarde wordt projectgericht bepaald. De wijze van berekenen is beschreven in paragraaf 4.6. Voor de gehele dakopbouw geldt een minimale R_c -waarde van $3,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ (Bouwbesluit 2012). Voor energiezuinig bouwen zijn hogere warmteweerstanden benodigd, globaal vanaf $R_c = 5 \text{ m}^2\text{K/W}$. Voor passief bouwen kan als *richtwaarde* een $R_c \approx 10,0 \text{ m}^2\text{K/W}$ worden aangehouden, met een minimum van $6,5 \text{ m}^2\text{K/W}$. In de praktijk zal deze waarde uiteen lopen van ca. $8 - 12 \text{ m}^2\text{K/W}$, afhankelijk van de PHPP-berekening van het project.

In het algemeen wordt een dakopbouw toegepast met een damprem aan de binnenzijde. Ofwel in de vorm van een dampremmende laag in het dakelement ofwel door de opbouw met een voldoende dampremmende waarde van de binnenplaat. Bij dampopen bouwen dient er een dynamische hygrische controleberekening te worden gemaakt, om na te gaan of het risico op inwendige condensatie door dampdiffusie voldoende beperkt is. Om inwendige condensatie door luchtstroming te voorkomen is een goede luchtdichtheid noodzakelijk en zijn stromingsdichte aansluitingen vereist, juist ook bij dampopen bouwen.

Aansluitingen

Voor de aansluitingen zijn luchtdichtheid en ψ waarde van groot belang. Uit ervaring is bekend dat met name het aansluitdetail ter plaatse van de dakvoet kritisch is. Bij de detailontwerp dient voldoende rekening gehouden te worden met de uitvoerbaarheid en de vervorming die in de praktijk optreedt. Naden (dagkanten) dienen te worden afgetaped.

Als dakconstructies voldoen aan Luchtdichtheidsklasse 3 volgens SBR-publicatie Luchtdicht bouwen kan worden voldaan aan de eis voor passief bouwen.

De ψ waarde dient voor elke aansluiting bepaald te worden.

5.5 Houtachtige dakkapellen

Het realiseren van een dakkapel met zeer hoge isolatiewaarden is complex en leidt soms tot een uiterlijk dat niet voldoet aan het verwachtingspatroon van de opdrachtgever of aan de richtlijnen van welstand. Een alternatief is de dakkapel niet traditioneel op te bouwen, maar gebruik te maken van sandwichelementen voor zijwangen en dak, zodat de invloed van randhout en regelwerk veel minder groot is.

In projecten wordt soms gekozen voor een dakkapel met een minder hoogwaardige schil. Dat is toegestaan mits zijwangen en dak voldoen aan de minimumeisen uit het Bouwbesluit ($R_c \geq 3,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ volgens BB2012) en mits deze waarden correct in de vereiste berekeningen zijn opgenomen.

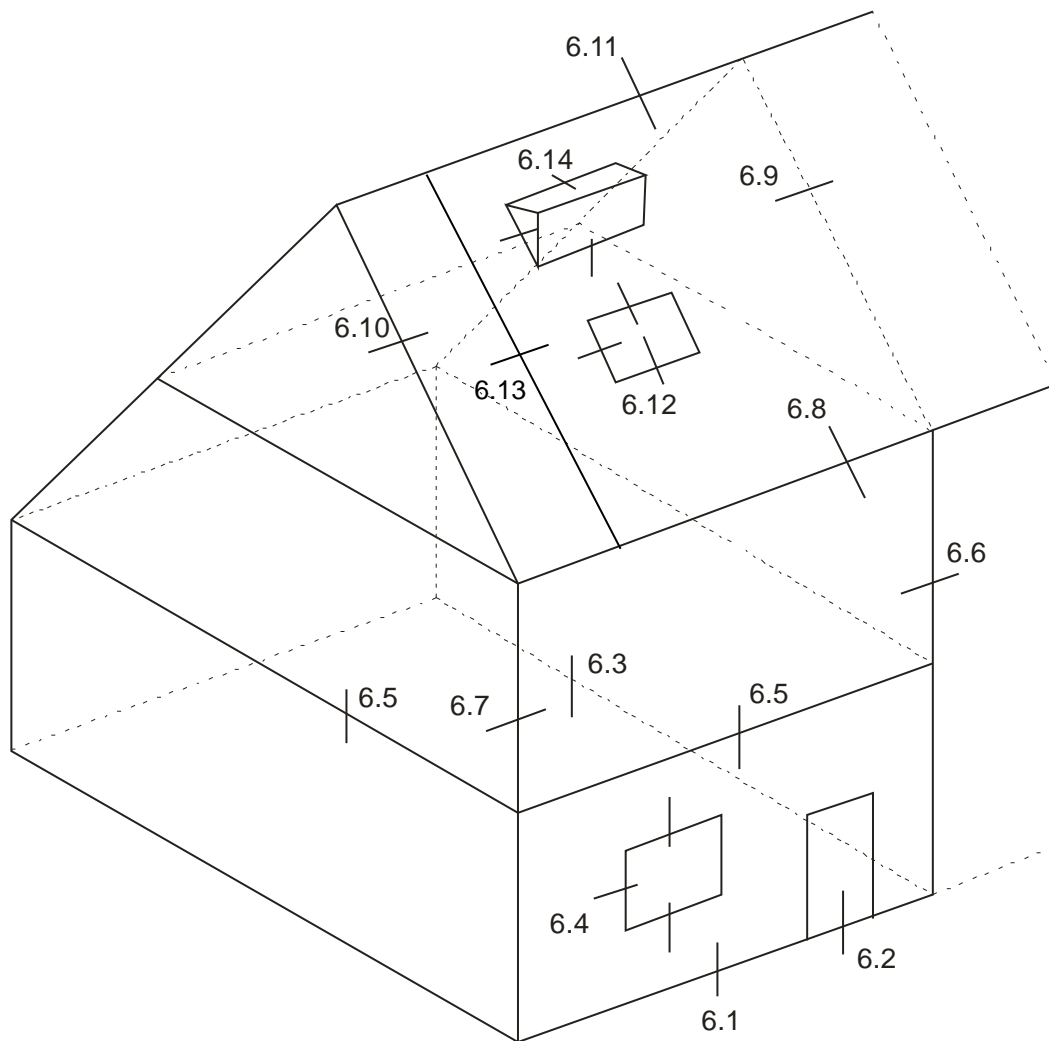
In de EPC-berekening wordt altijd de R_c waarde ingevuld voor de dichte delen. Een uitzondering is wanneer de zijwangen zijn opgebouwd als kozijn met paneelvulling (of glas). In dat geval ligt het voor de hand de U-waarde te hanteren. Als de isolatiewaarde na het verlenen van de bouwvergunning in de werkvoorbereiding wordt bepaald, is de in de EPC ingevulde waarde de ondergrens. Deze maakt namelijk deel uit van de bouwaanvraag.

Bij passief bouwen vormt een $R_c > 6,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ de ondergrens. Een dergelijke waarde is bij een dakkapel niet altijd te realiseren. In de PHPP berekening kan dan de U-waarde van de dakkapel worden ingevoerd. De gehele dakkapel wordt dan als het ware als kozijn beschouwd. Dat is verdedigbaar als de dakkapel gezien wordt als een 'bijzonder dakraam'. Vanzelfsprekend moet daarbij niet uit het oog worden verloren dat een op deze wijze in de berekening ingevoerde dakkapel een belangrijke negatieve invloed heeft op de uitkomst van de PHPP-berekening. Er kan ook lokaal een minder goed thermisch comfort ontstaan omdat de oppervlaktetemperatuur van de dakkapel lager is dan die van de overige bouwdelen. Daarom blijft het van belang de isolatiewaarde van de dakkapel zo veel mogelijk te optimaleren.

5.6 Dakramen

(nog niet in deze publicatie opgenomen).

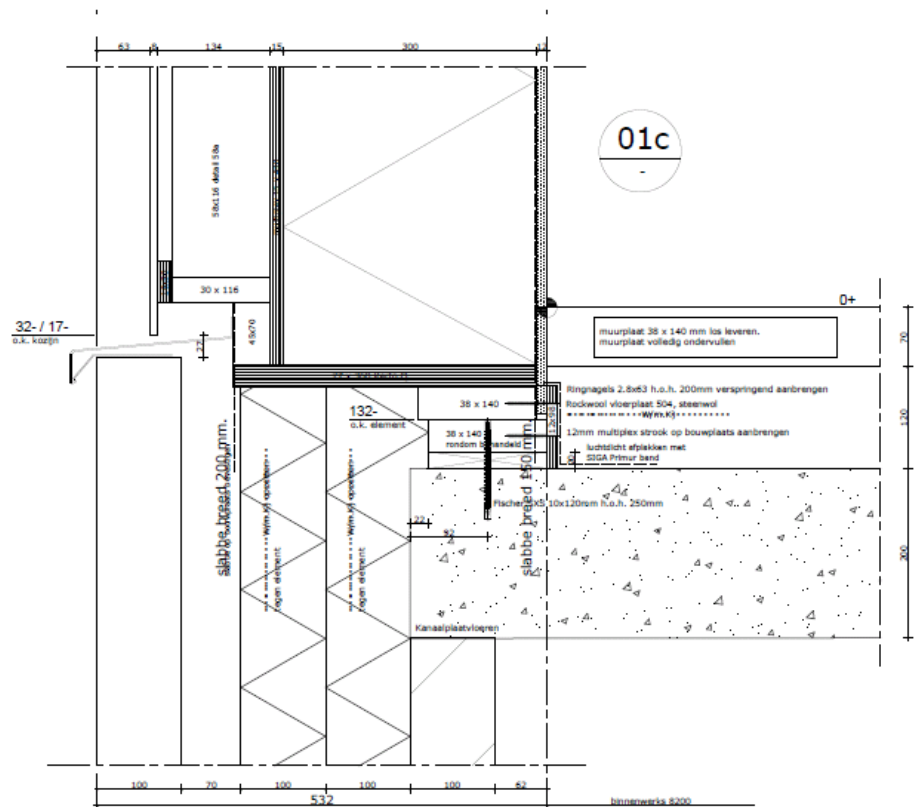
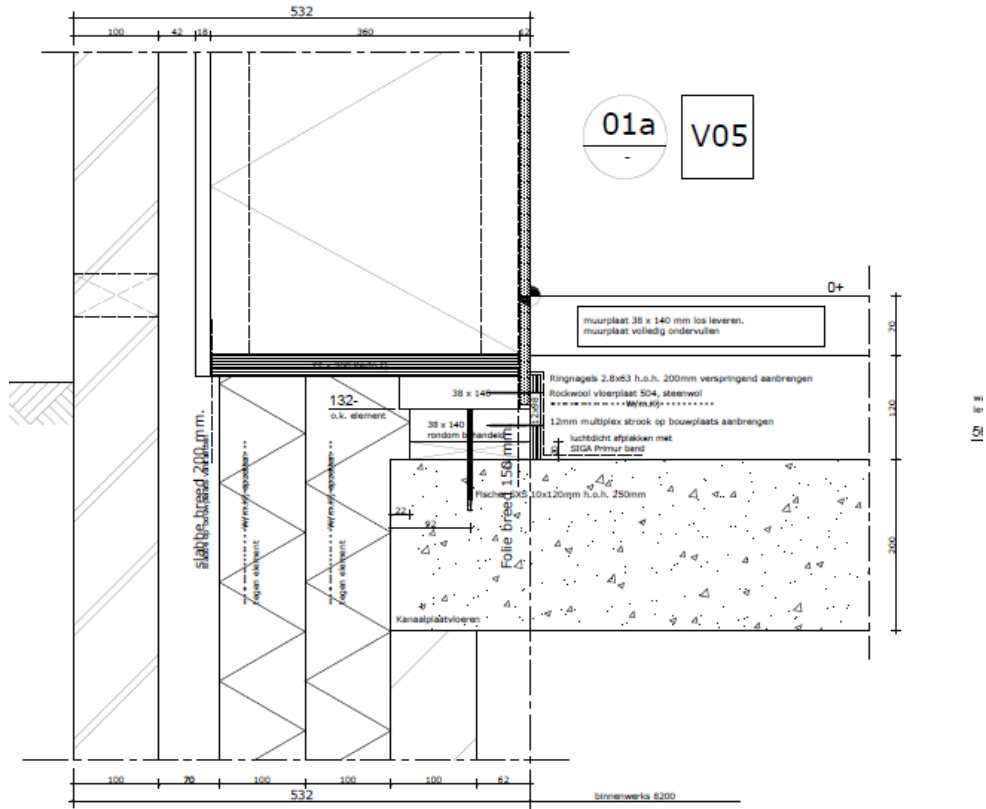
6 VOORBEELDEN VAN AANSLUIT- EN AFWERKINGSDETAILS



In de voorbeelddetails worden diverse mogelijke oplossingen gegeven en afhankelijk van het project kan er eventueel gebruik worden gemaakt worden uit deze details.

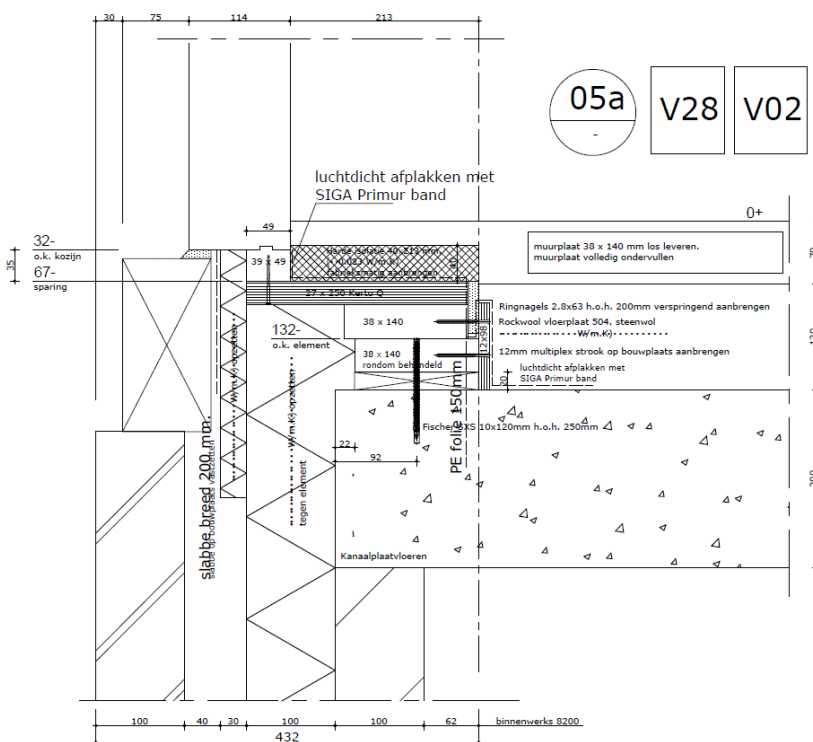
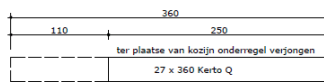
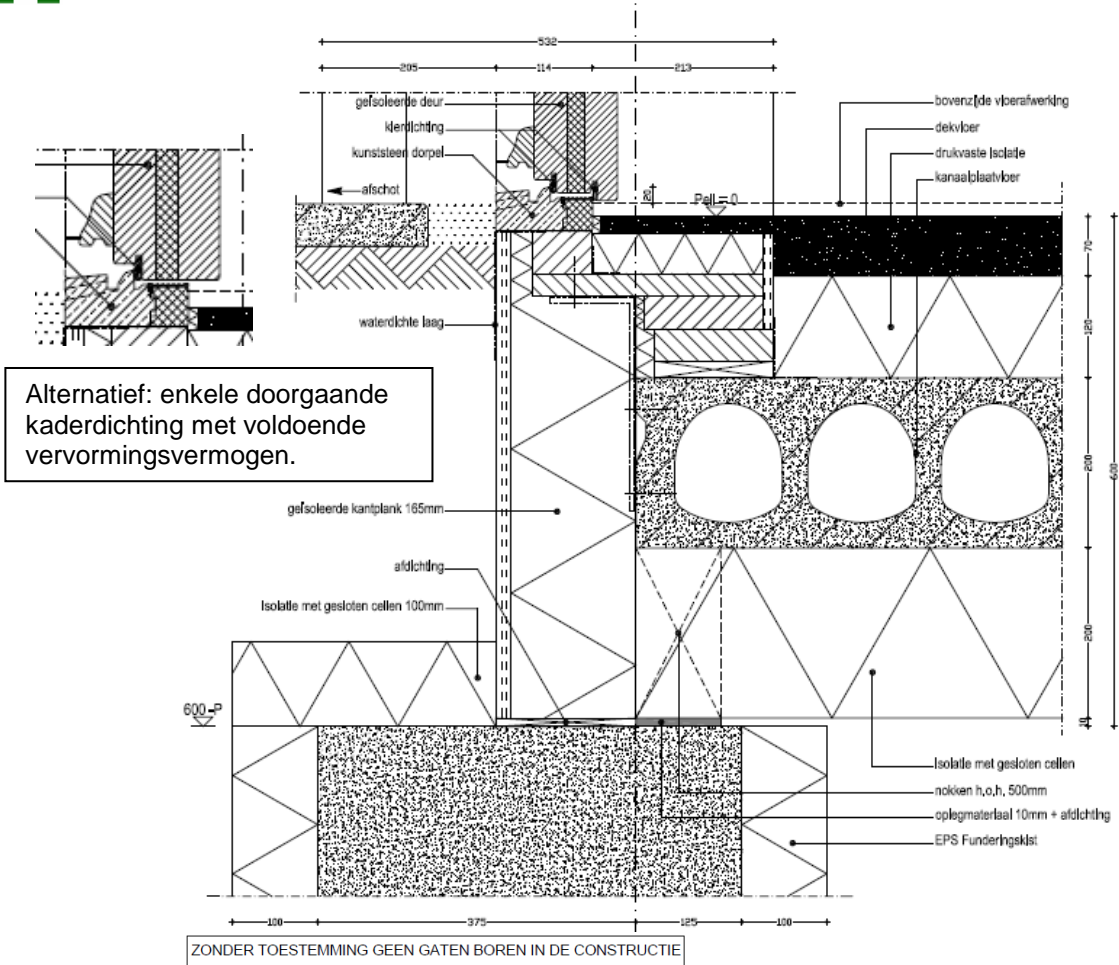
(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

6.1 Fundering- en vloerdetails

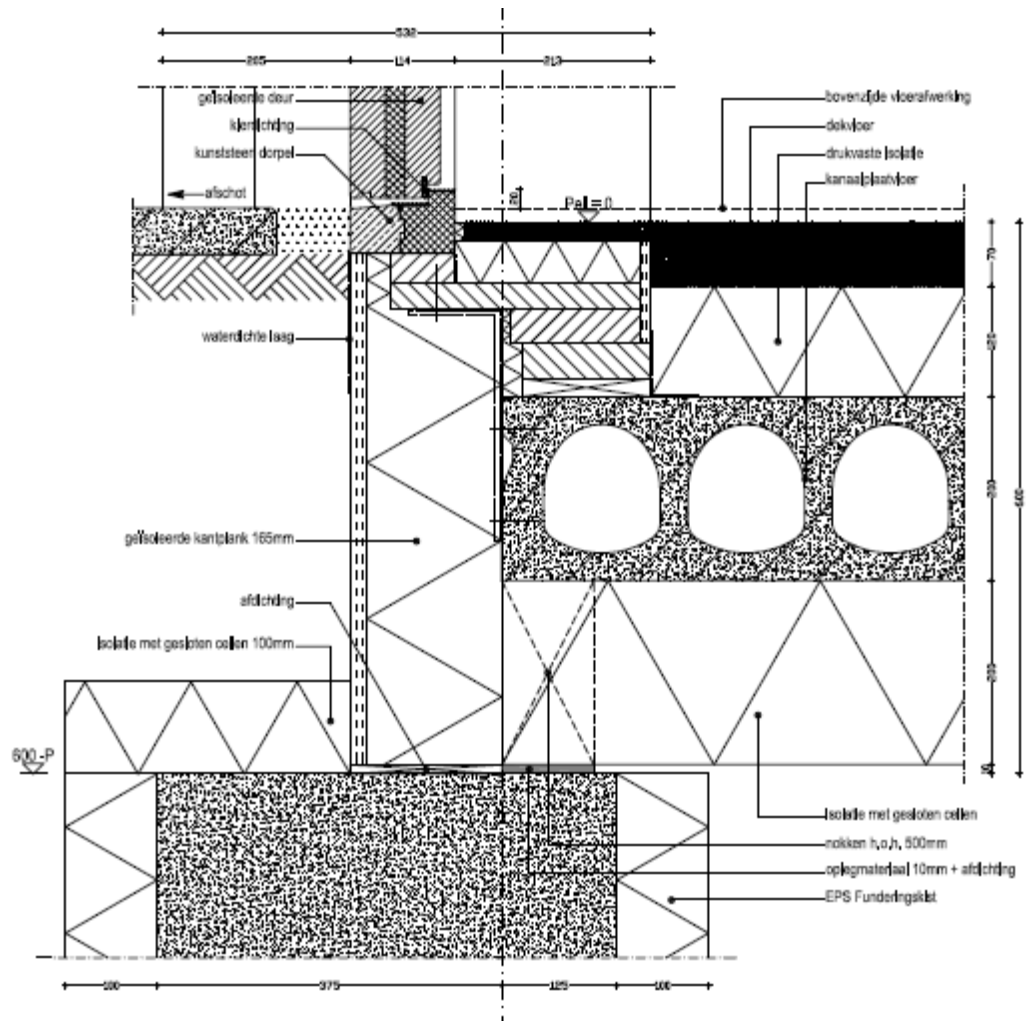


(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

6.2 Vloer- en deurdetails



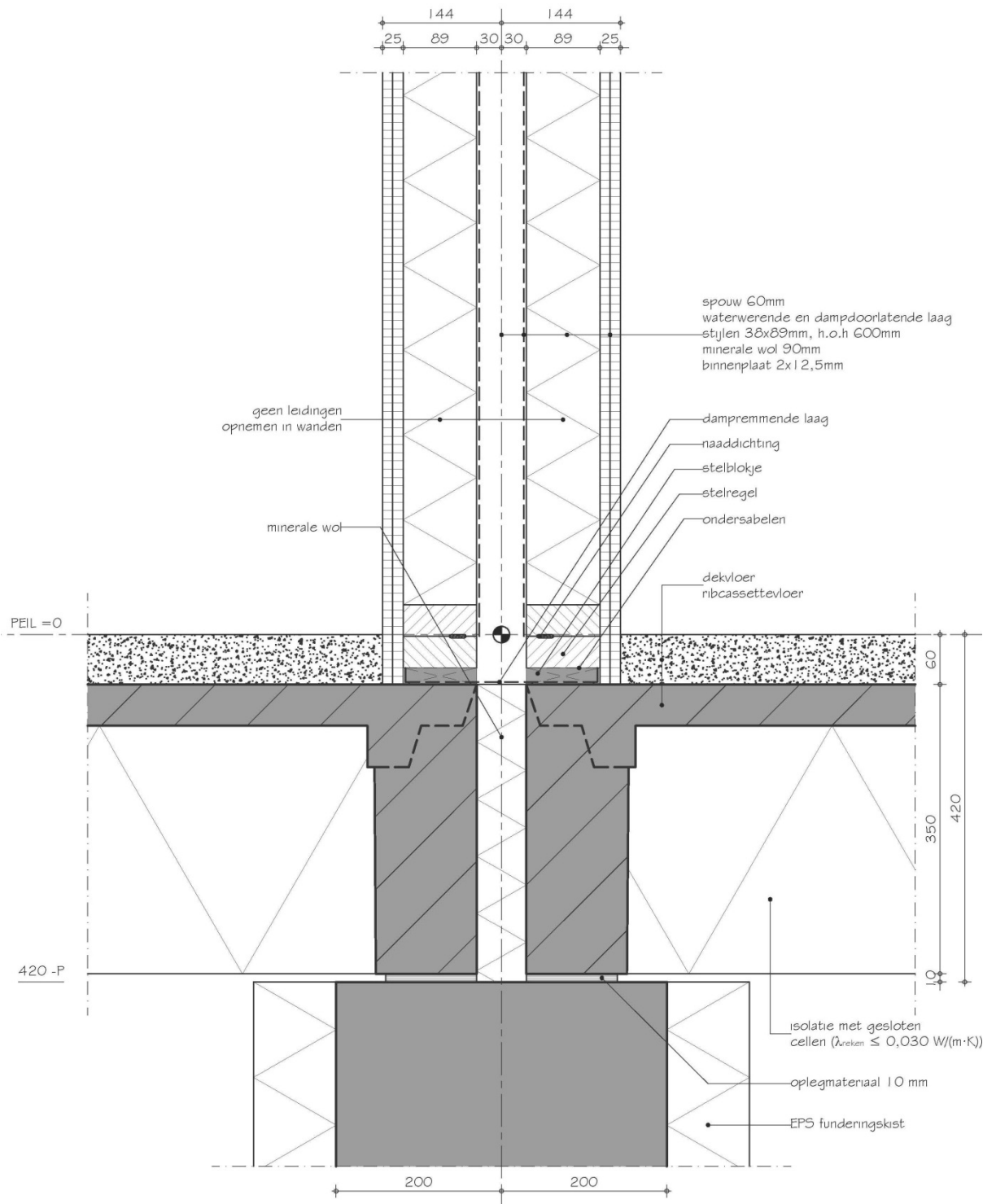
(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN



Copyright SBR

(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

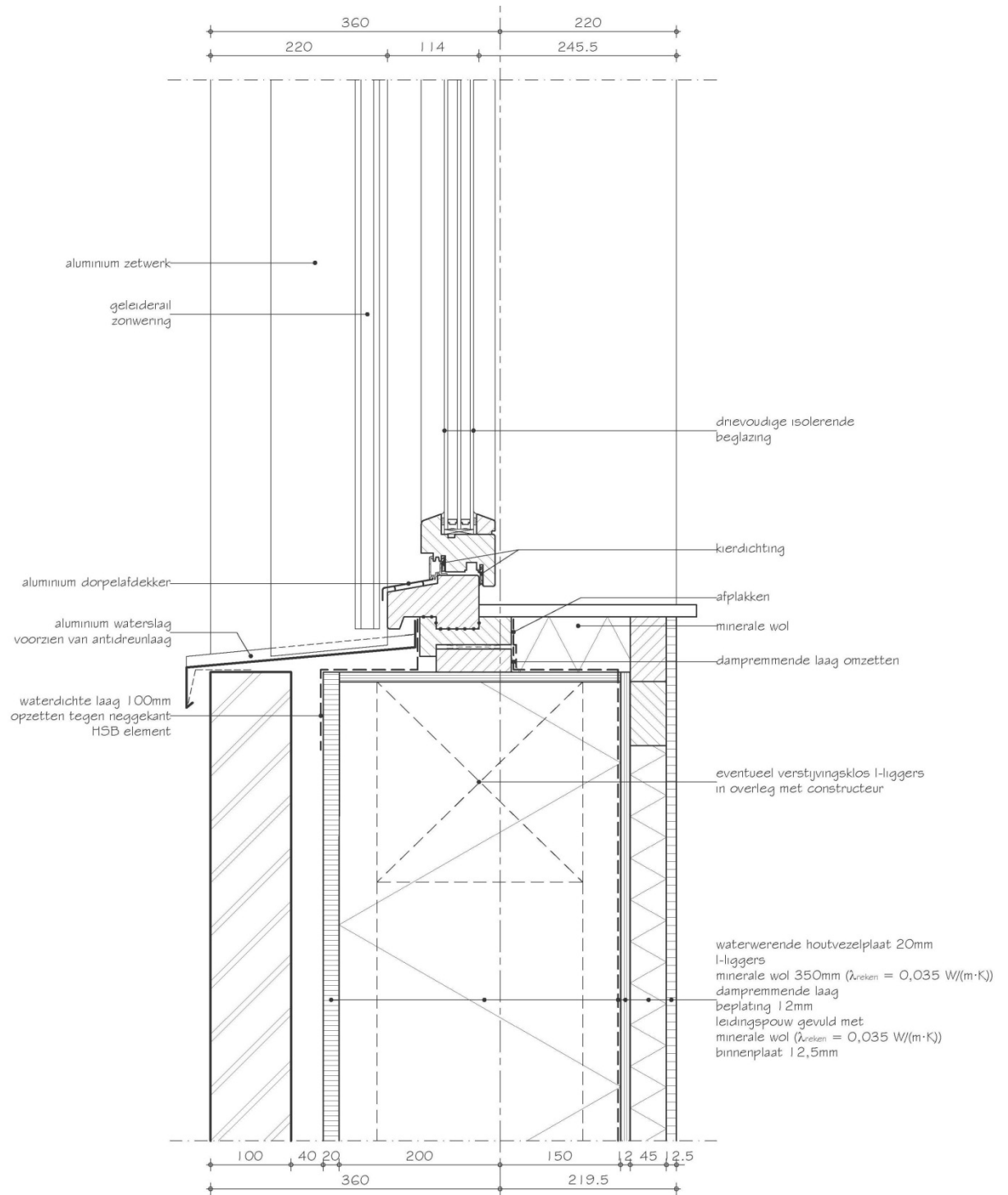
6.3 Vloer- en spouwmuurdetail



Copyright SBR

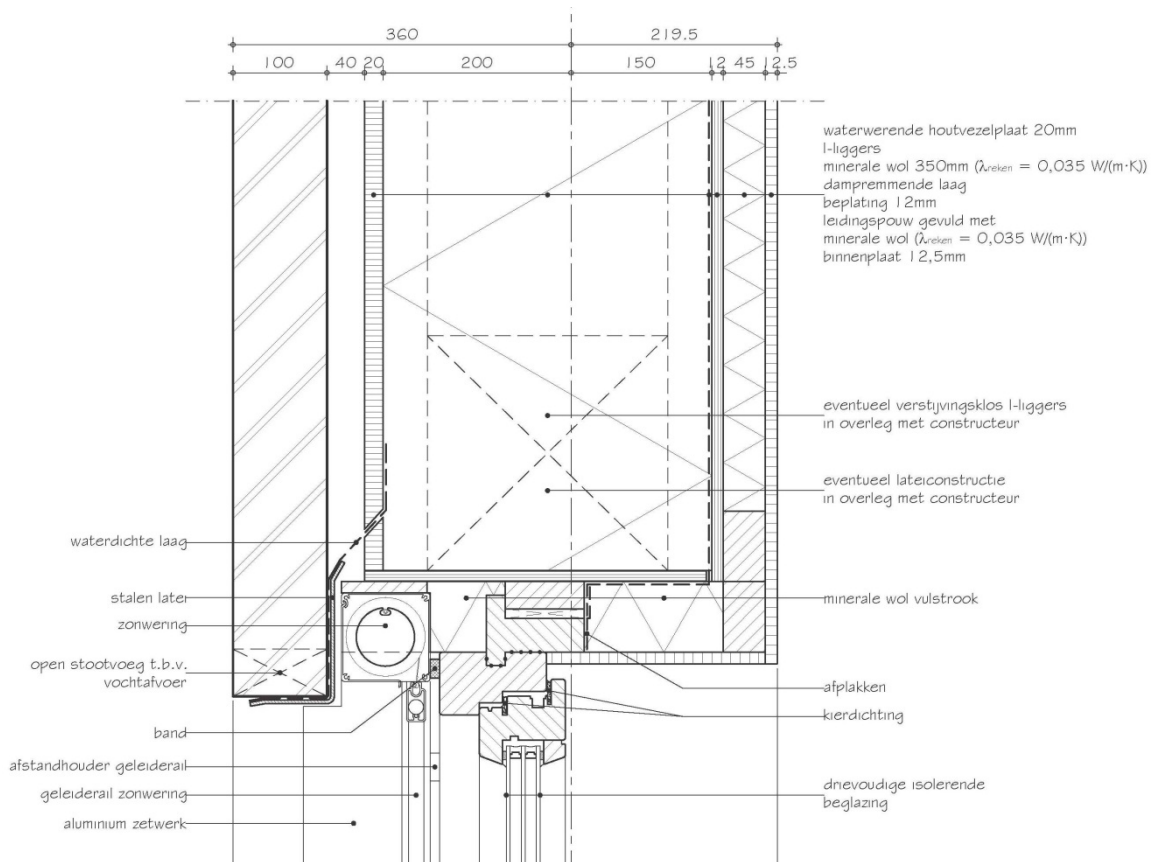
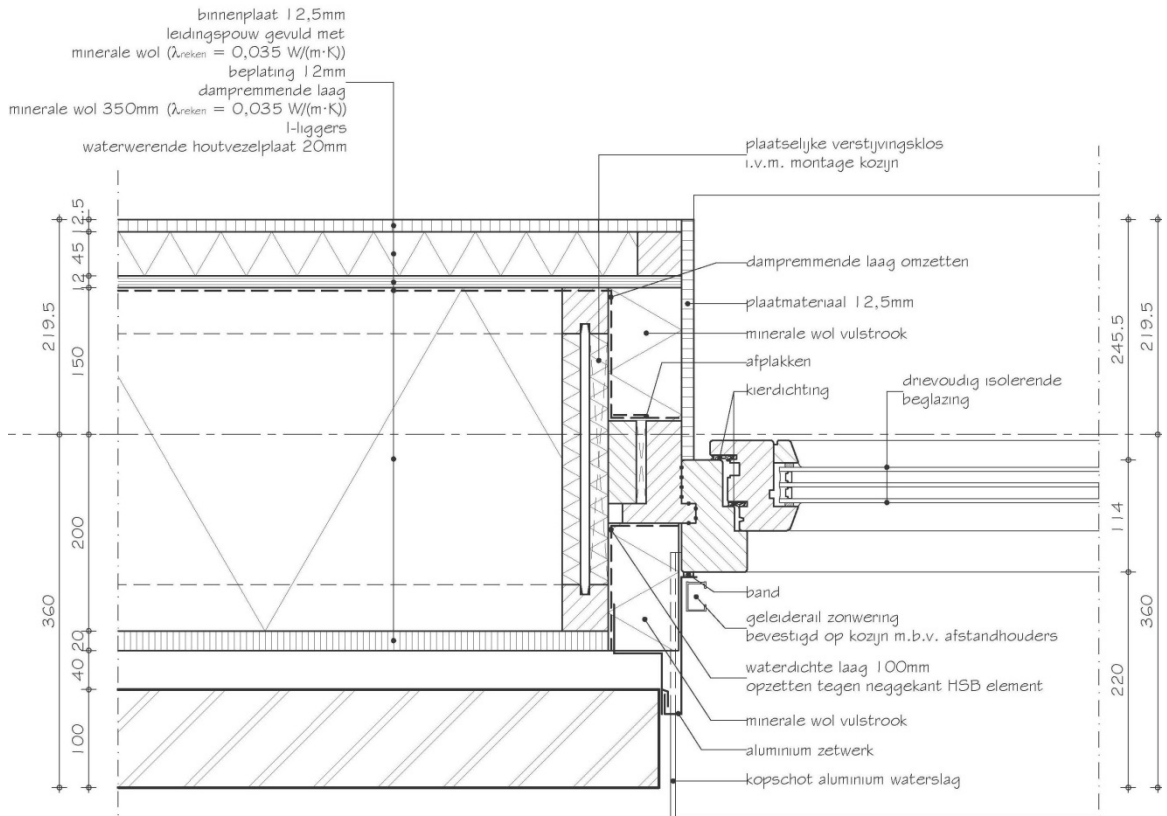
(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

6.4 Kozijn aansluitdetails



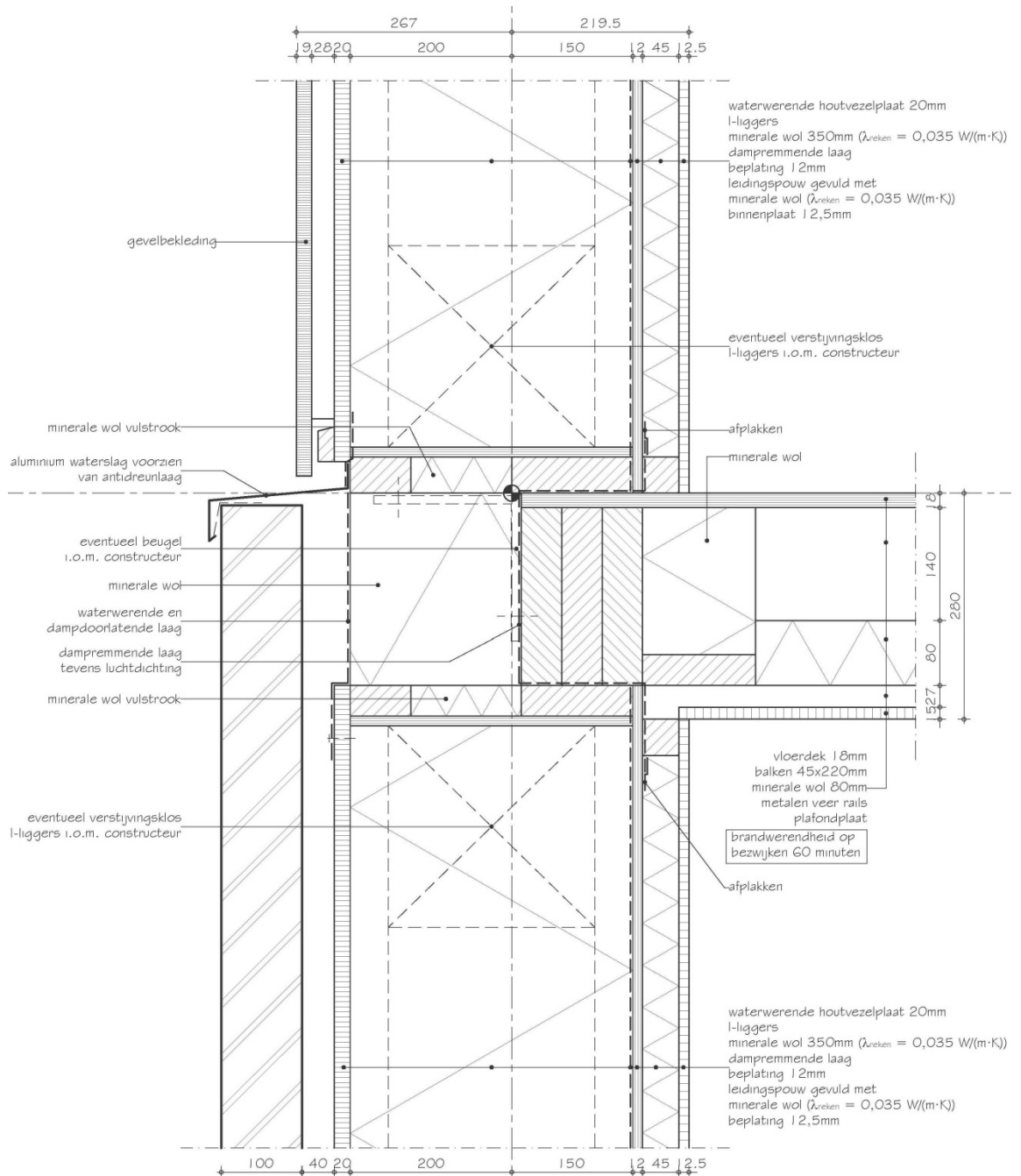
Copyright SBR

(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN



(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

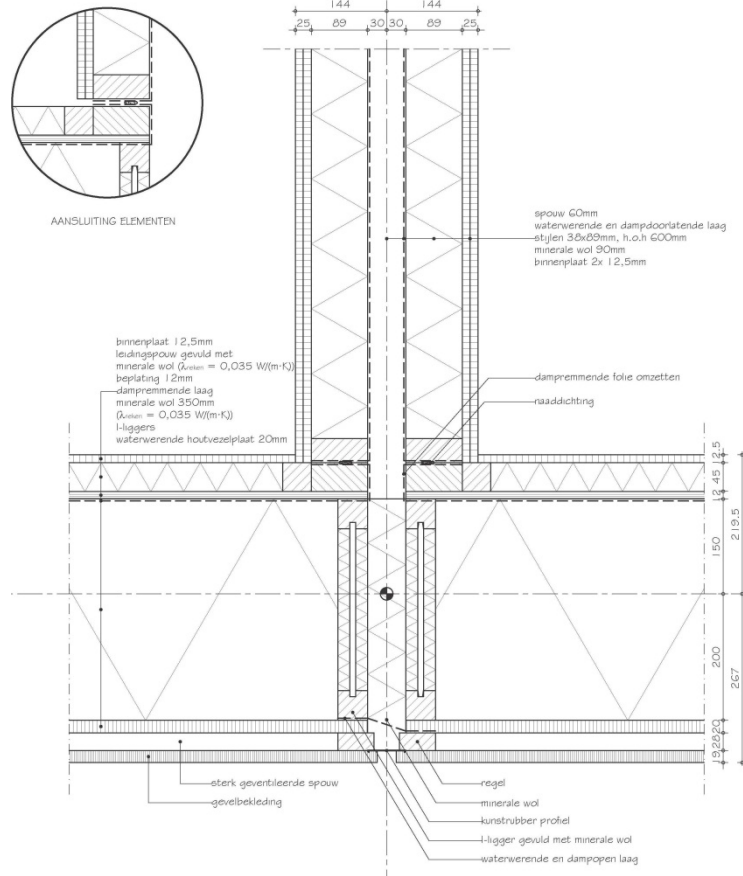
6.5 Verdiepingsvloerdetail



Copyright SBR

(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

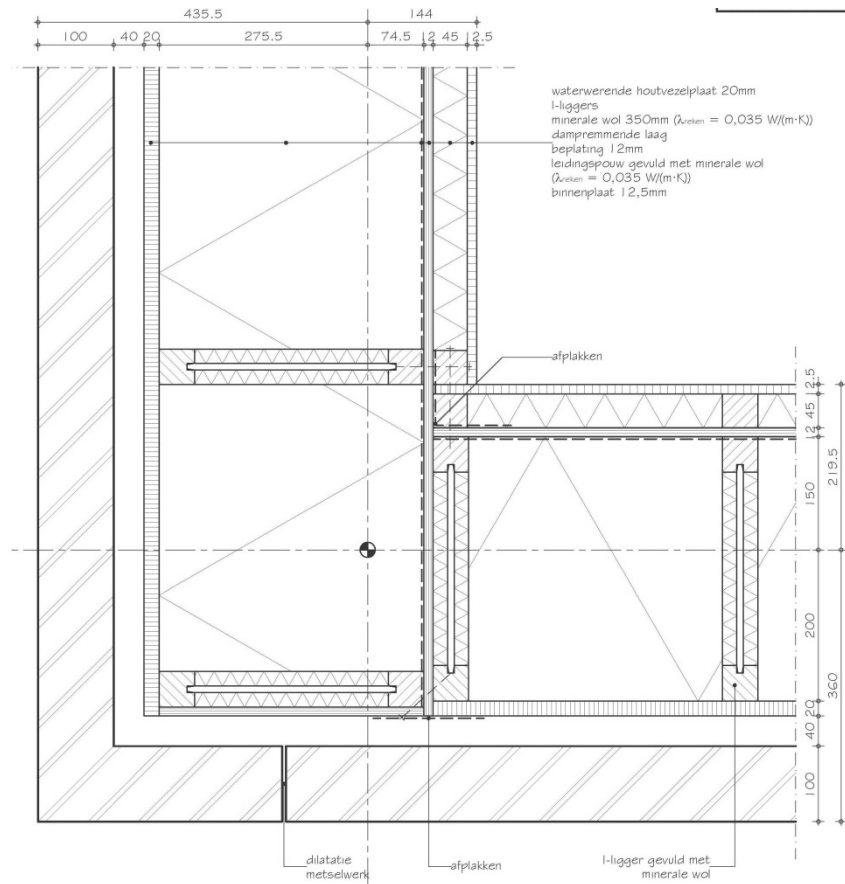
6.6 Spouwmuurdetail (woningscheidend)



Copyright SBR

(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

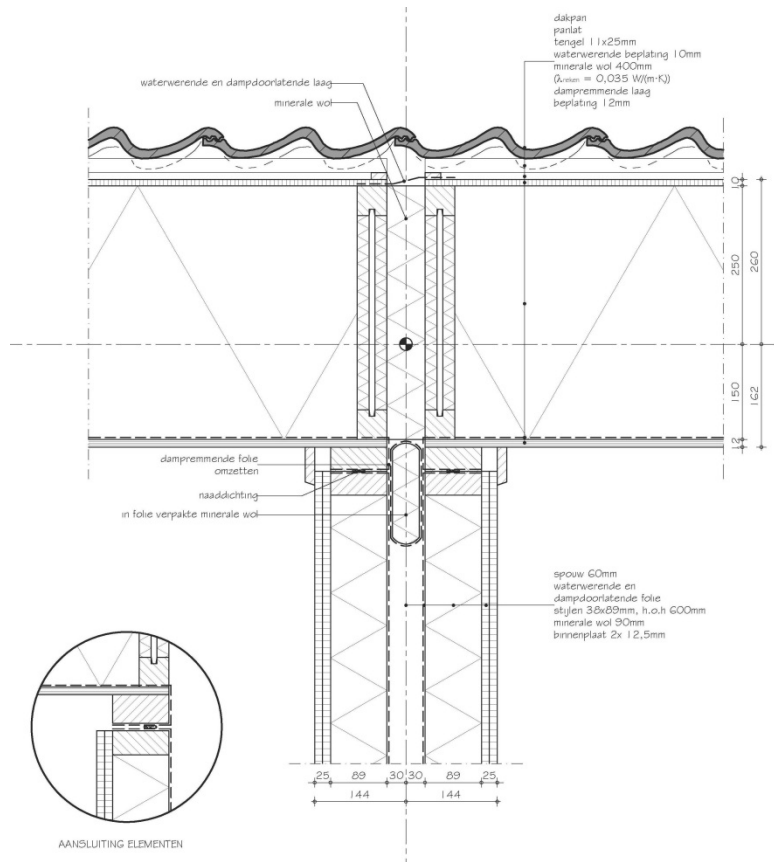
6.7 Kopgeveldetail



Copyright SBR


(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

6.9 Dakdetail (woningscheidend)



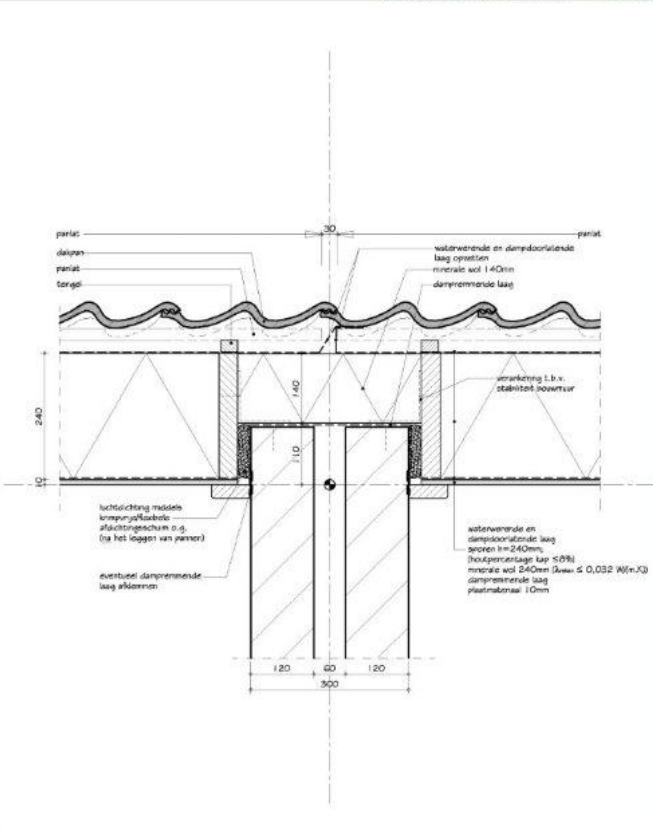
Copyright SBR

Draagsstructuur : kalkzandsteen
 Gevelopbouw : niet van toepassing
 Variant-detail : ankerloze spouwmuur, SKD-dakdetail, Rcdak ≥ 6,0
 (m2_KVW)



Secitie Kwaliteit Dak

P.402.2.0.03.T1.1.SKD W + WG



Labels in diagram:

- panlat
- dakpan
- tengel
- watererende en dampdoorlatende laag onzetten
- minerale wol 140mm
- dampremmende laag
- versterking t.b.v. stabiliteit spouwmuur
- luchtschicht met kleine kroonpompbeveiligde afsluitingsgoot o.v.s. (na het leggen van pannen)
- overbuisel dampremmende laag afklemmen
- watererende en dampdoorlatende laag ankeren l=240mm, (hoekperceel) laag (≤99%)
- minerale wol 240mm ($\lambda_{\text{rook}} \leq 0,032 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$)
- dampremmende laag
- pleetmatkous 10mm

Dimensions:

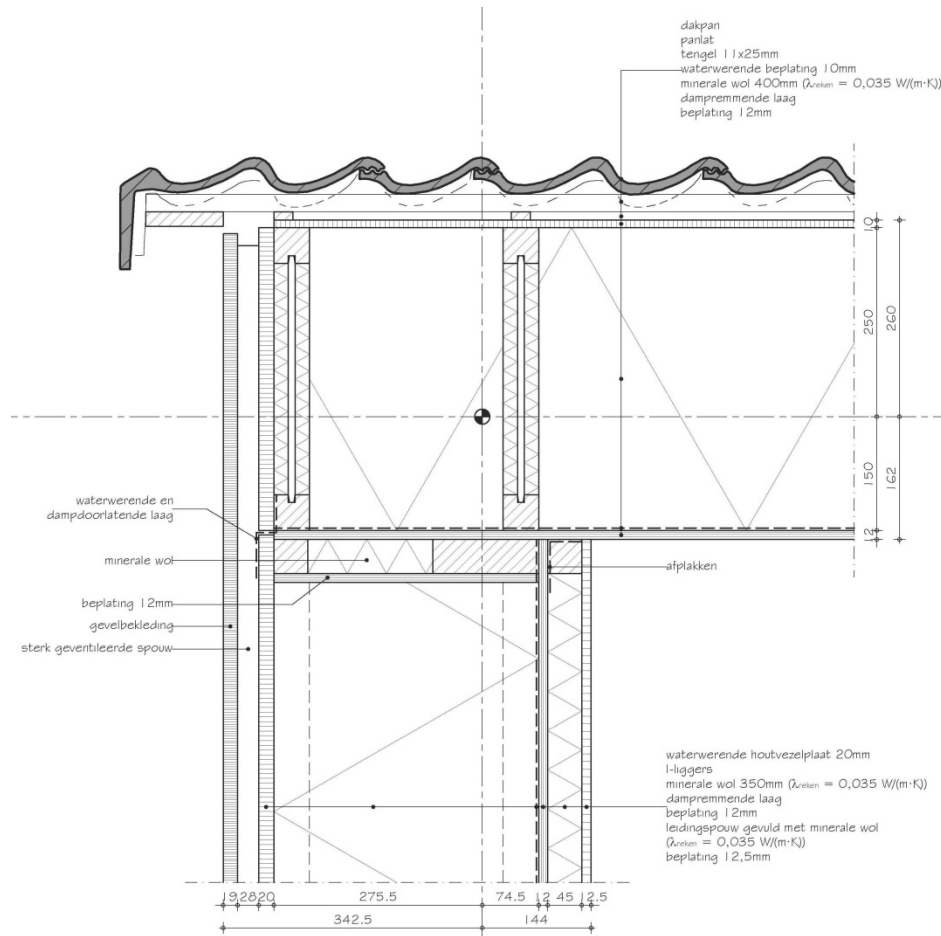
- 30
- 240
- 10
- 140
- 110
- 120
- 60
- 120
- 300

SBR-Referentiedetails NBvT, © SBR, juli 2011

schaal 1:5 afhankelijk van uw printerinstellingen

(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

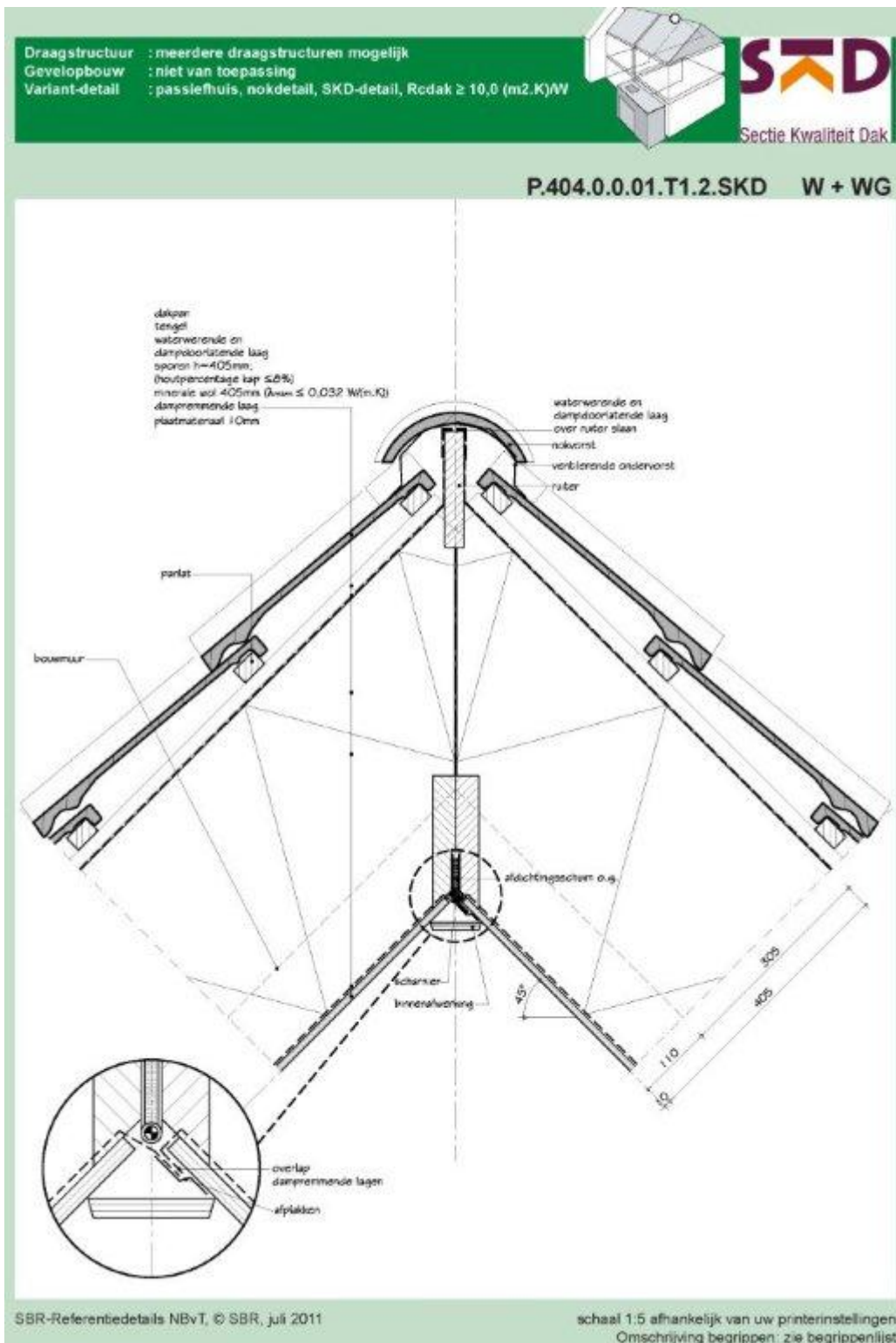
6.10 Kopgevel dakdetail



Copyright SBR

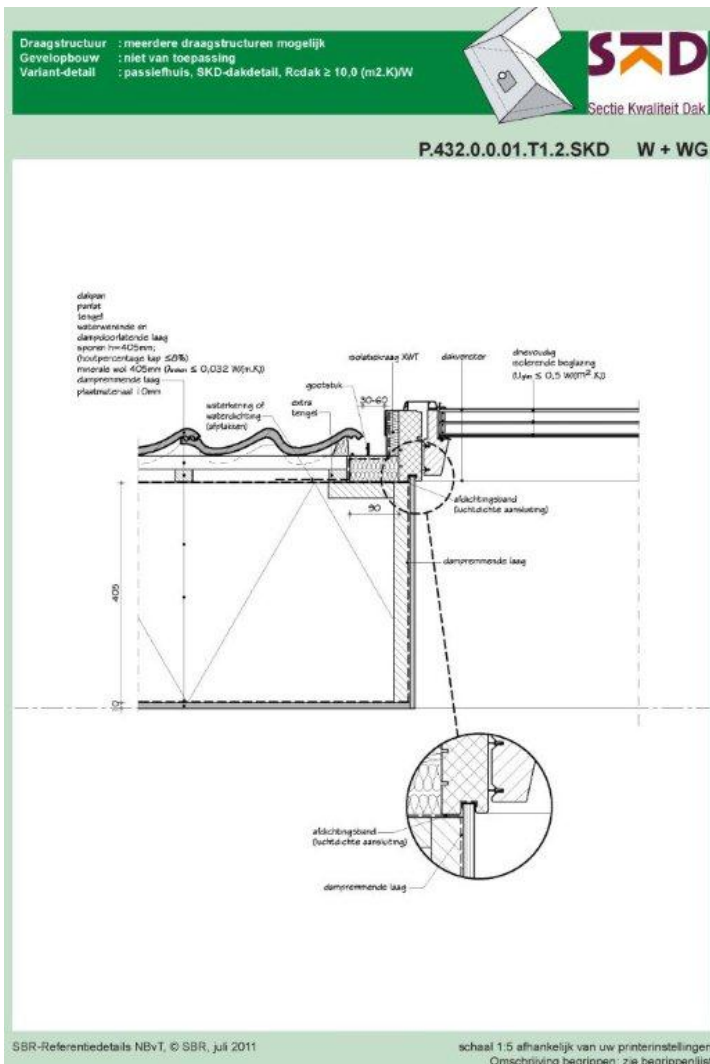
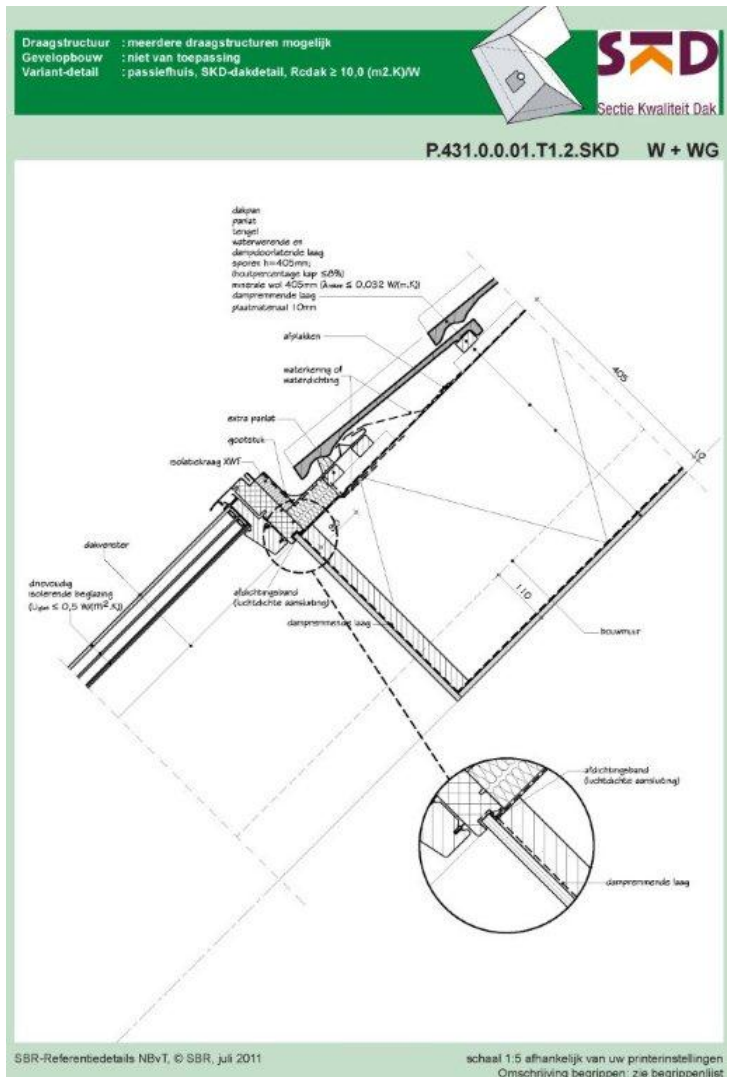
(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

6.11 Nokdetail

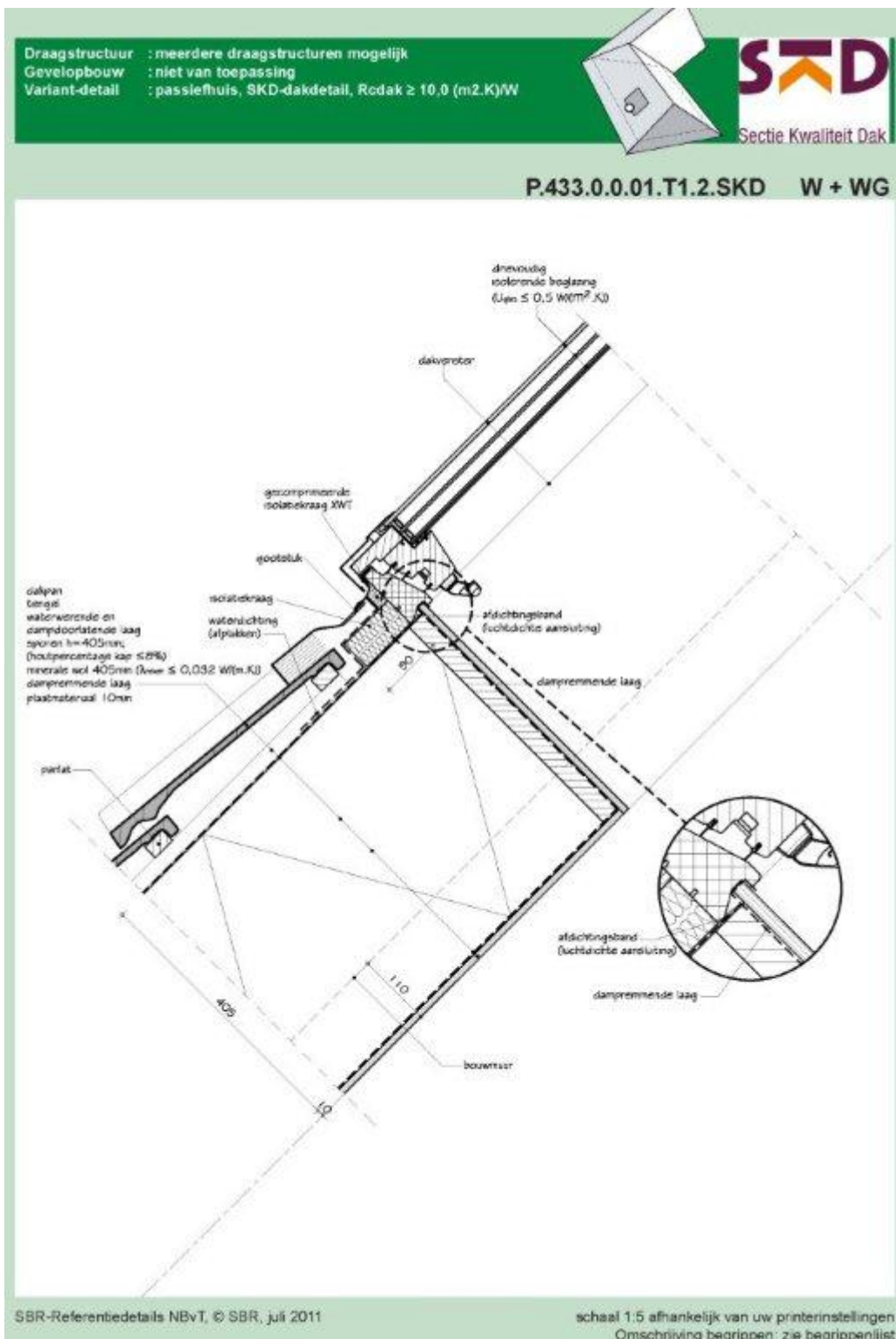


(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

6.12 Dakraamdetail



(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN



(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

6.13 Dakelement detail (verbinding dakelementen)

(nog niet in de publicatie opgenomen).

6.14 Dakkapel detail

(nog niet in de publicatie opgenomen).

7 PRESTATIE-EISEN MATERIALEN

Voor de meeste materialen, die in een energiezuinige woning worden toegepast zijn BRL's beschikbaar. In deze BRL's zijn echter geen specifieke eisen opgenomen voor energiezuinig bouwen. Vooral op het gebied van de warmteweerstand en de luchtdichtheid ontbreken vaak de eisen of de eigenschappen. Ook zijn er materialen, die in een energiezuinige woning een belangrijke rol spelen, waar überhaupt geen eisen voor zijn gedefinieerd.

In dit hoofdstuk zal verder ingegaan worden op deze specifieke eisen. Voor materialen, waar geen eisen voor zijn gedefinieerd, dient in overleg tussen SKH en de certificaathouder de kwaliteitseisen en toepassingsvoorwaarden geregeld te worden.

Het bepalen van de warmtegeleidingscoëfficiënt voor een nieuw materiaal of voor een van de norm afwijkende waarde dient te geschieden volgens NEN 1068 bijlage D.

7.1 Hout

7.1.1 Hout voor elementen, vloeren en daken

De eisen waaraan het hout gebruikt in bovengenoemde constructie elementen moet voldoen is beschreven in de van toepassing zijnde BRL's. Voor de I-liggers is onlangs een nieuwe BRL (BRL 1707) verschenen.

Voor de berekening van de warmteweerstand is de warmtegeleidingscoëfficiënt van belang. Voor vurenhout, wat vrij algemeen gebruikt wordt in deze elementen, geeft de NPR 2068 een waarde gegeven van 0,13 W/m.K. Echter in de NEN-ISO 10077-2 staat een waarde van voor naaldhout met een soortelijke massa van 450 kg/m³ een lambda van 0,12 W/(m.K)

7.1.2 Hout voor kozijnen

De kwaliteitseisen staan omschreven in de SKH-Publicatie 99-05 en de BRL's voor geoptimaliseerd (BRL 2902) en gevingerlast hout (BRL 1704-2).

Geïsoleerd kozijnhout

Nieuw in deze toepassing is geïsoleerd kozijnhout: gelamineerd hout met als tussenlaag een isolatiemateriaal. Dit is vaak een van PUR afgeleid materiaal ('pureniet' bijvoorbeeld). Dit nieuwe materiaal moet in de eerste plaats voldoen aan de eisen uit BRL 2902 "Geoptimaliseerd hout voor niet dragende toepassingen".

Gemodificeerd kozijnhout

Houtmodificatie (o.a. thermische, chemische of biologische) volgens de BRL 0605 "Gemodificeerd hout" van bijvoorbeeld naaldhoutsoorten kan gunstige invloed hebben op de duurzaamheid en vormstabiliteit van het hout zodat ze toepasbaar zijn als kozijnhout. Toegelaten houtsoorten zijn te vinden op de SKH-Publicatie 99-05.

Ten tweede moet bepaald worden of de constructie van het kozijn voldoet aan de eisen ten aanzien van inbraakwerendheid. Daarbij rekening houden dat er een nieuwe bezwijk mogelijkheid kan optreden, namelijk het splijten op het isolatiemateriaal. Dat betekent dat het niet voldoende is om alleen te kijken naar de schroeflengte. Voor deze beoordeling dienen minimaal een naar binnen draaiende deurkozijn en een naar binnen draaiend raamkozijn beproefd te worden. De afmetingen van de elementen moeten bepaald worden naar een zo ongunstig mogelijke afstand tussen de sluitpunten, zoals vastgelegd in de SKH-Publicatie 98-08. Gekozen wordt voor naar binnendraaiende elementen omdat hier de grootste krachten ontstaan bij de inbraakproef

Ten derde wordt gekeken naar de afschuifsterkte van de hout en de samengestelde E-modulus (elasticiteitsmodulus) van de gelamineerde balk. Indien de statische waarden van het isolatiemateriaal bekend zijn, dan kan dit rekenkundig benaderd worden. Indien dit niet het geval is dan zal het door proeven moeten worden vastgesteld.

(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

Vaak komen situaties voor waarbij het kozijn als doorvalbeveiliging dient. Dit is het geval bij een hoogteverschil volgens Bouwbesluit van meer dan 1 meter, waarbij de dorpel van het kozijn het doorvallen belemmert. Om aan te tonen dat deze dorpel voldoende sterk is, moet de slingerproef uit NEN 6702 (art 9.6.1) uitgevoerd worden. Volstaan kan worden met een proef met een kleine dorpellengte van 800 mm. Bij een langere dorpellengte wordt de remweg langer en daarmee de krachten kleiner. Tevens dient een verbinding getest te worden. Voor certificatie wordt als eis gesteld dat de dorpel deze belasting kan opvangen zonder zichtbare schade aan het isolatiedeel. Dit is strenger dan NEN 6702 die als eis stelt dat het stootlichaam er niet doorheen mag gaan en dat de samenhang van de constructie behouden blijft. Deze extra eis wordt gesteld omdat een houten kozijn, deze stootbelasting zonder schade ruimschoots kan opvangen en dat het geïsoleerde kozijnhout hierin geen achteruitgang mag betekenen.

7.2 Plaatmaterialen

Er kan en verschil zitten tussen de warmteweerstand loodrecht en evenwijdig aan het plaatvlak. Normaliter zijn alleen de waardes loodrecht op het vlak vastgelegd en ontbreken deze waardes voor evenwijdig aan het vlak.

7.2.1 Triplex

Geen aanvullende eisen ten aanzien van de BRL 1705.

7.2.2 Spaanplaat

Geen aanvullende eisen ten aanzien van de BRL 1101.

7.2.3 OSB

Geen aanvullende eisen ten aanzien van de BRL 1106.

7.2.4 Gipsvezelplaat

Geen aanvullende eisen ten aanzien van de BRL 1102.

7.2.5 Gipshoutsplaanplaat

Geen aanvullende eisen ten aanzien van de BRL 2205.

7.2.6 Gipskartonplaat

Geen aanvullende eisen ten aanzien van de BRL 1009.

7.2.7 Vezelcementplaat

Geen aanvullende eisen ten aanzien van de BRL 1103.

7.2.8 Cementgebonden houtspaanplaat

Geen aanvullende eisen ten aanzien van de BRL 1105.

7.2.9 LVL

Geen aanvullende eisen ten aanzien van de NEN-EN 14374.

7.2.10 CLT

Geen aanvullende eisen.

7.3 Isolatiemateriaal

Verwezen wordt naar de van toepassing zijnde BRL's. Alleen afwijkende eisen specifiek voor energiezuinig bouwen worden vermeld.

In het algemeen bij het verwerken van isolatiemateriaal dient extra aandacht geschonken te worden aan de verwerking en afwerking. Het isolatiemateriaal moet goed aansluiten tegen de stijlen, regels, sporen en balken en er mogen geen naden en holle ruimtes aanwezig zijn. Het gebruik van reststukken (stroken) is dan ook ten strengste af te raden omdat er hierdoor thermische lekken kunnen ontstaan, wat een zeer groot energieverlies veroorzaakt. Ook is de warmteweerstand bij diverse materialen afhankelijk van de richting waarin het materiaal verwerkt wordt.

(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN

7.3.1 Minerale Wol

Minerale wol mag alleen toegepast worden met de warmtestroom loodrecht op het plaatvlak. Praktisch gesproken betekent dit dat in het algemeen reststroken niet 'haaks' in elementen mogen worden verwerkt. Dat is wel toegestaan als de fabrikant in zijn productblad heeft vastgelegd dat de isolatiewaarde loodrecht en evenwijdig gelijk is.

7.3.2 Isolatie schuimen

Geen aanvullende eisen ten aanzien van de BRL.

7.3.3 Ingeblazen isolatie

Voor ingeblazen isolatie bestaan geen Nederlandse eisen. De voorschriften van de leverancier dienen dan ook strikt gehanteerd te worden. Men moet bedacht zijn op het uitzakken van het isolatie materiaal gedurende de referentie periode en bij prefab elementen door het transport. Ook dient het effect van belasting door regenwater in de bouwfase bekeken te worden. Inblazen van isolatie materiaal kan alleen indien het opgesloten wordt tussen plaatmateriaal. Er dient een controle methode aanwezig te zijn om de vulling en soortelijk gewicht van de ingeblazen isolatie te controleren.

7.3.4 Isolatie met reflecterende lagen

Hiervoor zijn geen Nederlandse eisen. In de herziening van NEN 1068 die in voorbereiding is, wordt hier nader op ingegaan. Reflecterende lagen werken alleen indien aan deze laag een luchtsponw grenst van minimaal 5 mm.

7.3.5 Houtvezelplaten

Geen aanvullende eisen ten aanzien van de BRL.

7.4 Folie

7.4.1 Dampremmende folie

Geen aanvullende eisen ten aanzien van de BRL 4708-1.

7.4.2 Waterkerende dampdoorlatende membranen

Geen aanvullende eisen ten aanzien van de BRL 4708-2.

7.4.3 Variabele folies

7.5 Tape

In de voorgaande hoofdstukken is het belang van het luchtdichte bouwen voor energiezuinig bouwen en passief bouwen behandeld. In de SBR-publicatie "Luchtdicht Bouwen theorie - ontwerp - praktijk" wordt uitgebreid aandacht geschonken aan de samenhang tussen de verschillende aspecten van aansluitingen van bouwdeelen onderling en de keuze van het juiste afdichtingsmateriaal.

In het buitenland, met name in Duitssprekende landen, worden deze naden en doorbrekingen met speciale tapes afgeplakt. Er zijn tapes voor allerlei toepassingen, bijvoorbeeld voor hoeken en tussen plaatmaterialen. Ook gebruikt men manchetten voor doorvoeren of tapes die hiervoor speciaal geprepareerd zijn. In Nederlandse projecten zijn hiermee goede ervaringen opgedaan. Er zijn op dit moment in Nederland nog geen eisen voor dit soort tapes. De voorschriften van de fabrikant zullen nauwkeurig moeten worden opgevolgd. Bijzondere aandacht vraagt de hechting van tape op het onderliggende materiaal, ook op termijn, en het mogelijk inwerken van tape en materiaal onderling.

7.6 Dichtingsmaterialen

7.6.1 Afdichtingen bij draaiende delen in kozijnen

Voor de classificatie van deze dichtingen wordt verwezen naar de BRL 0809.

Deze publicatie geeft geen prestatie-eisen t.a.v. luchtdichtheid. Een relatie tussen de classificatiecode van de dichting en de luchtdichtheid eisen zoals beschreven in de SBR-publicatie "Luchtdicht bouwen" kan aan de hand van deze publicatie niet worden gelegd.

7.6.2 Dichtingen bij naden tussen kozijnen en gevelconstructie

Voor de classificatie van deze dichtingen wordt verwezen naar de BRL 0809.

Deze publicatie geeft geen prestatie-eisen t.a.v. luchtdichtheid. Een relatie tussen de classificatiecode van de dichting en de luchtdichtheid eisen zoals beschreven in de SBR-publicatie "Luchtdicht bouwen" kan aan de hand van deze publicatie niet worden gelegd.

7.6.3 Dichtingen bij naden tussen kozijnen en gevelconstructie

BRL 2802 Voegdichtingsmaterialen –V3 en V5 geïmpregneerde schuimbanden

(PREFAB) HOUTEN ELEMENTEN VOOR ENERGIEZUINIG EN LUCHTDICHT BOUWEN**8 LIJST VAN VERMELDE DOCUMENTEN**

BRL 0101	Houtachtige dakconstructies
BRL 0103	Geprefabriceerde houtachtige dakkapellen
BRL 0605	Gemodificeerd hout
BRL 0801	Houten gevelelementen
BRL 0803	Houten buitendeuren
BRL 0809	Afdichtingsprofielen voor gevelelementen
BRL 0819	Verbindingstechnieken in houten gevelelementen
BRL 0904	Houtskeletbouw
BRL 1001	Niet-dragende binnenspouwbladen en gevelvullende elementen
BRL 1008	Dragende binnen- en buitenwanden
BRL 1009	Gipskartonplaat
BRL 1101	Spaanplaat
BRL 1102	Gipsvezelplaat
BRL 1103	Daken en gevels met geprofileerde asbestvrije vezelcementplaten
BRL 1105	Cementgebonden houtspaanplaat
BRL 1106	OSB
BRL 1704-2	Gevingerlast hout voor niet-dragende toepassingen
BRL 1705	Triplex
BRL 1707	I-liggers
BRL 2205	Gipshoutspaanplaat
BRL 2802	Voegdichtingsmaterialen - V3 en V5 geïmpregneerde schuimbanden
BRL 2902	Geoptimaliseerd hout voor niet-dragende toepassingen
BRL 4708-1	Waterdichte, damp-open (WDO) membranen voor geïsoleerde daken en gevels
BRL 4708-2	Waterkerende, dampdoorlatende (WKD) membranen voor geïsoleerde daken en gevels
KVT	Kwaliteit van houten gevelelementen (NBvT)
NEN 1068	Thermische isolatie van gebouwen - Rekenmethoden
NEN 2686	Luchtdoorlatendheid van gebouwen - Meetmethode
NEN 2916	Energieprestatie van utiliteitsgebouwen - Bepalingsmethode
NEN 5096	Inbraakwerendheid - Dak- of gevelelementen met deuren, ramen, luiken en vaste vullingen - Eisen, classificatie en beproevingsmethoden
NEN 5128	Energieprestatie van woonfuncties en woongebouwen - Bepalingsmethode
NEN 7120	Energieprestatie van gebouwen - Bepalingsmethode
NEN-EN 1026	Ramen en deuren - Luchtdoorlatendheid - Beproevingsmethode
NEN-EN 1027	Ramen en deuren - Waterdichtheid - Beproevingsmethode
NEN-EN 12207	Ramen en deuren - Luchtdoorlatendheid - Classificatie
NEN-EN 12211	Ramen en deuren - Weerstand tegen windbelasting - Beproevingsmethode
NEN-EN 14374	Houtconstructies - Gelamineerd fineerhout voor constructieve toepassingen - Eisen
NEN-EN-ISO 10077-1	Thermische eigenschappen van ramen, deuren en luiken - Berekening van de warmtedoorgangscoefficiënt
NEN-EN-ISO 13790	Energieprestatie van gebouwen - Berekening van het energiegebruik voor verwarming en koeling
NPR 2068	Thermische isolatie van gebouwen - Vereenvoudigde rekenmethoden
SBR-publicatie 'Luchtdicht Bouwen'	Publicatie 'Luchtdicht Bouwen'
SBR-Referentiedetails	SBR-Referentiedetails voor de woning- en utiliteitsbouw.
SKH-Publicatie 98-08	Inbraakwerend geveltimmerwerk
SKH-Publicatie 99-02	Bepaling van de waterdoorlatendheid na kritische droging en volledige droging van voorlak- en aflaksystemen op hout.
SKH-Publicatie 99-05	Lijst van goedgekeurde houtsoorten voor de toepassing in houten gevelelementen (kozijnen, ramen en deuren) met de bijlage Kwaliteitseisen Hout